



# MAASEUDUN VOIMA

## **Liiketoiminta hajautetussa energiantuotannossa**

Pekka Peura (toim.)

Vaasan yliopisto  
Levón-instituutti

2007



## ESIPUHE

Käsillä oleva julkaisu on loppuraportti Vaasan yliopistossa toteutetusta hankeohjelmasta ”*Liiketoiminta hajautetussa energiantuotannossa*”. Hankeohjelma toteutettiin 4/04–3/06 välisenä aikana ja rahoitettiin pääosin Tekesin Densy – teknologiaohjelmasta (Hajautettujen energiajärjestelmien teknologiaohjelma 2003–2007; <http://www.tekes.fi/densy/>). Lisäksi rahoitukseen osallistuivat Merinova Oy, Seinäjoen seudun elinkeinokeskus sekä yhteensä 11 yritystä. Hankeohjelman koordinoi Levón-insituutti Vaasan yliopistosta, ja sen toteutti yhteensä kuusi Vaasan yliopiston ainelaitostaja yksikköä. Hankeohjelman yhdyshenkilönä Tekesissä toimi teknologia-asiantuntija Jarkko Piirto, ja sen vastuullinen johtaja oli kehittämisspällikkö Pekka Peura Levón-insituutista.

Hankeohjelman johtoryhmän puheenjohtajana toimi toimialajohtaja Kari Luoma (Merinova Oy). Johtoryhmään kuuluivat seuraavat äänivaltaiset jäsenet: Pekka Hunnako (Seinäjoen seudun elinkeinokeskus), Erkki Antila (ABB Sähkölaitosautomaatio), Antti Ala-Kurikka (Lakeuden Etappi Oy), Pauli Tuominen (Atria Oy), Antti Rissa (Lapuan Nahka Oy), Hannu Linna (Vaasan Sähkö Oy), Pentti Kalliomäki (Tampereen Sähkölaitos), Pasi Tuominen (Wapice Oy), Jarkko Piirto (Tekes) ja Matti Linna (Vaasan yliopisto). Lisäksi johtoryhmään nimettiin seuraavat asiantuntijajäsenet: Kim Wikström (Åbo Akademi), Hanna-Leena Pesonen ja Ari Lampinen (Jyväskylän yliopisto), Jarmo Saaranen (VNT Management Oy), Vesa Riihimäki (Wärtsilä Oy) ja Josu Takala (Vaasan yliopisto). Johtoryhmän sihteerinä toimi Pekka Peura. Johtoryhmän kokouksissa olivat läsnä hanketta toteuttaneet Vaasan yliopiston asiantuntijat, jotka esittelivät työnsä etenemistä ja tuloksia.

Vaasassa kevään ensi merkeissä

Jouko Havunen  
Levón-instituutin johtaja

## SISÄLTÖ

- I** *Pekka Peura, Riku Rikkola ja Timo Hyttinen*  
LIIKETOIMINTA HAJAUTETUSSA ENERGIAN-  
TUOTANNOSSA – TEORIASTA TULOKSIIN ..... 7
- II** *Timo Hyttinen, Pekka Peura ja Alpo Kitinoja*  
BIOKAASU PILOTTIKOHITEISSA  
(kuusi kohdetta, 11 laskelmaa)  
Viitekehys, toimintakonsepti ja liiketoimintamallit ..... 41
- III** *Tuukka Järvinen, Erkki K. Laitinen ja Tom Wingren*  
KAUPALLISUUDEN MAHDOLLISUUDET JA  
KANNATTAVUUDEN LASKENTA HAJAUTETUN  
ENERGIANTUOTANNON HYÖDYNTÄMISEKSI ..... 77
- IV** *Merja Pakkanen*  
YRITYSTEN ASEENTEET JA VALMIUDET  
HAJAUTETUN ENERGIANTUOTANNON  
KÄYTTÖÖNOTTOON  
Tarkastelun kohteina Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan  
maakuntien yritykset ..... 97
- V** *Hannu Saaristo ja Josu Takala*  
KUUDEN ENERGIAYHTIÖN KÄYTÖN JA  
KUNNOSSAPIDON TEHOKKUUSVERTAILU ..... 119
- VI** *Teemu Mäenpää, Vesa Nyrhilä ja Matti Linna*  
HAJAUTETUN ENERGIANTUOTANNON  
MALLINNUS ..... 145

# I

## LIIKETOIMINTA HAJAUTETUSSA ENERGIANTUOTANNOSSA

### – TEORIASTA TULOSSIIN

*Pekka Peura, Riku Rikkola ja Timo Hyttinen*

#### Sisältö

1. Tarkoitus, tavoitteet ja rakenne.....	9
2. Hankeohjelman teoreettiset lähestymistava .....	12
2.1 Hajautetun energiantuotannon tutkimuksen motiivit .....	12
2.2 Hajautetun energiantuotannon tyyppitilanteet ja toimintakonsepti.....	14
2.3 Liiketoiminnan suunnittelu .....	16
2.4 Ansaintalogiikat ja arvolupaukset: verkostolähtöinen näkökulma.....	20
2.5 Menetelmien soveltaminen – biokaasulaitos pilottina .....	24
3. Tuloksia: Pilottikohteiden ansainnanlähteet .....	27
4. Analyysi ja johtopäätökset .....	34
Lähdeluettelo .....	39



## 1. TARKOITUS, TAVOITTEET JA RAKENNE

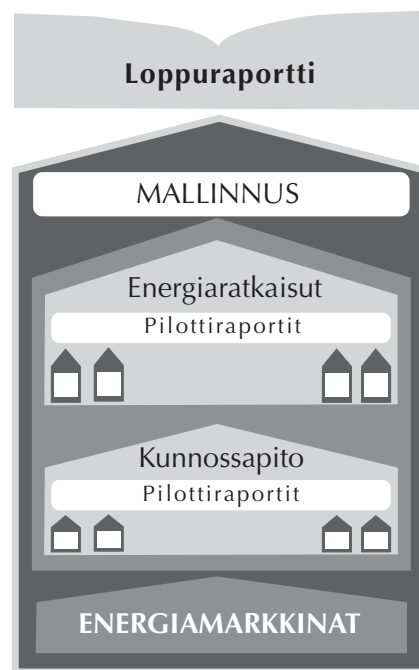
*Liiketoiminta hajautetussa energiantuotannossa* oli eräänlainen sateenvarjo, jonka alla toteutettiin kuusi toisiaan tukevaa osahanketta. Erillishankkeita yhdistivät yhteiset tavoitteet, teoriatausta ja visio hajautetusta energiantuotannosta. Hankeohjelman tavoitteena oli myös yhdistää Vaasan yliopiston eri ainelaitosten osaamista ja vahvuuksia. Hankeohjelma koostui seuraavista osakokonaisuuksista (vastuulaitos ja -henkilö suluissa):

1. Viitekehys, toimintakonsepti ja liiketoimintamallit (Levón-instituutti; kehittämispäällikkö Pekka Peura)
2. Klusteripohjaisen (verkostomallisen) kehittämistyön pilotoiminen; (Vaasan yliopisto, Seinäjoen yksikkö, joht. Tuomas Rouhunkoski)
3. Kaupallisuuden mahdollisuudet ja kannattavuuden laskenta hajautetun energiantuotannon hyödyntämiseksi (Laskentatoimi ja rahoitus, SYLT; professori Erkki K. Laitinen)
4. Kunnossapito erikokoisissa hajautetun energiantuotannon yksiköissä (Tuotantotalous; professori Josu Takala)
5. Markkinat ja markkinointi hajautetun energiantuotannon kehityksessä (Markkinointi, VaasaEMG; Ph.D. Philip Lewis)
6. Hajautetun energiantuotannon mallinnus (Tietotekniikka; professori Matti Linna)

**Tarkoitus.** Hankeohjelman tarkoituksena oli hahmottaa hajautetun energiantuotannon liiketoimintamalleja, niiden osasisältöjä sekä riippuvuuksia suhteessa tämänhetkisen toimintaympäristön eri ulottuvuuksiin. Liiketoimintamallien määrittelyssä on kiinnitetty huomiota erityisesti kilpailu-, rahoitus- ja resurssiympäristöön sekä potentiaalisen asiakaskunnan lisäarvo-odotuksiin. Tarkastelun eri ulottuvuudet on pyritty liittämään osaksi energiantuotannon ja energiamarkkinoiden kokonaisuutta sekä alue- ja paikallistaloutta.

**Tavoitteet.** Hajautetun energiastrategian teknisten ratkaisujen ja laitosyksiköiden kannattavuus edellyttää aina monen osatekijän integroimista. Tällä perusteella liiketoiminnan ja liiketoimintaympäristön tunnistaminen ja tarkempi määrittely sekä yksittäisiä laitoksia että laajempia alueellisia ratkaisuja suunniteltaessa edellyttää ennen kaikkea kokonaisuuden ymmärtämistä. Hankeohjelman tavoitteena oli tämän mukaisesti parantaa ja kiteyttää hajautetun energiantuotannon kokonaisuuden ymmärrystä niin, että sen eri osatekijät ja erityisesti liiketoiminnalliset mahdollisuudet ja sen toimintakyvylle kriittiset edellytykset kyetään määrittämään ennustettavasti erilaisissa tyyppitilanteissa. Lopulliseksi tavoitteeksi asetettiin hajautetun energiantuotannon liiketoiminnan mallintaminen.

**Rakenne.** Hankeohjelman rakennetta sekä sen osien suhdetta kokonaisuuteen ja toisiinsa on havainnollistettu kuvassa 1. Hankkeen ytimen muodostivat ”Energiaratkaisut”, joita tutkittiin kymmenessä pilottikohteessa Etelä-Pohjanmaalla lähinnä Seinäjoen ympäristössä. Kohteet olivat yksittäisiä maatiloja ja niiden yhdistelmiä, keskisuuria ja suuria yrityksiä sekä yritysten ja maatilojen yhdistelmiä. Jokaisesta kohteesta valmistettiin erillinen luottamuksellinen raportti yritysten ja maatilojen käyttöön. Tämä työ vastasi hankeohjelman osioita 1 ja 2, ja sen toteuttivat yhteistyössä Levón-insituutti ja Vaasan yliopiston Seinäjoen yksikkö. Sen tulokset on esitelty tämän julkaisun osassa II.



**Kuva 1.** Liiketoiminta hajautetussa energiantuotannossa -hankeohjelman rakenne sekä eri osien suhde kokonaisuuteen ja toisiinsa.

Hyvin kiinteästi tähän liittyi energiantuotantoyksikön talouslaskentamallin kehittäminen. Se vastasi hankeohjelman osaa 3, ja sen toteutti SYLT (Strategisen yritysjohtamisen laskentatoimen yksikkö; laskentatoimen laitos) yhteistyössä osioiden 1 ja 2 kanssa (osa III tässä teoksessa). Laskentamallin prototyyppi kehitettiin yhdessä pilottikohteessa, ja mallia käytettiin jokaisen kohteen talouden laskennassa. Kustakin kohteesta kerättiin huomattava tausta-aineisto, johon kuuluivat esimerkiksi laskelma kaikkien jätteiden ja muiden energiaksi kelpaavien mate-



riaalien energiasisällöstä, nykyisistä jäte- ja energihuollon kustannuksista sekä uusien investointien kannattavuudesta. Laskentamalli on hankeohjelman tärkein tuoteaihio, jonka ohjelmoinnista ja tuotteistamisesta päätetään myöhemmin.

Tuotantotalouden laitoksen tutkimus oli hankeohjelman osa 4 (julkaisun osa IV), ja sen kohteena oli joukko energiayhtiöitä ja niiden jakeluverkon kunnossapito. Nämä pilottikohteet olivat siten täysin erillisiä aiemmin mainituista pilottikohteista, ja myös niille valmistettiin erilliset luottamukselliset raportit. Tämä osa tuotti energiaratkaisujen laskentaan lähtötietoina arviot kunnossapitoon liittyvistä kustannuksista. Lisäksi työssä kehitettiin sähköverkkoliiketoiminnan ohjaamiseen soveltuva työkalua, joka on mahdollista tuotteistaa myöhemmin.

Hankeohjelman osassa 5 selvitettiin energiamarkkinoiden ja markkinoinnin roolia hajautetussa energiantuotannossa (julkaisun osa V). Tämän työn toteutti VaasaEMG (Vaasa Energy Marketing Group; markkinoinnin laitos), ja sen tarkoituksen oli tuottaa tietoa erityisesti yritysten suhtautumisesta hajautettuun energiantuotantoon.

Hajautetun energiantuotannon mallinnuksen (hankeohjelman osa 6, julkaisun osa VI) toteutti tietotekniikan laitos. Sen pohjana käytettiin aikaisemmassa hankkeessa (HETIKA) laadittua informaatiokarttaa, johon oli tarkoitus yhdistää kaikki tässä tutkimuksessa saatu tieto. Tästä osasta on julkaistu kaksi tieteellistä artikkelia (Nyrhilä ym. 2005a ja 2005b).

Työn keskeiset tulokset ovat osien II ja III pilottikohteista, jotka kaikki olivat biokaasulaitoksia. Niitä tukivat osien IV ja V tulokset, ja kaikki tulokset mallinnettiin osassa VI sekä vedettiin yhteen osassa I. Tarkkaan ottaen työssä käsitellään siis vain biokaasulaitosta hajautetun energiantuotannon yksikkönä. Ajatuksena oli kuitenkin, että biokaasulaitos sisältää mahdollisimman suuren osan hajautetun energiantuotannon toteuttamisen näkökulmista. Tämän perusteella ainakin nyt kehitettyä laskentamallia voidaan soveltaa mihin tahansa hajautetun energiantuotannon konseptiin karsittuna ja kuhunkin erikseen räätälöitynä. Sen sijaan yleiset johtopäätökset hajautetusta energiantuotannosta ovat yhä suuntaantavia, ja ne ovat päteviä vain biokaasulaitoksiin.

## 2. HANKEOHJELMAN TEORETTISET LÄHESTYMISTAVAT

### 2.1 Hajautetun energiantuotannon tutkimuksen motiivit

Hajautettua energiantuotantoa on perusteltu monesta eri näkökulmasta:

- Kotimaassa on suuri uusiutuvien lähellä tuotantopaikkaa syntyvien energian raaka-aineiden potentiaali. Osa näistä on jätteitä tai muuten ongelmallisia aineita, joille ei juuri ole muuta käyttöä, ja jotka aiheuttavat esimerkiksi ympäristöhaittoja.
- Hajautetun energiantuotannon ympäristövaikutukset ovat edullisia (vesistökuormituksen väheneminen, CO<sub>2</sub>-tasapaino), ja laajempi ympäristökeskustelu puoltaa kehitystä (ilmastomuutoksen torjunta ja fossiilisten polttoaineiden käytön haitat sekä ilmapäästöjen rajoitukset ja päästökauppa, raaka-aineiden riittävyyteen ja kestävään käyttöön liittyvät kysymykset).
- Aluetaloudelliset edut ja työllisyys voivat olla huomattavat (rahavirrat keskittyvät kotimaahan ja omalle alueelle). Lisäksi mahdollisia ovat säästöt hävikin ja siirron minimoinnista.
- Strategiset ja kansantaloudelliset hyödyt energiaomavaraisuusasteen kehittämistä nähdään kansallisena etuna.
- Tekniikan kansainvälinen kehitys on Suomelle ja suomalaisille yrityksille mahdollisuus.
- Energiamarkkinoiden vapautuminen teki pienimuotoisten energiantuotantoyksiköiden liittymisen verkkoon uudella tavalla periaatteessa mahdolliseksi.

Käytännössä hajautetun energiantuotannon yleistymisen on silti ollut hidasta. Tilanne ja sille tyypilliset ongelmat ovat pitkälle samanlaiset kuin minkä tahansa innovaation kehityskaaren alku ja vakiintuminen kohtaavat:

- Toistaiseksi kehitys on tapahtunut pääosin tekniikkalähtöisesti ja perustamalla yksittäisiä erillisiä laitoksia. Kehityksen kärki on sirpaloitunut pieniin yksiköihin, joissa tekninen ja taloudellinen optimointi suhteessa aluetalouteen ja ympäröivään energiastrukturiin on jäänyt puutteelliseksi.
- Pienet yksiköt joutuvat vapailla energiemarkkinoilla kilpailutilanteeseen perinteisten ratkaisujen kanssa. Uusien toimijoiden ja toimintojen on vaikea luoda tehokkuutta ja riittävää kannattavuutta erityisesti suhteessa nykyisiin järjestelmiin, joiden työnjako, tekniikka, talous ja koko arvoketjut ovat kehittyneet useiden vuosikymmenten ajan.
- Tuotekehityksen motivaatio on ollut suhteellisen alhainen, ja hajautetun strategian mukaiset tekniset ratkaisut ovat jääneet vaille ”viimeistä silausta”.

Hajautettu energiantuotanto sisältää paljon lupauksia, mutta vastapainona on käytännön ratkaisujen rakenteellinen kehittymättömyys. Hajautetun energiantuotannon tukeminen onkin ennen kaikkea strateginen valinta – se edellyttää, että kansantaloudellisen hyödyn ja strategisten etujen odotusarvon kautta pienten yksiköiden tämän hetken heikko kokonaiskannattavuus paranee. Vastaavasti nämä laajat asiakokonaisuudet on kyettävä tunnistamaan ja määrittämään sekä sovittamaan yhteen ja hallitsemaan käytännössä.

Hajautetun energiantuotannon taloudellisten ehtojen ja liiketoimintaympäristön kannalta keskeisiä lähtökohtia ovat ainakin seuraavat:

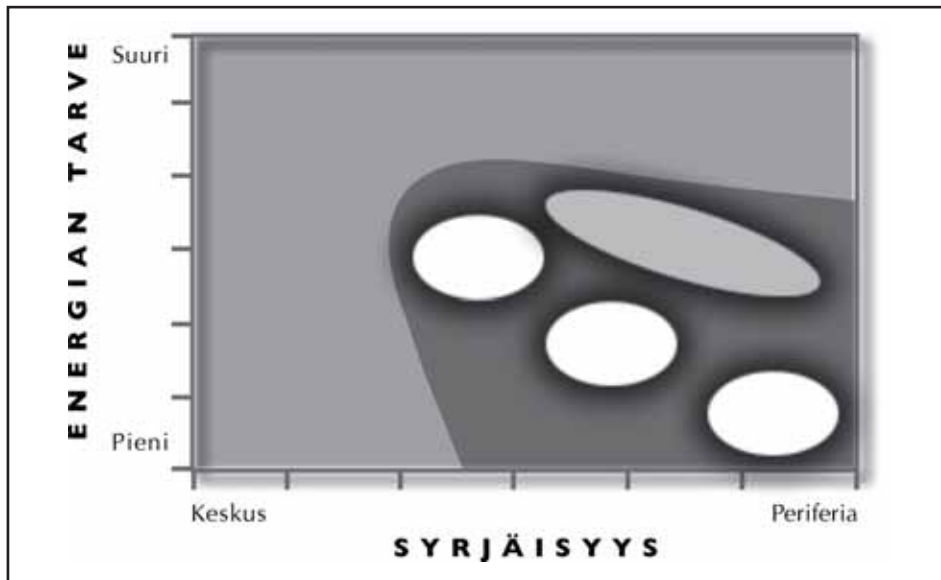
- Uudet ratkaisut on aina sovittava osaksi vallitsevaa energiainfrastruktuuria.
- Jokaisen tuotantolaitoksen on oltava taloudellisesti kannattava.
- Alueelliset vaikutukset talouteen, työllisyyteen, elinkeinoin ja sivuelinkeinoin, ympäristöön ja sosiaaliseen hyväksyntään on määritettävä. Ne ovat perusteita yleiselle tukipolitiikalle ja julkisten yhteisöjen osallistumiselle yksittäisiin ratkaisuihin; tämä osallistuminen voi olla juuri se tekijä, jonka ansiosta kannattavuus paranee yli investointikynnyksen.
- Pelinsäännöt on laadittava sellaisiksi, että hajautettuun energiantuotantoon kohdistuva tuki ei vääristä kilpailua, ja että kustannuspaineet eivät kohdistu liiaksi yksittäisille verkkoyhtiöille (esim. jakeluverkon kunnostus).

Hajautetussa energiantuotannossa on kyse kokonaisuudesta, jossa on tärkeää nähdä yksittäisen tuotantolaitoksen tai -yksikön liiketaloudellisen kannattavuuden yli niin, että koko aluetalous tulee otetuksi huomioon. Jokaisen ratkaisun talous on koottava aktiivisesti räätälöitynä siten, että kunkin kohteen jo olemassa olevat rakenteet ja uudet mahdollisuudet integroidaan kokonaisuuteen. Tilanteeseen sopivat tekniset ratkaisut valitaan tekniikkojen ”työkalupakista”. Tekniikan mahdollisuudet vaikuttavat siihen, mitä osatekijöitä konseptiin kulloinkin liitetään.

Liiketaloudelliset mallit on siten aina ymmärrettävä osana laajempaa kokonaisuutta. Mitään mallia tai energiantuotantoyksikköä ei voida perustaa yksin ilman kytkentöjä kokonaisuuteen ja sen muihin osiin. Näistä syistä hajautetun energiantuotannon kokonaisuus ja sen osat on kyettävä tunnistamaan. Liiketoiminnan ”niche” voidaan määrittää vain tuntemalla koko kenttä osatekijöineen niin, että eri rajapinnat voidaan määrittellä ja mitata ennustettavasti.

## 2.2 Hajautetun energiantuotannon tyyppitilanteet ja toimintakonsepti

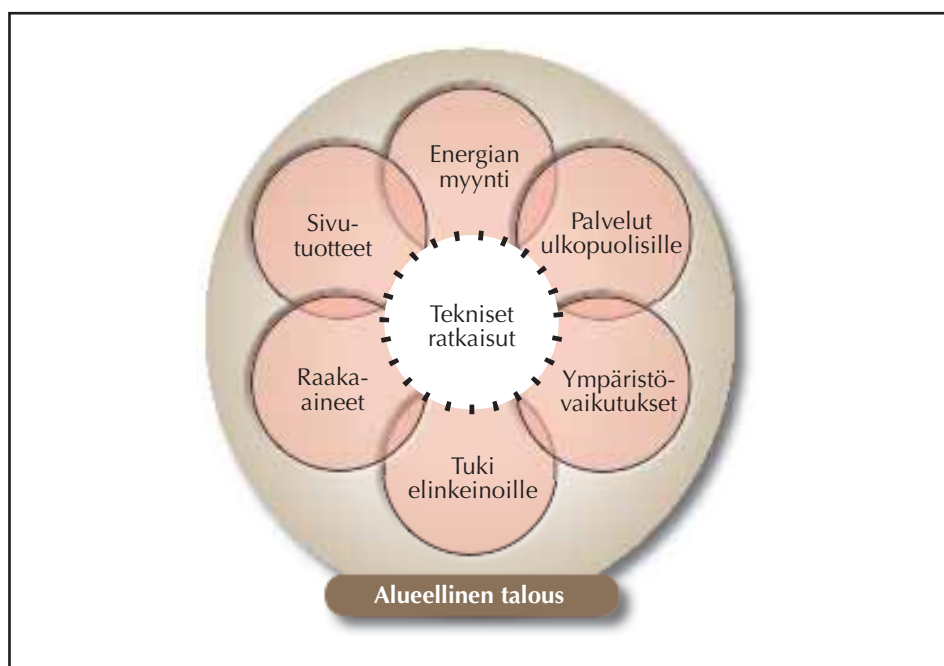
**Tyyppitilanteet.** Tämän hankeohjelman viitekehys perustuu kokonaishahmottukseen hajautetun energiantuotannon tyyppitilanteista, joita on aikaisemmin kuvattu ja määritelty 4 (Hyttinen 2005; kuva 2). Nämä tilanteet määräytyvät pääosin energian tarpeen ja paikallisten uusiutuvien energialähteiden mukaan ja suhteessa energiainfrastruktuurin kehittyneisyyteen tai vaikutuspiiriin. Samalla pyritään hahmottamaan rajapinta tilanteisiin, joissa selvästi tarvitaan keskitetyn energiastrategian mukaisia ratkaisuja, ja tarkoituksena on määrittellä hajautetun energiastrategian potentiaalinen alue. Tyyppitilanteet edustavat samalla teknisten ratkaisujen liiketoimintaympäristöjä.



Kuva 2. Hajautetun energiantuotannon tyyppitilanteet.

**Hajautetun energiantuotannon toimintakonsepti.** Kussakin tilanteessa niin strategian kuin liiketoimintaympäristön näkökulmasta voidaan hahmottaa *hajautetun energiantuotannon toimintakonsepti* (kuva 3): Paikallisen energiantuotantoratkaisun on aina koostuttava useasta tekijästä, jotka on kyettävä integroimaan yhdeksi tuotantoratkaisuksi. Jokaisesta ratkaisusta on mahdollista erottaa liiketaloudellisesti kannattavat osat. Oleellista on kuitenkin määrittää myös liiketoimintayksikköä ”ympäröivät” tukiosat, jotka tuovat yksikölle sosiaalista hyväksyntää sekä alue-

ja kansantaloudellista kannattavuutta. Toimintakonseptit vaihtelevat tyyppi-tilanteiden ja alueellisten tekijöiden mutta myös energiantuotannon eri teknisten ratkaisujen mukaan.



**Kuva 3.** Hajautetun energiantuotannon toimintakonsepti.

Kuvan yläosassa ovat suoria tuloja tuotantolaitokselle tuovat energian myynti sekä palvelut ulkopuolisille (esim. käsittelykapasiteetti teollisuuden organisoille lietteille) ja sivutuotteet (esim. ravinnekonsentraatit käsittelyn jälkeen). Raaka-aineiden paikallinen tai alueellinen hankinta tuo suoraan sivuelinkeinomahdollisuuksia ja toimeentuloa maaseudulle. Tuotantolaitos voi tuoda myös huomattavaa tukea alueen elinkeinoille: esimerkiksi kotieläintiloilla on mahdollisuus luovuttaa lietelanta raaka-aineeksi, näin täyttää levitys- ja lannoitussäädösten ja EU:n ympäristötuen ehdot sekä tehostaa tuotantoaan. Lisäksi lietteen varastointi ja kuljetus ovat toimeentulomahdollisuus.

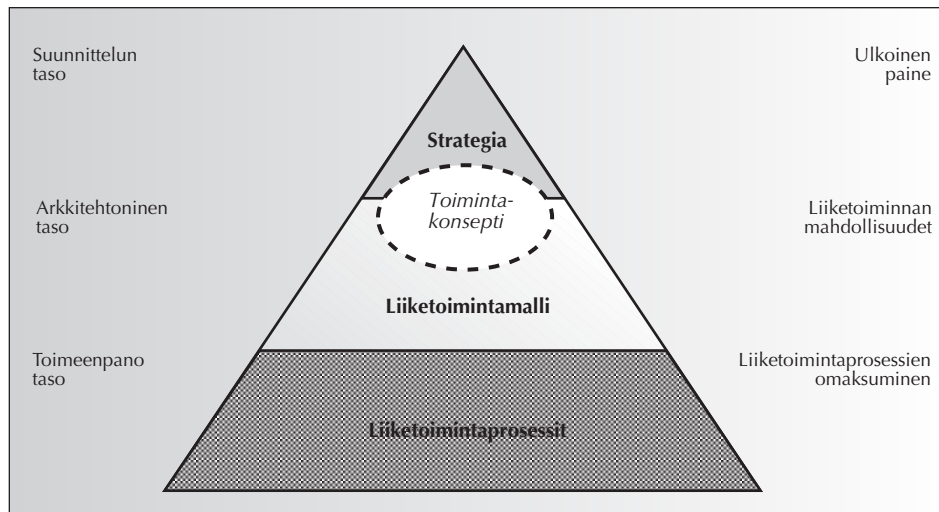
Myös ympäristövaikutukset voivat olla monella tapaa myönteisiä, mikä korostaa hajautetun energiantuotannon ratkaisujen yhteiskunnallista merkitystä. Esimerkiksi kotieläinlietteiden ja mahdollisesti muiden orgaanisten lietteiden mädätykseen perustuva ratkaisu vähentää suorassa suhteessa lietteiden peltolevitystä ja sen mukaisesti vesistöihin kohdistuvaa kuormitusta. Jo säädetty

EU-direktiivien mukaiset kaatopaikkoja ja orgaanisia jätteitä koskevat säädökset edellyttävät joka tapauksessa käsittelykapasiteetin rakentamista – hajautettu energiantuotanto tarjoaa tähän taloudellisen ratkaisun avaimet. Nämä kaikki osatekijät yhdessä rakentavat aluetalouden kokonaisuutta, ja niillä on suora vaikutus erityisesti maaseudun hyvinvointiin.

## 2.3 Liiketoiminnan suunnittelu

DENSY -hankeohjelman yhteydessä toteutettu tutkimus- ja kehitystyö sisälsi pääasiassa liiketoiminnan strategisen ja arkkitehtonisen tason suunnittelua. Työssä käytetty hajautetun energiantuotannon toimintakonseptin käsite sisältää strategisen suunnittelun elementtejä, mutta se pyrkii samalla toimimaan yleisenä hajautetun energiantuotannon liiketoiminnan suunnittelun viitekehyksenä arkkitehtonisella tasolla. Toimintakonseptin suhdetta liiketoimintamallin logiikkaan ja suunnittelun eri syvyystasojen suhdetta toisiinsa on havainnollistettu kuvassa 4.

Strategia on syvin ja analyttisin liiketoiminnan suunnittelun taso, joka ohjaa yrityksen liiketoiminnan toteutusta ja kehitystä vastaamalla toimintaympäristöstä esille nouseviin haasteisiin ja mahdollisuuksiin. Liiketoimintamalli on sitä vastoin yleisen tason kuvaus organisaation liiketoiminnan harjoittamisen toimintatavoista. Yrityksen sisäiset prosessit taas ovat toimintoja, joiden avulla organisaation strategia jalkautetaan liiketoimintamallin osoittamaa logiikkaa noudattamalla käytännön toiminnaksi.



**Kuva 4.** Liiketoiminnan suunnittelun logiikkakolmio (vrt. Osterwald ja Pigneur 2001).

Liiketoiminnan suunnittelu ja mallintaminen hajautetussa energiantuotannossa on vielä kehittymätöntä verrattuna keskitetyn energiateollisuuden sektoreihin. Koko toimialan ja sen piirissä toimivien organisaatioiden liiketoiminnan suunnittelua ja mallintamista pyritäänkin tässä yhteydessä edistämään hyödyntämällä liiketoimintamalleihin liittyvää teoriaviitekehystä ja käsitteistöä.

Yleisesti käsitetään, että liiketoimintamallin käsite kattaa monia liiketoiminnalle oleellisia asiakokonaisuuksia. Huolimatta siitä, että kyseinen käsite on sähköisen liiketoiminnan esiinmarssin myötä tullut muotisanaksi, liiketoimintamallin sisältö ja funktiot ovat monilta osin epäselviä. Vasta viimeaikoina muutamat kirjoittajat ovat julkaisuissaan keskustelleet aiheesta lähemmin toimialariippumattomasta näkökulmasta.

Liiketoimintamallin konseptia voidaan tarkastella havainnollisesti vertaamalla sitä liiketoimintastrategian käsitteeseen. Chesbrough ja Rosenbloom (2002) ovat vertailleet mainittuja käsitteitä konseptuaalisella tasolla ja havainnoineet seuraavassa esitettävät erot niiden välillä:

- *Arvon luominen ja arvon eristäminen*: Liiketoimintamalli keskittyy arvon luomiseen ja siihen miten yritys eristää luomastaan arvosta osan itselleen. Liiketoimintastrategia menee puolestaan pidemmälle ja keskittyy kestäväen kilpailuedun rakentamiseen;
- *Taloudellinen arvontuotto vs. arvontuotto omistajatahoille*: Liiketoimintamalli sisältää kuvauksen liiketoimintaan liittyvästä ansaintalogiikasta; liiketoimintastrategia ottaa puolestaan kokonaisvaltaisesti huomioon omistajatahojen taloudellisen arvontuoton maksimoinnin pitkällä aikavälillä.
- *Oletetut tietämyksen tasot*: Liiketoimintamalli on yleisen tason kuvaus liiketoiminnan harjoittamisen logiikasta; strategia on puolestaan väline liiketoiminnan hienosäätämiseksi liiketoimintamallin osoittamilla osa-alueilla.

Petrovic ym. (2001) tukevat edellisen kirjoittajakaksikon näkemyksiä korostaessaan, että liiketoimintamalli ei ole kuvaus monimutkaisesta sosiaalisesta systemistä kaikkine toimijoineen, vaikuttavuussuhteineen ja prosesseineen. Sen sijaan, liiketoimintamalli kuvaa liiketoimintasynteesin toimintalogiikan arvontuotolle tosiasiallisten prosessien taustalla. Ehkä juuri siksi Osterwalder ja Pigneur (2001) käsittävät liiketoimintamallin viitekehystenä liiketoimintastrategian toteutukselle ja alustana liiketoimintaprosessien hahmottamiselle.

Slywotzkyn (1996) mukaan liiketoimintamallin tulee sisältää selvitys siitä, miten yritys valitsee asiakkaansa ja tekee tarjonnastaan ainutlaatuista. Edellisten lisäksi liiketoimintamalliin tulee sisällyttää ne toimenpiteet ja tehtävät, jotka yritys toteuttaa itse, sekä osoittaa ne toimenpiteet ja tehtävät, jotka yritys näkee tarpeelliseksi ulkoistaa. Slywotzky (1996) korostaa myös liiketoimintamallin tehtävää yrityksen resurssien hyödyntämisessä, markkinakanavien artikuloinnissa, asiakaslisäarvon määrittelyssä ja ansaintamallin laadinnassa.

Timmers (1999) täydentää Slywotzkyn määritelmää täsmentämällä, että liiketoimintamalli voidaan nähdä arkkitehtuurina tuotteelle, palvelulle ja edellisiin liittyville informaatiovirroille. Timmers (1999) korostaa myös, että liiketoimintamalli käsittää kuvauksen yrityksen liiketoiminnalle oleellisista toimijoista ja heidän rooleistaan ja tuo esille osapuolille aikaansaadun lisäarvon ja etuisuudet. Edelleen on oleellista myös tulonlähteiden ja ansaintalogiikoiden määrittely.

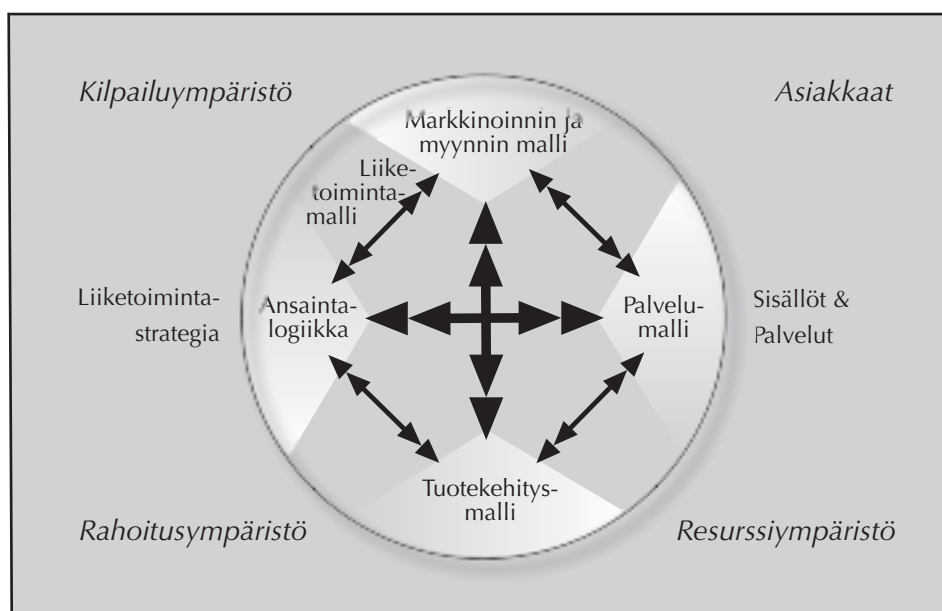
Rappa (2000) käsittelee liiketoimintamallin konseptia arvoperustaisesta näkökulmasta. Rappa näkee liiketoimintamallin kuvauksena niistä menettelyistä, joiden myötävaikutuksella yritys turvaa toimintansa jatkuvuuden. Kysymys on siis yksinkertaisesti toimintatavoista, joilla yritys synnyttää myyntituottoja. Rappan (2000) korostama arvoperustainen näkökulma painottaa, että liiketoimintamallin tulee osoittaa yrityksen positio sille relevantin liiketoimintaverkoston arvosteemissä.

Chesbrough ja Rosenbloom (2002) esittävät myös oman näkemyksensä liiketoimintamalliin sisällytettävistä subjekteista ja niiden funktioista. Se muodostaa kuusivaiheisen logiikan liiketoimintamallin suunniteluun, analysointiin ja kehittämiseen vaikuttavista huomionarvoisimmista tekijöistä. Chesbrough ja Rosenbloom (2002) käsittelevät esittelemänsä kuusivaiheisen logiikan perustaksi arvoväittämän. Se sisältää heidän mukaansa määritelmän sille, miten yritys erilaistaa itsensä kilpailijoista ja mitä lisäarvoelementtejä yrityksen toiminta tuottaa liiketoimintamallissa määritellyille tahoille.

- Arvolupauksen artikulointi: Täsmennys sille miten yrityksen tarjoama tuote, palvelu tai edellisten yhdistelmä saa aikaan käyttäjilleen määritellyn lisäarvon;
- Markkinasegmentin määrittely: Potentiaalisten kohdeasiakkaiden (edunsaajien) identifointi, joille yrityksen tarjonta saa aikaan hyötyjä määritellyissä tarkoituksissa. Tähän yhteyteen liitetään myös ansaintamallin laadinta;
- Yrityksen sisäisen arvoketjun määrittely: Yrityksen tuotosten aikaansaamiseksi ja jakelemiseksi tarvittavien arvoa aikaansaavien sisäisten aktiviteettien ja ulkoisten resurssitarpeiden määrittely;
- Toiminnan kustannusrakenteen ja kannattavuuden arviointi: Kustannusrakenteen ja kannattavuuden arviointi tulee perustaa valittuun arvoväittämään ja yrityksen arvoketjun rakenteeseen;
- Arvoverkostoon asemointi: Yrityksen positio suhteessa sen liiketoimintaverkoston muihin toimijoihin. Oleellista on yhdistää toimittajat asiakkaisiin, identifoida lisäarvontuoton mahdollisuudet ja tarkastella tilannetta vallitsevaa kilpailuasetelmaa vasten;
- Liiketoimintastrategian muodostaminen: Strategian muodostaminen kilpailuaseman säilyttämiseksi ja vahvistamiseksi suhteessa toimialan olemassa oleviin ja uusiin toimijoihin.



Rajala ym. (2001) ovat kiteyttäneet liiketoimintamallin teorian kuvaksi, johon on sisällytetty tärkeimmät liiketoimintamalliin liittyvät käsitteet, sekä pelkistetty kuvaus organisaation ulkoisesta toimintaympäristöstä (kuva 5). Sisäisinä käsitteinä Rajala ym. (2001) näkevät ansaintalogiikan, markkinoinnin ja myynnin mallinnuksen, palvelumallin sekä tuotekehitysmallin. Ulkoisena liiketoimintamallia tukevinä ja rajaavina tekijöinä nähdään rahoitus-, resurssi-, kilpailu- ja asiakasympäristöt. Sisäisten ja ulkoisten sidosryhmien käsittäminen ja listaaminen on tärkeää. Kun halutaan rakentaa liiketoimintamalli hajautettuun energiantuotantoon keskittyvälle toimijalle tai niiden verkostolle, on tärkeää huomata, että merkittäviä sidosryhmiä ei jätetä huomioimatta.



**Kuva 5.** Liiketoimintamalli ja sen sisäiset ja ulkoiset rajapinnat (mukaiillen Rajala ym. 2001).

Oheisen liiketoimintamallin soveltamisessa hajautetun energiantuotannon tyyppi-tilanteisiin voidaan ottaa useita eri näkökulmia. *Densy-hankkeessa yhtenä tarkastelun painopistealueena on ollut ansaintalogiikka.* Yksi tärkeimmistä tutkimushankkeen tavoitteista on ollut tulo- ja kustannusvirtojen tunnistaminen ja mallintaminen, ja tutkimuskohteina ovat olleet biokaasulaitokset. Tarkastelun lopputulokset on mallinnettu kannattavuuslaskelmien ja takaisinmaksuaikaskenaarioiden avulla. Tärkeitä ovat myös vaikutukset ympäristöön, työllisyyteen ja aluetalouteen. Näitä ei kuitenkaan nyt ole voitu mitata, ja ne on otettu huomioon tulosten tarkastelussa lähinnä yleisinä huomioina.

Markkinoinnin ja myynnin malli, sekä palvelumalli ovat liiketoimintamallin osa-alueita, joihin liittyen Densy-hankkeessa tarkasteltiin markkinoiden kokoa, kasvupotentiaalia ja -nopeutta sekä potentiaalisten asiakkaiden asenteita ja odotuksia. Molemmille osaelementeille on oleellista erityisesti arvolupauksen sisältö. Markkinoinnin ja myynnin mallissa tuleekin korostaa niitä lisäarvokijöitä, joiden tarjonta ratkaisee tai lieventää kohdeasiakasryhmien ongelmia. Biokaasulaitoksen yhteydessä tällaisia tyyppitilanteita voisivat olla maatalous- ja eläinperäisestä jätteestä eroon pääseminen, jätteen käsittelyn kustannusten ja työmäärän pieneneminen. Potentiaalisen asiakaskaskunnan asenteisiin ja odotuksiin hajautetussa energiantuotannossa ottaa kantaa erityisesti VaasaEMG:n laatima raportti (osa V).

Palvelumallissa korostuu puolestaan se kokonainen palvelujen yhdistelmä, jolla arvolupauksessa esille tuotu asiakashyöty realisoidaan myynnin ja markkinoinnin mallissa hankitulle asiakkaalle. Oleellista tässä yhteydessä on se, että loppuasiakkaiden ongelmatilanteiden ratkaisua edistetään eikä hankaloiteta. Tyypillisiä tilanteita ovat esimerkiksi biokaasulaitoksen logististen järjestelyjen toimivuus, laitoksen kyky ottaa vastaan ja jalostaa kaasuksi eri jätelajikkeiden yhdistelmiä sekä laitoksen kapasiteetin riittävyys suhteessa asiakaskunnan määrään.

Tuotekehitysmallin sisältö korostuu markkinoiden kehittymisen sekä asiakastarpeiden ja tällöin myös tuotteiden erilaistumisen myötä. Hajautetun energiantuotannon tuotantoteknologioiden käyttöönottoa hidastaa tällä hetkellä erityisesti kysynnän heikkous. Onkin tärkeää löytää ratkaisu siihen, miten kysyntä ja tarjonta voidaan luoda samanaikaisesti. Energiapoliittisten aloitteiden tulisi lähitulevaisuudessa painottaa kysynnän ja tarjonnan aikaansaamista, jotta hajautetun energiantuotannon ratkaisulle voidaan luoda markkinalähtöisyyteen perustuva toimintaympäristö.

## **2.4 Ansaintalogiikat ja arvolupaukset: verkostolähtöinen näkökulma**

Yrityksen asemointi on yksi ansaintalogiikoiden laadintaan vaikuttava merkittävä strateginen päätös. Asemointi koostuu kolmesta toisiaan täydentävästä osa-alueesta: 1) segmentointi, eli asiakas-, tuote- ja kanavavalintojen kautta suoritettu liiketoiminnan määrittäminen, 2) erilaistuminen kilpailijoista kilpailuedun saavuttamiseksi, sekä 3) arvolupauksen, eli asiakkaalle aikaansaadun arvon kuvaaminen yleisesti sekä kilpailuetua aikaansaavien eri positioiden osalta. Arvo asiakkaalle muodostuu asiakkaan kokemasta tuotteen ominaisuuksista ja palvelun laadusta suhteessa kokonaiskustannuksiin verrattuna kilpailijoihin (Hannus ym. 1999). Asiakkaan on siis koettava yrityksen tuottamat ratkaisut laadukkaampina hin- taansa nähden kuin kilpailijoiden vastaavat tuotteet.

Seuraavassa ansaintaa tarkastellaan kolmesta näkökulmasta:

- a) Suljetun ansainnan malli
- b) Puoliavoimen ansainnan malli
- c) Avoimen ansainnan malli

*Suljetun ansainnan mallissa* kustannus- ja tulovirtojen muodostumiseen osallistuva verkosto koostuu kannattavuuden mahdollistavan kriittisen massan ja arvolupauksen (-lupausten) saavuttamisen kannalta välttämättömistä toimijoista. Suljetun ansainnan mallille on ominaista, että tuotannossa hyödynnettävä raaka-aine tuotetaan ja tuotteet hyödynnetään toimijoiden verkostossa.

*Puoliavoimen ansainnan mallissa* kustannus- ja tulovirtojen muodostumiseen osallistuvat toimijat eivät ole välttämättömiä kriittisen massan saavuttamisen kannalta. Toimijat liitetään verkostoon joko saavutettavan liiketaloudellisen voiton tai kustannussäästön vuoksi.

*Avoimen ansainnan mallissa* toimijat osallistuvat kustannus- ja tulovirtojen muodostumiseen tulevaisuudessa. Tämä kuitenkin edellyttää jatkossa panostuksia muun muassa tuotekehitykseen ja markkinointiin.

*Arvolupaus ja ansaintamallit biokaasulaitoksen näkökulmasta:* Biokaasulaitos ymmärretään yleensä energiantuotantolaitoksena. Laitos voi kuitenkin energian myynnin ohessa tarjota esimerkiksi jätteenkäsittelypalveluja. Lisäksi laitoksen toiminnalla voi olla merkittäviä ympäristöllisiä ja aluetaloudellisia vaikutuksia. Biokaasulaitoksen antama arvolupaus voi siis olla esimerkiksi liiketaloudellisen tuoton ohella kustannussäästö, ongelman ratkaisu, imagon parantaminen tai ympäristöllisten ongelmien lieventäminen.

### **a) Suljetun ansainnan malli**

Suljetun ansainnan malli koostuu biokaasulaitoksen tulo- ja kustannusvirroista, jotka muodostuvat biokaasulaitoksen ja sen arvolupauksen saavuttamisen kannalta välttämättömien toimijoiden välille. Nämä toimijat edistävät aktiivisesti biokaasulaitoshanketta ja niiden sitoutumisaste on korkea, koska ne näkevät biokaasulaitoksen tuovan etuja oman ydinliiketoimintansa kannalta. Sitoutuneisuudella on kuitenkin rajansa: Laitoksen tarjoamien palveluiden tai energian on oltava hinnaltaan kilpailukykyisiä. Hyvin todennäköisesti toimijat ovat biokaasulaitosyhtiön osakkaita.

Suljetun mallin toimijaverkoston avulla biokaasulaitoksen arvolupausten kannalta välttämättömät prosessit (esim. raaka-aineen hankinta, jätteenkäsittely ja energian myynti) toimivat (tai niillä on edellytykset toimia) suunnitellulla tavalla. Energiantuotannossa hyödynnettävä raaka-aine tuotetaan ja tuotettu energia kulutetaan toimijoiden verkostossa.

Toimijat voivat olla esimerkiksi (arvolupaus suluissa):

- teollisuusyrityksiä, joiden tuotannossa syntyvät jätteet on käsiteltävä lain edellyttämällä tavalla (ongelman ratkaisu)
- maatiloja, joiden täytyy päästä eroon lietteestä levityspinta-alan tai varastointikapasiteetin puuttuessa (ongelman ratkaisu)
- yrityksiä, jotka ostavat laitoksen tuottamaa energiaa (kaasua) vaihtoehtoisia polttoaineita edullisemmin (kustannussäästö)
- päästökaupan piirissä toimivia teollisuusyrityksiä tai energiantuotantolaitoksia, jotka korvaavat fossiilisia polttoaineita biokaasulla (kustannussäästö, imagon paraneminen)

Suljetun ansainnan mallille ominaisia piirteitä ovat:

- toimijoiden ja toiminnan paikallisuus
- suunnitelmallisuus
- johdonmukaisuus
- pitkäjänteisyys
- sitoutuneisuus
- vakaus
- toiminnan perustan lumenen
- tarjonta = kysyntä

Biokaasulaitoksen suljetun ansainnan mallin mukaisella kuvauksella on useita liityntöjä liiketoimintamallin muihin osiin:

*Markkinoinnin ja myynnin mallissa* tulee erityisesti huomioida biokaasulaitoksen ympärille rakennettavan monipuolisen toimijoiden verkoston vaatimukset. Laitos ei vain osta raaka-aineita ja tuota energiaa, vaan sen kannattavuus perustuu myös ongelmien ratkaisuun, josta monet raaka-aineen toimittajat ovat valmiita maksamaan. Biokaasulaitos nähdään myös ympäristöystävällisenä ratkaisuna, johon osallistuvat voivat parantaa ympäristöimagoaan. Markkinoinnin ja myynnin mallin rooli on tärkeä, koska toimijoiden sitouttaminen ja sitoutuminen on toiminnan edellytys.

*Palvelumallissa* korostuvat tekijät, joiden ansiosta verkostossa olevien toimijoiden ydinliiketoiminnan harjoittaminen helpottuu. Esimerkkinä mainittakoon sikalan lietteen kuljetuksiin ja käsittelyyn tarvittavan työmäärän pieneneminen.

## **b) Puoliavoimen ansainnan malli**

*Puoliavoimen ansainnan mallissa* olennaista ovat tulo- ja kustannusvirrat, joiden ansiosta biokaasulaitos saa lisätuloja tai minimoi kustannuksia (esimerkiksi suhteessa käsiteltyyn jätemäärään nähden) jo sinänsä kannattavan toiminnan lisäksi. Tuotteita myydään ja raaka-aineita hankitaan pelkästään taloudellisiin perusteisiin.

Toimijoiden paikallisuus ei ole oleellista. Käytännössä tämä voi tarkoittaa:

- hankitaan raaka-aineita, joiden kaasuntuotto on suuri
- hankitaan raaka-aineita, joiden esikäsitteilykustannukset ovat pienet
- kaasuntuoton optimoinnin kannalta tarkoituksenmukaisen raaka-aineen hankintaa (yhteismädätys, C/N-suhde, kuormitus)
- porttimaksujen osuuden lisäämistä esimerkiksi teollisuusjätteiden vastaanottoa lisäämällä
- energian myyntiä
- energian ostoa

Puoliavoimelle mallille ominaista on:

- alueellisuus (ei-paikallisuus)
- taloudellisen kannattavuuden kohentaminen
- tarjonta  $\approx$  kysyntä
- väliaikaisuus

### c) Avoimen ansainnan malli

*Avoimen ansainnan malli* muodostuu tulevaisuudessa nähtävissä olevista biokaasulaitoksen tulo- ja kustannusvirroista. Tässä mallissa kuvataan biokaasulaitoksen tarjoamia mahdollisuuksia, jotka eivät vielä ole realisoitumassa tulovirtoina. Näitä on löydettävissä useita, sillä biokaasulaitos voidaan nähdä edelleen kehityskaarensa alkupäässä olevana kokonaisuutena.

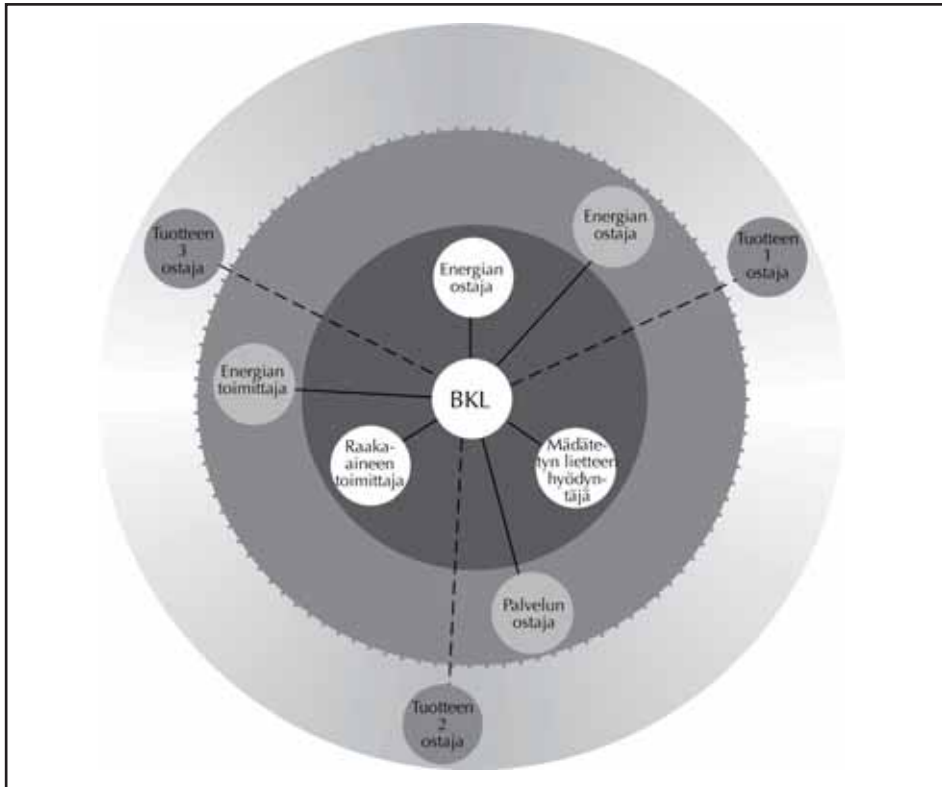
Jotta tulovirrat realisoituisivat, tarvitaan muun muassa tuotekehitystä ja markkinointia. Tulovirrat syntyvät esimerkiksi biokaasusta ja mädätetystä lietteestä valmistettavien jalostusarvoltaan korkeampien tuotteiden myynnistä. Tuote-esimerkkejä ovat liikennepolttoaine, hiilidioksidi sekä erilaiset lannoitteet ja ravinnerikasteet. Metaani on myös mahdollinen vedyn raaka-aine ennustettuun vetytalouteen siirryttäessä.

Avoimen ansainnan mallille ominaisia piirteitä ovat:

- tuotekehitystarve
- epävarmuus
- ei tarjontaa, ei kysyntää (muna-kana)

Ansainnan mallien mukaisten toimijoiden suhdetta biokaasulaitokseen voidaan kuvata useilla parametreilla. Suljetun ansainnan mallin toimijat (kuva 6) sijaitsevat biokaasulaitoksen läheisyydessä (sisimmäinen kehä) ja vastaavasti ulommaisella kehällä ovat avoimen mallin toimijat. Kun siirrytään sisimmältä kehältä kohti ulointa kehää, havaitaan seuraavat muutokset:

- maantieteellinen etäisyys kasvaa
- toimijoiden sitoutuneisuus pienenee
- toiminnan muuttuvat kustannukset kasvavat
- tuotteiden jalostusarvo kasvaa.



**Kuva 6.** Biokaasulaitoksen (BKL) ansainnan mallit (I= suljettu; II= puoliavoin; III= avoin) ja esimerkkejä keskeisistä toimijoista.

## 2.5 Menetelmien soveltaminen – biokaasulaitos pilottina

Hankeohjelman käytännön tutkimus toteutettiin pilottikohteissa, jotka koostuivat osallistuneiden yritysten, mautilojen ja muiden rahoittajien ehdottamista toimipisteistä sekä niiden yhdistelmistä. Tässä mielessä ohjelman osa V oli itsenäinen, ja sen tutkimuskohteet olivat näistä piloteista erilliset. Tämän tutkimuksen kaikki pilottikohteet ovat biokaasulaitoksia, jotka käsittelevät orgaanisia aineksia mädättämällä. Tähän valintaan päädyttiin seuraavista syistä:

Ensinnäkin, biokaasulaitoksen toteuttamiskonsepti on monipuolinen ja sen välityksellä voidaan tutkia kaikkia tämän työn kannalta tärkeitä lähestymistapoja. Ajatuksena oli myös, että se yksistään sisältää mahdollisimman suuren osan hajautetun energiantuotannon toteuttamisen näkökulmista. Muihin energianlähteisiin ja teknisiin ratkaisuihin perustuvat konseptit ovat yksinkertaisempia, ne sisältävät periaatteessa samoja mutta eivät koskaan useampia elementtejä kuin biokaasulai-

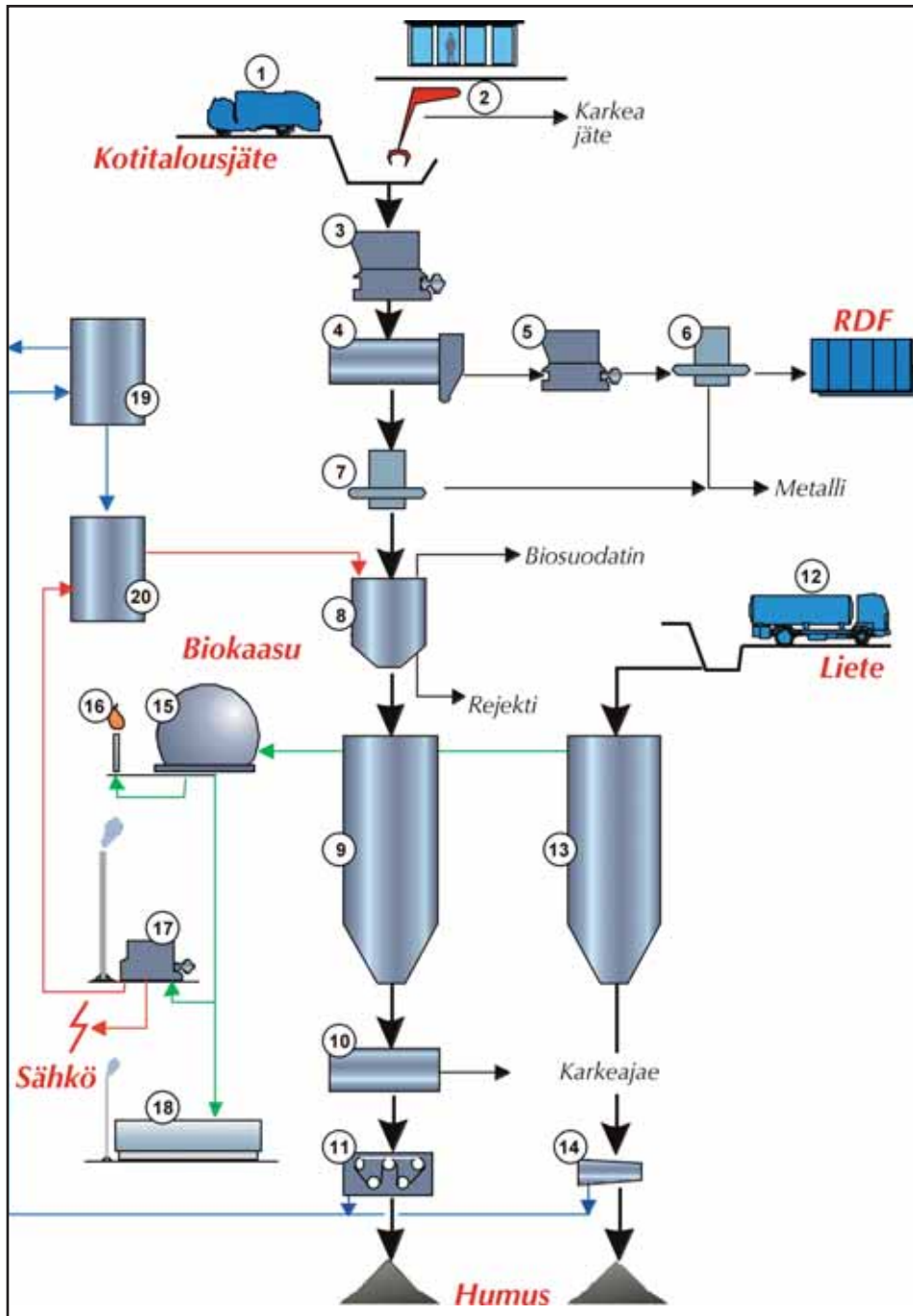
tos. Näin ollen nyt saatuja tuloksia voitaisiin soveltaa mihin tahansa hajautetun energiantuotannon konseptiin karsittuna ja kuhunkin erikseen räätälöitynä.

Toiseksi, biokaasulaitos soveltuu juuri Etelä-Pohjanmaalle erityisen hyvin. Sen alueella syntyy suuria määriä orgaanisia ja hyvin mädätykseen soveltuvia materiaaleja, kotieläinten lietteistä teollisuuden suuriin kertymiin. Nämä ovat myös tässä tutkimuksessa tärkeimmät raaka-aineen lähteet. Kolmanneksi, hankkeeseen osallistuvat yritykset, maatilat ja muut rahoittajat tukivat tätä valintaa ja pitivät sitä paitsi omalta myös alueen kannalta sopivana. Esimerkiksi laitevalmistus nähtiin tulevaisuuden mahdollisuutena alueen yrityksille ja sitä haluttiin edistää. Lisäksi tärkeänä pidettiin mahdollisuutta keskittyä yhteen tekniseen ratkaisuun, jotta siihen voitiin paneutua riittävän syvällisesti.

Mädätys on anaerobinen biologinen prosessi, jossa orgaanisen aineksen hajoaminen tapahtuu useiden bakteeriryhmien yhteistyön kautta. Mädätykseen soveltuvia tavanomaisia aineksia ovat maatalouden eläin- ja kasviperäiset jätteet, jäteveden puhdistamolietteet, teollisuuden orgaaniset jätteet sekä muut biojätteet. Anaerobisen hajoamisen päätuote on metaania, jonka lisäksi prosessissa syntyy hiilidioksidia sekä pienempiä määriä muun muassa vetysulfidia. Biokaasulaitoksessa mädätys tapahtuu hapettomissa oloissa biokaasureaktorissa joko mesofiilissä ( $35^{\circ}\text{C}$ ) tai termofiilissä ( $55^{\circ}\text{C}$ ) olosuhteissa.

Esimerkkinä biokaasulaitoksen prosessista on seuraavassa esitelty Vaasan seudulla jätehuollosta vastaavan Stormossen Oy:n biokaasulaitoksen prosessikuvaus (kuva 7). Biokaasulaitos käsittelee biojätteitä ja puhdistamolietteitä. Prosessin vaiheet ovat seuraavat (Stormossen 2004):

Syntypaikkalajiteltu keittiöjäte kipataan (1) vastaanottosiiloon ja väärin lajiteltu materiaali poistetaan (2). Jäte murskataan esimurskaimella (3) ja orgaaninen jäte erotetaan pyörivällä rumpuseulalla (4) poltettavasta jätteestä (RDF). Massa kulkee metallien erottamiseksi magneetin (7) kautta sekoitussäiliöön (8), jossa jäte sekoitetaan esilämmitettyyn veteen ja muodostuu puuomainen biomassa. Seos lämmitetään ( $55^{\circ}\text{C}$ ) ja raskas materiaali (kivet, lasi) poistetaan. Seos johdetaan bioreaktoriin (9), jossa sitä mädätetään kaksi viikkoa. Reaktori on tilavuudeltaan  $1700\text{ m}^3$ . Tuotteina saadaan biokaasua sekä hygieenistä humusmultaa. Rinnakkaisessa reaktorissa (13) käsitellään puhdistamolietettä, jonka mädätys ei edellytä esikäsitteilyä. Liette lämmitetään  $55^{\circ}\text{C}$ :een ja sitä mädätetään kolme viikkoa, minkä jälkeen mädätetty liete kuivataan lingolla. Biokaasu johdetaan välivarastoon (15), minkä jälkeen osa kaasusta käytetään Stormossenin omissa kaasumoottorissa (17) sähkön- ja lämmöntuottamiseen ja osa johdetaan putkea pitkin muille kuluttajille (18). Mahdollinen ylijäämäkaasu poltetaan soih tupolttimessa (16).



Kuva 7. Stormossen Oy:n biokaasulaitoksen prosessi (Stormossen 2004).



### 3. TULOKSIA: PILOTTIKOHTTEIDEN ANSAINNANLÄHTEET

Hankeohjelmassa toteutetut talouslaskelmat sisältävät osia kaikista edellä kuvatuista malleista. Laskelmissa lähtökohtana on ollut myös yksittäisten toimijoiden ongelmien ratkaiseminen, eikä pilottikohteiden perustaksi erityisesti pyritty luomaan suljetun ansainnan mallin mukaista kestäväää pohjaa. Tämä näkyikin monissa laskelmissa ja tuo esiin monet mahdollisuudet parantaa kohteiden kannattavuutta.

Pilottikohteita tarkasteltiin kolmesta erilaisesta hajautetun energiantuotannon näkökulmasta seuraavasti:

- I Itsenäinen tuotantoyksikkö
- II Energian tuotantoyksikkö tuotannollisen yrityksen yhteydessä
- III Kunnallinen tuotantoyksikkö

Tämän jaon mukaisesti pilottikohteissa tarkastellut laitoskonseptit on lueteltu alla:

#### I Itsenäinen tuotantoyksikkö

1. Atrian jätteitä ja maatalouden lietteitä ja lantaa hyödyntävä biokaasulaitos. Viljelijät tuovat ja vievät lietteitä ilman maksua. Viljelijät maksavat vain kuljetuksen. Atria käyttää biokaasulaitoksen tarvitseman lämmön tuotannon jälkeen jäävän ylijäämäkaasun.
2. Kuten edellinen; erona ainoastaan, että viljelijät maksavat siitä, että saavat viedä laitokselle lietettä. Laitos maksaa kuljetuksesta.
3. Atrian jätteitä ja maatalouden lietteitä ja lantaa hyödyntävä biokaasulaitos, jonka kaasu käytetään biokaasulaitoksen omaan lämmöntuotantoon sekä liikenteen polttoaineeksi.
4. Yhdeksän nurmolaisen maatilan lietteiden ja lannan hyödyntämiseen perustuva liikennepolttoainetta tuottava biokaasulaitos.

#### II Energian tuotantoyksikkö tuotannollisen yrityksen yhteydessä

5. Biokaasulaitos on Atrian omistuksessa. Laskelmassa huomioidaan Atrian nykyisten jätteenkäsittelykustannusten vaikutus täysimääräisenä.
6. Yhden maatilan biokaasulaitos, joka käyttää raaka-aineenaan sikalietettä sekä hienojakoiseksi silputtua ruokohelpeä.
7. Broilerilannan kuivamädätys maatilalla.
8. Lapuan Nahka Oy:n jätteitä, muuta teollisuusjätettä, puhdistamolietettä sekä maatalouden lietteitä hyödyntävä biokaasulaitos. Kaasua käytetään pääasiassa biokaasulaitoksen omaan lämmöntuotantoon sekä höyryn tuotantoon nahkatehtaalle.
9. Kuten edellä mutta kaasua käytetään ensisijaisesti sähkön ja lämmön yhteistuotantoon.

### III Kunnallinen tuotantoyksikkö

10. Biokaasulaitos käsittelee jätevedenpuhdistamoiden lietteitä sekä erillis-kerättyä biojätettä. Tuotettava kaasu käytetään biokaasulaitoksen omaan lämmön ja sähkön kulutukseen. Jäljelle jäävä sähkö ja lämpö myydään Etapin muille yksiköille.
11. Kuten edellä mutta kaasu jalostetaan ja myydään liikennepolttoaineena. Biokaasulaitoksen tarvitsema sähkö ja lämpö ostetaan ulkopuolelta.

Yhteenveto tämän hankeohjelman biokaasulaitospilottien laskennan tuloksista on esitetty taulukoissa 1-2. Atriaan liittyvistä pilottikohteista on esitetty vain taloudellisia tunnuslukuja, koska muut tiedot ovat luottamuksellisia. Tuloksia on käsitelty lähemmin teoksen osissa II ja III.

**Taulukko 1a.** Arviot laitospilottien investointikustannuksista ja kaasuntuotto-potentiaalista sekä kustannukset ja tuotot (1000 €; kohteet 4, 10 ja 11; numerointi sama kuin tekstissä).

	4.	10.	11.
<b>Investointi</b>			
Laitosinvestointi	3000,0	11912,0	13712,0
Investointituki	720,0	2144,2	2468,2
Kaasuntuottopotentiali GWh/a	4,8	13,1	13,1
<b>Kustannukset</b>			
Muuttuvat kulut	91,3	582,0	1020,0
-josta kuljetuskustannuksia	44,4	144,0	144,0
Kiinteät kulut	150,0	582,0	582,0
Poistot	152,0	651,2	749,6
Lainan korkokulut	47,9	205,1	236,1
Verot	0	0	0
<i>Yhteensä</i>	<i>441,2</i>	<i>2020,3</i>	<i>2587,7</i>
<b>Tuotot</b>			
Porttimaksut	0	2150,0	2150,0
Energian myynti	245,5	45,9	953,0
Lopputuotteiden myynti; muut	0	0	0
<i>Yhteensä</i>	<i>245,5</i>	<i>2195,9</i>	<i>3103,0</i>

**Taulukko 1b.** Arviot laitospäätösten investointikustannuksista ja kaasuntuottopotentiaalista sekä kustannukset ja tuotot (1000 €; kohteet 6-9; numerointi sama kuin tekstissä).

	6.	7.	8.	9.
<b>Investointi</b>				
Laitosinvestointi	250,0	755,0	5000,0	5500,0
Investointituki	75,0	226,5	1200,0	1320,0
Kaasuntuottopotentiaali GWh/a	0,74	1,5	12,3	12,3
<b>Kustannukset</b>				
Muuttuvat kulut	0	0	236,2	198,0
-josta kuljetuskustannuksia	0	0	153,0	153,0
Kiinteät kulut	*1,0	2,0	360,0	405,0
Poistot	11,7	35,2	253,3	278,7
Lainan korkokulut	3,7	11,1	79,8	87,8
Verot	1,0	1,4	35,5	34,5
<i>Yhteensä</i>	<i>17,3</i>	<i>49,8</i>	<i>964,8</i>	<i>1004,0</i>
<b>Tuotot</b>				
Laskennalliset tuotot: ostoenergiamenojen pienentyminen	9,7	53,8	131,4	233,6
Laskennalliset tuotot: jätteenkäsittelymenojen pienentyminen	0	0	93,9	93,9
Porttimaksut	0	0	732,5	732,5
Energian myynti	10,6	0	108,1	42,2
Lopputuotteiden myynti; muut	0	0	0	0
<i>Yhteensä</i>	<i>20,3</i>	<i>53,8</i>	<i>1065,9</i>	<i>1102,2</i>

\* Arvio; muuttuvat ja kiinteät kustannukset yhteensä

**Taulukko 2a.** Laitoskonseptien taloudellisia tunnuslukuja (kohteet 1-4; numerointi sama kuin tekstissä).

	1.	2.	3.	4.
Nykyarvo (NPV) €	-2794,2	-1767,2	4364,5	-2235,8
Sisäinen korkokanta (IRR) %	-4	-1	13	-29
(IRR)-investointi vuonna 1 %	-5	-1	16	-31
Alkuinvestoinnin takaisinmaksuaika a	>15	>15	6,34	>15
Diskontattu takaisinmaksuaika a	>15	>15	7,49	>15
Energian tuotantokustannus €/MWh	58,82	62,07		
Energian tuotantokustannus (pelkät käyttökustannukset) €/MWh	35,23	38,49		
Energian tuotantokustannus (pelkkä investointi) €/MWh	17,93	17,93		

**Taulukko 2b.** Laitoskonseptien taloudellisia tunnuslukuja (kohteet 5-11; numerointi sama kuin tekstissä).

	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
Nykyarvo (NPV) €	-2489,2	13,8	-8,9	696,0	629,7	1126,0	4602,6
Sisäinen korkokanta (IRR) %	-3	6	4	7	7	6	10
(IRR)-investointi vuonna 1 %	-4	7	5	9	8	8	12
Alkuinvestoinnin takaisinmaksuaika a	>15	9,73	10,69	8,86	9,12	9,47	7,49
Diskontattu takaisinmaksuaika a	>15	12,95	14,78	11,40	11,95	12,49	9,20
Energian tuotantokustannus €/MWh	62,97	26,83	56,29	35,94	41,97	1333,5	
Energian tuotantokustannus (pelkät käyttökustannukset) €/MWh	36,77	3,95	2,26	172,41	110,40	768,3	
Energian tuotantokustannus (pelkkä investointi) €/MWh	19,93	46,11	39,86	73,26	51,02	429,8	

Seuraavassa tarkastellaan kutakin tuotantoyksikkötyyppiä erikseen lähinnä edellä kuvattujen ansainnan mallien näkökulmasta:

### **I Itsenäinen tuotantoyksikkö**

Itsenäistä tuotantoyksikköä edustavat Atrian läheisyyteen sijoittuvat laitokset (lukuun ottamatta Atrian omistukseen perustuvaa) sekä Nurmon maatilojen laitos. Atrian läheisyyteen sijoittuvissa laitoksissa tuotettua kaasua käytetään biokaasulaitoksen omaan lämmöntarpeeseen sekä Atrialla tai liikennepolttoaineena. Nurmon maatilojen laitoksessa tuotettu kaasu käytetään biokaasulaitoksen lämmön tarpeen tyydyttämisen lisäksi liikennepolttoaineena.

Atrian läheisyyteen sijoittuvien laitosten kannalta välttämättömät toimijat ovat Atria sekä maatilat raaka-aineiden toimittajina sekä Atria kaasun ostajana. Nämä paikalliset toimijat muodostavat suljetun ansainnan mallin mukaisesti laitoksen kannattavuuden kannalta kriittistä massaa. Ne toimittavat laitokselle välttämättömän raaka-aineen ja ostavat laitoksen tuottaman energian.

Sekä Atrian että maatilojen liikennepolttoainetta tuottavien laitosten energian (kaasun) ostajat löytyvät suljetun ansainnan mallin mukaisten toimijoiden ulkopuolelta. Vaikka laitosten raaka-aineiden hankinta perustuu paikallisiin arvolupauksin sitoutettuihin toimijoihin, niin energian myydään avoimen ansainnan mallin mukaisille toimijoille. Tästä syystä näiden laitoskonseptien toteutettavuus tällä hetkellä on heikompi kuin kahden edellä kuvatun – liikennepolttoaineen markkinoita ei vielä ole olemassa. Markkinoiden muodostumisen jälkeenkin kannattavuus on monien jopa yksittäisten kuluttajien käyttäytymisen varassa.

Myöhemmin tässä teoksessa (osa II, taulukko 18) esitetään laitoskonseptien ensimmäisen vuoden tulokset verojen jälkeen siten, että alkuinvestointia ei ole huomioitu. Taulukosta nähdään, että kahden Atrian läheisyyteen sijoittuvan sekä Nurmon maatilojen laitosten ensimmäisen vuoden tulokset ovat positiiviset, vaikka kannattavuutta kyseisillä konsepteilla ja laskelmissa tehdyillä oletuksilla ei investointi huomioiden löytynytäkään. Atrian läheisyyteen sijoittuva laitos, jonka tuottama biokaasu käytetään liikennepolttoaineena, sen sijaan on kannattava myös investointi huomioiden.

Atria sekä maatilat muodostavat verkoston, jonka ansiosta biokaasulaitoksen kriittinen massa saavutetaan. Toisaalta myös biokaasulaitos lunastaa antamansa ongelman ratkaisuun liittyvän arvolupauksen näille toimijoille. Arvolupauksen mukaisesti laitos käsittelee toimijoiden jätteitä säädösten mukaisesti, ympäristöllisesti ja taloudellisesti kestäväällä tavalla. Arvolupauksen lunastamisen avulla laitos sitouttaa toimijoita. Palveluiden ja tuotteiden hintakilpailukyky on toinen tärkeä sitoutumisen edellytys.

Tässä hankeohjelmassa tarkastelluista neljästä itsenäisistä tuotantoyksiköistä ainoastaan yksi oli tehtyjen liiketaloudellisten laskelmien (mm. takaisinmaksuajat) perusteella kannattava. Näitä tuloksia esitellään tarkemmin tämän teoksen osassa

II. Kuitenkin näiden konseptien voidaan sanoa rakentuvan suhteellisen terveelle ja turvalliselle pohjalle, koska ne perustuvat suljetun ansainnan mallin mukaisiin sitoutettuihin toimijoihin.

Teoksen osassa II on lueteltu tekijöitä, joiden avulla laitospäätösten kannattavuutta voidaan parantaa. Oleellista kuitenkin on, että suljetun mallin mukaisesti on löydetty sitoutuneet toimijat, kyetään lunastamaan annetut arvolupaukset ja löydetään kannattavuuden saavuttamisen kannalta välttämätön kriittinen massa. Lisätuloja ja kustannusten minimoimisen mahdollisuuksia voidaan etsiä puoliavoimen ansainnan mallin mukaisista toimijoista. Tämä on käytännössä mahdollista, mikäli suljetun mallin mukaisesti kannattavuus saavutetaan esimerkiksi laitoksen käyttöasteella 75 %.

## **II Energian tuotantoyksikkö tuotannollisen yrityksen yhteydessä**

Tätä näkökulmaa edusti viisi tarkasteltua laitospäätöstä. Kaikissa lähtökohtana oli laitoksen omistajan ongelman ratkaisu. Atrian laitoksen avulla haettiin vaihtoehtoa nykyiselle jätteenkäsittelytavalle ja kaasulla korvattiin nykyisin lämmön tuotannossa käytettävää raskasta polttoöljyä. Lapuan Nahkan laitospäätöksillä haettiin vaihtoehtoa nykyiselle lämmöntuotannon ratkaisulle sekä jätteiden käsittelylle. Jalasjärven ja Seinäjoen maatalalaitoksilla pyrittiin saavuttamaan mahdollisimman suuri maatalan energiaomavaraisuus.

Biokaasulaitoksen tuottaman energian ja jätteenkäsittelypalvelun avulla korvataan omistajayritysten nykyisin käyttämiä toimintatapoja, palveluita tai energiaa. Nämä on laskelmissa huomioitu laskennallisina tuloina. Ne ovatkin merkittävimmät tuloerät Atrian laitokselle, koska omien jätteiden lisäksi laitoksessa käsitellään vain maatalouden lietteitä ja lantaa, joista ei oletettu porttimaksuja tässä maksettavan.

Myös Lapuan Nahkan laitospäätöksissä laskennalliset tuotot ovat merkittävät. Näihin laitoksiin oletetaan kuitenkin otettavan käsiteltäväksi myös muita teollisia ja kunnallisia jätteitä, joten porttimaksujen ja energianmyynnin tuotot suljetun ansainnan mallin mukaisilta toimijoilta muodostavat laskennallisia tuottoja suuremman tuloeran. Maatilakohtaisissa laitoksissa laskennalliset ostoenergian korvaamisesta tulevat tuotot ovat myös erittäin merkittävässä roolissa.

Tuotannollisen yrityksen yhteydessä laitokset toimivat ensisijaisesti omistajansa ongelman ratkaisijana, mutta niiden tulee tapahtua liiketaloudellisesti kannattavasti. Yritysten kynnys lähteä osaomistajaksi (kuten itsenäinen energiantuotantoyksikkö) on huomattavasti alempi kuin investoida täysin omaan laitokseen, joka sinänsä ei edusta yritysten ydinliiketoimintoja. Maatiloille tilanne voi olla toinen, koska laitokseen voi sisältyä muita merkittäviä arvolupauksia tilojen pääasiallisen liiketoiminnan kannalta. Esimerkiksi lietteiden vastaanotto ja käsittely levityspinta-alan puuttuessa sekä raaka-lietteen hajuongelma voivat olla tällaisia.

Kaikki tuotannollisen yrityksen yhteydessä toimivat laitoskonseptit osoittautuivat tehtyjen talouslaskelmien mukaan kannattamattomiksi, kun investointi huomioitiin. Tällöin perusteena oli 15 vuoden takaisinmaksuaika. Kuitenkin kohtuullinen investoinnin pienennys, mikä vastaa jo nykyään käytössä olevia investointitukia, paransi kannattavuutta ratkaisevasti (takaisinmaksuaika 8, sisäinen korkokanta 12 %). Kun alkuinvestointia ei huomioitu, niin kaikkien ensimmäisen vuoden tulos verojen jälkeen oli positiivinen.

### **III Kunnallinen tuotantoyksikkö**

Lakeuden Etappi Oy:n laitokset toimivat kunnallisen tuotantoyksikön periaatteella. Laitoksen ensisijainen tehtävä on jätteenkäsittely, ja porttimaksut ovatkin tärkein tulon lähde. Etapin toiminta perustuu lainsäädäntöön, minkä perusteella jätteet on käsiteltävä tietyllä tavalla.

Kunnallisen tuotantoyksikön tehtävä ja siten myös merkittävin arvolupaus on jätteiden käsittely säädetyllä tavalla, ja se saa valtaosan tuloistaan jätteenkäsittelymaksuina. Suljetun ansainnan mallin mukaisina toimijoina voidaan nähdä muun muassa kunnat, joiden jätteitä, kuten puhdistamolietteitä, laitos käsittelee. Tuotetun energian myynti ei ole kunnalliselle jätteenkäsittelylaitokselle niin kriittinen tekijä kuin muille edellä tarkastelluille laitostyypeille. Siinä mielessä laitoksen sijainti syrjässä kulutuskeskuksista ja -kohteista on perusteltua.

Etapin liikennepolttoainetta tuottavan laitoksen tarkastelu osoittaa, että energian myynti voi parantaa laitoksen kannattavuutta huomattavasti (esim. alkuinvestoinnin takaisinmaksuaika pienenee tässä noin kahdella vuodella). Laitoksen sijainti ei ole liikennepolttoaineen tuottamisen kannalta kriittinen, koska jakeluasema voi sijaita esimerkiksi liikenteen solmukohdassa tuotantolaitoksesta erillään.

## 4. ANALYYSI JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä hankeohjelmassa tutkituista hajautetun energiatuotannon laitosvaihtoehtoista liiketaloudellisesti kannattaviksi osoittautuivat lähinnä liikennepolttoaineeseen perustuvat konseptit. Niidenkin kannattavuus on toistaiseksi epävarmaa, koska biokaasun käyttö liikenteen polttoaineena edellyttää huomattavan infrastruktuurin rakentamista ja suuren käyttäjäkunnan sitouttamista jo alkuvaiheessa. Tässä mielessä se edustaa edellä kuvattua *avoimen ansainnan mallia*. Kuitenkin ruotsalaiset ja saksalaiset esimerkit ja kotimaiset suunnitelmat osoittavat, että nämä vaihtoehdot voivat toteutua jo hyvinkin lähiaikoina. Tässä mielessä tutkitut vaihtoehdot ovat realistisia.

Kaikissa muissa vaihtoehdoissa yksittäisen ja erityisesti yksityisen investoijan näkökulmasta panostus hajautetun energiantuotannon tekniikkaan näyttää tulosten perusteella kyseenalaiselta. Kuitenkin laskelmat ovat perustuneet tiukoihin liiketaloudellisen kannattavuuden kriteereihin: investointi olisi hylättävä aina, kun takaisinmaksuaika ylittää 15 vuotta. Kannattavuutta ei kuitenkaan voida tarkastella näin yksioikoisesti, vaan ainakin seuraavat tekijät on otettava huomioon kokonaisuutta harkittaessa:

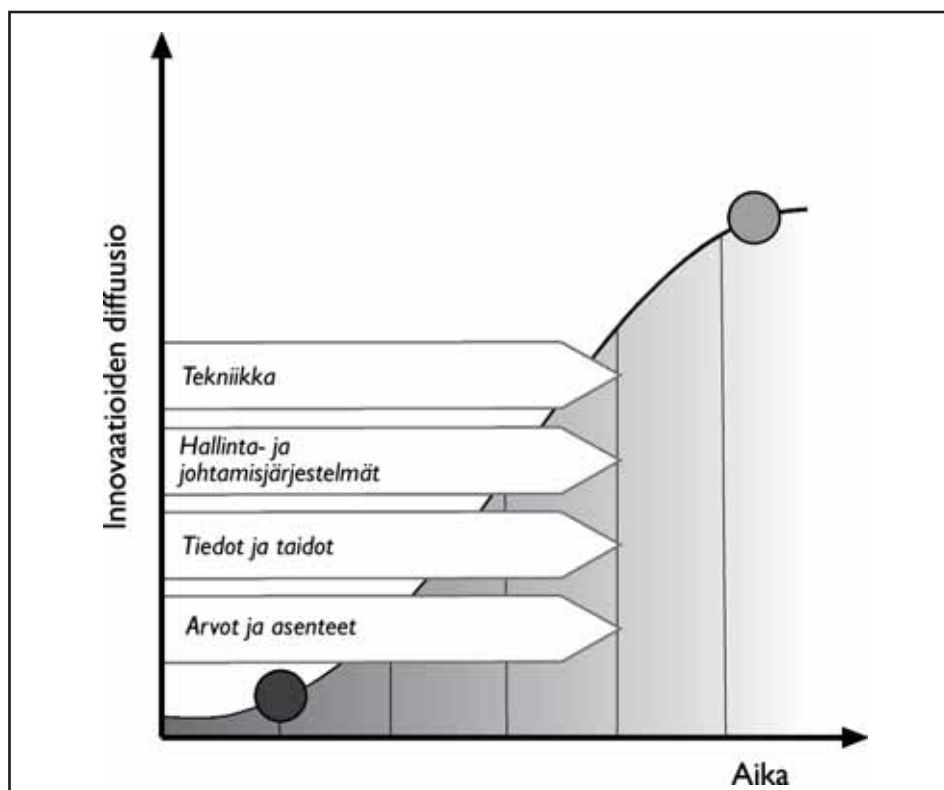
- Takaisinmaksuaikana 15 vuotta ei ole erityisen pitkä energiasektorilla, jossa investointeja kuoletetaan usein jopa kymmeniä vuosia.
- Kohtuullisella julkisella tuella investoinnit ovat kaikissa vaihtoehdoissa kannattavia vieläkin tiukempien kannattavuuskriteerien mukaan (takaisinmaksuaika 8 vuotta, sisäinen korkokanta 12 %; osa II, taulukko 18).
- Pilottikohteissa alueellisiin tuotantoratkaisuihin kuuluu aina muitakin *arvolupauksia* kuin liiketaloudellinen kannattavuus. Erityisen tärkeitä ovat helpotukset maatalojen lietteen levityksessä sekä alueelliset vaikutukset työllisyyteen ja talouteen, joita tosin tässä tutkimuksessa ei voitu tarkasti mitata.

Julkinen tuki alueiden ja kotimaan omien resurssien hyödyntämiselle olisikin monesta syystä perusteltua: Fossiilisten polttoaineiden korvaamisella ja alueellisen energiaomavaraisuuden kohentamisella on lukusia kansallisia strategisen tason etuja, minkä lisäksi vaikutukset alueiden talouteen ja työllisyyteen ovat hyvin myönteiset. Energia-alan infrastruktuuri on aina rakennettu osittain tai pääosinkin julkisin varoin, ja energiahuollossa yleisellä edulla on aina ollut keskeinen merkitys (Jylhä 2006). Energiasektorin yksityistäminen ja ”markkinaehtoisuus” eivät tunnukaan kestävilta perusteilta näiden periaatteiden hylkäämiselle, onhan jo kilpailutilanne epäreilu tukea saaneiden vanhojen ja ilman tukea sinnittelevien uusien ratkaisujen välillä. Kansallinen etu olisi tässäkin asetettava etusijalle.



Uusien innovaatioiden on aina edettävä monien esteiden yli. Ensinnäkin niiden on noustava sosiaalisen vastaanottokynnyksen yli, eli niiden on saavutettava yleinen hyväksyntä niin valtakunnallisesti kuin kullakin toteuttamisalueella. Toiseksi niiden on "rakenteistuttava" niin, että lait, säädökset ja muut yhteiskunnan rakenteet tukevat niitä. Kolmanneksi, niiden on käytävä läpi teknisen kehityksen evoluutio käytännössä (ks. Peura 1999). Puhutaan myös innovaation diffuusiosta eli siitä kuinka uusi käytäntö leviää yhteiskunnassa (Rogers 1995). Tässä tutkimuksen laajassa traditiossa on havaittu selvästi, että diffuusio tapahtuu tietyn kaavan ja tiettyjen vaiheiden mukaisesti, ja että kussakin vaiheessa voidaan erottaa tyypillisiä piirteitä. Seuraavassa on lyhyesti tarkasteltu näitä piirteitä sekä niiden merkitystä hajautetun energiantuotannon näkökulmasta.

Hajautettu energiantuotanto ja sen tekniikat ovat selvästi diffuusionsa alkuvaiheessa, ja ne sijaitsevat diffuusiokäyrän ala- ja alkupäässä (kuva 8). Vastaavasti vallitseva energiasektori on aivan päinvastaisessa tilanteessa diffuusionsa kypsässä loppuvaiheessa ja käyrän yläpäässä (kuva 8; vrt. Rogers 1995).



Kuva 8. Innovaation diffuusio (ks. Rogers 1995) ja kyvykkyydet (vrt. Leonard 1998) diffuusion edellytyksinä hajautetussa energiantuotannossa.

Diffuusion alkuvaiheen ratkaisuille ovat tyypillisiä seuraavat piirteet (vrt. Rogers 1995), jotka kuvaavat osuvasti myös hajautetun energiantuotannon nykytilaa:

- Teknisen ratkaisut edustavat ensimmäistä tai toista sukupolvea tai muuten kehityksensä alkuvaihetta. Tämä tarkoittaa usein myös heikkoa tehokkuutta sekä erityisesti suuria kustannuksia niin investoinneissa kuin tuotetussa energiassa. Vastaavasti tämä tarkoittaa tulevaisuudessa huomattavaa talouden kohentumisen potentiaalia, joka koostuu niin tehokkuuden paranemisesta kuin kustannusten alenemisesta.
- Tuotannon koko arvoketju on vielä hyvin kehittymätön. Tällä on myös vaikutusta tehokkuuteen ja ketjun kokonaiskannattavuuteen. Esimerkiksi mineraaliöljyn jalostuksen sivutuotteena on poikunut kokonaisia teollisuuden haaroja (muoviteollisuus), jotka ovat osa raakaöljystä alkavaa arvoketjua. Hajautetussa energiantuotannossa tällainen kehitys ei ole vielä edes alkanut.
- Odotettavissa on, että alan liiketoiminta yleistyy vähitellen, mikä tarkoittaa siirtymistä innovaation diffuusiokäyrällä oikealle ja ylöspäin (vrt. kuva 8). Tällöin myös kaikki osatekijät vahvistuvat – energiasektorilla odotettavissa on myös se, että fossiilisiin lähteisiin, erityisesti öljyyn perustuvien ratkaisujen hintakilpailukyky heikkenee. Samalla niiden poliittinen painolasti lisääntyy koko EU:n tasolla.

Diffuusionsa alkuvaiheessa olevan uusiutuviin energianlähteisiin perustuva hajautettu energiantuotanto on jo ylittänyt sosiaalisen vastaanottokynnyksen, ja sitä pidetään hyvin yleisesti ”järkevänä”. Toisaalta tiedetään, että raaka-ainepotentiaali on erittäin suuri, ja että omavaraisuuspotentiaali ylittää maaseudulta jopa 50 000 asukkaan kaupunkeihin saakka (Hyttinen 2005). Vastaavia havaintoja on myös muualta Euroopasta (Ragwitz ym. 2005). Toisaalta tässä tutkimuksessa on osoitettu, että teknisten ratkaisujen puhtaasti liiketaloudellinen kannattavuus on jo nykyisellään hyvin lähellä, ja että aluetaloudellisesti ratkaisut ovat jo nyt järkeviä. Monien tekijöiden summana niiden kannattavuuden kohentumisella on suuri potentiaali jo aivan lähiaikoina. Tämä on hyvin rohkaisevaa myös energiastrategiselta kannalta.

Ei kuitenkaan ole kohtuullista, että edelläkävijät ja hyvin varhaisen vaiheen soveltajat kantavat kaiken taloudellisen vastuun tämän kansallisesti edullisen toiminnan käynnistämiseksi. Vaikka alan liiketoiminta lähivuosina lähes varmasti on niin kannattavaa, että se väistämättä yleistyy, on tässä alkuvaiheessa sen edistämässä julkinen tuki tarpeen ja myös perusteltua.

Hajautetun energiantuotannon teknologioiden yleistymiseen vaikuttavat kansalliset kehittämistoimenpiteet voidaan jakaa neljään toisiaan tukevaan ulottuvuuteen (vrt. Leonard 1998). Kehittämistoimenpiteiden tulisikin keskittyä seuraaviin osakokonaisuuksien kohentamiseen:

- yleisten arvojen muokkaaminen hajautetun energiantuotannon lisääntyvää hyödyntämistä edistäviksi,
- hajautettuun energiantuotantoon liittyvän osaamisen ja tietotaidon kehittäminen,
- hajautetun energiantuotannon hallintajärjestelmien kehitys, ja
- hajautetun energiantuotannon teknologioiden tutkimukseen, tuotekehitykseen panostaminen ja käyttöönoton tukemiseen.

Tilanne on haasteellinen, sillä olemassa oleva energiantuotannon ja -jakelun infrastruktuuri on rakennettu fossiilisia raaka-aineita hyödyntävän, keskitetyn energiateollisuuden tarveperustalle. Muutosvastarinnan taustalla ovat itse asiassa edellä mainitut neljä osatekijää, jotka ovat saavuttaneet valta-aseman suomalaisella keskitettyyn energiantuotantoon ja tuontienergiaan nojaavalla energiatoimialalla.

Energiapolitiikan muodostumiseen vaikuttavat suomalaisen teollisuuden eri etujärjestöt, jopa yksittäiset energiaintensiivistä tuotannollista toimintaa harjoittavat yritykset. Arvoperustaisia lähtökohtia tässä syy-seuraus-suhteessa ovat muun muassa kapasiteetti, saatavuus, laatu ja hinta. On realistisesti todettava, että hajautetun energiantuotantokapasiteetin aktiivinen hyödyntäminen teollisuuden voimanlähteenä on kaukana tulevaisuudessa. Sen sijaan tulisi nostaa esille mahdollisuus hyödyntää hajautettua energiantuotantoa aktiivisesti kaupunki- ja teollisuuskeskusten ulkopuolella. Arvoperustainen muutos voisikin lähteä tästä näkökohdasta – erilaiset energiantuotantomuodot nähdään toisiaan täydentävinä, ei kilpailevina ratkaisuinä.

Osaamisen ja tietotaidon kehittämiselle on tarvetta. Teknologioiden ja hallintajärjestelmien kehitystyöhön tarvitaan osaavaa uusiutuviin energiantuotannon teknologioihin ja niiden hallintaan tarkoitettujen järjestelmien kehittämiseen ja ylläpitoon erikoistunutta työvoimaa.

Hallintajärjestelmien rooli korostuu energiantuotanto- ja jakelusysteemien muutoksessa keskitetystä hajautettuun toimintamalliin. Periaatteessa on mahdollista, että tämän päivän sähköyhtiön loppuasiakkaasta tulee tulevaisuudessa sähköntuottaja ja -myyjä. Haasteet ovat pääasiassa teknisiä, mutta tarvittavat muutokset ovat laajuudeltaan massiivisia. Myös lainsäädäntö ja eri instanssien vastuunjako ovat tällä hetkellä vielä pitkälti määrittelemättä.

Energiasektorin uudistuminen on pitkäkestoinen evolutionaarinen yhteiskunnallinen muutosprosessi, joka tapahtuu valtakunnallisella mutta yhtä hyvin maakunnallisella ja paikallisella tasolla. Maaseudulla se voi luoda uutta työllisyyttä, aluetaloutta ja hyvinvointia. Se voi myös luoda maaseudulle kokonaan uutta yhteiskunnallista roolia: elintarvikkeiden ohella maaseutu olisi myös energian alkulähde.

Hajautetun energiantuotannon toimintaedellytysten ja selkeiden suuntaviivojen luominen tulee aloittaa hyvissä ajoin. Energiasektorin asteittaisessa uudis-

tumisessa julkisen vallan ohjaus on tärkeää, ja pienetkin alueelliset edistysaskeleet ovat merkittäviä. Oleellista on luoda *tietoisen kehittämisen polku*, jolla hajautettu energiastrategia otetaan niin tiedollisesti kuin teknisestikin haltuun. Kehityksen stimulointi edellyttää aluksi ”top-down” lähestymistä ja valtakunnan (viranomais-ten ja muiden toimijoiden) omaa ja yhteistä tahtoa, joiden tuloksena yksittäisistä toimijoista lähtevälle (”bottom-up”) menestykselle syntyy edellytykset. Tämä on havaittu selvästi esimerkiksi mobiiliteknologian menestystarinan ja alueellisten klustereiden syntymisen yhteydessä (esim. Männistö 2002).

Tämän tutkimuksen perusteella vision toteutuminen näyttää hyvin mahdolliselta ja todennäköiseltä – aivan erityisesti se näyttää toivottavalta kansallisen edun helikopteriperspektiivistä. Julkinen tuki nopeuttaisi ja helpottaisi kehitystä, mutta kaikkein parasta olisi, mikäli energiayhtiöt omaksuisivat uudet ratkaisut.

## LÄHDELUETTELO

- Chesbrough, H. ja R. S. Rosenbloom 2000. The Role of the Business Model in capturing value from Innovation: Evidence from XEROX Corporation's Technology Spin-off Companies. Boston, Massachusetts, Harvard Business School.
- Hannus, J., Lindroos, J-E. ja Seppänen, T. 1999. *Strateginen uudistuminen*. Haka-paino Oy, Helsinki.
- Hyttinen, T. 2005. Valoa pimeässä. Kohti energiaomavaraisuutta maaseudulla. Levón-insituutin julkaisu 116.
- Jylhä, R. 2006. Sähköhuollosta sähkömarkkinoihin. Acta Wasaensia 154. Vaasan yliopisto.
- Leonard, D. 1998. Wellsprings of knowledge. Building and sustaining the sources of innovation. Harvard Business School Press. Boston.
- Männistö J. 2002. Voluntaristinen alueellinen innovaatiojärjestelmä. Tapaustutkimus Oulun alueen ict-klusterista. Acta Universitatis Lapponiensis 46. Lapin yliopisto. Rovaniemi.
- Petrovic, O., Kittl, C. ja Teksten, R.D. 2001. Developing Business Models for eBusiness, International Conference on Electronic Commerce 2001, Vienna, October 31. - November 4.
- Peura, P. 1999. From ideology to company practice – the origin of operational patterns through social selection. Teoksessa: Werther W. Jr., Takala J. ja Sumanht D.J. (toim.), Productivity & Quality Management Frontiers – VIII. Bradford: MCB University Press. ss. 386-403.
- Ragwitz M., Schleich J., Huber C., Resch G., Faber T., Voogt M., Coenraads R., Cleijne, H. ja Bodo P. 2005. Analyses of the EU renewable energy sources' evolution up to 2020 (FORRES 2020). Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.
- Rajala, R., Rossi, M., Tuunainen, V. ja Korri, S. 2001. Software Business Models, a Framework for Analyzing Software Industry. Helsinki, Tekes. 76 s.
- Rappa M. 2000. Managing a Digital Enterprise: Business Models on the Web, <<http://digitalenterprise.org/models/models.html>.
- Rogers, E.M. 1995. Diffusion of innovations. The Free Press. New York.
- Slywotzky, A. J. 1996. Value Migration - How to Think Several Moves Ahead of the Competition. Harvard Business School Press, Boston, MA.
- Stormossen 2004. Biokaasulaitoksen prosessi. [Viitattu: 21.12.2004] Saatavissa: <http://www.stormossen.fi/default.asp?id=plantprocess-fi>
- Timmers, P. 1998. "Business Models for Electronic Markets." Journal on Electronic Markets. Vol 8. N 2, 3-8.



# II

## BIOKAASULAITOS PILOTTIKOHITEISSA

(KUUSI KOHDETTA, 11 LASKELMAA)

### Viitekehys, toimintakonsepti ja liiketoimintamallit

*Timo Hyttinen, Pekka Peura ja Alpo Kitinoja*

<b>Sisältö</b>	
1.	Tehtävä ja toteutus ..... 43
2.	Pilottikohteet ..... 45
2.1	Atrian jätteitä ja maatalouden lietteitä ja lantaa hyödyntävät biokaasulaitokset ..... 45
2.2	Lapuan Nahka Oy:n konsepti ..... 51
2.3	Lakeuden Etappi Oy:n biokaasulaitos ..... 54
2.4	Nurmon mautilojen biokaasulaitos ..... 58
2.5	Maatilakohtainen biokaasulaitos Jalasjärvellä ..... 62
2.6	Mautilojen biokaasulaitos Seinäjoella ..... 66
3.	Tulosten tarkastelu ..... 69
3.1	Liiketoimintamallien vertailua ..... 69
3.2	Kannattavuuden edellytykset ..... 70
3.3	Liiketoimintamallien kehittäminen ..... 72
3.4	Biokaasulaitoksen muut vaikutukset ..... 74
	Lähdeluettelo ..... 75





## 1. TEHTÄVÄ JA TOTEUTUS

Levón-instituutin tehtävänä oli kehittää hankeohjelman viitekehyksen ja toimintakonseptin mukaisia eri näkökulmista perusteltuja hajautetun energiantuotannon liiketoimintamalleja. Lisäksi instituutti koordinoi Vaasan yliopiston hajautetun energiantuotannon tutkimus- ja kehitystiimin yhteistyötä ja vastasi hankkeen hallinnosta.

Hankeosion toteuttaminen muodostui seuraavista tehtävistä:

- Kokonaiskonseptin kehittäminen
- Neuvottelut ja sopiminen osallistuvien yritysten kanssa kunkin tutkimuskohteesta ja roolista
- Aineiston tuottaminen konkreettisissa kohteissa
- Laskelmat ja aineistojen analyysi
- Tulosten tarkastelu ja esittäminen

Hankeosio toteutettiin yhdessä Vaasan yliopiston Seinäjoen yksikön ja Strategisen yritysjohtamisen laskentatoimen yksikön (SYLT) kanssa. Tutkimuskohteina olivat todelliset hankkeen alussa määritellyt pilottikohteet.

### *Kokonaiskonseptin kehittäminen*

Hankkeen viitekehyksen mukaisesti pilottikohteita valittiin sekä periferiasta että läheltä keskuksia, ja energian tarpeeltaan kohteet ja niiden lähiympäristöt poikkesivat myös merkittävästi toisistaan. Kohteiden ääripäät muodostivat toisaalta yksittäinen maatila melko kaukana maaseudulla ja toisaalta suuret teollisuuslaitokset kaupunkimaisen seudun reunamilla. Kaikissa pilottikohteissa päädyttiin tehtyjen lähtötilakartoitusten jälkeen tarkastelemaan anaerobista mädätystä energiantuotantomenetelmänä.

Biokaasulaitos soveltuu hyvin hajautetun energiantuotannon toimintakonseptin soveltamiseen. Sen kannattavuus muodostuu hyvin monista tekijöistä, ja laitoksella voi olla monia yhteiskunnallisia, sosiaalisia ja ympäristöllisiä vaikutuksia toiminta-alueelleen. Kuitenkin, kuten pilottikohteet osoittivat, on biokaasulaitoksen kannattavuustekijät ja muut vaikutukset jokaisessa kohteessa kyettävä löytämään erikseen ja räätälöimään niistä mahdollisimman toimiva paketti kuhunkin tilanteeseen.

*Aineiston kokoaminen, laskelmat ja aineiston analyysi*

Kohteissa suoritettiin lähtötietokartoitus. Tärkeimpiä lähtötietoja olivat kohteen raaka-ainepotentiaali, energian tarve, nykyiset energian hankinnan tavat ja jätteenkäsittelykustannukset. Aineiston kokoaminen toteutettiin lukuisin yliopiston ja kohdeyritysten henkilöstön välisin tapaamisoin sekä sähköpostitse ja puhelimitse.

Pilottikohteisiin perustuvien biokaasulaitosten kannattavuuslaskelmat tehtiin hankkeessa kehitetyn talouslaskentamallin avulla. Kohteiden kannattavuutta tarkasteltiin muun muassa erilaisten kaasunkäyttökohteiden suhteen. Tulosten perusteella analysoitiin kannattavuuden edellytykset kussakin kohteessa ja tehtiin päätelmät laitosten toteutettavuudesta. Muun muassa kokonaisinvestoinnin, tulojen ja kustannusten muutosten vaikutusta kannattavuuteen selvitettiin herkkyyksianalyysin avulla. Laskentamallia ja käytettyjä laskentamenetelmiä on kuvattu tämän teoksen osassa III.

*Tulosten tarkastelu ja esittäminen*

Pilottikohteet edustivat hajautetun energiantuotannon erilaisia tyyppitilanteita. Kannattavuuteen vaikuttavien tekijöiden analyysin kautta hahmotettiin taloudellisen toteutettavuuden edellytykset kussakin kohteessa. Lisäksi arvioitiin liiketoimintamallien kehittämismahdollisuuksia.

Tässä raportissa luodaan lyhyt katsaus pilottikohteisiin ja tuodaan esiin tämän hankeosion keskeiset tulokset. Piloteista esitellään käytetyt raaka-aineet, energian käyttö sekä taloudelliset tunnusluvut. Poikkeuksia ovat sellaiset pilotit, joissa on mukana yrityksiä, jotka halusivat tietonsa luottamuksellisiksi. Nämä on esitelty siten, että yksittäisen yrityksen tietoja ei voida jäljittää. Mainittujen tietojen lisäksi otetaan esiin muutamia biokaasulaitoksen ”muita vaikutuksia” sekä esimerkkejä mahdollisuuksista kehittää kyseessä olevaa liiketoimintamallia. Pilottikuvausten jälkeen luodaan katsaukset yleisiin biokaasulaitoksen vaikutuksiin sekä mahdollisuuksiin kehittää biokaasulaitukseen liittyvää liiketoimintaa. Raportin lopussa vertaillaan laskelmien kohteina olleiden laitosten kannattavuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä.

Tämän tiivistetyn raportin lisäksi kustakin pilottikohteesta laadittiin luottamuksellinen yksityiskohtaisempi raportti sekä pilottia koskevia mallilaskelmia Excel-muodossa, jotka luovutettiin vain kunkin pilottikohteen yrityksille ja tiloille.

## 2. PILOTTIKOHEET

Hankkeen alussa määriteltiin pilottikohteita, joille kullekin tehtiin biokaasulaitoksen kannattavuuslaskelmia. Kohteet edustavat hankkeen viitekehysten erilaisia tyyppitilanteita. Ne poikkeavat toisistaan niin sijainniltaan (keskus-periferia) kuin energian tarpeen ja raaka-ainepotentiaalin suhteen. Laskentakohteiden tarkempi määrittely ja rajaukset tehtiin yhdessä yritysten henkilöstön kanssa.

Tarkastellut pilottikohteet olivat seuraavat:

- Atrian jätteitä ja maatalouden lietteitä ja lantaa hyödyntävät biokaasulaitokset
- Lapuan Nahka Oy:n konsepti
- Lakeuden Etappi Oy:n biokaasulaitos
- Nurmon mautilojen biokaasulaitos
- Maatilakohtainen biokaasulaitos Jalasjärvellä
- Mautilojen biokaasulaitos Seinäjoella

Kannattavuuslaskelmia tehtiin yhteensä yksitoista. Kohteissa vertailtiin esimerkiksi eri kaasun käyttökohteiden vaikutusta kannattavuuteen. Lapuan pilottikohde soveltui erityisen hyvin talouslaskentamallin kehitysympäristöksi, joten se oli ensimmäinen laskentakohde.

### 2.1 Atrian jätteitä ja maatalouden lietteitä ja lantaa hyödyntävät biokaasulaitokset

*I Atria käyttää ylijäämäkaasun*

Tarkastelun kohteena on biokaasulaitos, joka hyödyntää Atria Oyj:n Nurmon tehtaiden tuotannossa syntyviä jätejakeita sekä maatalouden lietteitä ja lantaa Nurmon ja Seinäjoen mautiloilta. Atrian tehtailla syntyvistä jätteistä valittiin yhdessä yrityksen henkilöstön kanssa sellaiset mädätykseen soveltuvat jakeet, joiden käsittely aiheuttaa yritykselle kustannuksia.

Biokaasulaitoksen oletettiin sijaitsevan noin kilometrin päässä Atrian tehtaalta Nurmon kirkonkylän läheisyydessä. Laitoksen sijainti riittävän etäällä elintarviketeollisuusyrityksestä on perusteltua lähinnä imagotekijöiden vuoksi. Laitoksen tuottamaa kaasua voitaisiin kuitenkin siirtää ja käyttää tehtaalla. Laitoksen sijaintia voidaan perustella myös vaihtoehtoisten keskusten energiankulutuskohteiden sekä maatilakesittymän läheisyydellä. Tällöin mautilojen lietteiden kuljetustarve jäisi mahdollisimman pieneksi.

Perusoletuksina laskelmissa ja toimintakonseptin muodostamisessa olivat seuraavat:

- Biokaasulaitoksen raaka-ainetoimitukset tehdään Atrialta ja maataloilta.
- Tuotettavalla biokaasulla korvataan biokaasulaitoksen oman käytön (lämpö) lisäksi Atrian höyryn ja lämpimän veden tuotantoon käyttämää raskasta polttoöljyä. Laitoksen tarvitsema sähkö ostetaan verkosta.
- Kaasu siirretään Atrialle rakennettavaa kaasuputkea pitkin. Putken pituudeksi oletetaan noin 1 km.

Biokaasulaitoksen tekniseen ratkaisuun ei syvennytty yksityiskohtaisesti. Laitokseen tuotavat jätteet on kuitenkin esikäsiteltävä siten, että prosessiin syötettävä materiaali täyttää prosessivaatimukset. Esikäsitteilyvaatimus koskee erityisesti teollisuusjätteitä. Mädätyksen oletetaan tapahtuvan mesofilisessä eli noin 35–37°C:n lämpötilassa. Biokaasulaitoksen kokonaisinvestoinniksi arvioitiin 7 milj. €.

Varsinainen sivutuote eli mädätetty hygienisoitu liete (hydrolyysijäännös) levitetään pellolle tai jalostetaan edelleen lannoitelain ja sivutuoteasetuksen vaatimukset huomioiden. Biokaasuprosessi vähentää jätelietteen kokonaismassaa, joten raakalietteen levitykseen verrattuna sama lietemäärä voidaan levittää hivenen pienemmälle levityspinta-alalle. Mädätetty liete voidaan kuivata esimerkiksi dekantterilingolla noin 20 % kuiva-ainepitoisuuteen, jolloin tämä jae sisältäisi valtaosan mädätetyn lietteen fosforista.

### Taloudellinen kannattavuus

Biokaasulaitoksen taloudellista kannattavuutta arvioitiin hankkeessa laaditulla talouslaskelmamallilla. Tarkasteltavana olivat seuraavat vaihtoehdot:

1. Kahdessa ensimmäisessä laskelmassa biokaasulaitos on itsenäinen osakeyhtiö, jossa Atria olisi pääosakas. Laskelmien avulla haluttiin selvittää maatalouden lietteistä saatavien porttimaksujen vaikutusta toiminnan kannattavuuteen. Tätä tarkastelua tuki myös epävarmuus viljelijöiden halusta maksaa käsittelymaksua laitokselle toimitetusta lietteestä. Vertailtavana on kaksi erilaista lietteen toimitustapaa biokaasulaitokselle:
  - a) Viljelijät tuovat ja vievät lietteitä ilman maksua. Viljelijät maksavat vain kuljetuksen.
  - b) Viljelijät maksavat siitä, että saavat viedä laitokselle lietettä. Laitos maksaa kuljetuksesta.
2. Biokaasulaitos on Atrian omistuksessa. Laskelmassa huomioidaan Atrian nykyisten jätteenkäsittelykustannusten vaikutus täysimääräisenä.

Laskelmissa käytetyillä lähtöarvoilla päädyttiin taulukossa 1 esitettyihin laitosinvestoinnin kannattavuutta kuvaaviin taloudellisiin tunnuslukuihin.

Tunnusluvut on selitetty tämän julkaisun osassa III kappaleessa *Laskentamallin rakenne*.

**Taulukko 1.** Biokaasulaitoksen taloudellisten tunnuslukujen vertailu vaihtoehdoissa 1a, 1b ja 2.

	1a.	1b.	2.
Nykyarvo (NPV); 1000 €	-2794,2	-1767,2	-2489,2
Sisäinen korkokanta (IRR); %	-4	-1	-3
(IRR)-investointi vuonna 1; %	-5	-1	-4
Alkuinvestoinnin takaisinmaksuaika; a	>15	>15	>15
Diskontattu takaisinmaksuaika; a	>15	>15	>15
Energian tuotantokustannus; €/MWh	58,82	62,07	62,97
Energian tuotantokustannus (pelkät käyttökustannukset); €/MWh	35,23	38,49	36,77
Energian tuotantokustannus (pelkkä investointi); €/MWh	17,93	17,93	19,93
Energian omakustannushinta; €/MWh	40,49	35,61	62,97

### Muut vaikutukset

Biokaasulaitoksen toiminnalla on monia myönteisiä vaikutuksia ympäristön kannalta. Erityisen tärkeä alueen kannalta on lietelannan hajupäästöjen pieneneminen levitysaikaan, koska niin nykyiset kuin suunnitellutkin asuntoalueet sijaitsevat sikaloiden läheisyydessä. Ympäristön, viihtyisyyden ja alueen arvon lisäksi tämä tukee myös sikojen kasvatusta elinkeinona. Uusien sikaloiden perustamista ja nykyisten laajentamista voivat jarruttaa juuri ennakoituista hajuhaitoista johtuvat valitukset. Mädätettynä lietettä voitaisiin siis levittää aivan asutusten läheisyydessä sijaitseville peltoalueille kuten Kertunlaakson asuntoalueen ympäristöön Nurmassa. Vaikuttavat säädökset tulee kuitenkin huomioida.

Mädätetyn lietteen ravinteiden jakaantumista ja määriä pellolle voidaan hallita helpommin verrattuna raakalietteeseen, koska mädätyksessä liete homogeenisoituu. Homogeenisestä lietteestä on erotettavissa ja edelleen hyödynnettävissä fosforipitoinen kiintoainepitoinen jae ja nestemäinen jae. Lisäksi typpi on mädätetyssä lietteessä kasvien nopeammin hyödynnettävässä muodossa, jolloin keinolannoitteiden tarve pienenee.

Nurmon Atrian tehtaan ympärille kehittynyt ja edelleen kasvava sikalakeskittymä tulee jatkossa tarvitsemaan entistä enemmän lietteen levityspinta-alaa mahdollisimman lyhyiden kuljetusmatkojen päästä. Biokaasulaitos tarjoaa tähän ongelmaan ainakin osittaisen ratkaisun, koska hajuhaittojen pienenemisen lisäksi

myös lietemäärä pienenee mädätyksessä. Tämä vähentää jonkin verran myös lietteen kuljetus- ja varastointitarvetta, ja siten sekä traktoriliikenne pelloille että varastointitilojen ja kuljetuskaluston investointitarve tiloilla pienenee. Mikäli lietteen käsittely siirtyy biokaasulaitoksen tehtäväksi, niin se vähentää myös sikatilojen työmäärää.

### **Liiketoimintamallin kehittäminen**

Tarkastelun kohteena oli kolme laitostyökonseptia, joissa kaasu käytetään biokaasulaitoksen omaan lämmöntuotantoon ja loppu johdetaan kaasuputkea pitkin Nurmon Atrian tuotantolaitokselle. Atrialla kaasulla korvataan raskasta polttoöljyä. Vaihtoehtoista paras kannattavuus on laitoksella (1b), joka saa maanviljelijöiltä porttimaksuja vastaanottamastaan raaka-aineesta, mutta maksaa kuljetuksesta. Kolmas tarkastelu (2) osoittaa, että investointi omaan tässä tarkastellun kaltaiseen biokaasulaitokseen ei ole kannattava, jos tavoitteena on käsitellä jätteet nykyisiä käsittelykustannuksia halvemmalla.

Biokaasulaitoksen kannattavuuteen vaikuttavat kuitenkin lukuisat tekijät, joiden avulla edellä kuvatunlaiset laitokset voivat saavuttaa paremman kannattavuuden. Kannattavuuteen vaikuttavia ja samalla liiketoimintamallin kannalta kriittisiä tekijöitä ovat ainakin seuraavat:

#### *Päästökauppajärjestelmä*

Päästökauppajärjestelmän perusteella Atria voi saavuttaa taloudellista etua, mikäli se vaihtaa nykyisin energiantuotannossa käyttämiään fossiilisia polttoaineita biokaasuun. Päästöjen pienentyessä Atria voi myydä ylimääräiset päästöoikeudet.

#### *Mädätetty liete*

Mädätetylle lietteelle on kannattavuuslaskelmissa oletettu nolla-arvo. Kustannuksia sen käsittelystä on arvioitu aiheutuvan lähinnä kuljetuksesta. Mikäli mädätettyä lietettä lähdetään edelleen jalostamaan, niin siitä on saatavissa tuotteita, joilla voi olla jälleenmyyntiarvoa. Yksinkertaisin jalostusmenetelmä on mekaaninen kuivaus, jolloin saadaan kuiva-ainepitoinen ja nestejäte, joiden välillä ravinteet, lähinnä fosfori ja typpi, jakaantuvat. Näiden jakeiden avulla tilalliset voivat vähentää keinolannoitteiden käyttöä, koska pellolle voidaan levittää typpipitoista nestejätettä, mikäli fosfori rajoittaa lietteen levittämistä.

Mädätetystä lietteestä voidaan jalostaa myös pidemmälle vietyjä tuotteita kuten kuivaa raetta, joka on pienessä tilassa kuljetettavaa. Lietteen sisältämät ravinteet antavat mahdollisuuden myös muunlaisten lannoitustuotteiden jatkojalostukseen. Tuotekehityksen ja jatkojalostuksen vastapainona ovat toki muun muassa kehitys- ja investointikulut.

### *Teollisuuden porttimaksujen osuuden lisääminen*

Biokaasulaitos voi muuttaa raaka-ainekoostumustaan ottamalla enemmän vastaan teollisuuden jätteitä ja saamalla enemmän porttimaksuja.

### *Muut raaka-aineet*

Biokaasulaitos voi työllistää maanviljelijöitä hankkimalla heiltä kasviperäisiä aineksia. Monet kasvit kuten ruokohelpi ovat biokaasuntuottopotentiaailtaan erittäin hyviä.

### *Investointituki*

Biokaasulaitoksen toteutumisen elinkeinoelämää ja maaseudun elinvoimaisuutta parantavat vaikutukset voivat motivoida paikallisia tahoja tukemaan laitosten investointia. Tehty herkkyystarkastelu osoitti, että investoinnin suuruudella on suuri vaikutus laitoksen kannattavuuteen. Korkeamman investointituen avulla investoinnin aiheuttamaa räsitusta laitoksen talouteen voidaan pienentää. Biokaasulaitos pääsääntöisesti voidaan kuitenkin toteuttaa siten, että tulot ovat suuremmat kuin kulut, kun investoinnin räsitusta ei huomioida.

### *Kaasun käyttökohde*

Oleellista kannattavuuden kannalta on myös, mikä on biokaasun käyttötarkoitus, ja esimerkiksi mahdollinen öljyn hinnan jatkuva nousu parantaa biokaasulaitoksen kannattavuutta tulevaisuudessa. Seuraavana tarkastellaan laitosta, jonka tuottamaa kaasua käytetään liikenteen polttoaineena ja lisäksi kaasusta saadaan sivutuotteena hiilidioksidia.

### *II Ylijäämäkaasu käytetään liikenteen polttoaineena*

Atrian jätteitä ja Seinäjoen ja Nurmon maatilojen lietteitä ja lantaa hyödyntävän biokaasulaitoksen kannattavuutta tarkasteltiin myös tilanteessa, jossa kaasua käytetään biokaasulaitoksen omaan lämmöntuotantoon sekä liikenteen polttoaineeksi. Edellä tarkasteltuun laitokseen (kaasu Atrialle lämmöntuotantoon) verrattuna kaasun liikennepolttoainekäyttö vaikuttaa muun muassa laitoksen konseptiin ja investoinnin suuruuteen.

Biokaasusta tuotettavaa ja jalostettavaa liikennepolttoainetta ei tarvitse siirtää putkea pitkin kulutuskohteeseen, mutta se täytyy puhdistaa ja paineistaa. Siirtoputkea ei tarvita, joten se antaa laitoksen sijoittamiselle lisää vapauksia. Kaasun jakelupiste voi olla erillään laitoksesta.

Laitoksen päätuote on puhdistettu ja paineistettu metaani. Lisäksi biokaasusta saadaan hiilidioksidia, jota biokaasusta on noin 30-40 %. Hiilidioksidia käytetään esimerkiksi elintarviketeollisuudessa. Sivutuotteena syntyvän mädätetyn lietteen käyttömahdollisuudet ovat samat kuin edellä.

### Taloudellinen kannattavuus

Biokaasulaitoksen kokonaisinvestoinniksi arvioitiin 8,8 milj. €. Laskelmissa käytetyillä lähtöarvoilla päädytään taulukossa 2 esitettyihin laitosinvestoinnin kannattavuutta kuvaaviin taloudellisiin tunnuslukuihin.

**Taulukko 2.** Biokaasulaitoksen taloudelliset tunnusluvut.

Nykyarvo (NPV); 1000 €	4364,5
Sisäinen korkokanta (IRR); %	13
(IRR)-investointi vuonna 1; %	16
Alkuinvestoinnin takaisinmaksuaika; a	6,34
Diskontattu takaisinmaksuaika; a	7,49

### Muut vaikutukset

Laitoksen muut vaikutukset ovat pääasiassa kuten edellisissä Atrian ja maatalojen laitosvaihtoehdoissa. Lisäksi liikenteen päästöt pienenevät alueella, kun noin 1200 autoa (20000 km/a) käyttää polttoaineenaan biokaasua. Tämä edellyttää tietysti sitä, että biokaasua käytettäviä autoja on liikenteessä riittävästi.

### Liiketoimintamallin kehittäminen

Tässä laitospolttamallissa biokaasun metaani puhdistetaan ja paineistetaan liikennepolttoaineeksi ja oletetaan, että kaikki kaasu saadaan myytyä. Laskelmat on tehty bensienekvivalenttilitraa selvästi halvemmalla hinnalla. Hinta voisi olla suurempikin, koska investointi sisältää kaasun puhdistus- ja paineistuslaitteiden lisäksi myös jakeluun tarvittavan laitteiston. Biokaasun liikennepolttoainekäyttö onkin ratkaisu biokaasulaitoksen kannattavuuden saavuttamiseksi. Tämä vaihtoehto edellyttää kuitenkin infrastruktuurin perustamista ja laajaa alueellista sitoutumista jo käynnistysvaiheessa.

Laitoksen kannattavuutta voidaan parantaa myös kolmen aikaisemman biokaasulaitostarkastelun yhteydessä esitettyjen seikkojen kuten porttimaksujen avulla. Tässä tarkasteltu laitos saa porttimaksuja vain teollisuuden jätteen vastaanotosta ja laitos maksaa jätteen kuljetuksen.



## 2.2 Lapuan Nahka Oy:n konsepti

Tarkastelun kohteena on Lapuan Nahka Oy:n jätteitä, muuta teollisuusjätettä, puhdistamolietettä sekä maatalouden lietteitä hyödyntävä biokaasulaitos. Lapuan Nahkan henkilöstön kanssa käytyjen keskustelujen perusteella valittiin tehtaalla syntyvistä jätteistä mädätyskelpoiset jakeet, jotka otetaan huomioon tässä selvityksessä.

Nahkatehtaan jätteiden määrät ovat biokaasulaitosta ajatellen pieniä, joten tämän kohteen raaka-aineet joudutaan pääosin tuomaan lähialueilta yrityksen ulkopuolelta. Lapualla on perunanjalostusteollisuutta, jonka jätteet soveltuvat mädätykseen. Samoin mädätyskelpoisia jakeita syntyy esimerkiksi sikatiloilla sekä kunnallisella jäteveden puhdistamolla. Biokaasulaitoksen oletetaan sijaitsevan nahkatehtaan lähellä. Tarkasteltavat jätteet on esitetty taulukossa 3.

Solunesteen suuresta määrästä johtuen mädätettävän seoksen keskimääräinen nestepitoisuus on korkea, minkä vuoksi laitoksen kuormitusta voidaan haluttaessa nostaa. Täten laitoksen kannattavuutta ja kaasuntuottoa voidaan parantaa ottamalla vastaan esimerkiksi teollisuuden hiilipitoisia jätteitä. Taulukon 3 mukaisesti jätteiden biokaasupotentiaali on noin 12,3 GWh/a.

**Taulukko 3.** Tarkastelussa huomioitavat jätteet sekä niiden kaasuntuottopotentialit (kaasun määrä  $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{a}$  ja energiasisältö MWh/a).

Syntyvät jätteet	$\text{m}^3\text{CH}_4/\text{a}$	MWh/a
<i>Maatilat ja kunta</i>		
Sikaliete	84 000	847
Kunnallinen jäteveden puhdistamoliete	260 000	2 622
<i>Perunateollisuus</i>		
Soluneste	756 000	7 623
Tärkkelysjäte	94 000	984
<i>Nahkateollisuus</i>		
Kaavausjäte	22 304	225
Karvajäte	8 377	84
<b>Yhteensä</b>		<b>12 349</b>

Lapuan pilottikohdetta tarkastellaan kahdesta kaasun käytön näkökulmasta:

1. Kaasua käytetään biokaasulaitoksen omaan lämmöntuotantoon sekä höyryn tuotantoon nahkatehtaalle, jolloin korvataan laitoksen nykyisin käyttämää raskasta polttoöljyä. Lisäksi lämpöä jää myyntiin.
2. Kaasua käytetään sähkön ja lämmön yhteistuotantoon. Yhteistuotantoon kaasua syötetään sen verran kuin biokaasulaitoksen ja tehtaan sähkön tarve on. Lisäksi tuotetaan biokaasulaitoksen ja tehtaan tarvitsema lämpö, ja loppu lämpö jää myyntiin.

Ensimmäiseen ratkaisuun sisältyy höyrynkehitin ja toiseen kuuluu kaasumoottori. Mesofiliisellä lämpötila-alueella toimivan biokaasulaitoksen investoinnin suuruudeksi on arvioitu noin 5,5 milj. €. Investointi on arviolta noin 0,5 milj. € pienempi, mikäli kaasumoottorin sijaan hankitaan höyrynkehitin. Oletuksena on, että vaihtoehdossa 1 biokaasulaitos ostaa tarvitsemansa sähkön verkosta, koska tehdas saa teollisuussähkön edullisesti. Kun oletetaan biokaasulaitoksen omaksi lämmöntarpeeksi 3,3 GWh/a, jää lämpöenergiaa tehtaan ja muuhun käyttöön noin 7,8 GWh/a.

Vaihtoehdossa 2 laitos käyttää itse tuottamaansa sähköä. Oletuksena on, että biokaasulaitos käyttää noin 0,65 GWh/a sähköä ja 3,4 GWh/a lämpöä. Kaasumoottorille syötetään 64 % tuotetusta kaasusta ja loppu menee suoraan lämmöntuotantoon tai muuhun käyttöön. Kaasumoottorin oletettu käyttöaika on 8400 tuntia vuodessa. Seisokin ajan kaasu ohjataan kokonaisuudessaan lämmöntuotantoon. Tehtaan käyttöön ja myytäväksi jää noin 2,0 GWh/a sähköä ja noin 5,1 GWh/a lämpöä.

Biokaasulaitoksen sivutuotteena syntyy mädätettyä lietettä. Sitä voidaan levittää pellolle tai jalostaa edelleen kuitenkin niin, että sivutuoteasetuksen ja muun lainsäädännön vaatimukset huomioidaan. Kuivaamalla (esim. dekanterilinko, 20 % kuiva-ainepitoisuuteen) tarkasteltavasta jätekoostumuksesta syntyvää lietettä jää noin 14500 t/a, kun mädätyksen VS-reduktioksi oletetaan 50 %. Tällöin myös lietteen sisältämät ravinteet jakaantuvat siten, että valtaosa fosforista on kuiva-ainejakeessa ja typpi nesteessä. Jätevesien viemäröintimahdollisuus on olemassa, mutta vesien esikäsittelytarve tulee selvittää.

Mädätettyä lietettä voidaan jalostaa monin tavoin. Esimerkiksi termisesti kuivaamalla saadaan pieneen tilaan menevä hygienisoitu lannoite- tai maanparannustuote, jonka valmistus tosin kuluttaa paljon energiaa.

## **Taloudellinen kannattavuus**

Biokaasulaitoksen kannattavuutta kuvaavat keskeiset arviot kustannuksista ja tuotoista on esitetty taulukossa 4. Toisena vuonna laitoksen kustannukset ja tuotot on arvioitu samansuuruisiksi lukuun ottamatta lainan korkokustannuksia

(vaihtoehto 1: 74500 €; 2: 82000 €) ja veroja (1: 37000 €; 2: 36000 €). Näillä lähtöarvoilla päädytään taulukossa 5 esitettyihin laitosinvestoinnin kannattavuuden taloudellisiin tunnuslukuihin.

### Liiketoimintamallin kehittäminen

Tarkastelun kohteena oli kaksi laitospäätös, jossa kaasu käytetään

1. biokaasulaitoksen omaan ja tehtaan lämmön tarpeeseen
2. biokaasulaitoksen omaan ja tehtaan lämmön sekä sähkön tarpeeseen. Ylijäämälämpö myydään.

Taloudellisten tunnuslukujen perusteella molemmat vaihtoehdot täyttävät kannattavuuden vaatimukset, ja pelkkään lämmöntuotantoon perustuva ratkaisu on hivenen kannattavampi. Energian lisäksi laitos saa tuloja porttimaksuista. Biokaasulaitos maksaa jätteiden kuljettamisesta 2 €/t.

**Taulukko 4.** Laitoksen investointi sekä kustannukset ja tuotot (1000 €) ensimmäisenä vuonna vaihtoehdoissa 1 ja 2.

<b>Investointi</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Laitosinvestointi	5000,0	5500,0
Investointituki	1200,0	1320,0
<b>Kustannukset</b>		
Muuttuvat kulut	236,2	198,0
-josta kuljetuskustannuksia	153,0	153,0
Kiinteät kulut	360,0	405,0
Poistot	253,3	278,7
Lainan korkokulut	79,8	87,8
Verot	35,5	34,5
<i>Yhteensä</i>	<i>964,8</i>	<i>1004,0</i>
<b>Tuotot</b>		
Laskennalliset tuotot	131,4	233,6
Jätteenkäsittelykustannukset	93,9	93,9
Porttimaksut	732,5	732,5
Energian myynti	108,1	42,2
Lopputuotteiden myynti	0	0
Muut	0	0
<i>Yhteensä</i>	<i>1065,9</i>	<i>1102,2</i>

**Taulukko 5.** Biokaasulaitoksen taloudellisten tunnuslukujen vertailu vaihtoehtoissa 1 ja 2.

	1	2
Nykyarvo (NPV); 1000 €	696,0	629,7
Sisäinen korkokanta (IRR); %	7	7
(IRR)-investointi vuonna 1; %	9	8
Alkuinvestoinnin takaisinmaksuaika; a	8,86	9,12
Diskontattu takaisinmaksuaika; a	11,40	11,95
Energian tuotantokustannus; €/MWh	35,94	41,97
Energian tuotantokustannus (pelkät käyttö-kustannukset); €/MWh	172,41	110,40
Energian tuotantokustannus (pelkkä investointi); €/MWh	73,26	51,02

Biokaasulaitoksen kannattavuuteen vaikuttavat kuitenkin lukuisat tekijät, joiden avulla edellä kuvatunlaiset laitokset voivat saavuttaa vielä paremman kannattavuuden. Lapuan laitoksen kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat ainakin seuraavat:

#### *Teollisuuden porttimaksujen osuuden lisääminen*

Biokaasulaitos voi muuttaa raaka-ainekoostumustaan ottamalla enemmän vastaan teollisuuden jätteitä ja saamalla enemmän porttimaksuja. Tässä tapauksessa tämä on hyvinkin mahdollista, koska raaka-aineiden keskimääräinen kuiva-ainepitoisuus on noin 6,3 %. Täten kuormituksen nostaminen esimerkiksi hiilipitoisella teollisuusjätteellä olisi mahdollista ilman laitoksen volyymin lisäämistä.

#### *Kaasun käyttökohde*

Oleellista kannattavuuden kannalta on myös, mikä on biokaasun käyttötarkoitus, ja esimerkiksi mahdollinen öljyn hinnan jatkuva nousu parantaa biokaasulaitoksen kannattavuutta tulevaisuudessa. Lisäksi laitoksen talouteen vaikuttaa myös Lapuan Nahka Oy:n tämänhetkiset höyrykontin vuokratustannukset, joita ei laskelmissa ole huomioitu.

## **2.3 Lakeuden Etappi Oy:n biokaasulaitos**

Kuntien omistama jätehuolto-yhtiö Lakeuden Etappi Oy vastaa kuntien lakisääteisen jätehuollon järjestämisestä. Yhtiön toiminta-alueeseen kuuluu 13 kuntaa ja reilut 132 000 asukasta, ja se sijaitsee Ilmajoen Laskunmäellä.

Lakeuden Etappi Oy:n jätehuoltokeskuksen alueelle ollaan toteuttamassa biokaasulaitosta, joka tulee käsittelemään jätevesipuhdistamoiden lietteitä sekä erilliskerättyä biojätettä. Laitoksessa voidaan käsitellä myös teollisuuden lietteitä. Lakeuden Etapin biokaasulaitosta tarkastellaan tässä esimerkkinä kunnallisesta tuotantolaitoksesta. Tarkastelunäkökulmia on kaksi:

- Tuotettava kaasu käytetään biokaasulaitoksen omaan lämmön ja sähkön kulutukseen. Jäljelle jäävä sähkö ja lämpö myydään Etapin muille yksiköille.
- Toisessa laskelmassa kaasu jalostetaan ja myydään liikennepolttoaineena. Biokaasulaitoksen tarvitsema sähkö ja lämpö ostetaan ulkopuolelta.

Tarkasteltavat raaka-aineet ja niiden metaanintuoton potentiaalit on esitetty taulukossa 6. Laskennassa on käytetty 75 % kuormitusastetta.

**Taulukko 6.** Etapin biokaasulaitoksessa käsiteltävät jätteet ja niiden kaasuntuottopotentiaalit (kaasun määrä  $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{a}$  ja energiasältö  $\text{MWh}/\text{a}$ ).

	$\text{m}^3\text{CH}_4/\text{a}$	$\text{MWh}/\text{a}$
Puhdistamoliete	777 600	7 841
Biojäte	525 000	5 294
Yhteensä		13 135

Vaihtoehdossa 1 laitos tuottaa biokaasua, joka käytetään pääosin mädätetyn lietteen esilämmittämiseen mesofiiliseen prosessiin soveltuvaksi sekä termiseen kuivaamiseen. Lopputuotteena Etapin biokaasulaitoksessa syntyy hygienisoitua 90 % kuiva-ainepitoisuuteen kuivattua lietettä, mikä vielä jatkojalostetaan pelleteiksi puristamalla pellettipuristimella. Pellettejä voidaan käyttää lannoitevalmisteena lannoitevalmistelain mukaisesti. Raetta syntyy noin 8000 t/a eli  $16000 \text{ m}^3/\text{a}$  ( $500 \text{ kg}/\text{m}^3$ ).

Rakeita voi polttaa, mutta ne sisältävät kuitenkin merkittävästi tuhkaa. Nyt kannattavin käyttökohde on viherrakentaminen. Rakeet sopivat mahdollisesti myös metsälannoitteeksi. Biokaasulaitoksen oman käytön ja termisen kuivauksen jälkeen lämpöä arvioidaan jäävän myyntiin lähes  $1500 \text{ MWh}/\text{a}$ . Sähköä jää yli vain vähäinen määrä.

Vaihtoehdossa 2 biokaasu käytetään liikennepolttoaineena, jota tuotetaan lähes  $1470000$  bensiinilitraekvivalenttia, joka riittää noin 800 henkilöautolle ( $20000 \text{ km}/\text{auto}$ ). Sivutuotteena voidaan jalostaa hiilidioksidia, jota biokaasu sisältää noin 30–45 %. Biokaasulaitoksen tarvitsema sähkö ja lämpö ostetaan ulkopuolelta.

## Taloudellinen kannattavuus

Biokaasulaitoksen kannattavuutta kuvaavat keskeiset alustavat arviot kustannuksista ja tuotoista on esitetty taulukossa 7.

Toisena vuonna laitoksen kustannukset ja tuotot on arvioitu samansuuruisiksi lukuun ottamatta lainan korkokustannuksia (vaihtoehto 1: 191000 €; 2: 220000 €) ja veroja (1: 153000 €; 2: 242000 €). Näillä lähtöarvoilla päädytään taulukossa 8 esitettyihin laitosinvestoinnin kannattavuutta kuvaaviin taloudellisiin tunnuslukuihin.

**Taulukko 7.** Laitoksen arvioitu investointi sekä kustannukset ja tuotot (1000 €) ensimmäisen vuoden osalta vaihtoehtoissa 1 ja 2.

<b>Investointi</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
Laitosinvestointi	11912,0	13712,0
Investointituki	2144,2	2468,2
<b>Kustannukset</b>		
Muuttuvat kulut	582,0	1020,0
-josta kuljetuskustannuksia	144,0	144,0
Kiinteät kulut	582,0	582,0
Poistot investointituella vähennettynä	651,2	749,6
Lainan korkokulut	205,1	236,1
<i>Yhteensä</i>	<i>2020,3</i>	<i>2587,7</i>
<b>Tuotot</b>		
Porttimaksut	2150,0	2150,0
Energian myynti	45,9	953,0
Lopputuotteiden myynti	0	0
Muut	0	0
<i>Yhteensä</i>	<i>2195,9</i>	<i>3103,0</i>

**Taulukko 8.** Biokaasulaitoksen taloudellisten tunnuslukujen vertailu.

	<b>1</b>	<b>2</b>
Nykyarvo (NPV); 1000 €	1126,0	4602,6
Sisäinen korkokanta (IRR); %	6	10
(IRR)-investointi vuonna 1; %	8	12
Alkuinvestoinnin takaisinmaksuaika; a	9,47	7,49
Diskontattu takaisinmaksuaika; a	12,49	9,20

## Muut vaikutukset

Biokaasulaitos sijoitetaan jätehuoltokeskuksen alueelle ja laitoksella on ympäristölupa. Laitoksen sijaintipaikkaa kuvataan seuraavasti: Alue lähiympäristöineen on metsätalouskäytössä. Noin 300 metrin päässä laitosalueen rajasta on Lemminkäinen Oy:n kalliolouhosalue. Lähimmät asuinkiinteistöt sijaitsevat noin 1100 metrin etäisyydellä biokaasulaitoksesta, ja lähimmät peltoalueet sijaitsevat noin 1000 metrin etäisyydellä laitoksesta. Lähin vesistö, Tuomiluoma, on lähimmillään noin 1400 metrin päässä. Pohjavesialue on noin 4 kilometrin etäisyydellä laitosalueesta (Länsi-Suomen Ympäristökeskus 2004).

Etapin laitos käsittelee puhdistamolietteitä, biojätteitä ja teollisuuden jätteitä. Kyse on nimenomaan jätteiden käsittelystä, ja käsittely tapahtuu lainsäädännön edellyttämällä tavalla. Mädätyksen ja biokaasun asianmukaisen käytön avulla kasvihuonekaasupäästöt pienenevät.

## Liiketoimintamallin kehittäminen

Taloudellisten tunnuslukujen perusteella molemmat kannattavuuslaskennan kohteena olleet vaihtoehdot täyttävät kannattavuuden vaatimukset nykyarvomenetelmän mukaan. Laitokset saavat tuloja energian myynnin lisäksi porttimaksuista. Biokaasulaitosten kannattavuuteen vaikuttavat lukuisat muutkin tekijät, joiden avulla laitokset voisivat saavuttaa vielä paremman kannattavuuden. Kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat ainakin seuraavat:

### *Mädätetty liete*

Mädätetylle lietteelle ja termisesti kuivatulle rakeelle on kannattavuuslaskelmissa oletettu nolla-arvo. Kustannuksia sen käsittelystä aiheutuu ainakin kuivaamisesta, mikä on huomioitu energiankulutuksessa.

### *Hiilidioksidi*

Liikennepolttoainetta tuottaessa biokaasusta erotetaan hiilidioksidi. Hiilidioksidia voidaan käyttää kasvihuoneissa tehostamaan kasvien yhteyttämistä ja myös elintarviketeollisuus käyttää sitä eläinten tainnuttamiseen. Etapin laskelmissa ei ole huomioitu hiilidioksidista saatavia tuloja.

### *Muut raaka-aineet*

Laskelmissa ei ole huomioitu teollisuusjätteen vaikutusta kaasuntuottoon, vaan laskelmat on tehty vajaalla kapasiteetilla (puhdistamolietteet ja biojäte). Myös eri jätejakeiden yhteismädätystä optimoimalla voitaneen prosessin stabiilisuutta ja kaasuntuottoa tehostaa.

### *Kaasun käyttökohde*

Kannattavuuden kannalta on tärkeää myös se, mikä on biokaasun käyttötarkoitus. Mahdollinen öljyn hinnan jatkuva nousu parantaa biokaasulaitoksen kannattavuutta tulevaisuudessa, koska kaasulla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita. Ongelmana on lähellä sijaitsevien energian kulutuskohteiden puuttuminen tällä hetkellä. Lähemmän selvittämisen arvoinen asia lienee myös biokaasun johtaminen kaukolämpölaitokselle 6 kilometrin päähän.

## 2.4 Nurmon maatilojen biokaasulaitos

Seuraavassa tarkastellaan yhdeksän nurmolaisen maatilan lietteiden ja lannan hyödyntämiseen perustuvaa liikennepolttoainetta tuottavaa biokaasulaitosta. Eläinmäärien perusteella laskettuna tiloilla syntyvien lietteiden ja lannan biokaasupotentiaali on noin 4,8 GWh/a (taulukko 9).

**Taulukko 9.** Maatiloilla syntyvät liete- ja lantamäärät sekä biokaasupotentiaali (kaasun määrä  $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{a}$  ja energiasisältö MWh/a).

	$\text{m}^3\text{CH}_4/\text{a}$	MWh/a
Broilerin lanta	248 640	2 507
Sikalan liete	217 280	2 191
Naudan liete	13 500	136
<b>Yhteensä</b>		<b>4 834</b>

Maatilojen lietteitä hyödyntävän laitoksen sijoituspaikkaa voidaan haarukoida esimerkiksi hakemalla lietteen synnyn tai levitysalueiden painopisteitä. Lietteiden kuljetuksen lisäksi tulee ottaa huomioon biokaasua polttoaineenaan käyttävien ajoneuvojen kulkureitit. Mahdollista on myös perustaa polttoaineen jakelupiste tai -pisteitä erilleen laitoksesta.

Tässä tarkastelussa mukana olevien tilojen lietteitä ja lantaa tulee käsiteltäväksi noin  $24000 \text{ m}^3/\text{a}$  (TS 10 %). Reaktorin ( $1800 \text{ m}^3$ ) kuormitus olisi tällöin noin  $2,7 \text{ kgVS}/\text{m}^3\text{d}$ . Määdätykseen voidaan käyttää tavanomaista märkämädätystä mesofiilisenä tai termofiilisenä. Tässä oletetaan, että käytetään mesofiilistä lämpötilaa (noin  $35\text{--}37^\circ\text{C}$ ).

Verrattuna laitokseen, joka käsittelee lietteiden lisäksi esimerkiksi teollisuuden jätteitä, on esikäsitteilyinvestoinnin tarve pienempi. Toisaalta kaasua joudutaan jalostamaan liikennekäyttöön pidemmälle kuin esimerkiksi lämmön ja sähkön tuotantoon. Liikennekäyttöön kaasu puhdistetaan ja paineistetaan.



Biokaasulaitoksen arvioitu kaasuntuotto edellä esitetyllä raaka-ainekoostumuksella on noin 4,8 GWh/a, kun kaasun metaanipitoisuudeksi on arvioitu 60 %. Pitoisuus voi olla suurempikin. Biokaasulaitos ostaa tarvitsemansa sähkön verkosta, tuottaa käyttämänsä lämmön itse, ja ylijäämä kaasu käytetään liikenteen polttoaineena. Biokaasulaitoksen omaksi lämmöntarpeeksi on arvioitu 1,3 GWh/a, jolloin kaasua jäisi liikennepolttoaineeksi lähes 3,4 GWh/a. Tämä kaasumäärä riittäisi noin 210 henkilöauton tarpeeseen, mikäli ne ajaisivat 20000 km/a. Lisäksi on mahdollista ottaa talteen biokaasun hiilidioksidi, jota saatisiin lähes 320 000 m<sup>3</sup>/a eli 624 t/a (1,95 kg/m<sup>3</sup>), mikäli tuotettavan biokaasun hiilidioksidipitoisuus on 40 %.

Biokaasulaitoksen sivutuotteena syntyy hydrolyysijäännöstä eli mädätettyä lietettä. Maatilojen biokaasulaitoksessa tilat pääsääntöisesti tuodessaan lietettä laitokselle ottaisivat paluukuorman mädätettyä lietettä. Liette levitetään sellaisenaan pellolle siten, että muun muassa sivutuoteasetuksen vaatimukset huomioidaan. Mikäli mädätetty liete kuivataan esimerkiksi dekantterilingolla 20 % kuiva-ainepitoisuuteen, saadaan tätä fosforipitoista ainesta noin 7500 t/a, kun mädätyksen VS-reduktioksi oletetaan 50 %.

### **Taloudellinen kannattavuus**

Keskeiset arviot biokaasulaitoksen kustannuksista ja tuotoista on esitetty taulukossa 10. Toisena vuonna laitoksen kustannukset ja tuotot on arvioitu samansuuruisiksi lukuun ottamatta lainan korkokustannuksia. Korkokustannukset ovat toisena vuonna noin 45000 €. Näillä lähtöarvoilla päädytään taulukossa 11 esitettyihin laitosinvestoinnin kannattavuutta kuvaaviin taloudellisiin tunnuslukuihin.

**Taulukko 10.** Laitoksen arvioitu investointi sekä kustannukset ja tuotot (1000 €) ensimmäisen vuoden osalta.

<b>Investointi</b>	
Laitosinvestointi	3000,0
Investointituki	720,0
<b>Kustannukset</b>	
Muuttuvat kulut	91,3
-josta kuljetuskustannuksia	44,4
Kiinteät kulut	150,0
Poistot investointituella vähennettynä	152,0
Lainan korkokulut	47,9
Verot	0
<i>Yhteensä</i>	<i>441,2</i>
<b>Tuotot</b>	
Porttimaksut	0
Energian myynti	245,5
Lopputuotteiden myynti	0
Muut	0
<i>Yhteensä</i>	<i>245,5</i>

**Taulukko 11.** Biokaasulaitoksen taloudellisten tunnuslukujen vertailu.

Nykyarvo (NPV); 1000 €	-2235,8
Sisäinen korkokanta (IRR) (IRR)-investointi vuonna 1	
Alkuinvestoinnin takaisinmaksuaika; a	>15
Diskontattu takaisinmaksuaika; a	>15

### **Muut vaikutukset**

Nurmossa sijaitsevan biokaasulaitoksen toiminnalla on monia myönteisiä vaikutuksia ympäristön kannalta. Erityisen tärkeää alueen kannalta on lietelannan hajupäästöjen pieneneminen levitysaikaan, koska niin nykyiset kuin suunnitellutkin asuntoalueet sijaitsevat sikaloiden läheisyydessä. Ympäristön, viihtyisyyden ja alueen arvon lisäksi tämä tukee myös sikojen kasvatusta elinkeinona. Uusien sikaloiden perustamista ja nykyisten laajentamista voivat jarruttaa juuri ennakoit-

duista hajuhaitoista johtuvat valitukset. Mädätettynä lietettä voitaisiin siis levittää aivan asutusten läheisyydessä sijaitseville peltoalueille kuten Kertunlaakson asuntoalueen ympäristöön Nurmossa.

Nurmon Atrian tehtaan ympärille kehittynyt ja edelleen kasvava sikalakeskittymä tulee jatkossa tarvitsemaan entistä enemmän lietteen levityspinta-alaa mahdollisimman lyhyiden kuljetusmatkojen päästä. Biokaasulaitos tarjoaa tähän ongelmaan ainakin osittaisen ratkaisun, koska hajuhaittojen pienenemisen lisäksi myös lietemäärä pienenee mädätyksessä. Jonkin verran tämä vähentää myös lietteen kuljetus- ja varastointitarvetta ja siten sekä traktoriliikenne pelloille että varastointitilojen ja kuljetuskaluston investointitarve tiloilla pienenee. Mikäli lietteen käsittely siirtyy biokaasulaitoksen tehtäväksi, niin se vähentää myös sikatilojen työmäärää.

### **Liiketoimintamallin kehittäminen**

Tässä laitospolttokonseptissa biokaasun metaani puhdistetaan ja paineistetaan liikennepolttoaineeksi ja oletetaan, että kaikki saadaan myytyä. Laskelmat on tehty bensiiniekvivalenttihinnalla 0,65 €/litra, mikä voisi olla suurempikin, esimerkiksi 0,85 €/l, koska investoinnin on arvioitu sisältävän kaasun puhdistus- ja paineistuslaitteiden lisäksi myös jakeluun tarvittavan laitteiston.

Liikennepolttoaineen myynti on tässä tarkastellun laitoksen ainoa tulonlähde. Edellä nähtiin, että se ei riitä kannattavuuden saavuttamiseen. Kannattavuuden parantamiseksi on kuitenkin olemassa useita mahdollisuuksia.

#### *Hiilidioksidin myynti*

Tässä laskelmassa ei ole huomioitu hiilidioksidia, joka täytyy poistaa biokaasusta, jotta se soveltuisi liikennepolttoaineeksi. Hiilidioksidia käytetään esimerkiksi elintarviketeollisuudessa eläinten tainnutuksessa.

#### *Teollisuuden porttimaksujen osuuden lisääminen*

Biokaasulaitos voi muuttaa raaka-ainekoostumustaan ottamalla vastaan teollisuuden jätteitä ja saamalla enemmän porttimaksuja. Tässä tarkasteltu laitos ei saa porttimaksuja vastaanottamastaan raaka-aineista, mutta maksaa niiden kuljettamisesta 2 €/t. Teollisuuden jätteiden käsittely voisi vaatia lisäinvestoinnin esikäsitteilyprosessiin.

#### *Kaasuntuoton tehostaminen*

Biokaasulaitoksen kaasuntuottoa voidaan lisätä eri raaka-aineiden yhteismädätyksellä eli laitos voisi ottaa vastaan myös muita raaka-aineita. Tämän laitoksen on oletettu käsittelevän vain kotieläinten lietteitä ja lantaa.

### *Laitoksen kokoluokka*

Tarkasteltu laitos on suhteellisen pieni alueelliseksi tilojen yhteiseksi biokaasulaitokseksi. Nykyisin perustettavat yhteislaitokset ovat usein huomattavasti suurempia, ja investointi suhteessa käsittelykapasiteettiin on pienempi.

## 2.5 Maatilakohtainen biokaasulaitos Jalasjärvellä

Maatila Jalasjärvellä on hankkeen pilottikohteista pienin ja syrjäinen. Se sijaitsee noin 15 kilometriä Jalasjärven kirkonkylältä. Lähietäisyydellä on muutama maatila, mutta ei varsinaista taajamaa. Tarkasteltavana on yhden tilan biokaasulaitos, joka käyttää raaka-aineenaan sikalietettä sekä hienojakoiseksi silputtua ruokohelpeä (taulukko 12).

**Taulukko 12.** Jalasjärven maatilapilotin raaka-ainepotentiaali laajennuksen jälkeen ja energiankulutus (kaasun määrä  $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{a}$  ja energiasisältö MWh/a).

	$\text{m}^3\text{CH}_4/\text{a}$	MWh/a
Sikaliete	38080	384
Ruokohelppi	35640	359
<b>Yhteensä</b>		<b>743</b>

Mädätyksen oletetaan tapahtuvan märkämädätyksenä ja toimivan mesofiilillä lämpötila-alueella. Laitos käyttää raaka-aineenaan vain oman tilan lietettä, joten erillistä hygienisointia ei tarvita. Käytettävien raaka-aineiden eli sikalietteen ja ruokohelven biokaasupotentiaali on noin 743 MWh/a. Tilalla on kaasumoottori, jolla tuotetaan sekä sähköä että lämpöä. Kaasumoottorille syötetään 60 % kaasusta ja 14 % suoraan lämmöntuotantoon polttimelle. Kaasusta 26 % jää muuhun käyttöön.

Sähköä tuotetaan sekä tilalle että biokaasulaitoksen tarpeeseen hyötysuhteella 35 %. Lämpöä syntyy samanaikaisesti noin 55 %:n hyötysuhteella. Sähköä saadaan tällöin noin 150 MWh/a ja biokaasulaitoksen oman käytön jälkeen loppu jää tilan käyttöön. Lämpöä tuotetaan yhteensä 345 MWh/a, jota käytetään sekä biokaasulaitoksen omaan että tilan tarpeisiin.

Sähköä tuotetaan hieman vähemmän kuin tilan kokonaiskulutus on. Sähköteho jää pienemmäksi kuin huippukulutusten aikaan tarvitaan. Täten huippujen aikana joudutaan turvautumaan ostosähköön. Lämpöä syntyy enemmän kuin tilalla on tarvetta. Ylijäämäkaasu käytetään muuhun käyttötarkoitukseen. Tilan kausiluontoisesta energian tarpeesta johtuen ei yhden maatilalan biokaasulaitoksen avulla voida saavuttaa energiaomavaraisuutta.

Kaasun lisäksi toinen laitoksen tuottama tuote on mädätetty liete. Mädätetty liete levitetään pellolle. Biokaasuprosessi vähentää jätelietteen kokonaismassaa, jolloin raakalietteen levitykseen verrattuna lietteelle riittää pienempi levityspinta-ala. Mikäli tässä tarkasteltavasta jätekoostumuksesta syntyvä mädätetty liete kuivataan 20 % kuiva-ainepitoisuuteen, jää kuivaa jätettä noin 950 t/a, kun mädätyksen VS-reduktioksi oletetaan 50 %.

### Taloudellinen kannattavuus

Arviot biokaasulaitoksen keskeisistä kustannuksista ja tuotoista on esitetty taulukossa 13.

**Taulukko 13.** Laitoksen arvioidut kustannukset ja tulot (1000 €).

<b>Investointi</b>	
Laitosinvestointi	250,0
Investointituki	75,0
<b>Kustannukset</b>	
Muuttuvat kulut	0
-josta kuljetuskustannuksia	0
Kiinteät kulut	*1,0
Poistot investointituella vähennettynä	11,7
Lainan korkokulut	3,7
Verot	1,0
<i>Yhteensä</i>	<i>17,3</i>
<b>Tuotot</b>	
Laskennalliset tuotot	9,7
Jätteenkäsittelykustannukset	0
Porttimaksut	0
Energian myynti	10,6
Lopputuotteiden myynti	0
Muut	0
<i>Yhteensä</i>	<i>20,3</i>

\* Arvio; muuttuvat ja kiinteät kustannukset yhteensä

Toisena vuonna laitoksen kustannukset ja tuotot on arvioitu samansuuruisiksi lukuun ottamatta lainan korkokustannuksia (n. 3430 €) ja veroja (n. 1100 €). Näillä lähtöarvoilla päädytään taulukossa 14 esitettyihin laitosinvestoinnin kannattavuutta kuvaaviin taloudellisiin tunnuslukuihin.

**Taulukko 14.** Biokaasulaitoksen taloudellisten tunnuslukujen vertailu.

Nykyarvo (NPV); 1000 €	13,8
Sisäinen korkokanta (IRR); %	6
(IRR)-investointi vuonna 1; %	7
Alkuinvestoinnin takaisinmaksuaika; a	9,73
Diskontattu takaisinmaksuaika; a	12,95
Energian tuotantokustannus ; €/MWh	26,83
Energian tuotantokustannus (pelkät käyttökustannukset); €/MWh	3,95
Energian tuotantokustannus pelkkä investointi); €/MWh	46,11
Energian omakustannushinta; €/MWh	38,62

### Muut vaikutukset

Biokaasulaitoksen toiminnalla on monia myönteisiä vaikutuksia ympäristön kannalta. Mädätetyn lietteen määrä pienenee mädätyksessä, liete muuttuu homogeenisemmaksi ja ravinteet kasvien nopeammin hyödynnettävissä olevaan muotoon. Erityisen tärkeä alueen kannalta on lietelannan hajupäästöjen pieneminen levitysaikaan.

Mädätetyn lietteen hajuttomuus edesauttaa elinkeinon harjoittamista. Sika-  
laiden laajennussuunnitelmista valitetaan, ja suoranaisia levitysrajoituksiakin  
voidaan asettaa. Jalasjärvellä jo 94 % peltopinta-alasta käytetään lietelannan  
levitykseen. Eläinmäärien noustessa nykyisestä tulee peltopinta-alasta puute.  
Hajuton liete voisi olla haluttua tavaraa myös muiden pelloille.

Mädätetyn lietteen ravinteiden jakaantumista ja määriä pellolle voidaan  
hallita helpommin verrattuna raakalietteeseen, koska mädätyksessä liete homogee-  
nisoituu. Homogeenisesta lietteestä on erotettavissa ja edelleen hyödynnettä-  
vissä fosforipitoinen kiintoainepitoinen jae ja nestemäinen jae. Lisäksi tyyppi on  
mädätetyssä lietteessä kasvien nopeammin hyödynnettävässä muodossa, jolloin  
keinolannoitteiden tarve pienenee.

Tilalliset voivat ratkaista lietteen levitysongelman tekemällä lannan  
levityssopimuksia tai vuokraamalla peltoa, mutta siitäkin aiheutuu kustannuksia  
ja sopimukset ovat määräaikaisia. Peltohehtaarin hinta on Jalasjärvellä 6700 €/ha  
ja vuokra vaihtelee välillä 100-500 €/ha.

### **Liiketoimintamallin kehittäminen**

Tarkastelun kohteena oli yhden sikatilan biokaasulaitos, joka käyttää raaka-aineenaan sikalietteen lisäksi ruokohelpeä. Tuotettu kaasu käytetään biokaasulaitoksen ja tilan oman lämmön- ja sähköntuotantoon ja loppu muuhun tilan omaan yritystoimintaan. Muussa käytössä on ajateltu korvattavan polttoöljyä. Tehdyn laskelman mukaan investointi olisi kannattava. Oletuksena oli, että sähköä tuotetaan suhteellisen tasaisesti sen verran kuin sitä kuluu, ja kulutushuippujen aikaan sitä ostetaan verkosta. Tilan lämmön tarve tyydytetään biokaasulla, jolla korvataan täten turvetta.

Sikatilan ja biokaasulaitoksen toiminnan yhteensovittamisen ongelmana on tilan epätasainen energiankulutus. Etenkin noin kuukauden viljankuivausjakson aikana käytetään paljon polttoöljyä.

Biokaasulaitoksen kannattavuuteen vaikuttavat kuitenkin tekijät, joiden avulla biokaasulaitos voi saavuttaa paremman kannattavuuden. Jalasjärven laitoksen kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat ainakin seuraavat:

#### *Mädätetty liete*

Mädätetyn lietteen mekaaninen kuivaus voi olla osaratkaisu peltopinta-alaongelmaan, mikä myös Jalasjärvellä on jatkuvasti kasvava sikalaelinkeinon kasvaessa. Esimerkiksi tilavuudeltaan pieni fosforipitoinen kuiva-ainesjake voidaan tarvittaessa kuljettaa kauaskin. Lietteen hajuttomuus on myös pinta-alaan vaikuttava tekijä: lietettä voidaan levittää myös asuintalojen lähellä sijaitseville pelloille, koska hajuongelmaa ei ole. Mikäli lietteen levittäminen olisi mahdollista asuinrakennusten lähellä sijaitseville pelloille tai pienemmälle pinta-alalle, niin tilallinen voisi mahdollisesti luopua kauempana olevista lietelevitykseen vuokratuista pelloista ja säästää myös rahtikuluissa.

#### *Teollisuuden porttimaksujen osuuden lisääminen*

Jalasjärven laitos voi muuttaa raaka-ainekoostumustaan ottamalla vastaan teollisuuden jätteitä ja saamalla porttimaksuja.

#### *Muut raaka-aineet*

Biokaasulaitos voisi ottaa vastaan myös oman tilan ulkopuolelta tulevia raaka-aineita. Muiden raaka-aineiden käyttöä suunniteltaessa on huomioitava asiaa koskeva lainsäädäntö kuten sivutuoteasetus sekä Kasvintuotannon tarkastuskeskuksen määräykset. Muutaman kilometrin säteellä tilalta syntyy runsaasti maatalouden lietteitä. Biokaasua voidaan tuottaa myös peltokasveista, esimerkiksi sokerijuurikkaan naateista, oljesta tai viljasta. Lisäksi voidaan hyödyntää kasvien jätteitä kuten olkia ja kuivaamojen lajittelujätteitä.

### *Kaasun käyttökohde*

Oleellista kannattavuuden kannalta on myös, mikä on biokaasun käyttötarkoitus, ja esimerkiksi mahdollinen öljyn hinnan jatkuva nousu parantaa biokaasulaitoksen kannattavuutta tulevaisuudessa. Biokaasulle olisi käyttöä viljankuivaajassa myös muilla tiloilla. Tämän käytön ongelma on kuitenkin kausiluonteisuus.

## 2.6 Maatilojen biokaasulaitos Seinäjoella

Tarkastelukohteena on yhden broileritilan ja kahden lähellä sijaitsevan sika- ja broileritilan kokonaisuus. Biokaasulaitos tulisi ensisijaisesti broileritilan yhteyteen ja muut tilat toimisivat lähinnä raaka-aineen toimittajina.

Broileritilalla syntyy paljon lantaa, jonka kuiva-ainepitoisuus on korkea. Huolimatta naapuritilan lietelannan ja broileritilan pesuvesien laimentavasta vaikutuksesta seoksen kuiva-ainepitoisuus jää korkeaksi märkämädätystä ajatellen. Mikäli seoksen kuiva-ainepitoisuus säädettäisiin lietteiden ja pesuvesien avulla halutulle tasolle, voitaisiin ainoastaan osa broileritilan lannasta ottaa mukaan seokseen.

Jotta saatavilla olevien raaka-aineiden kiintoainepitoisuus saataisiin liete-mädätykseen soveltuvalla tasolla, täytyisi kananlannan sekaan olla suurempia määriä lietteitä kuin tiloilla syntyy. Myös käytettävissä olevien pesuvesien määrä on riittämätön, jotta kiintoainepitoisuus saataisiin laskettua riittävän pieneksi. Lisäksi on mahdollista, että broilerin lannan ja sikalietteen korkea typpipitoisuus (ammoniakki) voi inhiboida kaasunmuodostusta.

Tässä selvityksessä tarkastellaankin broilerilannan kuivamädätyksen soveltuvuutta tilalle. Menetelmän kehitystyö on vasta käynnissä ja tämä tarkastelu perustuu olemassa oleviin kirjallisuustietoihin sekä toimittajakyselyyn menetelmän toimivuudesta sekä kustannuksista. Taulukkoon 15 on koottu tarkasteltavan biokaasulaitoksen kannalta keskeisiä raaka-ainetietoja.

**Taulukko 15.** Tarkasteltavat maatilan biokaasulaitoksen raaka-aineet (kaasun määrä  $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{a}$  ja energiasisältö MWh/a).

	$\text{m}^3\text{CH}_4/\text{a}$	MWh/a
Broilerin kuivikelanta	107280	1082
Viljan olki	44200	446
Yhteensä		1528



Laitoskonseptin pääpiirteet sekä kustannusarvio perustuvat saksalaiselle kuivamädätyslaitostoimittajalle tehtyyn kyselyyn. Kuivamädätyksessä broilerin lannan joukkoon täytyy sekoittaa kasviperäistä ainesta, jotta kosteus saadaan tasattua sopivaksi koko mädätettävään massaan. Sopivia aineksia olisivat esimerkiksi ruoho tai viljanjyvät. Kuivamädätysprosessi ei käytä vettä, eikä siitä synny jätevesiä.

Kuivamädätyksestä saatavat tuotteet ovat biokaasu sekä mädätetty lanta. Kaasu käytetään ensisijaisesti oman tilan sähkön ja lämmön tuottamiseen. Tällä hetkellä broilerin lanta levitetään pelloille, minne se myös mädätettynä voidaan toimittaa.

### Taloudellinen kannattavuus

Arviot biokaasulaitoksen kustannuksista ja tuotoista on esitetty taulukossa 16.

**Taulukko 16.** Laitoksen arvioidut kustannukset ja tulot (1000 €).

<b>Investointi</b>	
Laitosinvestointi	755,0
Investointituki	226,5
<b>Kustannukset</b>	
Muuttuvat kulut	0
-josta kuljetuskustannuksia	0
Kiinteät kulut	2,0
Poistot investointituella vähennettynä	35,2
Lainan korkokulut	11,1
Verot	1,4
<i>Yhteensä</i>	<i>49,8</i>
<b>Tuotot</b>	
Laskennalliset tuotot	53,8
Jätteenkäsittelykustannukset	0
Porttimaksut	0
Energian myynti	0
Lopputuotteiden myynti	0
Muut	0
<i>Yhteensä</i>	<i>53,8</i>

Toisena vuonna laitoksen kustannukset ja tuotot on arvioitu samansuuruisiksi lukuun ottamatta lainan korkokustannuksia (n. 10400 €) ja veroja (n. 1600 €). Näillä lähtöarvoilla päädytään taulukossa 17 esitettyihin laitosinvestoinnin kannattavuutta kuvaaviin taloudellisiin tunnuslukuihin.

**Taulukko 17.** Biokaasulaitoksen taloudellisten tunnuslukujen vertailu.

Nykyarvo (NPV); 1000 €	-8,9
Sisäinen korkokanta (IRR); %	4
(IRR)-investointi vuonna 1; %	5
Alkuinvestoinnin takaisinmaksuaika; a	10,69
Diskontattu takaisinmaksuaika; a	14,78
Energian tuotantokustannus; €/MWh	56,29
Energian tuotantokustannus (pelkät käyttökustannukset); €/MWh	2,26
Energian tuotantokustannus (pelkkä investointi); €/MWh	39,86
Energian omakustannushinta; €/MWh	56,29

### **Liiketoimintamallin kehittäminen**

Kuivämädätysmenetelmä on vasta kehityskaarensa alkupäässä, voitaneen sanoa pilottivaiheessa. Tästä syystä menetelmään liittyy monia epävarmuuksia. Esimerkiksi Suomessa ei ole yhtään toimivaa laitosta, ja kokemukset ovat lähinnä leudomman ilmaston oloista.

Kuivämädätykseen liittyy etuja verrattuna lietemädätykseen. Menetelmä ei juurikaan kuluta energiaa verrattuna märkämädätykseen. Kaasuntuotto on pienempi, mutta se kuitenkin mahdollistaa lannan ja muun kuivan aineksen käsittelyn siten, että siitä saadaan energiaa. Se onkin mahdollinen ratkaisu olosuhteisiin, missä ei esimerkiksi lietelantaa synny riittävästi märkämädätystä ajatellen, mutta kannattavuutta tämän hetkiselällä tekniikan tasolla ja tuntemuksella on vaikea saavuttaa.

### 3. TULOSTEN TARKASTELU

#### 3.1 Liiketoimintamallien vertailua

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin erilaisissa olosuhteissa toimivien biokaasulaitosten liiketaloudellista kannattavuutta. Biokaasulaitokset voidaan jakaa kolmeen ryhmään seuraavasti:

1. Energian tuotantoyksikkö tuotannollisen yrityksen yhteydessä
2. Itsenäinen tuotantoyksikkö
3. Kunnallinen tuotantoyksikkö

**Tuotannollisen yrityksen yhteydessä** toimivia laitoksia (1) ovat

- Atrian omistukseen perustuva laitos
- Maatilalaitos Jalasjärvellä
- Kuivämädätyslaitos Seinäjoella
- Lapuan laitokset

Atrian biokaasulaitoksen nykyarvo on negatiivinen ja takaisinmaksuaika yli 15 vuotta. Lapuan laitosten tilanne on päinvastainen – nykyarvo on positiivinen ja takaisinmaksuaika noin 9 vuotta.

Lapuan laitosten investoinnin on arvioitu olevan noin 70–80 % Atrian omistukseen perustuvan laitoksen investoinnista. Lapuan laitosten kustannukset yhteensä ovat yli 80 % Atrian laitoksen kokonaiskustannuksista, mutta tuottoja Lapuan laitokset saavat kuitenkin lähes 90 % Atrian laitoksen tuotoista. Syitä tähän lienevät ainakin ne, että Lapuan laitokset saavat vastaanottamistaan jätteistä porttimaksuja sekä tuloja energian myynnistä.

Maatilojen laitoksista Jalasjärven laitos näyttää kannattavalta, mutta Seinäjoen kuivämädätyslaitoksen nykyarvo on negatiivinen. Takaisinmaksuajoissa ero on kuitenkin vain noin yksi vuosi. Merkittävin ero laitosten kustannusrakenteessa on investoinnin suuruudessa, mikä on Seinäjoen laitoksella noin kolminkertainen verrattuna Jalasjärven laitokseen.

**Itsenäisinä tuotantoyksikköinä** (2) toimivat

- Atrian läheisyyteen sijoittuvat laitokset
- Nurmon maatilojen laitos

Itsenäisinä tuotantoyksikköinä toimivien laitosten nykyarvot ovat negatiiviset lukuun ottamatta Atrian läheisyydessä sijaitsevaa liikennepolttoainetta tuottavaa laitosta. Laitoksen takaisinmaksuajaksi on saatu vähän alle 6,5 vuotta. Muiden laitosten takaisinmaksuajat ovat yli 15 vuotta.

Atrian läheisyyteen sijoittuvat laitokset perustuvat samoihin raaka-aineisiin, mutta jätteiden käsittelymaksurakenne on hieman erilainen. Molempien laitosten investoinnit ovat samansuuruiset kuten myös energian myynnistä saatavat tuotot.

Atrian läheisyydessä olevan laitoksen lisäksi Nurmon maatiloiden laitos tuottaa liikennepolttoainetta, mutta maatiloiden laitos vaikuttaa silti kannattamattomalta. Maatiloiden laitos käsittelee vain noin neljänneksen mädätysakeuteen säädettyä orgaanista ainesta verrattuna Atrian laitokseen. Investoinnin suuruus ei kuitenkaan ole samassa suhteessa, vaan pienen laitoksen kustannus on suhteessa suurempi.

Maatiloiden laitoksen raaka-aine muodostuu vain kotieläinten lietteistä ja lannasta, mutta isommassa laitoksessa yhteismädätetään myös teollisuuden jätteitä. Tämän vuoksi isompi laitos tuottaa suhteessa enemmän kaasua. Maatiloiden laitos ei myöskään saa porttimaksuja.

**Kunnallinen tuotantoyksikkö (3)** on Lakeuden Etappi Oy:n laitos. Etappin laitosvaihtoehdot ovat nykyarvoltaan positiivisia ja takaisinmaksuajat ovat 9,5 ja 7,5 vuotta. Etappin laitokset saavat tuloja ensisijaisesti porttimaksuista, koska ne ovat jätteenkäsittelylaitoksia. Toinen laitoksista saa huomattavat tuotot myös liikennepolttoaineen myynnistä.

### 3.2 Kannattavuuden edellytykset

Biokaasulaitoksilla voi olla useita erilaisia arvo-odotuksia, jotka poikkeavat puhtaasta liiketaloudellisen kannattavuuden vaatimuksesta. Varsinkin julkisilla yhteisöillä tavoitteena voi olla esimerkiksi jätehuollon tai siihen liittyvien muiden ongelmien ratkaisu. Tällöin monesti jo lähtökohtana on, että toiminta vaatii kustannuksia sen sijaan että se tuottaisi tuloja. Myös hajuhaittojen poistaminen ja ympäristöhaittojen ratkaisu kuuluvat tällaisiin odotuksiin.

Toisaalta myös puhtaan kaupallisesta toiminnasta voidaan löytää näkökulmia, joiden perusteella voidaan lieventää vaatimusta toimia suoraan markkinavoimien ohjauksessa. Energiainfrastruktuuri on historiallisesti syntynyt aina pääosin valtion tuella, ja sen rakentamisessa ovat yleishyödylliset seikat aina olleet vahvasti mukana (Jylhä 2006). Energian saantia on aina pidetty kaikkien oikeutena, mutta yhtä hyvin on perusteltua pitää kansallisia etuja perusteina synnyttää uudenlaisia rakenteita.

Uusiutuviin energianlähteisiin perustuvat ratkaisut voivat saada tällaisia perusteluita jo hyvin lähitulevaisuudessa. Riippumattomuus fossiilisista ja erityisesti EU:n ulkopuolelta tulevista raaka-aineista on EU:n tasoinen tavoite, joka on tärkeä myös Suomelle. Oman energiantuotannon kapasiteetin rakentaminen on hyvinkin mahdollista omien ja erityisesti maaseudulta peräisin olevien raaka-aineiden varaan useimmissa EU-maissa (Ragwitz ym. 2005), mikä on todettu myös Suomessa (Hyttinen 2005). Meillä tällä voisi olla suuri merkitys maaseudun hyvinvoinnin edistämiseksi.

Näillä perusteilla uusiutuvien oman alueen resurssien käytön edistäminen olisikin strategisen tason päätös. Tämä tarkoittaa aivan erityisesti infrastruk-

tuurin rakentamista eli uusien laitosinvestointien ja järjestelmien tukemista. Tällaisessa tilanteessa on tärkeää, että uudenlainen toiminta jatkossa kannattaa taloudellisesti itsensä.

Tämän logiikan mukaisesti biokaasulaitosten kannattavuuden saavuttamisen edellytyksiä tarkasteltiin seuraavista näkökulmista:

- a) Kuinka paljon kokonaisinvestoinnin tulisi olla pienempi, jotta 8 vuoden diskontattu takaisinmaksuaika saavutettaisiin (sisäinen korkokanta noin 12 %)?
- b) Kuinka paljon vuosittaisten tuottojen tulisi kasvaa, jotta kokonaisuus olisi kannattava? Käyttökustannusten oletetaan pienenevän samassa suhteessa investoinnin kanssa.
- c) Kuinka paljon on alkuperäisen konseptin ensimmäisen vuoden tulos verojen jälkeen, kun alkuinvestointia ei huomioida?

Tulokset on esitetty taulukossa 18. Alkuperäisten laskelmien mukaan taloudellisesti kannattavia vaihtoehtoja ei ole tässä käsitelty.

**Taulukko 18.** Biokaasulaitosten kannattavuuden edellytykset kolmessa eri vaihtoehdossa (1000 €; ks. teksti).

	<b>a</b> Investoinnin pienennys	<b>b</b> Tulojen lisäys	<b>c</b> Tulot 1. vuonna
Atrian 1a	3300	710	180
Atrian 1b	2800	600	252
Atrian oma	3200	650	200
Nurmon maatilat	2100	390	3
Jalasjärven maatila	90	11	14
Seinäjoen kuivamädätys	324	40	38
LapNa, lämpö	850	200	350
LapNa, CHP	1100	220	369

Kaikki laitosvaihtoehdot saavuttavat asetetut kannattavuuskriteerit, kun investointi pienenee tai tulot kasvavat taulukossa esitetysti. Käytännössä tämä tarkoittaa kahta tärkeää asiaa:

- 1) Mikä tahansa tutkituista vaihtoehdoista on kannattava normaaleilla liiketaloudellisilla kriteereillä (a), mikäli investointia tuetaan kohtuullisesti.
- 2) Kaikki biokaasulaitokset ovat laskennassa tehdyillä oletuksilla kannattavia, kun alkuinvestointia ei huomioida.

Tämän tutkimuksen perusteella näyttää siis siltä, että panostus hajautettuun energiantuotantoon on taloudellisesti järkevää. Erityisesti liikennepolttoainetta tuottavat sekä julkisten yhteisöjen yhteyteen perustettavat vaihtoehdot olisivat jo nyt hyvin kannattavia. Kaikki vaihtoehdot kannattavat itsensä, kun alkuih-vestointia ei oteta huomioon. Tämä on tärkeä havainto tilanteessa, jossa uusien ratkaisujen arvoketjut ovat vielä hyvin kehittymättömiä ja liiketoimintamallit vasta kehitteillä. Huomattavaa on, että ne kilpailevat markkinoilla perinteisten energiarakenteiden kanssa, joiden sisäinen tehokkuus ja arvoketju on saanut kehittyä rauhassa jo yli sata vuotta.

### 3.3 Liiketoimintamallien kehittäminen

Biokaasulaitoksen kannattavuuteen vaikuttavat hyvin monet seikat, joista monet ovat paikka- tai aluekohtaisia. Esimerkiksi raaka-aineiden saatavuus ja energian käyttömahdollisuudet vaihtelevat. Hajautetun energian tuotannon toimintakon-septin mukaisesti liiketaloudellista kannattavuutta tuovien tekijöiden lisäksi on monia sosiaalisia tai yhteiskunnallisia tekijöitä, joiden avulla biokaasulaitos voi saada ratkaisevan ”kannattavuuselementin”. Tässä käydään luettelomaisesti läpi eräitä esiin tulleita tekijöitä, joiden avulla biokaasulaitoksen liiketoimintamalleista voidaan räätälöidä kuhunkin kohteeseen mahdollisimman sopivat.

#### *Mädätetty liete*

Mädätetylle lietteelle on laadituissa kannattavuuslaskelmissa oletettu nolla-arvo. Mikäli mädätettyä lietettä kuitenkin jalostetaan, niin siitä on saatavissa tuotteita, joilla voi olla jälleenmyyntiarvoa. Yksinkertaisin jalostusmenetelmä on mekaaninen kuivaus, jolloin saadaan kuiva-ainepitoinen ja nestejäte, joiden välillä ravinteet, lähinnä fosfori ja typpi, jakaantuvat. Näiden jakeiden avulla maanviljelijät voivat vähentää keinolannoitteiden käyttöä, koska pellolle voidaan levittää typpipitoista nestejätettä, mikäli fosfori rajoittaa lietteen levittämistä sellaisenaan.

Mädätetystä lietteestä voidaan jalostaa myös pidemmälle vietyjä tuotteita kuten kuivia rakeita, jotka ovat pienessä tilassa kuljetettavia. Lietteen sisältämät ravinteet antavat mahdollisuuden myös muunlaisten lannoitetuotteiden jatkojalostukseen. Tuotekehityksen ja jatkojalostuksen vastapainona ovat toki muun muassa kehitys- ja investointikulut.

#### *Teollisuuden porttimaksujen osuuden lisääminen*

Biokaasulaitos voi optimoida raaka-ainekoostumustaan esimerkiksi kaasuntuoton tai porttimaksujen suhteen.

### *Muut raaka-aineet*

Biokaasulaitos voi työllistää maanviljelijöitä esimerkiksi hankkimalla heiltä kasvipörsäisiä aineksia. Monet energiakasvit kuten ruokohelmi ovat biokaasun tuottopotentialtaan erittäin hyviä.

### *Investointituki*

Biokaasulaitoksen toteutumisen elinkeinoelämää ja maaseudun elinvoimaisuutta parantavat vaikutukset voivat motivoida paikallisia tahoja tukemaan laitosisinvestointia. Nykyistä korkeamman investointituen avulla investoinnin aiheuttamaa rasisitusta laitoksen talouteen voidaan pienentää. Investoinnin kuoletuksen jälkeen laitos kuitenkin yleensä kykenee itse elättämään itsensä.

### *Kaasun käyttökohde*

Oleellista kannattavuuden kannalta on myös, mikä on biokaasun käyttötarkoitus. Mahdollinen öljyn hinnan jatkuva nousu parantaa biokaasulaitoksen kannattavuutta tulevaisuudessa.

### *Hiilidioksidi*

Liikennepolttoainetta tuottaessa biokaasusta erotetaan hiilidioksidi. Hiilidioksidia voidaan käyttää kasvihuoneissa tehostamaan kasvien yhteyttämistä, ja elintarviketeollisuus käyttää sitä muun muassa eläinten tainnuttamiseen.

### *Päästökauppajärjestelmä*

Mikäli yritys kuuluu päästökauppajärjestelmän piiriin, se voi myydä päästöoikeuksiaan korvaamalla fossiilisia polttoaineita uusiutuvilla energianlähteillä kuten biokaasulla.

### *Kaasuntuotto*

Biokaasulaitoksen kannattavuuden arviointiin vaikuttavat myös monet seikat, jotka tulisi käytännössä tapauskohtaisesti varmistaa. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa tehtyjen kannattavuustarkastelujen kaasuntuottolaskelmat perustuvat kirjallisuudessa esitettyihin raaka-ainejaekohtaisiin tuottopotentiaaleihin. Raakaaineseosten todelliset kaasuntuotot voivat olla esitettyä suurempia tai pienempiä muun muassa seuraavista syistä:

- Yhteismädätyksellä saavutetaan monesti korkeampi kaasuntuotto kuin yksittäisiä jätejakeita mädättämällä (optimaalinen C/N-suhde).
- Mahdollisia inhiboivia tekijöitä ei ole huomioitu. Inhiboiva tekijä voi olla esimerkiksi typen (ammoniakki) korkea konsentraatio typpipitoisia jätteitä mädätettäessä, jokin jätteiden mukana reaktoriin joutuva kemikaali, lääkeaine tai pitkäketjuisten rasvahappojen haitallinen pitoisuus.

- Tässä laskettuja raaka-ainekoostumuksia ei ole optimoitu kaasuntuoton suhteen, vaan laskelmissa on huomioitu kohteessa syntyvät jätejakeet. Todellisia laitospohteita laskettaessa tulee ottaa huomioon muun muassa edellä mainitut tekijät sekä biokaasulaitoksen optimaalinen kuormitus. Jätekoostumuksen valintaan vaikuttavat kaasuntuoton lisäksi myös saatavat porttimaksut, jätejakeen vaikutus mädätettävän lietteen hyödynnettävyyteen jne. Todellisesta kaasuntuotosta ja mädätyksen toiminnasta saadaan parempi kuva laboratoriossa tehtävin mädätyskokein.

### 3.4 Biokaasulaitoksen muut vaikutukset

Biokaasulaitoksen toiminnalla on lukuisia vaikutuksia, joita ei tutkittu yksityiskohtaisesti tai arvioitu ainakaan kaikissa pilottikohteissa. Näitä käydään lyhyesti läpi seuraavassa.

Biokaasulaitoksen toiminnalla on monia myönteisiä vaikutuksia ympäristön kannalta. Erittäin tärkeää monen alueen kannalta on lietelannan hajupäästöjen pieneneminen levitysaikaan. Ympäristön, viihtyisyyden ja alueen arvon lisäksi tämä tukee myös sikojen kasvatusta elinkeinona. Monet nykyiset ja suunnitellut asuntoalueet sijaitsevat sikaloiden läheisyydessä. Uusien sikaloiden perustamista ja nykyisten laajentamista voivat jarruttaa juuri ennakoituista hajuhaitoista johtuvat valitukset.

Mädätetyn lietteen ravinteiden jakaantumista ja määriä pellolle voidaan hallita helpommin verrattuna raakalietteeseen, koska mädätyksessä liete homogeenisoituu. Homogeenisestä lietteestä on erotettavissa ja edelleen hyödynnettävissä fosforipitoinen kiintoainepitoinen sekä nestemäinen jae. Lisäksi tyyppi on mädätetyssä lietteessä kasvien nopeammin hyödynnettävässä muodossa, jolloin keinolannoitteiden tarve pienenee.

Monet kasvavat sikalakeskittymät tarvitsevat entistä enemmän lietteen levityspinta-alaa mahdollisimman lyhyiden kuljetusmatkojen päästä. Biokaasulaitos tarjoaa tähän ongelmaan ainakin osittaisen ratkaisun, koska hajuhaittojen pienenemisen lisäksi myös lietemäärä pienenee mädätyksessä. Jonkin verran tämä vähentää myös lietteen kuljetus- ja varastointitarvetta, ja sekä traktoriliikenne pelloille että varastointitilojen ja kuljetuskaluston investointitarve tiloilla pienenee. Mikäli lietteen käsittely siirtyy biokaasulaitoksen tehtäväksi, niin se vähentää myös sikatilojen työmäärää.



Maanviljelylle saavutetaan mädätyksen ansiosta myös seuraavat ympäristöedut:

- lannan sisältämät rikkakasvien siemenet vähenevät mädätyksessä, joten kasvinsuojeluaineiden käyttötarve pelloilla vähenee
- taudinaiheuttajien määrä lannassa vähenee, jolloin lannanlevityksestä aiheutuva tautiriski pienenee
- maatalouden ympäristöpäästöt (valumat vesistöihin) vähenevät
- tilavarastoinnin ammoniakkipäästöt vähenevät
- kasvihuonekaasupäästöt vähenevät
- biokaasu korvaa fossiilisia polttoaineita.

Biokaasulaitos voi luoda alueelle lukuisia sivuelinkeinomahdollisuuksia. Näitä ovat muun muassa

- lietteenkuljetus esimerkiksi palveluna tilallisille tai tilallisten itse hoitamana
- laitoksen ylläpito
- energiakasvien viljely (esim. ruokohelpi) mädätykseen
- mädätetyn lietteen tuotteistamiseen liittyvät toiminnot, kuten rakeistetun lietteen säkitys.

## LÄHDELUETTELO

- Hyttinen T. 2005. Valoa pimeässä. Kohti energiaomavaraisuutta maaseudulla. Levón-insituutti, julkaisu 116.
- Jylhä R. 2006. Sähköhuollosta sähkömarkkinoihin. Acta Wasaensia. No 154.
- Ragwitz M., Schleich J., Huber C., Resch G., Faber T., Voogt M., Coenraads R., Cleijne, H. ja Bodo P. 2005. Analyses of the EU renewable energy sources' evolution up to 2020 (FORRES 2020). Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart.



# III

## KAUPALLISUUDEN MAHDOLLISUUDET JA KANNATTAVUUDEN LASKENTA HAJAUTETUN ENERGIATUOTANNON HYÖDYNTÄMISEKSI

*Tuukka Järvinen, Erkki K. Laitinen ja Tom Wingren*

### Sisältö

1.	Yleiskuvaus.....	79
2.	Laskentamallin sovellusalue.....	79
3.	Laskentamallin syöttötiedot.....	82
4.	Laskentamallin rakenne.....	91
5.	Yhteenvedoa tuloksista .....	95



## 1. YLEISKUVAUS

Tämän hankkeen tarkoituksena on ollut hajautetun energiantuotannon liiketoiminnan kokonaisvaltainen mallintaminen. SYLT on osallistunut hankkeeseen strategisella ja soveltavan tutkimuksen tasolla. Konkreettisenä tuloksena on syntynyt laskentamalli, jolla voidaan arvioida hajautetun energiantuotannon liiketaloudellista hyödynnettävyyttä.

Laskentamalli tarjoaa mahdollisuuden arvioida hajautetun energiantuotannon investointien rahavirtoja strategisella tasolla ja vertailla eri tuotantotapojen vaikutusta energiantuotannon kannattavuuteen. Malli auttaa hahmottamaan taloudellisesti alueellisen energiapotentiaalin ja eri lähteet, joista yksikkö voi valita sopivimmat raaka-aineet energiatarpeensa tyydyttämiseksi.

Konkreettisina tuloksina mallista saadaan eri vaihtoehtojilla tuotetun energian hinta ja investointilaskelmat eri energian käyttövaihtoehtojilla (mm. ostoenergian korvaus, liikennepolttoaine). Lisäksi malli arvioi energiantuotantoon tehdyn investoinnin nykyarvoa, takaisinmaksuaikaa ja sisäistä korkokantaa. Malli toimii myös työkaluna erillisen biokaasulaitosyksikön taloudellisen kehityksen arvioinnissa ja rahoituksen suunnittelussa.

Raportin tässä osuudessa ei tarkastella laskentamallilla laskettuja pilottiyritysten tai tyyppitapausten tuloksia, vaan esitellään laskentamallin sovellusalue, mallin ominaisuudet pääpiirteissään ja sen teoreettinen perusta sekä käydään läpi mallin antamat keskeisimmät kannattavuusmittarit ja laskelmat.

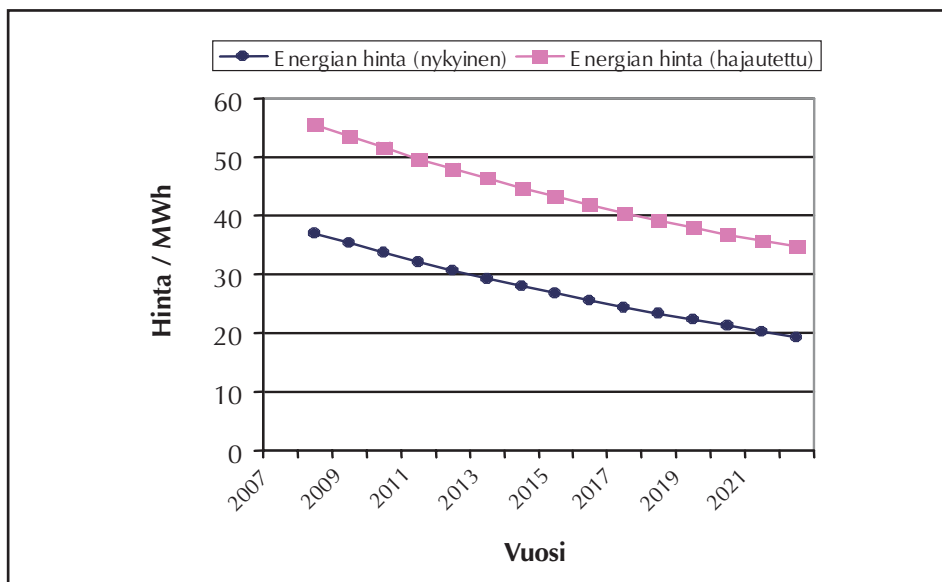
## 2. LASKENTAMALLIN SOVELLUSALUE

Hankkeessa kehitetty laskentamalli soveltuu kolmen erilaisen hajautetun energiantuotantonäkökulman tarkasteluun. Nämä näkökulmat ovat:

- Energian tuotantoyksikkö tuotannollisen yrityksen yhteydessä
- Itsenäinen tuotantoyksikkö
- Kunnallinen tuotantoyksikkö.

Tarkasteltaessa *energian tuotantoyksikköä tuotannollisen yrityksen* kannalta tutkitaan investoinnin kannattavuutta tutkittavaksi otetun yrityksen näkökulmasta. Tämän näkökulman soveltamisedellytyksille on tyypillistä, että 1) kyseinen yritys tuottaa paljon sellaista jätettä tai muuta materiaalia, jota voidaan käyttää hajautetussa energiantuotannossa raaka-aineena, ja se että 2) yrityksellä on suuri sähkön tai lämmön tai molempien tarve.

Mallin yleisten tulosten lisäksi ohjelma laskee vertailuhinnan nykyisestä energianhinnasta, johon on lisätty ostoenegian hinnan lisäksi muut nykyiseen jätteiden tai muiden aineiden käsittelyyn ja kuljetukseen liittyvät kustannukset huomioiden verottajan kuluosuus. Hajautetun tuotannon energian hinnan malli laskee ottamalla huomioon kaikki tuotantoon liittyvät kustannukset, tuotot ja sen osuuden nykyenergian ostohinnoilla, jota hajautettu tuotanto ei korvaa. Tämän jälkeen molempien vaihtoehtojen kustannukset jaetaan nykyisen tuotannon vertailumegawattituntimäärällä. Näin saadaan vertailukelpoinen energiantuotannon kustannushinta molemmille vaihtoehdoille. Tiedot lasketaan molemmissa vaihtoehdoissa jokaiselle tarkasteluvuodelle erikseen käyttäen diskontattuja kustannuksia ja tuottoja. Investoinnin poistoja ei kuitenkaan diskontata, koska ne ovat laskennallisia eriä. Kuvassa 1 on esimerkki mallin antamasta grafiikasta koskien tuotantovaihtoehtojen vertailutilannetta.



Kuva 1. Esimerkki energian hintojen vertailutilanteesta.

Hankkeessa on laskettu tästä näkökulmasta seuraavat case-tapaukset:

- Nurmossa sijaitsevan Atria Oy:n omistukseen perustuva biokaasulaitos. Energiantuotantoon otetaan Atrian omien jätteiden lisäksi hankkeeseen osallistuvien (Seinäjoen ja Nurmon) mautilojen lantaa ja lietteitä. Syntyvällä energialla korvataan Atrian öljyllä tuotettua lämpöä (riittää noin kolmasosaan).

- Jalasjärvellä sijaitseva maatila käyttää omat lietteensä biokaasun tuotantoon. Kaasu käytetään oman lämmöntuotannon ja sähköntarpeen tyydyttämiseen. Maatilan käyttötarpeen ylittävä lämpö arvostetaan kevyen polttoöljyn hinnalla, sillä tilalla on suunniteltu muuta lämpö-energiaintensiivistä yritystoimintaa.
- Seinäjoen yhden maatilan laitos, joka käyttää syntyvän sähkön ja lämmön maatilan oman energiantarpeen tyydyttämiseen.
- Lapuan Nahkan biokaasulaitoslaskelmat, joissa ovat mukana omien jätteiden lisäksi muita lähialueen yritysten teollisuusjätteitä sekä puhdistamo- ja sikalietteitä. Laitoksen vapaa energia käytetään oman lämmön- ja sähköntarpeen tyydyttämiseen. Vuotuisen tarpeen ylimenevä energia myydään sähköverkkoon ja lämpö muille vieressä sijaitseville yrityksille. Lapuan Nahkan näkökulmasta on tehty kaksi erillistä laskelmaa, jotka poikkeavat toisistaan energiankäyttötavan 1) ”CHP” ja 2) ”pelkkä lämpö” mukaan.

*Itsenäisen tuotantoyksikön* malli tarkastelee nimensä mukaisesti energia-yksikköä itsenäisen energiatuotantoyhtiön näkökulmasta. Raaka-aineiden hinnat arvostetaan alueellisin markkinahinnoin, samoin kuin energian myynti, jos todellisista aiesopimuksista osapuolten välillä ei ole tietoa. Tästä näkökulmasta laskettaessa ei ole välttämätöntä tietää laitoksen omistus- tai pääomarakennetta, vaan laskelma tehdään jäljempänä esitetyin oletuksin. Tuloksissa esitetään muun muassa energian tuotantokustannus ja omakustannushinta per MWh.

Tästä näkökulmasta on laskettu seuraavat case-tapaukset:

- Atria Oy:n läheisyyteen sijoittuva biokaasulaitos, joka ottaa sekä Atrian bioenergiantuotantoon sopivia jätteitä että Seinäjoen ja Nurmon mautilojen lantaa ja lietteitä vastaan. Tästä perusasetelmasta on tehty kolme eri laskelmaa. Ensimmäisessä energia myydään kaasuna takaisin Atrialle, joka käyttää sen korvaamaan raskaalla polttoöljyllä tuotettua lämpöä. Laitos maksaa mautilojen lietteiden kuljetuskustannukset, joka sisältää myös hydrolyysijäännöksen viemisen takaisin mautiloilta paluu-kuormissa. Toinen laskelma poikkeaa siten, että mautilojen lietteistä peritään porttimaksuja. Kolmas laskelma tarkastelee ilman mautilojen porttimaksuja metaanin jalostamista ja myymistä liikennepoltto-aineeksi.
- Nurmoon sijoittuva biokaasulaitos, joka käyttää raaka-aineina paikallisten mautilojen lantaa ja lietteitä. Biokaasu jalostetaan ja myydään liikennepolttoaineena.

*Kunnallisen tuotantoyksikön* näkökulma lähestyy biokaasulaitosta enemmän jätteenkäsittelylaitoksena kuin liiketaloudellisena investointina. Tällöin laskelma tehdään non-profit-periaatteella. Sisään tulevien jätteiden porttimaksut asetetaan niin, että ne kattavat investointi- ja käyttökustannukset. Laskentamalli auttaa näiden maksujen määrittämisessä.

Tästä näkökulmasta on hankkeessa laskettu seuraava case-tapaus:

- Lakeuden Etapin biokaasulaitos. Laitoksen raaka-aineina käytetään Etappiin tulevia kotitalouksien biojätteitä sekä puhdistamolietettä. Ensimmäisessä laskelmassa tuotannossa syntyvä kaasu ja sähkö myydään Etapin muille yksiköille. Toisessa laskelmassa kaasu jalostetaan ja myydään liikennepolttoaineena.

### 3. LASKENTAMALLIN SYÖTTÖTIEDOT

#### Syöttötietojen yleiset ominaisuudet

VYDENSITY-laskentamalli perustuu Microsoftin Excel- taulukkolaskentaohjelmistoon. Malli rakentuu Excelin eri välilehdille (sheet), ja riippuen tarkastelunäkökulmasta malliversiot poikkeavat hieman toisistaan. Varsinaisten laskentasisivujen lisäksi malli sisältää käyttöohjeen ja yhteenvedon mallin keskeisistä tuloksista.

Laskentamallin tarvitsemat pakolliset syöttötiedot koostuvat sekä energia-laskentaan että taloudelliseen kannattavuuden laskentaan liittyvistä tiedoista. Edellisessä kappaleessa esitetyt eri tyyppitapausten näkökulmat vaativat hieman erilaisia syöttötietoja. Kaikille yllä mainituille näkökulmille yhteiset syöttötiedot esitellään seuraavassa pääpiirteittäin.

Energialaskentaosuuden täyttäminen voidaan aloittaa tekemällä strateginen analyysi alueellisesta raaka-ainepotentiaalista ja sen perusteella tehdä päätös raaka-aineista ja niiden määrästä. Tämä analyysi tehdään kartoittamalla alueellinen raaka-ainepotentiaali, silloin kun on tiedossa esimerkiksi tilastoit-tain alueella syntyvät jätelajit ja -määrät. Tällöin malliin voidaan syöttää nämä määrät ja seuraavalla rivillä arvioida kuinka suuri suhteellinen osuus näistä jätteistä olisi käytettävissä tutkittavan biokaasulaitoksen raaka-aineina. Mikäli mallin tietokantaan ("data" -sheet) on syötetty muuntokerroin, niin malli laskee karkean arvion syntyvästä energiasta (MWh) raaka-ainelajeittain. Näitä tietoja hyväksikäyttäen mallin käyttäjä voi arvioida jo tässä vaiheessa laitoksen tulevaa kokoa ja fyysistä sijaintia.

Biokaasulaskentaosion tarkoituksena on määrittää valitun jätekoostumuksen biokaasun tuottopotentiaali. Potentiaali ilmoitetaan sekä megawattitun-



teina että gigajouleina vuodessa. Ohjelma laskee ”data” -sheetille syötettyjen TS- (kuiva-ainepitoisuus) ja VS- (orgaanisen aineksen pitoisuus) prosenttien avulla jätteiden sisältämän kuiva-aineen ja orgaanisen aineen määrät tonneina vuodessa. Syöttämällä varsinaiselle laskentasivulle haluttu mädätettävän lietteen keskimääräinen kuiva-ainepitoisuus saadaan näkyviin myös kokonaislietemäärä halutussa sakeudessa.

Kaasuntuottolaskenta perustuu jätejakeiden metaanintuottopotentiaaleihin, jotka on syötetty ”data” -sheetille, sekä arvioituun biokaasun metaanipitoisuuteen. Biokaasun metaanipitoisuus vaihtelee yleensä välillä 55-75 %. Saatavan kaasun energiasisällön lisäksi ilmoitetaan biokaasun kuutiomäärä.

Biokaasulaitosmitoituslaskelmaosion tarkoituksena on luoda ohjelman käyttäjälle mielikuva raaka-aineiden varastointi- ja esikäsitelytilojen kapasiteettitarpeista sekä lopputuotteen eli hydrolyysijäännöksen määrästä. Reaktorin tilavuus määräytyy käsiteltävän lietteen määrän ja sakeuden sekä viipymän mukaan. Mädätyksen on oletettu tapahtuvan mesofiilisessä eli noin 35-37°C:n lämpötilassa. Viipymä tarkoittaa keskimääräistä aikaa, minkä käsiteltävä jäte viipyy reaktorissa. Kuormitus (kgVS/m<sup>3</sup>d) tarkoittaa reaktoriin lisätyn orgaanisen aineen määrää reaktoritilavuutta kohti. Hydrolyysijäännöksen määrää voidaan tarkastella olettamalla orgaanisen aineen vähenemä sekä kuiva-ainepitoisuus, johon liete kuivataan.

Biokaasun käyttö -osion aluksi tehdään valinta kaasun käyttämisestä lämmöntuotannossa, sähkön ja lämmön yhteistuotannossa, liikennepolttoaineena tai muussa tarkoituksessa. Ohjelma laskee arviot tehdyillä oletuksilla saatavasta lämpö- ja sähköenergian sekä liikennepolttoaineen määrästä. Tehtyjä oletuksia, joita voi muuttaa, ovat

- lämmöntuotannon hyötysuhde 90 % ja vuotuinen käyttöaika 8760 tuntia
- yhteistuotannon sähkön hyötysuhde 35 % ja lämmön hyötysuhde 55 %
- yhteistuotannon käyttöaika 8400 h
- yhteistuotannon seisokkiaika 360 tuntia, jona aikana kaasu yhteistuotannosta johdetaan lämmöntuotantoon.

Tämän jälkeen arvioidaan biokaasulaitoksen vaatima oma sähkön- ja lämmön-tarve, joko prosentteina kokonaiskaasumäärästä tai absoluuttisina vuosittaisina kulutusarvoina. Lisäksi energianlaskentaan liittyy valinta tyydytetäänkö laitoksen oma energiantarve vähentämällä se omasta tuotannosta vai ostetaanko energia markkinoilta. Mikäli energia ostetaan ulkoa, tulee malliin syöttää ostettavan energian hinta lajeittain. Strateginen päätös laitoksen energiantarpeen tyydyttämisestä vaikuttaa vapaasti käytettävän energian määrään.

Taloudellisen kannattavuuden laskenta aloitetaan määrittelemällä investoinnin kokonaismäärä, joko eriteltynä rakennuksiin, koneisiin ja laitteisiin ym. tai kokonaisarviona koko investoinnista. Arvio voidaan hankkia pyytämällä laitostoimittajilta tarjouksia, jotka yleensä pohjautuvat raaka-aineiden lajeihin ja määrään. Toinen tapa hankkia arvio on vertailla jo toteutuneiden investointien kustannuksia harkinnassa olevaan investointiin. Luotettavuus paranee, mikäli nämä vertailuinvestoinnit ovat tehty: a) lähihistoriassa b) lähes samalla raaka-ainekoostumuksella c) Suomessa d) mikäli käytetään jotakuinkin samanlaista laitostekonseptia: muun muassa kaasun käytön ja jalostustarpeen, mädätetyn lietteen ja jätevesien käsittelyn osalta.

## Investoinnin rahoitukseen ja poistoihin liittyvät syöttötiedot

Kannattavuuden määrittelemisessä tarvitaan seuraavia investoinnin rahoitukseen ja poistoihin liittyviä syöttötietoja:

- Oman pääoman tuottovaatimus
- Verokanta
- Investointitukeen oikeuttava osuus hankintahinnasta ja investointitukiprosentti
- Vieraan pääoman määrä, pitoaika ja korkokanta
- Taloudellinen pitoaika
- Poistotapa.

*Oman pääoman tuottovaatimuksen* suuruuteen vaikuttaa sijoitukseen liittyvä riskilisiä ja varmaan sijoitukseen liittyvä korkotuotto. Mitä suurempi riski investoinnin toteutumiseen liittyy etukäteen, sitä suurempi tulee olla oman pääoman tuottovaatimuksen. Jos investointi epäonnistuu, oman pääoman sijoittajat eivät saa sijoitukselleen ennalta sovittua tuottoa, kun taas vieraan pääoman sijoittajat saavat yleensä kiinteän koron sijoitukselleen. Myös laitoksen konkurssitilanteessa oman pääoman sijoittajat ovat konkurssipesän varojen saamisen etuoikeusjärjestyksessä viimeisenä. Tästä syystä tuottovaatimus omalle pääomalle on paljon suurempi kuin vieraalle. Oletuksena mallissa oman pääoman tuottovaatimus on 10 prosenttia. Tämä arvio perustuu investointien maltilliseen riskiin, koska laitoksen raaka-ainehankinnoissa voidaan tehdä pitkäaikaisia sopimuksia ja myytävän energian markkinahinnoissa (vertailuhinnoissa) ei ole odotettavissa suuria alennuspaineita. Toisaalta riskiä sisältyy ennakkoon laskettuun energiantuotantomäärän toteutumiseen, investoinnin suuruuteen ja käyttökustannuksiin.

*Verokanta* tarkoittaa yleistä yhteisöverokantaa, joka on vuoden 2006 mukaisesti 26 prosenttia. Laskentamallissa on mahdollista käyttää vain yhtä verokantaa kerrallaan.

*Investointitukeen oikeuttava osuus hankintahinnasta* tarkoittaa sitä suhteellista osuutta investoinnista, jolle voidaan myöntää investointitukea. ”Valtioneuvoston asetus energiatuen myöntämisestä 25.7.2002/625” määrittelee tarkemmin tuen piiriin hyväksyttävät kustannukset. Yleistä varovaisuutta noudattaen mallin oletusarvoksi on asetettu 80 prosenttia, koska tyypillisessä laitosinvestoinnissa osa kustannuksista ei ole tukikelpoista. *Investointitukiprosentti* perustuu niin ikään samaan valtioneuvoston asetukseen. Asetuksen mukaan tuen enimmäismäärä voi olla 25 – 40 prosenttia riippuen hankkeen laadusta. Tyypillisen biokaasulaitoshankkeeseen liittyvän investoinnin voidaan katsoa yleensä täyttävän asetuksen 4 § neljännen ja viidennen kohdan, joten mallin oletuksena käytetään 30 prosenttia.

*Vieraan pääoman määrä* tarkoittaa sitä määrää mikä investoinnista rahoitetaan vieraalla pääomalla. Mikäli investointitukea on saatavissa, niin tämä on syytä vähentää ensin investoinnin kokonaismäärästä. Oletuksena mallissa vieraan pääoman osuus on 60 % investointituella vähennetystä alkuinvestoinnista. Tämä oletus perustuu suomalaisten yritysten omavaraisuusasteen pitkäaikaiseen mediaaniin, jossa vieraan pääoman osuus on 60 % ja oman pääoman osuus 40 % yritysten koko pääomasta.

*Vieraan pääoman pitoaika* on oletettu samaksi kuin investoinnin taloudellinen pitoaika eli 15 vuotta (ks. tarkemmin kohta taloudellinen pitoaika). *Vieraan pääoman korko* on laitoksen vieraalle pääomalle maksama keskiporkko. Korko on yleensä kiinteä ja sidottu johonkin markkinakorkoon. Oletuksena mallissa koroksi on määritelty 3,5 prosenttia. Tämä arvio perustuu tammikuun 2006 12 kk Euribor korkoon, johon on lisätty noin 0,7 prosentin rahoituslaitoksen korkomarginaali. Oletus perustuu siihen, että yleinen korkotaso ei tule nousemaan radikaalisti lähitulevaisuudessa. Mikäli mallin käyttäjä uskoo korkojen lähtevän lähitulevaisuudessa nousuun, tulee arviota korjata ylöspäin.

*Taloudellinen pitoaika* tarkoittaa investoinnin tarkasteluajanjaksoa. Pitoaika vaikuttaa laskentamallissa poistojen laskentaan, mikäli poistotavaksi on valittu tasapoisto. Lisäksi pitoaika vaikuttaa *nykyarvon* ja *takaisinmaksuajan* laskentaan. Taloudellinen pitoajan oletusarvoksi on valittu 15 vuotta. Arvo perustuu eri käyttöomaisuuslajien poistoaikojen painotettuun keskiarvoon. Painotuksessa on erityisesti huomioitu, että tyypillisen biokaasulaitosinvestoinnin suurin käyttöomaisuuserä ovat raskaat koneet, joiden kirjanpitolautakunnan ohjearvo taloudelliselle pitoajalle on 10–15 vuotta.

Poistoilla tarkoitetaan ennalta laaditun suunnitelman mukaisia poistoja, jotka laitos tekee investoinnistaan (käyttöomaisuudestaan) saavutetusta tuloksesta riippumatta. *Poistotavaksi* voidaan valita joko *tasapoisto* tai *poisto-%*. Tasapoisto-

tavassa malli vähentää alkuinvestoinnista investointituen ja jakaa sen taloudellisella pitoajalla tasaeriin koko tarkasteluajanjaksolle. Jos käyttäjä valitsee tavaksi poisto-%, malli laskee vastaavasta summasta investoinnin menojäännöspoiston. Silloin malli poistaa jäljellä olevasta poistamattomasta investoinnista samansuuruisen prosenttiosuuden joka vuosi. Mallissa ei ole poistoprosentille oletusarvoa. Tässä tavassa tarkasteluajanjakson aluksi poistot ovat suuria ja jakson loppua kohti poistojen määrä lähenee nollaa.

Seuraavassa vaiheessa syötetään investointiin liittyvät vuosittaiset tuotot ja kustannukset, käyttäen hyväksi muun muassa raaka-ainekoostumusta, energialaskennan tuloksia ja investoinnin kokoa. Tuotot ja kustannukset syötetään malliin tarkasteluajanjakson ensimmäiselle vuodelle. Malli olettaa, että nämä erät pysyvät samoina koko tarkastelujakson. Kuitenkin malli mahdollistaa joko manuaalisesti muokkaamalla näitä eriä tulevien vuosien kehityksen osalta tai asettamalla kasvuprosentin arvioimaan erien kehitystä vuosittaisena kasvuna tai pienentymisenä.

Tuotto- ja kustannuserät ovat jaettu seuraaviin ryhmiin mallissa:

- Raaka-aineiden vastaanottamisesta saatavat tulot (porttimaksut)
- Energian myynti
- Lopputuotteiden myynti
- Muut tuotot
- Muuttuvat kulut
- Kiinteät kulut.

Näiden erien nimiä ja niihin sisältyviä alarivejä voidaan muokata vapaasti, jolloin ne näkyvät muutettuina investointilaskelmassa.

## Yksilölliset syöttötiedot

Edellä esitettyjen yleisten syöttötietojen lisäksi laskentamallin tarvitsemat syöttötiedot poikkeavat jonkin verran, mikäli käytetään tarkastelunäkökulmaa *tuotantoyksikkö tuotannollisen yrityksen yhteydessä*. Seuraavassa käsitellään tähän näkökulmaan liittyviä yksilöllisiä syöttötietoja.

Mallin täyttäminen aloitetaan laskemalla kaikki nykyiseen energiankäyttöön liittyvät kustannukset, jotka poistuisivat, jos yritys siirtyisi omien jätteiden hyödyntämiseen perustuvaan omaan energiantuotantoon. Näitä nykykustannuksia ovat korvattava ostoenergia ja omien jätteiden käsittely- ja kuljetuskustannukset. Laskentamalli huomioi nämä erät laskennallisina tuottoina investointilaskelmassa ainoastaan siltä osin kuin hajautettu energiantuotanto korvaa energian ostotarvetta. Jätteiden käsittely- ja kuljetuskustannukset voidaan syöttää malliin joko vuosittaisena kokonaiskustannuksena, joka allokoidaan kaikille jätejakeille määrien

suhteessa, tai tarkasti jakeittain, mikäli kustannusten todellisesta jakaantumisesta on tarkempaa tietoa.

Tästä näkökulmasta tarkasteltaessa tarvitaan myös syöttötietona yrityksen ostoenergian hinnat ja vuosittaiset kulutusmäärät lajeittain. Mallissa on valmiina muuntokertoimia eri energialajeille, jotta voidaan laskea energialajien yksikkökustannus tuotettua megawattituntia kohden. Kertoimia on mahdollista muuttaa ja lisätä käyttäjän toimesta.

Energialaskentaosuuden jälkeen käyttäjän tulee määritellä, paljonko tuotettua energiaa käytetään korvaamaan nykyistä ostoenergiaa, ja arvostaa mahdollinen sen ylittävä energia potentiaalisella myyntihinnalla.

## Syöttötietojen kerääminen laskentamalliin

Syöttötietojen keruu tapahtui muiden hankkeeseen osallistuvien ryhmien kanssa. Päävastuu case -tapausten tarkemmassa mallintamisessa hankeohjelman pohjalta ja siihen liittyvien tietojen keräämisessä oli Levon-instituutilla ja Seinäjoen yksiköllä. SYLT osallistui aktiivisesti laskentamallin syöttötietojen keruuseen, keräysohjeiden antamiseen ja tietojen syöttämiseen malliin. Syöttötiedot kerättiin pääasiassa yritysvierailujen yhteydessä ja hankkeeseen osallistuvien ryhmien sisäisissä palaverissa. Tiedonhankintatapoja oli tapaamisten lisäksi sähköposti- ja puhelinkeskustelut. Paljon tietoa saatiin myös aikaisemmin tehdyistä raporteista ja akateemisesta kirjallisuudesta koskien bioenergiatuotannon kannattavuutta. Näitä tietoja on käytetty soveltuvasti monien oletuksien pohjana, etenkin silloin kun tarkempaa tietoa ei ole ollut saatavilla. Seuraavaksi käsitellään tarkemmin syöttötietojen keräämisprosessia ja arvioidaan mallissa käytettyjen tietojen luotettavuutta laskennan näkökulmasta.

Ne case-tapaukset, joissa sovellettiin tarkastelunäkökulmaa *tuotantoyksikkö tuotannollisen yrityksen yhteydessä*, ns. nykykustannukset ja energian kulutustiedot kerättiin pääasiassa yritysvierailujen palaverien yhteydessä. Nykykustannusten kartoittaminen aloitettiin jokaisessa case -tapauksessa esittämällä kysymys:

”Mitkä kustannukset liittyvät kiinteästi yrityksen nykyiseen jätteiden käsittelyyn ja kuljetukseen, jotka poistuisivat jos yritys siirtyisi omaan energiantuotantoon?”

Hankkeeseen osallistuvilla yrityksillä oli pääsääntöisesti näistä ns. nykykustannuksista tilastot useammalta aikaisemmalta vuodelta. Syöttötietona kyseisistä kustannuksista käytettiin viimeisen täyden vuoden (2004) kustannuksia, eikä esimerkiksi edellisten vuosien keskiarvoa – mitä voitaisiin käyttää silloin, jos näissä erissä olisi havaittavissa syklisyyttä pitemmällä aikaperiodilla. Nyt käytetty viimeinen vuosi kuvaa parhaiten yritysten nykyistä tilannetta. Huomioitavaa on, että kaikki tämän hankkeen case -yritykset ovat saavuttaneet

yrittäjäillä mitattuna kypsän vaiheen. Yritysten toimialat sijoittuvat perinteisille teollisuuden toimialoille, eikä joukossa ole yhtään monialayritystä. Tällaisten yritysten kasvuvauhti on tyypillisesti hidasta ja yritysten jätejakeiden, niiden käsittely- ja kuljetuskustannusten ja energian tarpeen voidaan olettaa pysyä suhteellisen vakaana myös tulevaisuudessa.

Laskennan vertailussa käytettyjä ns. nykykustannuksia voidaan pitää suhteellisen luotettavina tarkasta tilastoinnista johtuen. Kustannuserät on kohdistettu ensin niihin jätejakeisiin, joiden käsittelyyn ja / tai kuljetukseen kyseiset kustannukset kuuluvat. Tämän jälkeen nämä kustannukset on kohdistettu tarkemmin kyseisten jakeiden vuosittain syntyvien jätemäärien suhteessa. Todellisuudessa kustannukset eivät välttämättä jakaudu suoraan jätemäärien suhteessa, vaan tarkempi jakoperuste voisi olla jokin muukin, kuten esimerkiksi käsittelyyn ja kuljetukseen menevä aika. Kuitenkin mallissa valmiina olevaa jakoperustetta pidettiin yritysten edustajien mielestä riittävänä huomioiden laskennan yleinen tarkkuustaso.

Bioenergian tuotantoon sopivat raaka-aineet ja niiden määrät kartoitettiin kaikissa piloteissa hankkeeseen osallistuneista yrityksistä, maataloilta ja tilastoista. Jokaisen casen varsinaiseen energialaskentaan raaka-aineet valittiin pääsääntöisesti ei-taloudellisin periaattein. Tarkasteltavat raaka-aineet valittiin kuhunkin kohteeseen erikseen seuraavia periaatteita noudattaen:

- Ensisijaisesti tarkasteltiin tuotannollisen yrityksen omia jätejakeita ja valittiin niistä sellaiset mädätyskelpoiset, joiden käsittelystä nykyisellään aiheutuu yritykselle kustannuksia.
- Maatilakohteissa haluttiin hyödyntää tilalla syntyviä eläin- ja kasvi-peräisiä aineksia ja saavuttaa mahdollisimman korkea energiaomavaraisuus.
- Alueella syntyviä muita jätteitä otettiin mukaan laskelmiin, mikäli
  - tuotannollisen yrityksen jätekoostumus oli esimerkiksi kuiva-ainepitoisuudeltaan sellainen, että yhteismädätys esimerkiksi lietteiden kanssa oli perusteltua
  - niiden käsittelyllä voitaisiin ratkaista muita alueella olevia ongelmia (esimerkiksi lietteiden peltolevityksen hajuhaitat)
  - oli tiedossa energiankulutuskohte, jonka tarve oli korkea suhteessa omien jätteiden energiasisältöön.

Raaka-ainekoostumuksia määritettäessä ei erityisesti otettu huomioon jätekoostumusten mahdollisesti korkeita typpipitoisuuksia (ammoniikki) tai muita kaasuntuottoa mahdollisesti inhiboivia tekijöitä. Yksittäiset jakeet kuitenkin valittiin siten, että ne olisivat mädätyskelpoisia. Toisaalta kaasun tuoton arvioinnissa ei myöskään huomioitu raaka-aineiden yhteismädätyksen kaasuntuottoa tehostavaa vaikutusta, vaan arviot tehtiin yksittäisten jakeiden potentiaalien perusteella.

Jätekoostumuksia ei pyritty erityisesti optimoimaan kaasuntuoton suhteen. Esimerkiksi kuormitusta ja hiilen ja typen suhdetta säätämällä voidaan vaikuttaa biokaasureaktorin toimintaan. Kuhunkin kohteeseen valittujen raaka-aineiden biokaasuntuottopotentiali perustuu kunkin jakeen teoreettiseen eli kirjallisuudessa esitettyihin arvoihin. Raaka-ainekoostumusten todellista kaasuntuottoa voidaan tutkia laboratoriokeuin.

Yleensä kohteiden investointikustannusten arvioimisessa käytettiin Suomessa jo toteutuneita biokaasulaitosinvestointeja vertailukohtana, koska tutkittujen laitosten koot olivat toteutuneisiin laitoksiin nähden riittävän samansuuruisia. Niihin kohteisiin, joihin ei ollut käytössä sopivia vertailuinvestointitietoja, pyydettiin eräältä suomalaiselta laitostoimittajalta erikseen arvio investointikustannuksesta.

Tietojen luotettavuuden näkökulmasta voidaan toteutuneiden investointien laskentamallin käyttöä pitää hyvänä, koska silloin kustannukset perustuvat todellisuuteen eivätkä esimerkiksi laitetoimittajien optimistiseen (todellisia kustannuksia vähättelevään) ennakoarvioon. Toisaalta tämän hankkeen case -kohteiden raaka-ainekoostumukset eivät vastaa täysin näitä vertailuinvestointeja, jolloin esimerkiksi käsittelyn prosessiteknisistä syistä investointien kokonaiskustannus saattaa olla erilainen kuin vertailuinvestoinnissa. Lisäksi pieni määrä toteutuneita investointeja rajoittaa tutkia vapaasti erikokoisten laitosten kannattavuutta vertailuperiaatteella.

Ne case -tapaukset, joissa biokaasun pääasiallinen käyttökohde oli liikennepolttoaine, lisättiin kaasun puhdistamiseen ja paineistamiseen liittyvä investointikustannus laitetoimittajien www-sivuilla olevien kaasun läpivirtausmäärän perusteella. Tietojen luotettavuuden kannalta ideaalitilanne olisi se, että jokaisessa case -tapauksessa saataisiin usealta laitostoimittajalta eritelty arvio investoinnista, joista voitaisiin valita edullisin vaihtoehto tai käyttää tarjousten painotettua keskiarvokustannusta, mikäli valinnassa painotettaisiin muitakin tekijöitä kuin kustannuksia.

Laitosten energianostohinnat arvostettiin käyvin markkinahinnoin sekä tuotannollisten yritysten näkökulmasta tehdyissä kohteissa pohjautuen sopimuksiin, joita ne maksavat nykyisin energiastaan. Energianmyynti arvostettiin hieman yleensä muutamia prosentteja paikallisia markkinahintoja alemmaksi, jotta hajautettu energiantuotanto olisi kilpailukykyistä. Sähkön myyntihinnoissa huomioitiin valtion sille maksama tuotantotuki. Tuotannollisten yritysten näkökulmasta tehdyissä laskelmissa yrityksen oma käyttö arvostettiin kalleimman energialähteen hinnoilla, jota bioenergian oletetaan voivan korvata. Raaka-aineen vastaanottamiseen liittyvissä porttimaksuissa on käytetty alueellisia markkinahintoja sekä tuotannollisten yritysten todellisiin käsittely- ja kuljetuskustannuksiin perustuvia hintoja, jos näitä jätteitä on tarkasteltu itsenäisten yksiköiden laskelmissa. Näissä laskelmissa porttimaksut on asetettu hieman nykyisiä kustannuksia alemmaksi hajautetun tuotannon houkuttelevuuden parantamiseksi.

Laitosten käyttökustannukset kohteissa on arvioitu suhteellisina osuuksina kokonaisinvestoinnin arvosta, silloin kun toteutuneiden hankkeiden kustannustiedot eivät olleet saatavilla. Laitostoimittajien arvioiden ja bioenergiaa käsittelevän kirjallisuuden perusteella vuotuiset käyttökustannukset ovat yleensä 5–15 prosenttia alkuinvestoinnista. Tämän hankkeen laskelmissa on käytetty 8 prosenttia, joka on hieman alle tämän vaihteluvälin keskiarvon. Kustannukset on jaettu muuttuviin ja kiinteisiin kuluihin, siten että muuttuvien osuus kuluista on 10 prosenttia. Näiden käyttökustannusten on ajateltu kattavan kemikaalit, vedet, muut materiaalit, palkat, vakuutusmaksut, kiinteistöverot, huollot ja ynnä muut vastaavat laitoksen toimintaan liittyvät erät. Näiden kustannusten lisäksi on huomioitu erikseen laitoksen oma energiankäyttö, raaka-aineiden ja hydrolyysijäännöksen kuljetuskustannukset sekä vieraasta pääomasta aiheutuvat rahoituskulut.

Tietojen luotettavuus olisi parantunut huomattavasti, mikäli kaikissa kohteissa olisi ollut käytössä samankokoisen vertailuinvestoinnin toteutuneet käyttökustannukset. Liiketalaisuuksiin vedoten etenkin isommat laitokset eivät kuitenkaan halunneet antaa näitä tietoja.



## 4. LASKENTAMALLIN RAKENNE

Laskentamallin ydin koostuu energia- ja investointilaskennasta. Energialaskennan tavoitteena on arvioida tutkittavaksi otetusta raaka-ainekoostumuksesta saatava energia eri käyttövaihtoehdoilla (sähkö, lämpö ja liikennepolttoaine). Energialaskenta käyttää laskentaan erillisellä ”data” -sheetillä olevia raaka-aineiden metaanintuottopotentiaalin parametreja, joka helpottavat mallin käyttöä. Energialaskentaosion tarkoituksena on määrittää valitun (jäte)raaka-ainekoostumuksen biokaasun tuottopotentiaali ja valinta kaasun käytöstä (lämmöntuotanto, sähkön ja lämmön yhteistuotanto, liikennepolttoaine tai muu käyttö).

Investointilaskennan päämääränä on arvioida investoinnin kannattavuutta huomioimalla kaikki siihen liittyvät tuotot ja kustannukset halutulla aikaperspektiivillä. Hajautettuun energiantuotantoon liittyvät laitosinvestoinnit edellyttävät sellaista rahan sitomista, joista tuotot kertyvät pitkän ajan kuluessa. Eri vuosien tuotot ja kulut saatetaan keskenään vertailukelpoisiksi laskentakoron avulla. Laskentakorkona mallissa käytetään pääoman painotettua keskimääräistä kustannusta eli WACCia. Investoinnin jäännösarvoa eli sitä arvoa, joka laitoksella on taloudellisen pitoajan päättyessä, ei huomioida laskennassa. Seuraavassa käydään läpi keskeisiä mallin laskentatapoihin liittyviä valintoja:

- Valtion myöntämä investointituki mallissa käsitellään vakiintuneen kirjanpitoikäntönnön mukaan eli saatu investointiavustus kirjataan menonsiirtona hankintamenon vähennykseksi. Täten se vaikuttaa investointilaskelmassa pienentäen vuosittaisia poistoja. Kassavirtalaskelmassa tuki käsitellään sen maksuvuoden tuottona, jolloin se saadaan.
- Malli olettaa vieraan pääoman lyhennysten tapahtuvan tasaerissä. Lyhennyksen suuruuden määrää lainan pitoaika. Tämä näkyy lainan korkokustannusten vuosittaisena pienentymisenä, sillä malli laskee vuosittaiset korkokustannukset jäljellä olevalle vieraalle pääomalle. Huomioitavaa on, että malli olettaa lyhennysten tapahtuvan joka vuosi, silloinkin kun nettokassavirta ei osoita rahan riittävän lainan lyhennyksiin.
- Tuloverot huomioidaan käytetyllä verokannalla vain silloin kun tulos ennen veroja on positiivinen. Toiminnan tappiollisuudesta johtuvia verohyvityksiä ei siis huomioida tulevien vuosien verojen maksujen vähennyksinä, vaikka tulos nousisikin positiiviseksi. Mallin laskemat kaikki kannattavuusmittarit huomioivat verot yllä mainitun oletuksen mukaisesti.
- Mikäli laskelma on tehty *tuotantoyksikkö tuotannollisen yrityksen yhteydessä* näkökulmasta, niin malli huomioi laskennallisina tuottoina ne nykyiseen jätteenkäsittely ja -kuljetukseen liittyvät kustannukset, jotka siirtyminen

omaan energiantuotantoon poistaa. Lisäksi laskennallisena tuottona otetaan huomioon se tuotantoyrityksen energiamäärä nykyhinnoin, jonka oma energiantuotanto korvaa.

Investointilaskelman tuloksena saadaan erilaisia kannattavuusmittareita ja laskelmia. Energialaskennan tuloksia hyödynnetään tulosteissa laskemalla erilaisia kustannuksia ja tuottoja tuotettuja energiayksiköjä kohti. Mallin keskeisimmät tulosteet ovat:

*Nykyarvon (NPV, Net Present Value)* menetelmässä arvioidaan investoinnin kaikki kassavirrat ja diskontataan ne laskennassa käytettävällä korkotasolla (WACC) nykyhetkeen. Nykyarvo vastaa investoinnin tuottamaa markkina-arvon muutosta. Päätöksenteko investoinnista tulisi tehdä seuraavien sääntöjen perusteella, mikäli käytetään nykyarvon menetelmää: Jos nykyarvo on positiivinen, investointi tulisi hyväksyä. Mikäli taas nettonykyarvo on negatiivinen, investointi tulisi hylätä. Teoreettisesti tarkasteltuna nykyarvon menetelmää voidaan pitää suositeltavana, sillä siihen ei sisälly merkittäviä ongelmia. Käytännön näkökulmasta nykyarvon menetelmä käyttö voi olla ongelmallista, sillä se edellyttää tarkkoja ennusteita tulevaisuuden kassavirroista ja sopivasta laskentakorosta.

*Sisäisen korkokannan (IRR, Internal Rate of Return)* menetelmä kertoo sen korkokannan, jolla investoinnin nykyarvo on nolla. Sisäistä korkokantaa laskettaessa haetaan siis sellaista korkokantaa, jolla diskontattujen tuottojen summa on yhtä suuri kuin alkuinvestoinnin ja diskontattujen vuotuisten kustannusten summa. Päätöksenteko investoinnista tulisi tehdä seuraavien sääntöjen perusteella, mikäli käytetään sisäisen korkokannan menetelmää: Mikäli sisäinen korkokanta on korkeampi kuin investoijan tuottovaatimus, investointi tulisi hyväksyä. Mikäli sisäinen korkokanta on matalampi kuin investoijan tuottovaatimus, investointi tulisi hylätä. Sisäisen korkokannan menetelmän vahvuus on se, että laskelmaa tehdessä ei tarvitse tietää investoijan tuottovaatimusta, mikä nykyarvon menetelmässä on välttämätöntä. Mallin laskema (*IRR*) - *investointi vuonna 1* ilmoittaa sisäisen korkokannan siinä tapauksessa, että investointivuosi vastaa muilta kassavirtatapaukseltaan ensimmäistä toimintavuotta. Muilta osin menetelmä on sama kuin normaali sisäisen korkokannan menetelmä.

*Alkuinvestoinnin takaisinmaksuajan* menetelmä tarkastelee aikaperiodia, jona aikana alkuinvestoinnin tuottamien kassavirtojen summa on yhtä suuri kuin alkuinvestoinnin kuluttama kassavirta. Investointi tulisi hyväksyä tätä menetelmää käytettäessä, mikäli takaisinmaksuaika alittaa sille ennalta asetetun keston. Menetelmän heikkous on se, että se ei ota huomioon rahan aika-arvoja, koska laskennassa käytettyjä kassavirtoja ei diskontata. Menetelmässä jää myös huomioimatta takaisinmaksuperiodin jälkeen tulevat kassavirrat. Lisäksi investointiin liittyvä riski jää menetelmässä huomioimatta. Takaisinmaksuajan menetelmän vahvuus on sen yksinkertaisuus ja helppokäyttöisyys.

*Diskontatun takaisinmaksuajan* menetelmä kertoo sen takaisinmaksuajan, jossa on huomioitu kassavirtojen aika-arvo. Tavalliseen takaisinmaksuajan menetelmään nähden vahvuus on se, että menetelmässä huomioidaan rahan aika-arvo, eli kassavirrat diskontataan nykyarvoon ennen varsinaisen takaisinmaksuajan laskemista. Muutoin menetelmässä on samat heikkoudet ja vahvuudet kuin tavallisessa takaisinmaksuajan menetelmässä.

Syötettyjen tuottojen ja kustannusten perusteella malli laskee *investointilaskelman* koko tarkasteluajalle. Laskelma raportoi *myyntikatteen, liikevoiton ennen poistoja, liikevoiton, tuloksen ennen veroja* ja varsinaisen *tuloksen* (vuosittaisten tuottojen ja kustannusten erotus).

Malli laskee yksikön *nettokassavirran* ennen ja jälkeen verojen. Kassavirtaajattelun lähtökohtana on kassasta maksujen ja kassaan maksujen erotus vuosittain. Nettokassavirtojen laskennassa käytetään seuraavaa kaavaa:

$$(1) \text{Nettokassavirta (ennen veroja)} = \text{liikevoitto ennen poistoja (- verot)} \\ - \text{investointituella vähennetyt investoinnit}$$

Tuotetun energian hinta lasketaan jokaiselle tarkasteluvuodelle huomioiden rahan aika-arvo (pl. investoinnin poistot, joita ei diskontata, koska ne ovat tässä tapauksessa laskennallisia eräitä). *Energian tuotantokustannus* ilmoittaa paljonko yhden vapaasti käytettävän MWh:n tuottaminen maksaa laitokselle. Vapaasti käytettävä tarkoittaa tässä sitä määrää, missä on huomioitu laitoksen oma energiantarve. *Energian tuotantokustannus (pelkkä investointi)* huomioi ainoastaan vuosittaiset poistot kustannuksina ja *energian tuotantokustannus (pelkät käyttökustannukset)* ottaa mukaan ainoastaan vuosittaiset muuttuvat ja kiinteät kulut. *Energian "omakustannushinta"* ilmoittaa paljonko ulosmyytävän energian myyntihinnan tulisi olla, että yritys tuottaisi ns. nollatuloksen ensimmäisenä tarkasteluvuonna. Tässä laskennassa huomioidaan siis kustannusten lisäksi kaikki muut tuotot paitsi energianmyynnistä tulevat tulot.

Liikennekäyttölaskennassa saadaan tuloksena arvio bensiinilitraekvivalenttien lukumäärästä sekä mahdollisten biokaasuautojen lukumäärästä (20000 km/auto).

Tarkasteltaessa energian tuotantoyksikköä tuotannollisen yrityksen näkökulmasta malli laskee *vertailuhinnan nykyisestä energianhinnasta*, johon on lisätty ostoenergian hinnan lisäksi muut nykyiseen jätteenkäsittelyyn ja -kuljetukseen liittyvät kustannukset verottajan kuluosuus huomioiden. *Hajautetun tuotannon energianhinnan* malli laskee ottamalla huomioon kaikki tuotantoon liittyvät kustannukset, tuotot ja sen osuuden nykyenergian ostohinnoilla, jota hajautettu tuotanto ei korvaa. Tämän jälkeen nämä molempien vaihtoehtojen kustannukset jaetaan nykyisen tuotannon vertailumegawattituntimäärällä. Näin saadaan vertailukelpoinen energiantuotantokustannushinta molemmille vaihtoehdoille. Tiedot lasketaan molemmissa tapauksissa jokaiselle tarkasteluvuodelle erikseen käyttäen diskontattuja kustannuksia ja tuottoja, pois lukien investoinnin poistot.

Kunnallisen tuotantoyksikön näkökulmasta tehty tarkastelu laskee lisäksi laitoksen sisään tulevan raaka-aineen käsittelyn hinnan. *Käyttökustannukset (muku+kiku)* ilmoittaa rahan aika-arvon huomioiden paljonko yhden raaka-ainetonnin käsittelylle kohdistuu muuttuvia ja kiinteitä kuluja. *Perusmaksu -investointimenot (poistot+korot)* ilmoittaa käsittelyn hinnan kohdistettuna investoinnille ja vieraan pääoman kustannuksille. Superporttimaksu huomioi molemmat yllä mainitut erät käsittelytonnin hintaa laskiessa.

Laskentamallissa on oma sheet tulosten *herkkyysanalyysin* tekemiselle. Herkkyysanalyysillä tarkoitetaan yhden yksittäisen parametriarvon muutosta kannattavuusmittareiden ja laskelman tuloksiin. Mallissa voidaan tutkia seuraavien parametrien muutoksen vaikutusta *tulokseen, nykyarvoon, sisäisen korkokantaan, takaisinmaksuaikaan, diskontattuun takaisinmaksuaikaan ja energian tuotantokustannukseen*:

- Oman pääoman tuottovaatimuksen muutos
- Kokonaisinvestoinnin muutos
- Muuttuvien kulujen muutos
- Kiinteiden kulujen muutos
- Tulojen muutos.

Biokaasulaitoksen *taloudellista kehitystä* mallissa voidaan arvioida mukana tulevalla erillisellä työkalulla. Työkalun avulla saadaan ennusteet tulevien vuosien laitostuotoksen tuloslaskelmista ja taseista. Investointien poistot voidaan huomioida käyttöomaisuuslajeittain kirjanpitolain edellyttämällä poistoajoilla. Mikäli arvioidaan laitoksen taloudellista kehitystä, syötetään investointimenot eriteltyinä ja investointituella vähennettynä erilliseen taulukkoon. Tähän taulukkoon on mahdollista syöttää myös tulevien vuosien (korvaus)investoinnit käyttöomaisuuslajeittain.

Lisäksi malli laskee syötettyjen tietojen perusteella vuosittaisen kassavirran, jonka avulla yksikkö voi arvioida investointien vaikutusta rahoitustarpeeseen tai suunnitella vieraan pääoman (todellista) vuosittaista lyhennystasoa.

## 5. YHTEENVETOA TULOKSISTA

Hankkeessa laskettujen case -tapausten tulosten perusteella voidaan tehdä muutamia johtopäätöksiä hajautetun energiantuotannon *liiketaloudellisesta kannattavuudesta* koskien tutkittuja tyyppitapauksia. Yksittäisten kohteiden tulokset ovat esitelty muualla tässä raportissa.

Ensinnäkin tulosten perusteella vaikuttaa, että erityisesti korkeasta biokaasulaitoksen investointikustannuksesta johtuen hinta tuotettua energiayksikköä kohti jää korkeaksi, jos sitä verrataan esimerkiksi markkinoilta ostettavan sähkön megawattituntihintaan tai öljyllä tuotettuun lämpöön. Näin ollen raaka-aineiden vastaanottamiseen liittyvillä porttimaksuilla tai korkeiden nykyisten jätteenkäsittelykustannusten korvaamisella on tärkeä rooli kannattavuuden parantamisessa. Maatilojen lietteiden ja lantojen levitys on kuitenkin nykyisin suhteellisen edullista, eivätkä niihin realistisesti ajateltavat porttimaksut riitä olennaisesti parantamaan laitosten investointien kannattavuutta. Teollisuuden jätteiden osalta tilanne on toinen, mutta sopivien mädätyskelpoisten jätteiden määrä pilottikohteissa oli liian pieni, jotta investointien kannattavuutta voitaisiin parantaa oleellisesti.

Toiseksi, energian myynnistä saatavat tuotot jäävät pieneksi, sillä vertailuhintoina käytetyt fossiililla polttoaineilla tuotetun sähkön ja lämmön hinta on Suomessa suhteellisen edullista edelleen. On myös huomioitava, että teollisuus ostaa energiaa vielä normaaleja kuluttajahintoja halvemmalla. Mikäli bioenergian ympäristöystävällisyys otettaisiin huomioon myyntihinnoissa, investointien liiketaloudellinen kannattavuus paranisi hieman. Biokaasun jalostaminen ja myyminen liikennepolttoaineena näyttää tulosten perusteella olevan taloudellisesti kannattavaa (nykyarvot positiivisia), mutta laskelmien teoreettisuudesta johtuen tuloksiin pitää suhtautua muita kohteita suuremmalla varauksella.

Saatujen tulosten perusteella vaikuttaa, että liiketaloudellisen kannattavuuden näkökulmasta hajautettu energiantuotanto ei ole nykyisellään erityisen kannattavaa. Toisaalta on lukuisia tekijöitä, jotka voisivat jo nykytilanteessa parantaa kannattavuutta niin, että investoinneista tulee järkeviä.

Esimerkiksi jo nykyään vakiintuneet investointituen osuudet muuttavat tilannetta usein ratkaisevasti. Tilanne paranee myös huomattavasti, mikäli laitos saa vähintään jätteenkäsittelylaitosten yleisesti veloittamien suuruisia porttimaksuja teollisuusjätteistä tai kaasu jalostetaan liikennepolttoaineeksi. Myös kallistuva öljyn hinta sekä perinteisten jätteenkäsittelykustannusten nousu parantavat investointien kannattavuutta. Sen sijaan päästökauppaan liittyvien päästöoikeuksien myynnillä ei havaittu merkittävää roolia investointien kannattavuuteen. Tämä johtuu lähinnä siitä, että ”ylimääräisiä” oikeuksia päästään myymään vain ensimmäisenä vuonna eli kyse on suhteellisen pienestä kertaluonteisesta tuloerästä.

Näiden lisäksi on lukuisia tekijöitä, jotka parantavat kannattavuuden edellytyksiä tulevaisuudessa. Erityisen merkittävää on se, että koko hajautetun energiantuotannon arvoketju on hyvin kehittymätön verrattuna vallitsevaan järjestelmään. Tähän kuuluvat osatekijöinä muun muassa tekniikan suhteellinen kehittymättömyys ja kalleus. Näissä onkin huomattava kehityksen ja ennen kaikkea talouden kohentumisen potentiaali. Tekniikan parantuminen tehostaa niin kaasun tuotantoa kuin mädätetyn lietteen käsittelyä sekä koko ketjun muita vaiheita. Kehityksen myötä ja tuotannon laajentuessa investointi- ja käyttökustannukset putoavat reilusti, mikä edelleen parantaa kokonaisuuden kannattavuutta.

# IV

## YRITYSTEN ASEENTEET JA VALMIUDET HAJAUTETUN ENERGIANTUOTANNON KÄYTTÖÖNOTTOON

### Tarkastelun kohteena Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan maakuntien yritykset

*Merja Pakkanen*

#### Sisältö

1.	Johdanto .....	99
2.	Hajautetun energiantuotannon ulottuvuudet .....	105
2.1	Tietoisuus.....	105
2.2	Hajautetun energiantuotannon imago .....	106
2.3	Yritysten energiankäyttöön liittyvät ongelmat.....	106
2.4	Käyttöönoton valmius.....	107
2.5	Positiiviset vaikuttajat .....	109
2.6	Negatiiviset vaikuttajat .....	110
2.7	Ratkaisevat tekijät.....	112
3.	Hajautetun energiantuotannon konseptit .....	114
3.1	Taustaa .....	114
3.2	Konseptien arviointi .....	115
4.	Avaintekijät hajautetun energiantuotannon markkinoinnissa..	117
	Lähdeluettelo .....	118





## 1. JOHDANTO

Tämän osahankkeen tarkoituksena oli tutkia markkinoinnin ja markkinoiden roolia hajautetun energiantuotannon käyttöönotossa. Vaasan yliopiston markkinoinnin laitoksella toimiva VaasaEMG, joka on energiamarkkinoihin erikoistunut tutkimusyksikkö, oli vastuussa tästä osaprojektista. Tutkimusryhmässä olivat Merja Pakkanen, Philip Lewis, Emmanuel Ndzibah ja Lotta Hernesniemi. Tutkimus toteutettiin monivaiheisesti ja jatkuvasti haetun tiedon tasoa syventämällä. Kirjoituspöytä- ja kyselylomaketutkimuksen jälkeen tehtiin asiantuntijahaastatteluita sekä yritysten ryhmähaastatteluita. Pää tarkoitus oli saada käsitys siitä, miten yritykset suhtautuvat hajautettuun energiantuotantoon ja millä edellytyksillä ne olisivat valmiit ottamaan sitä käyttöön. Perusteellisen kyselylomaketutkimuksen ja ryhmähaastattelujen kautta yrittäjien tarpeita ja mielipiteitä selvitettiin kattavasti. Kirjoituspöytä tutkimus ja asiantuntijahaastattelut alustivat ja tukivat varsinaista empiiristä osiota.

Osaprojekti kokonaisuudessaan sekä eri tutkimusosioiden sisällöt ja tulokset on yksityiskohtaisesti käyty läpi VaasaEMG:n laajassa raportissa (Pakkanen ym. 2007). Tässä artikkelissa keskitytään tuomaan tiivistetysti esille empiirisen tutkimuksen tuomia tärkeimpiä havaintoja Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan maakuntien yrittäjien tietoisuudesta, mielipiteistä, tarpeista ja arvostuksista hajautettuun energiantuotantoon liittyen. Nämä seikat ovat ensiarvoisen tärkeitä hajautetun energiantuotannon konseptien ja markkinoinnin kehittämisessä.

Hajautettu energiantuotanto on yksi ratkaisuvaihtoehto Suomen energian kulutuksen kasvuun ja toisaalta tarpeeseen vähentää energiantuotannon päästöjä. Hajautettu energiantuotanto konseptina vastaa ainakin osittain useaan kysymykseen, kuten energian kulutuksen jatkuva kasvu ja siten sen tuotannon lisäystarve, lisäenergian tarve kulutuspiikkien kohdalla, tarve monipuolistaa energiantuotantoa entisestään ja vähentää riippuvaisuutta tuontienergiasta sekä tarve löytää ympäristöystävällisempiä ja mahdollisimman päästöttömiä energiantuotantomuotoja. Hajautettu energiantuotanto tarjoaa yhteiskunnalle monia etuja.

Paitsi maamme energiaratkaisujen kannalta kokonaisuutena, hajautettu energiantuotanto voi myös pienten yksiköiden (lähinnä maatilojen ja yritysten, miksei tulevaisuudessa myös kotitalouksien) kannalta olla positiivinen mahdollisuus. Hajautetun energiantuotannon avulla yksikkö voi turvata itselleen varmemman energiansaannin. Yleisestä sähköverkosta täysin riippuvaisella yrityksellä tai maatilalla esimerkiksi laaja-alaisissa sähkökatkotilanteissa, kuten myrskyissä, sähkön (ja lämmön tai kylmän) saanti voi vaarantua pitkäksi aikaa. Etenkin yritykselle taloudelliset vahingot voivat olla merkittäviä jo lyhyen sähkökatkon aikana. Oman energiantuotannon avulla tätä riskiä voidaan merkittävästi pienentää. Lisäksi omalla energiantuotannolla voidaan alentaa energian kustannuksia

ja erityisesti suojautua yllättäviltä energian hinnankorotuksilta. Hajautetun energiantuotannon kautta voidaan myös toimia ympäristöystävällisemmin (mikäli energiantuotanto pohjautuu uusiutuviin energialähteisiin) sekä helpottaa yritysten ja maatilojen mahdollisia ongelmia päästä eroon niiden tuottamista jätteistä tai tuotannon sivutuotteista ja hyödyntää niitä.

Tätä taustaa vasten voidaan ajatella, että hajautettu energiantuotanto olisi houkutteleva vaihtoehto suurelle osalle ainakin sellaisia yrityksiä ja maataloja, jotka täyttävät vähintään yhden seuraavista kriteereistä: 1) Energian kulutus on suhteellisen suuri, 2) Energian kustannukset ovat merkittävä osa yritysten kulurakenteesta ja siten selkeästi vaikuttavat toiminnan kannattavuuteen, sekä 3) Toiminnan jätteenä tai sivutuotteena syntyy jotain sellaista materiaalia, jota voidaan hyödyntää energian tuotannossa. Maassamme on paljon yrityksiä ja maataloja, jotka täyttävät nämä kriteerit. Siksi liiketaloudellisista lähtökohdista näyttää perustellulta olettaa, että motivaatiota hajautetun energiantuotannon käyttöönotolle on, mikäli konseptit kehitetään ja markkinoidaan oikein. Lisäksi mahdollisiin motivaattoreihin voidaan lisätä ajatus siitä, että energiaa voidaan tuottaa paitsi omaan käyttöön myös myytäväksi, millä tavalla voidaan lisätä oman energiantuotannon tuomaa taloudellista hyötyä.

On siis tärkeää kehittää sellainen hajautetun energiantuotannon peruskonsepti, joka olisi yrityksen tai maatilalla kannalta riittävän vakuuttava kannattavuudeltaan ja toimintavarmuudeltaan, toisaalta myyjän kannalta yksinkertainen ja helposti monistettavissa (mahdollistaen kohtuulliset tuotantokustannukset massatuotannon ja -markkinoinnin kautta) sekä kaiken kaikkiaan sellainen, että sen käyttöön otto on kaikkien osapuolien kannalta realistinen, kannattava ja houkutteleva vaihtoehto. Pelkät oikeanlaiset tekniset ratkaisut eivät riitä, vaan markkinoinnilla ja asiakkaiden (tässä lähinnä yritysten ja maatilojen) tarpeiden ymmärtämisellä on erittäin tärkeä rooli. On tunnettava, mitkä ovat yritysten ja maatilojen tämän hetkiset tai tulevaisuudessa hämmäyttävät energian käyttöön liittyvät ongelmat ja uhat, mitkä olisivat käytännössä keskeisimmät motiivit hajautetun energiantuotannon käyttöönotolle niissä, millaisia ennakkoluuloja tai pelkoja hajautetun energiantuotannon käyttöön ottamiselle yrityksissä ja maataloilla on ja miten niitä voidaan hälventää, sekä minkälaisia teknisiä, poliittisia ja käytännöllisiä ratkaisuja on tehtävä, jotta hajautetusta energiantuotannosta tulee todellinen vaihtoehto. Ei riitä, että kehitetään toimiva ja kannattava konsepti – se on myös pystyttävä myymään.

Hajautettua energiantuotantoa on teknisesti tutkittu ja kehitetty, mutta hajautettua energiantuotantoa koskevaa asennetutkimusta lienee tehty verrattain vähän. Tässä projektissa lähdettiin hakemaan monipuolista tutkimustietoa, jonka tavoitteena oli löytää avainsanat hajautetun energiantuotannon markkinointiin.

### *Määritelmät ja rajoitukset*

Tässä tutkimuksessa hajautetun energiantuotannon määritelmä pyrittiin tekemään mahdollisimman selkeäksi tutkimuksen kohteena oleville. Tällä haluttiin lisätä tutkimuksen luotettavuutta ja sen tulosten syvyyttä. Koska aihepiiri on monille ennestään vieras tai ainakin sen ulottuvuudet ja yksityiskohdat epäselvät, todettiin että hajautettu energiantuotanto on parasta määritellä mahdollisimman tarkasti (mutta kuitenkin suhteellisen lyhyesti ja yksinkertaisesti). Kyselylomakkeen aluksi selvitettiin, mitä hajautetulla energiantuotannolla tarkoitetaan, ja asia käytiin lyhyesti uudelleen läpi myös ryhmähaastatteluissa.

Määritelmässä tuotiin esiin hajautetun energiantuotannon pienimuotoisuus ja paikallisuus, mahdollisuus tuottaa sähköä tai lämpöä tai molempia sekä mahdollisuus olla (yksi- tai kaksisuuntaisessa) yhteydessä normaaliin sähkön jakeluverkkoon. Lisäksi kerrottiin esimerkkejä sähkön tuotantotavoista ja -lähteistä. Tässä projektissa keskityttiin nimenomaan sellaiseen hajautettuun energiantuotantoon, joka perustuu uusiutuviin luonnonvaroihin. Aiheen supistamiseksi rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle vielä liikenne- ja työkonepolttoaineiden tuotanto ja painotettiin, että tutkimuksessa keskitytään sähkön ja lämmön tuotantoon.

Tutkimustulosten yleistettävyyttä rajoittaa otoksen koko (josta lisää alla) ja sen koostumus. Kyselytutkimuksessa ja ryhmähaastattelussa keskityttiin Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan maakuntien yrityksiin, joten valtakunnallinen yleistäminen ei ole varauksetta ongelmatonta. Tutkimuksen maantieteellinen rajoittaminen perustui tarpeeseen saada ryhmähaastatteluun osallistuvat yritysten edustajat lomakkeelle vastanneiden joukosta, joten lomakkeiden jakelu ei voinut olla maantieteellisesti kovin hajautunutta.

Toisena rajoitteena voidaan pitää nimenomaan tutkimuksen keskittymistä yrityksiin. Hajautetun energiantuotannon kannalta vielä potentiaalisempi käyttöönottajaryhmä todennäköisesti olisi maatilat, joilla usein on myös suuri energiankulutus, suuret tilat (joille on mahdollista sijoittaa energiantuotantolaitos) sekä usein myös runsaasti tuotannon sivutuotetta tai jätettä, jota voitaisiin käyttää hyödyksi energiantuotannossa. Kuitenkin tässä projektissa haluttiin saada tutkittavasta ryhmästä mahdollisimman perusteellinen käsitys, joten resurssien rajallisuuden takia päätettiin kahteen ryhmään keskittymisen sijasta valita tutkittavaksi vain yritykset, joiden asenteita hajautettua energiantuotantoa kohtaan ei ole aiemmin tutkittu, toisin kuin maatalojen.

Lisäksi on huomattava, että alueen yrityksistä suurin osa on varsin pieniä, kuten maassamme keskimäärin yleensäkin. Tutkimuksen myöhemmässä vaiheessa siis myös hajautetun energiantuotannon konseptit rakennettiin silmällä pitäen nimenomaan pieneköjä yrityksiä.

Otoksen osoitetiedot tilattiin Tilastokeskuksesta. Otokseen valittiin Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan maakunnista jokainen yritys, joka täytti seuraavat

kriteerit:

- Yritys on toimiva (ne yritykset rajattiin pois, joiden liikevaihto tai henkilökunnan määrä on 0 tai tuntematon)
- Yritys on osakeyhtiö, avoin yhtiö, kommandiittiyhtiö, toiminimi tai osuuskunta (pois rajattiin kaikki sellaiset organisaatiot, jotka ovat luonteeltaan esimerkiksi uskonnollisia yhteisöjä, yhdistyksiä tai julkisia organisaatioita, koska niiden ei katsottu vastaavan sellaista tyypillistä yritystä, johon tässä tutkimuksessa haluttiin keskittyä)
- Yrityksen toimiala on joko teollisuus tai maatalous, riista- tai metsätalous (otokseen haluttiin hajautetun energiantuotannon kannalta mukaan relevanteimmat toimialat)
- Yrityksen toimintakieli on suomi.

### *Tutkimusprojektin rakenne*

Tutkimusprojekti kaiken kaikkiaan painottui uuden tiedon etsimiseen, koska vastaavanlaista tutkimusta yritysten asenteista hajautettua energiantuotantoa kohtaan ei liene aiemmin tehty. Projekti aloitettiin kuitenkin kirjoituspöytätytöillä, jossa olemassa olevan tiedon avulla pyrittiin selvittämään hajautetun energiantuotannon eri aspekteja sekä siihen liittyviä teknisiä ratkaisuja ja ongelmia. Kirjoituspöytätytöillä pyrittiin muodostamaan ensin kokonaiskuva siitä, mitä hajautettu energiantuotanto käytännössä tällä hetkellä on, minkälaiset tekniset ratkaisut ovat tämän hetken tietämyksen mukaan toteuttamiskelpoisia tai jo käytössä eri maissa, ja mitkä kaiken kaikkiaan ovat hajautetun energiantuotannon vaikutukset alati muuttuvassa ympäristössä. Näin empiiriselle tutkimukselle saatiin perusta. Kirjoituspöytätytöiden sekä tutkijoiden aiemman tutkimuskokemuksen pohjalta lähdettiin miettimään, minkälaisista asioista on ensisijaisesti saatava tietoa. Projektin lopullisena tavoitteenahan oli selvittää, miten löytää hajautetun energiantuotannon konsepti, joka pystytään markkinoimaan yrityksille.

Kyselylomakkeilla saatiin kerättyä paljon arvokasta tietoa. Sillä selvitettiin alueen yrittäjien tämänhetkistä tietoisuutta hajautetusta energiantuotannosta, heidän kokemiaan ongelmia liittyen yrityksen energian käyttöön ja sen kustannuksiin sekä heidän toivomiaan energiaratkaisujen parannuksia tulevaisuudessa. Lisäksi selvitettiin hajautetun energiantuotannon tämänhetkistä imagoa, sen hyviä ja huonoja puolia sekä yrittäjien asennoitumista siihen. Ennen kaikkea yrittäjien kiinnostusta ja mahdollisuuksia itse ottaa käyttöön hajautettua energiantuotantoa jossain muodossa sekä mahdollisia edistäviä ja toisaalta hidastavia/estäviä tekijöitä selvitettiin – ja vielä syvemmin: mitkä olisivat ehdottomat edellytykset, jotta hajautetun energiantuotannon käyttöönottoa voitaisiin todellisuudessa harkita. Lopuksi tiedusteltiin yrittäjien (hypoteettista) näkemystä siitä, että jos heidän

yrityksessään otettaisiin tulevaisuudessa käyttöön hajautettua energiantuotantoa, minkälainen tuotantomuoto heitä ehkä kiinnostaisi ja minkälaiseen investoinnin takaisinmaksuaikaan heillä olisi valmius.

Kyselylomakkeita lähetettiin kaikkiaan 2709 kappaletta. Niistä saatiin takaisin 311 (vastausprosentti 11,5 %). Näistä 266 lomaketta hyväksyttiin käytettäväksi tutkimukseen. Vastausprosentti oli melko alhainen, mutta vastausten lukumäärä on kuitenkin riittävän suuri, jotta yleistyksiä voidaan tehdä ja alueen yrittäjien tietoisuudesta ja näkemyksistä saada kokonaiskuva. On kuitenkin otettava huomioon, että näiden yrittäjien tietoisuus hajautetusta energiantuotannosta ja kiinnostus sitä kohtaan ovat asioita, jotka korostuvat lomaketutkimuksen vastauksissa etenkin, kun vastausprosentti on suhteellisen alhainen. Tutkimukseen jättävät herkemmin vastaamatta ne, joille aihepiiri on selkeästi vieras tai joita asia ei millään tavalla kosketa tai kiinnosta. Tämä rajoitus koskee yleensä lomaketutkimuksia (vastaamatta jättäneiden määrä rajoittaa tutkimustulosten yleistettävyyttä) mutta kunhan tämä seikka tiedostetaan, tutkimuksen tuloksia pystytään toki hyödyntämään.

Yrityksille tehtäviin kyselytutkimuksiin ylipäätään saadaan suhteellisen alhaisia vastausprosentteja. Lisäksi tässä tutkimuksessa vastaamatta jättämiseen on vaikuttanut myös se, että itse aihepiiri on melko vieras. Toisaalta asia on monille yrityksille kaukainen, koska yrityksistä suurin osa on varsin pieniä ja kokee ilmeisesti, ettei hajautettu energiantuotanto ole heille relevantti tai tarpeellinen konsepti. Tätä tukevat vastaajien kyselylomakkeille kirjoittamat kommentit sekä joidenkin vastaamatta jättäneiden antama informaatio. Jonkin verran lomakkeita palautui tyhjinä, ja niihin oli kirjoitettu kommentiksi että lomaketta ei voi täyttää, koska hajautettu energiantuotanto ei mitenkään kosketa omaa yritystä eikä etenkin sen jokapäiväistä liiketoimintaa.

Kyselylomakkeilla kerätyn aineiston pohjalta luonnosteltiin käsitys siitä, millaisia asioita ja ominaisuuksia yritykselle tarjottavan hajautetun energiantuotannon ratkaisun tulisi sisältää. Tätä käsitystä tarkennettiin ja syvennettiin asiantuntijahaastatteluilla. Kaikkiaan 15 asiantuntijaa haastateltiin, jotta saatiin monipuolisia huomioita siitä, minkälainen olisi realistinen ja markkinointikelpoinen hajautetun energiantuotannon konsepti pk-yrityksille. Nämä asiantuntijat edustavat useita eri maita (Suomi, Sveitsi, Belgia, Saksa, USA, Ranska ja Italia) ja useita eri asiantuntija-aloja (energia, hajautettu energiantuotanto, markkinointi ja/tai kuluttajakäyttäytyminen).

Kirjoituspöytä- ja kyselylomaketutkimusten perusteella saatua tietoa tulevien hajautetun energiantuotannon peruskonseptien luonteesta käytiin yksityiskohtaisesti läpi asiantuntijahaastatteluissa. Niiden kautta saatiinkin paljon hyödyllistä tietoa ja arvokkaita näkemyksiä konseptien edelleen kehittämiseksi, jotta niistä saatiin realistisia ja mahdollisimman hyvin käyttäjien tarpeita vastaavia. Lopulta päädyttiin kehittämään kolme hajautetun energiantuotannon konseptia, joita tutkittiin edelleen yrittäjien ryhmähaastatteluissa.

Ryhmähaastattelut olivat pitkällisen tutkimustyön viimeinen vaihe. Ne järjestettiin Lapualla, Laihiolla, Kauhajoella ja Ylihärmässä. Ryhmähaastattelussa haluttiin keskustella uudelleen jo kyselylomakkeen avulla haastateltujen yrittäjien kanssa. Kyselylomakkeen mukana oli jokaiselle vastaanottajalle lähetetty kirje, jossa heitä pyydettiin palauttamaan se yhteystiedoilla varustettuna, mikäli heitä kiinnostaisi osallistua ryhmähaastatteluun hajautetun energiantuotannon aihepiiristä. Jopa 70:ssä hyväksytyistä 266 lomakkeesta oli mukana ilmaisu halusta osallistua ryhmähaastatteluun. Näistä 36 henkilön kanssa sovittiin ryhmähaastattelusta, ja heistä 33 ilmaantui paikalle sovitun mukaisesti.

Kuten myöhemmin ryhmähaastattelussa todettiin, yrittäjissä on runsaasti myös niitä, jotka pohtivat jatkuvasti erilaisia energiaratkaisuja ja ovat erittäin kiinnostuneita kuulemaan mahdollisuuksista tuottaa energiaa itse ja/tai hyödyntää yrityksen tuottamia jätteitä ja/tai sivutuotteita. Tämä on jossain määrin yllättävää, koska hajautettu energiantuotanto on aiheena suhteellisen tuore ja tietoisuus siitä on heikohko ja toisaalta osalle yrittäjistä konseptinakin epäkiinnostava tai epärealistinen. Ryhmähaastattelut olivat tämän tutkimusprojektin päätepiste, ja niiden tavoitteena oli syventää edelleen käsitystä alueen yrittäjien tarpeista ja mahdollisuuksista sekä löytää ne kaikkein olennaisimmat seikat ja kiinnostavimmat konseptit, joiden avulla hajautettua energiantuotantoa voitaisiin tulevaisuudessa näille yrityksille ja niiden kaltaisille myydä. Tällainen tieto on erittäin tärkeää niin hajautetun energiantuotannon teknologian kehittämisessä kuin sen levittämisessäkin markkinoinnin avulla.

### *Taustatiedot*

Kyselytutkimukseen vastanneista yrityksistä peräti 63 % oli korkeintaan neljän hengen yrityksiä. Vain 8 %:lla vastanneista yrityksistä oli vähintään 50 työntekijää ja näistä puolella vähintään 100 työntekijää. Otoksen yrityksistä 75 % oli teollisuusyrityksiä ja 25 %:lla toimialana oli maatalous, riista- tai metsätalous. Teollisuusyrityksistä 26 % edusti puutuoteteollisuutta, 39 % metalliteollisuutta, 6 % elintarviketeollisuutta ja 29 % jotain muuta teollisuutta.

Yritysten edustajista 43 % oli toimitusjohtajia ja 35 % yrittäjiä/omistajia. Nämä kaksi ryhmää ovat todennäköisesti osittain päällekkäisiä. Vastaavasti 3 % vastaajista oli tuotantopäälliköitä, 8 % muuntotyypisiä päälliköitä, 5 % osakkaita tai hallituksen jäseniä, 4 % työntekijöitä ja 2 % jossain muussa roolissa.

Vastanneiden yritysten energiankulutuksesta (ilman liikenne- ja työkonepolttoaineita) 59 % on sähköä, 38 % lämpöä ja 3 % jotain muuta. Yrityksittäin energiankulutuksen määrä vaihteli huomattavasti. Vastanneista peräti 20 % mainitsi tuottavansa energiaa itse. Tämä tosin oli suurimmaksi määrin puulla tai erityyppisillä puujätteillä lämmittämistä. Muuta omaa energiantuotantoa oli palaturvetuotanto, jäteviljan polttaminen, maalämpö, moottorien testauksessa

aiheutuvan hukkalämmön hyödyntäminen, eläinrasvan polttaminen turpeen seassa lämmitystarkoitukseen jne.

Mikään yrityksistä ei myynyt varsinaista energiaa ulkopuolelle vaan käytti tuottamansa energian itse. Raaka-aineita myytiin myös ulkopuolelle; puuta, puuhaketta, pellettejä ja palaturvetta. Tulevaisuudessa monet suunnittelivat aloittavansa tai lisäävänsä omaa energiantuotantoa, mutta vain yksi yritys toivoi tulevaisuudessa myyvänsä energiaa myös ulkopuolisille. Ylivoimaisesti merkittävin motiivi omalle energiantuotannolle vastanneiden keskuudessa oli rahan säästö ja siihen liittyen kohonneet energian hinnat sekä yrityksen tuottamien raaka-aineiden ja jätteiden hyödyntäminen.

Ryhmähaastatteluun osallistuneet olivat näiden lomaketutkimuksessa mukana olleiden yritysten edustajia. Osallistujilla oli keskenään hyvin erilaisia taustoja; mukana oli erityyppisiä yrityksiä niin kooltaan, energiankulutukseltaan kuin toimialaltaan. Monilla osallistujilla oli erittäin suuri mielenkiinto hajautettua energiantuotantoa kohtaan ja usein jokin energiankäyttöön liittyvä ongelma, joka haluttiin ratkaista, tai jo olemassa oleva tapa hyödyntää yrityksen tuottamaa raaka-ainetta ja tuottaa energiaa itse.

## **2. HAJAUTETUN ENERGIANTUOTANNON ULOTTUVUUDET**

### **2.1 Tietoisuus**

Kun arvioidaan tutkimustulosten luotettavuutta yleiskuvan antajana, on tärkeää tietää, miten hyvin vastaajat tuntevat tutkimuksen kohteena olevan asian tai ilmiön. Vastanneista yrityksistä 20 % koki tietävänsä jo ennen kyselylomakkeen saamista erittäin hyvin, mitä hajautettu energiantuotanto on. Loput vastaajat jakautuivat melko tasaisesti kolmeen ryhmään tietoisuuden osalta; osa heistä tiesi jonkin verran hajautetusta energiantuotannosta, osa heistä oli kuullut siitä mutta ei tiennyt paljoakaan, ja osa heistä ei tiennyt ennalta mitään hajautetusta energiantuotannosta.

Tietoisuus voi olla luonteeltaan negatiivista tai positiivista. Kolmannes vastaajista oli kuullut (esim. TV:stä, lehdistä, ystäviltä tms.) jotain positiivista ja neljänneksellä vastaajista oli jonkinlaista positiivista omakohtaista kokemusta hajautettuun energiantuotantoon liittyen. Näitä positiivisia seikkoja olivat esimerkiksi hajautetun energiantuotannon ympäristöystävällisyys, työllisyyden ja omavaraisuuden lisääntyminen, taloudellinen tehokkuus, jätteiden hyödyntäminen sekä luotettavuus. Vain 4 % vastaajista oli kuullut ja 2 % omakohtaisesti kokenut

jotain negatiivista hajautettuun energiantuotantoon liittyen. Näitä negatiivisia seikkoja olivat esimerkiksi hajautetun energiantuotannon työläys, siihen liittyvä byrokratia, päästöt, taloudellinen tehottomuus sekä valtion vähäinen tuki.

## 2.2 Hajautetun energiantuotannon imago

Kun hajautettuun energiantuotantoon liittyvää yleistä käsitystä (hyviä ja huonoja puolia) pyydettiin avoimella kysymyksellä arvioimaan sen tiedon perusteella, mitä vastaajilla lomakkeen täyttämisen hetkellä oli, saatiin mielenkiintoisia vastauksia liittyen esimerkiksi hajautetun energiantuotannon ympäristöystävällisyyteen, tehokkuuteen, käytön helppouteen, luotettavuuteen ja taloudelliseen kannattavuuteen. Osittain vastaajien näkemykset ovat keskenään hyvinkin ristiriitaisia. Esimerkiksi 17 % vastanneista mainitsi hajautetun energiantuotannon kustannustehokkuuden hyväksi ja 13 % huonoksi. Vastaajista 25 % piti hajautettua energiantuotantoa hyvänä ympäristöystävällisyyden kannalta mutta pieni osa vastaajista huonona. Muutoin positiivisina puolina mainittiin omavaraisuuden ja työllisyyden lisääminen sekä luotettavuus, kun taas negatiivisina puolina olivat hajautetun energiantuotannon työläys ja epäluotettavuus. Kaiken kaikkiaan hajautettu energiantuotanto näyttää jakavan mielipiteet, mikä osittain saattaa johtua tietoisuuden puutteesta.

## 2.3 Yritysten energiankäyttöön liittyvät ongelmat

Kyselylomakkeella selvitettiin, onko yrityksillä energian käyttöön ja sen kustannuksiin liittyviä merkittäviä ongelmia, ja miten ne näkevät ongelmien ratkaisumahdollisuudet tulevaisuudessa. On tärkeää identifioida, mikä nykytilanteessa on viialla ja miten ongelmia halutaan ratkaista, sillä yksi mahdollinen tapa ratkaista (ainakin osittain) yritysten energiankäytön ongelmia on hajautettu energiantuotanto.

Energian suuret kustannukset nähtiin ylivoimaisesti suurimpana ongelmana yrityksissä. Vastaajista 25 % piti suuria kustannuksia merkittävänä ongelmana nykyään, 23 % ongelmana nykyään ja 32 % mahdollisena ongelmana tulevaisuudessa. Vain 17 % vastaajista ei pitänyt energian suuria kustannuksia ongelmallisena asiana. Oman yrityksen suuren energiankulutuksen näki ongelmaksi 23 % ja mahdolliseksi tulevaisuuden ongelmaksi 20 % vastaajista. Sähkö- ja lämpökatkot sen sijaan eivät ole enemmistölle suuri ongelma; kaikkiaan 16 % vastaajista piti niitä ongelmana ja 12 % mahdollisena ongelmana tulevaisuudessa. Vastaavasti puutteet sähkön tasalaatuisuudessa koki ongelmana vain 11 % ja mahdollisena tulevaisuuden ongelmana 5 % yrityksistä.



Uusien energiaideoiden kehittämisen kannalta on mielenkiintoista nähdä, miten yritykset näkevät mahdollisuutensa vaikuttaa energian käyttöön ja sen kustannuksiin liittyviin ongelmiinsa. Vastaukset jakautuivat varsin tasaisesti eri ratkaisuvaihtoehtojen välille, joita olivat oman toiminnan energiatehokkuuden parantaminen, sähkönmyyjän vaihtaminen tai paremman sähkösopimuksen neuvottelemine sekä energian tuottaminen osittain itse.

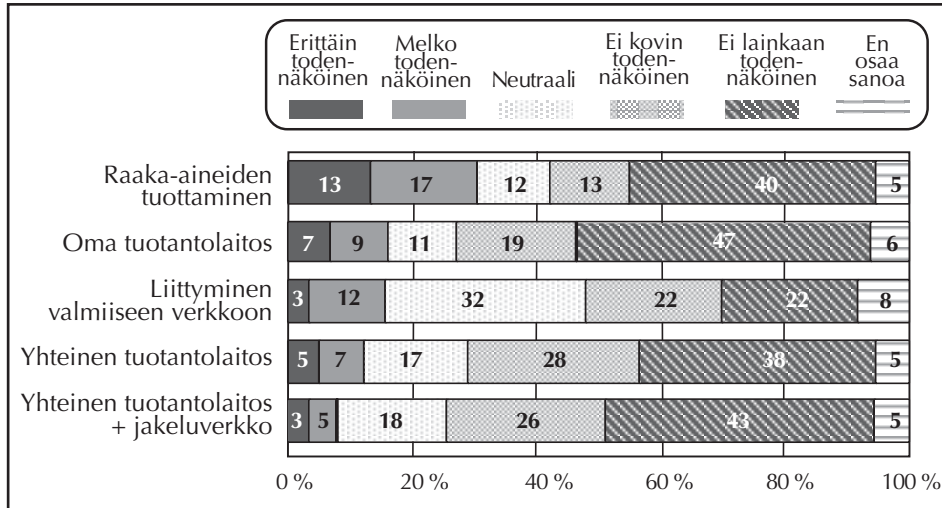
## 2.4 Käyttönoton valmius

Yksi tapa olla mukana hajautetussa energiantuotannossa on tuottaa energiantuotantoon soveltuvaa raaka-ainetta. Tällaista raaka-ainetta voidaan tuottaa joko yrityksen tuotannon sivutuotteena tai jätteenä tai varta vasten energiantuotannon raaka-aineeksi. Tyypillisiä raaka-aineita ovat energiakasvit (esim. paju ja ruokohelpi), öljykasvit (esim. rypsi ja pellava), kasvijäte (esim. olki, kasvien naatit ja viljankuivausjäte), puu (esim. jätepuu ja puuhake) sekä tuotannon sivutuotteet (esim. orgaaninen jäte ja liete).

Ylivoimaisesti yleisin yrityksissä tuotettava raaka-aine on puu, puuhake ja puujäte, jota tuottaa 35 % (ja energiantuotannossa hyödyntää 27 %) vastaajista. Öljykasvien, energiakasvien ja kasvijätteen tuotanto on suhteellisen vähäistä, mutta toisaalta osa yrityksistä uskoo, että niillä olisi mahdollisuus tuottaa näitä raaka-aineita. Tuotannon sivutuotteita syntyy 13 %:lla vastanneista yrityksistä, ja energiantuotannossa niitä hyödyntää vain 2 %.

Hajautetun energiantuotannon käyttönoton valmiutta selvitettiin myös antamalla vastaajille suoraan erilaisia käyttönoton vaihtoehtoja ja kysymällä miten todennäköisenä vastaajat näkevät niiden toteutumisen yrityksessään tulevaisuudessa. Kuva 1 tuo esille näiden eri vaihtoehtojen toteutumispotentiaalin, joka perustuu siihen tuntemukseen ja tietoisuuteen, joka vastaajilla lomakkeen täyttöhetkellä hajautetusta energiantuotannosta ja oman yrityksensä tilanteesta oli. Kysymyksellä pyrittiin selvittämään siis lähinnä yrittäjien ennakoasenteita.

Raaka-aineiden tuottaminen hajautetun energiantuotannon tarpeisiin koettiin hyvinkin kiinnostavaksi, sillä peräti 30 % vastaajista uskoi sen olevan yrityksessään todennäköistä tulevaisuudessa. Oman tuotantolaitoksenkin perustaminen kiinnostaa yllättävän monia yrityksiä: 16 % vastanneista piti oman tuotantolaitoksen perustamista todennäköisenä. Kenties odottamaton tulos oli se, että liittyminen valmiiseen verkkoon (15 %), yhteisen tuotantolaitoksen perustaminen muiden yritysten kanssa (12 %) tai yhteisen tuotantolaitoksen ja jakeluverkon perustaminen muiden yritysten kanssa (8 %) koettiin vähemmän kiinnostaviksi vaihtoehdoiksi kuin oman tuotantolaitoksen perustaminen. Osa yrityksistä haluaa nimenomaan oman tuotantolaitoksen, sillä ristiintaulukoimalla havaittiin, että vain 49 % niistä, jotka ovat kiinnostuneita omasta tuotantolaitoksesta, olisivat myös kiinnostuneita yhteisestä tuotantolaitoksesta (Pearson Chi-Square kerroin 0,000).



**Kuva 1.** Hajautetun energiantuotannon käyttöönoton valmius yrityksissä.

Ristiintaulukoitaessa tuloksia havaittiin myös, että niillä vastaajilla, joiden tietoisuus hajautetusta energiantuotannosta on parempi, myös kiinnostus sen käyttöönottoa kohtaan on suurempi kuin niillä vastaajilla, joiden tietoisuus on heikompi. Esimerkiksi oman tuotantolaitoksen perustamista piti todennäköisenä peräti 37 % niistä vastaajista, joiden tietoisuus hajautetusta energiantuotannosta oli hyvä (Pearson Chi-Square kerroin 0,000). On tietenkin mahdotonta tietää, miten tämä riippuvuus käytännössä toteutuu; ovatko yritykset halukkaampia ottamaan käyttöön hajautettua energiantuotantoa kunhan tietävät siitä ja sen eduista enemmän, vai tietävätkö ne siitä enemmän juuri siksi, että ovat olleet asiasta kiinnostuneita ja siksi ottaneet selvää?

Vastaajia pyydettiin myös arvioimaan, sen käsityksen perusteella mitä heillä eri energiantuotantomuodoista lomakkeen täyttöhetkellä oli, mikä niistä saattaisi olla heidän yritystensä kannalta kiinnostava. Kysymys on hypoteettinen ja vastaukset ovat lähinnä suuntaa antavia, sillä loppujen lopuksi valittavaan tuotantomuotoon vaikuttavat erittäin monet seikat, joista vastaajilla ei ole vielä tietoa. Tällä kysymyksellä haluttiin kuitenkin saada hieman käsitystä ennakoasenteista eri tuotantomuotoja kohtaan. Vastaajista 27 % ei vielä tiedä yhtään, minkälainen tuotantomuoto saattaisi olla kiinnostavin, ja 17 % oli sitä mieltä, että mikään hajautetun energiantuotannon muoto ei kiinnosta heitä. Ylivoimaisesti suosituimmilta vaihtoehdoilta näyttävät sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos sekä lämpölaitos, joita piti kiinnostavimpina vaihtoehtoina yhteensä peräti 34 % vastaajista. Biokaasulaitosta piti kiinnostavimpana vaihtoehtona 7 % vastaajista, ja kenties yllättäen tuulivoimaa piti kiinnostavimpana vain 6 % ja aurinkovoimaa samoin 6 % vastaajista.

Hajautetun energiantuotannon käyttöönoton valmiuksiin liittyy myös investointivalmius. Näyttää siltä, että investoinnin takaisinmaksuaika saisi hajautetulla energiantuotannolla olla korkeintaan 10 vuotta, sillä 19 % vastaajista piti 1-5 vuoden ja 45 % 6-10 vuoden takaisinmaksuaikaa sopivana. Vain 15 % vastaajista hyväksyisi tätä pidemmän kuoletusajan. Kaikkiaan 21 % vastaajayrityksistä oli sitä mieltä, että riippumatta investointikulujen suuruudesta ja takaisinmaksuajoista, ne eivät olisi kiinnostuneita hajautetun energiantuotannon käyttöönotosta.

## 2.5 Positiiviset vaikuttajat

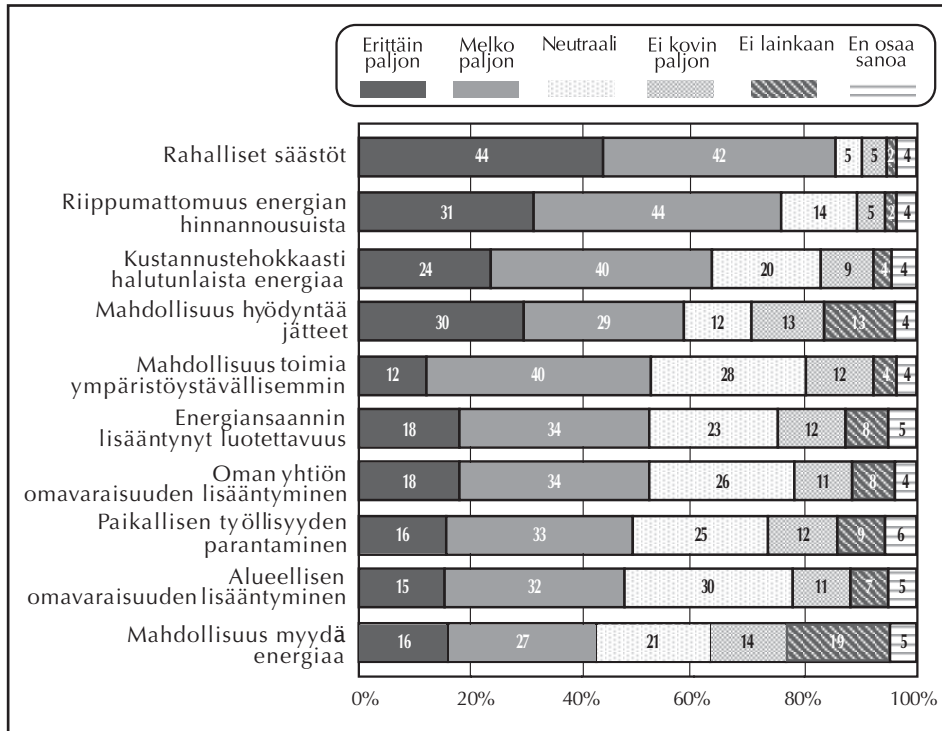
Vaikkakin päätöksenteko on monimutkainen prosessi ja perustuu useiden eri asioiden kombinaatioon, hajautetun energiantuotannon konsepteja vasta kehiteltäessä on erittäin tärkeää tietää, minkälaisia asioita yritykset ylipäättään pitävät hajautetun energiantuotannon käyttöönoton positiivisina vaikuttajina. Tämä on tärkeää tietää siksi, että konsepteja kehiteltäisiin alusta alkaen oikeaan suuntaan, ja siksi, että hajautetun energiantuotannon markkinoinnissa aikanaan tiedostetaan, mitkä seikat ylipäättään kannattaa nostaa esille.

Kyselylomakkeella tarjottiin 10 erilaista seikkaa, joiden voidaan arvioida mahdollisesti vaikuttavan positiivisesti yritysten päätöksentekoon hajautetun energiantuotannon käyttöönotosta. Kuva 2 osoittaa näiden eri tekijöiden suhteellisen tärkeysjärjestyksen vastaajien näkökulmasta; kuvassa ylimpänä ovat tärkeimmät positiiviset vaikuttajat ja alimpana vähiten tärkeät.

Ei liene yllättävää, että hajautetun energiantuotannon käyttöönottoon motivoisi eniten rahalliset säästöt. Vastaajista 86 % oli sitä mieltä, että rahalliset säästöt vaikuttaisivat päätöksentekoon ainakin melko paljon. Vastaajista 75 % pitää tärkeänä suurempaa riippumattomuutta energian hinnannousuista. Myös mahdollisuus saada kustannustehokkaasti energiaa, joka on tuotettu yrityksen haluamalla tavalla, motivoi 64 % vastaajista. Selkeästi tärkein motivoija siis on rahallinen säästö, seuraavana tulevat ympäristöystävälliset seikat. Mahdollisuus hyödyntää yrityksen tuottamia jätteitä (ja samalla päästä niistä eroon) vaikuttaisi päätöksentekoon 59 %:lla yrityksistä ja mahdollisuus toimia nykyistä ympäristöystävällisemmin 52 %:lla.

Energiansaannin luotettavuuden lisääntyminen (esim. myrskytilanteissa tai muissa yleisissä sähkökatkotilanteissa energiansaannin turvaaminen oman tuotannon kautta) motivoi 52 % yrityksistä, samoin (52 %) oman yhtiön omavaraisuuden lisääntyminen (tosin nämä kaksi seikkaa ovatkin jossain määrin päällekkäisiä asioita). Muita lomakkeella mainittuja positiivisia tekijöitä piti tärkeänä vajaa puolet vastaajista; paikallisen työllisyyden parantaminen (49 %), alueellisen omavaraisuuden lisääntyminen (47 %) ja mahdollisuus myydä energiaa (43 %). Viimeksi mainittu kertonee siitä, että vastaajayritykset ovat enimmäkseen pieniä yrityksiä, joiden aika menee jokapäiväisen liiketoiminnan pyörittämiseen.

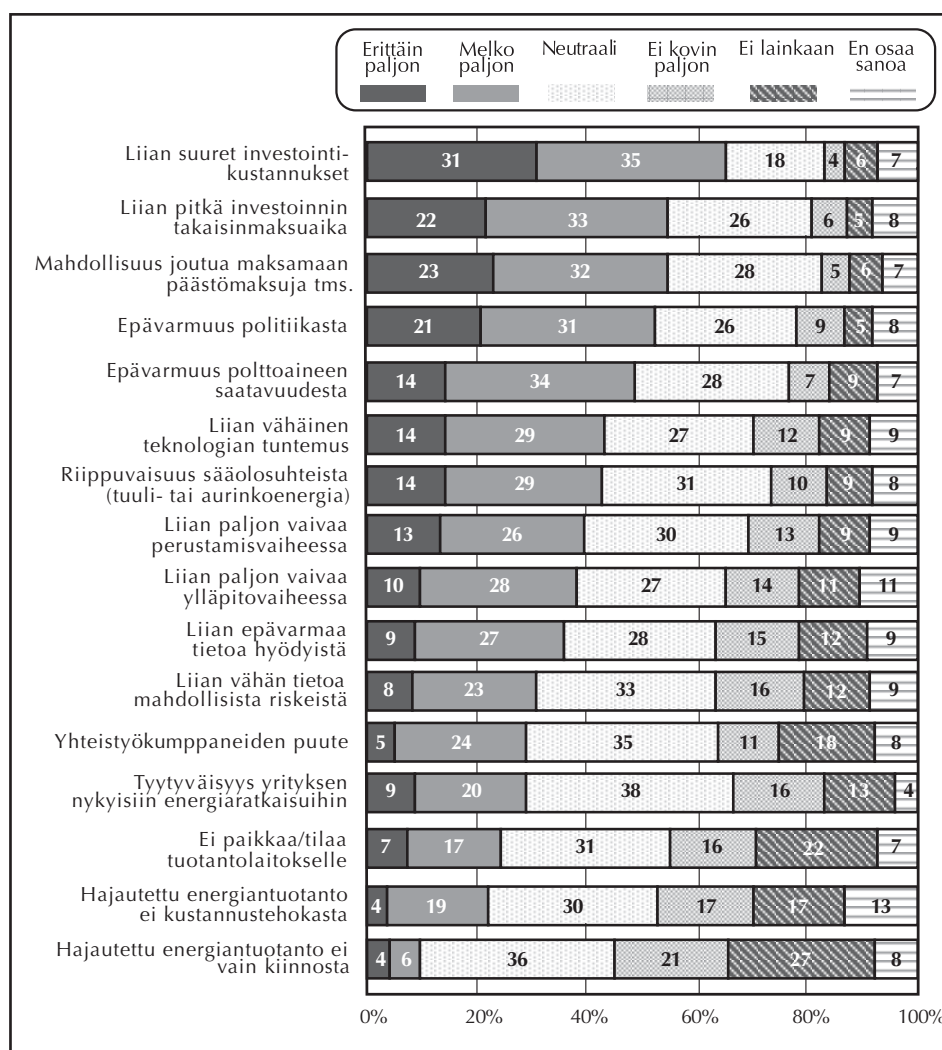
Tämän vuoksi kenties niiden kiinnostus ja resurssit johonkin ydinliiketoiminnan ulkopuoliseen ovat vähäiset.



Kuva 2. Hajautetun energiantuotannon käyttöönottoon myönteisesti vaikuttavat tekijät.

## 2.6 Negatiiviset vaikuttajat

Yhtä tärkeää kuin positiiviset vaikuttajat, on tärkeää tuntea negatiiviset vaikuttajat. Mahdollisten negatiivisten seikkojen miettiminen saattaa olla hankalaa, kun tietoisuus ylipäätään ei ole kovin voimakasta. Kyselylomakkeella tarjottiinkin 16 erilaista seikkaa, joiden voidaan arvioida toteutuessaan mahdollisesti vaikuttavan negatiivisesti yritysten päätöksentekoon hajautetun energiantuotannon käyttöönotosta. Kuva 3 osoittaa näiden eri tekijöiden suhteellisen tärkeysjärjestyksen vastaajien näkökulmasta; kuvassa ylimpänä ovat tärkeimmät negatiiviset vaikuttajat ja alimpänä vähiten tärkeät. Jotkin seikat saattavat olla ”passiivisia esteitä” hajautetun energiantuotannon käyttöönotolle, kuten yrityksen tyytyväisyys nykyisiin energiaratkaisuihinsa (ei tarvetta muutokseen). Tällöin yrityksellä ei ehkä ole mitään hajautettua energiantuotantoa vastaan, mutta se ei vain koe tarvetta muutokseen nykytilasta.



Kuva 3. Hajautetun energiantuotannon käyttöönottoon kielteisesti vaikuttavat tekijät.

Myös mahdollisissa negatiivisissa tekijöissä tärkeimpinä nousevat esiin kustannukset. Liian suuret investointikustannukset vaikuttaisivat negatiivisesti vähintään melko paljon 66 %:lle ja liian pitkä investoinnin takaisinmaksuaika 55 %:lle vastaajista, samoin 55 %:lle mahdollisuus joutua maksamaan jonkinlaisia päästömaksuja. Epävarmuus tulevasta vaikuttaa myös negatiivisesti yritysten investointipäätöksiin. Epävarmuus Suomen tai EU:n politiikasta ja sen mahdollisesti aiheuttamista ongelmista hajautetussa energiantuotannossa liittyen vaikuttaisi vähintään melko paljon 52 %:lle vastaajista. Epävarmuus siitä, onko

valittua polttoainetta kustannustehokkaasti saatavilla tulevaisuudessa, vaikuttaisi 48 %:lle vastaajista. Oma liian vähäinen teknologian tuntemus on myös koettu mahdolliseksi esteeksi (41 %), samoin kuin riippuvaisuus sääolosuhteista (41 %); mikäli tuotantomuodoksi valittaisiin tuulivoima tai aurinkoenergia.

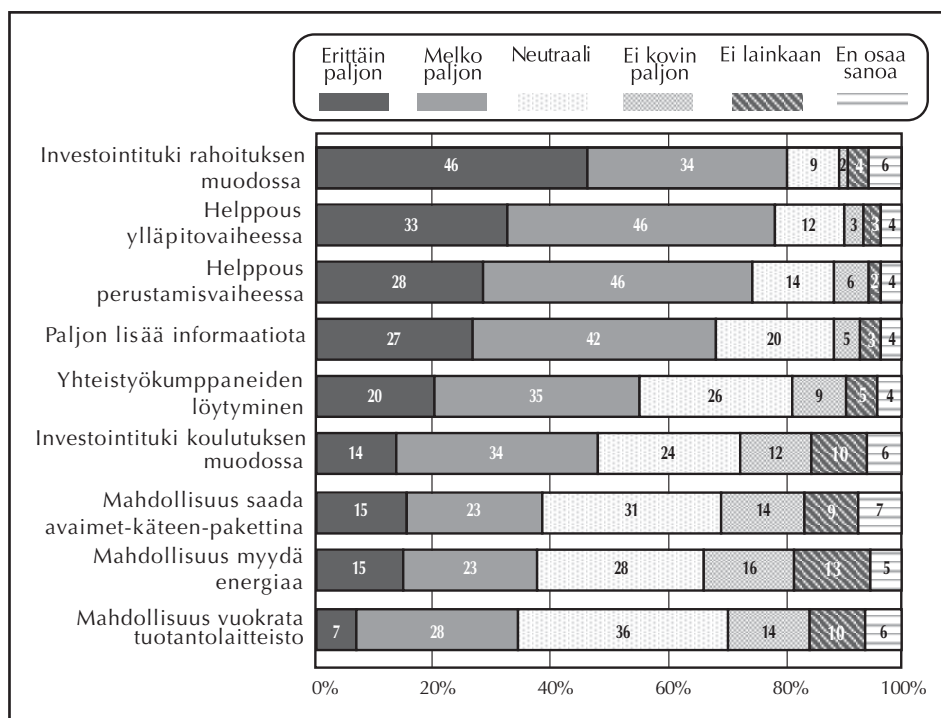
Koska yrityksillä yleensä on kädet täynnä työtä jokapäiväisessä liiketoiminnassaan, niillä ei välttämättä ole valmiuksia eikä resursseja johonkin sellaiseen, joka ei ole niiden ydinliiketoimintaa, vaikkakin tämä olisi hyvä ja kannattava asia yrityksen kannalta sinänsä. Vastaajista 39 % uskoo, että liian paljon vaivaa perustamisvaiheessa, ja 38 % että liian paljon vaivaa ylläpitovaiheessa, vaikuttaisi negatiivisesti yrityksen päätöksentekoon hajautetun energiantuotannon käyttöönotosta. Toisaalta osa yrityksistä on kuitenkin selkeästi valmis myös hyväksymään hajautetun energiantuotannon aiheuttaman lisätyön, koska reilu viidennes vastaajista ei uskonut näiden seikkojen vaikuttavan yrityksen päätöksentekoon negatiivisesti.

Alhainen tietoisuus vaikuttaa myös negatiivisesti yritysten kykyyn tehdä päätöksiä. Vastaajayrityksistä 36 % on sitä mieltä, että liian epävarma tietoisuus hyödyistä, ja 31 % että liian vähäinen tietoisuus mahdollisista riskeistä vaikuttaisi negatiivisesti päätöksentekoon. Ehkä odottamattomasti yhteistyökumppaneiden puutteen näkee negatiiviseksi vaikuttajaksi vain 29 % vastaajista, mutta tämä kytkeytynee tutkimuksen toiseen yllättävään havaintoon: kovin merkittävä osuus yrityksistä ei ylipäätään ole kiinnostunut yhteistyöstä toisten yritysten kanssa hajautetun energiantuotannon käyttöönotossa.

Vastaajista 29 % kokee, että yrityksen energia-asiat ovat nykyään riittävän hyvällä tolalla, eikä tarvetta hajautetun energiantuotannon käyttöönottoon siten ole. Toisaalta 24 % vastaajista toteaa, ettei yrityksen tiloissa ole mitään paikkaa energiantuotantolaitokselle (mikä luonnollisesti riippuu siitäkkin, minkä mittakaavan laitteesta tai laitteistosta lopulta on kyse). Vastaajista 23 % uskoo, ettei hajautettu energiantuotanto ole riittävän kustannustehokasta, ja 10 % on yksinkertaisesti sitä mieltä, että hajautettu energiantuotanto ei vain kiinnosta.

## 2.7 Ratkaisevat tekijät

Vaikkakin päätöksentekoon hajautetun energiantuotannon käyttöönotosta vaikuttavat useat erilaiset positiiviset ja negatiiviset tekijät, on todennäköisesti olemassa kuitenkin muita tärkeämpiä tekijöitä. Ne ovat ratkaisevan tärkeitä seikkoja, joiden vähintään täytyy toteutua, ennen kuin hajautetun energiantuotannon käyttöönottoa todella pidetään relevanttina vaihtoehtona yrityksissä. Kuvassa 4 esitetään, miten tärkeinä ratkaisevuuden kannalta vastaajat esitettyjä tekijöitä pitävät. Ylimpänä kuvassa esitetään tärkein, alimpana vähiten tärkein tekijä.



Kuva 4. Hajautetun energiantuotannon käyttöönoton kannalta ratkaisevat tekijät.

Koska kysymyksen asettelussa puhutaan ratkaisevista tekijöistä, avaintekijöiden selville saamiseksi on johdonmukaista keskittyä niihin tekijöihin, jotka vastaajien mielestä ovat *erittäin* tärkeitä ratkaisuudeltaan. Investointituki rahoituksen muodossa on kaikkein tärkein tekijä (46 % vastaajista pitää sitä erittäin tärkeänä), mutta myös helppous ylläpitovaiheessa (33 %), helppous perustamisvaiheessa (28 %) ja runsas lisätiedon saaminen (27 %) ovat pääasiat päätöksenteossa. Loput annetuista vaihtoehdoista olivat erittäin tärkeitä korkeintaan viidesosalle vastaajista (yhteistyökumppaneiden löytäminen 20 %, investointituki koulutuksen muodossa 14 %, mahdollisuus saada avaimet käteen - pakettina 15 %, mahdollisuus myydä energiaa 15 % ja mahdollisuus vuokrata tuotantolaitteisto 7 %).

### 3. HAJAUTETUN ENERGIANTUOTANNON KONSEPTIT

#### 3.1 Taustaa

Kirjoituspöytä- ja kyselytutkimusten perusteella saadusta tiedosta ja tuloksista koottiin tekijöitä, jotka ovat tärkeitä suunniteltaessa hajautetun energiantuotannon konsepteja yrityksille. Ryhmähaastatteluja varten haluttiin kehittää sellaisia konsepteja, joissa nämä esille tulleet toiveet ja vaatimukset täyttyvät ja jotka olisivat käytännössä mahdollisia myös toteuttaa. Ennen ryhmähaastattelujen toteuttamista tehtyjen asiantuntijahaastattelujen avulla vielä selvitettiin yksityiskohtia konsepteille ja niiden markkinoinnille. Konsepteissa lopulta päädyttiin keskittymään nimenomaan sellaisiin ratkaisuihin, jotka olisivat käytännössä mahdollisia suhteellisen pienille yrityksille suhteellisen pienillä investoinneilla, koska tutkimuksen kohderyhmä koostui enimmäkseen pienistä yrityksistä, jotka eivät helposti lähde toteuttamaan valtavia hankkeita.

Perusedellytyksinä konsepteille määriteltiin seuraavaa: Hajautettua energiantuotantoa käyttöön ottavan yrityksen koko on pieni tai keskisuuri, yritystoiminnan luonne suhteellisen energiantensiivistä ja investointipotentiaali kohtalainen. Hajautetun energiantuotannon konsepteille perusvaatimuksena oli enintään 7 vuoden kuoletusaika investoinnille ja tuotannon mahdollistaminen erilaisilla polttoaineilla. Lisäksi korostettiin konseptin turvallisuutta ja yksinkertaisuutta. Nämä seikat esitettiin myös haastateltaville asiantuntijoille.

Asiantuntijahaastatteluissa selvitettiin asiantuntijoiden mielipiteitä eri teknologioista, millaisille yrityksille ne sopivat ja mitä yritysten tulee tietää tai osata voidakseen ottaa käyttöön hajautettua energiantuotantoa. Lisäksi selvitettiin, miten käyttöönoton esteitä voitaisiin vähentää esimerkiksi markkinoinnilla ja teknologian kehittämisellä, mitkä ovat hajautetun energiantuotannon käyttöönoton negatiivisia ja positiivisia vaikutuksia, mitä pakettiin kannattaa sisällyttää (viesti, sisältö, tavoitettavuus) sekä paljonko järjestelmän tulisi maksaa. Tulokset tukivat hyvin kyselytutkimuksella saatuja tuloksia.

Asiantuntijat suosittelivat yksittäisomistusta toimivimpana konseptina yhteisomistuksessa olevan tuotantolaitoksen sijaan. Lisäksi yhteyttä normaaliin sähköverkkoon pidettiin olennaisena, kun suunnitellaan pk-yrityksille markkinoitavaa kokonaispakettia. Yrityksen täyttä riippuvaisuutta omasta energiantuotannosta ei pidetty relevanttina vaihtoehtona, kun yhteydellä sähköverkkoon pystytään takaamaan parempi turvallisuus, joustavuus ja ehkä myös mahdollisuus myydä tuotettua energiaa. Parhaana teknologiana pidettiin jonkinlaista sähkön ja lämmön yhteistuotantoa (esimerkiksi höyry- tai mikroturbiini ja boilerit). Tärkeää on energiantuotantolaitteiston kyky hyödyntää erilaisia polttoaineita. Asiantuntijat korostivat, että normaalisti yrityksen ei tarvitse olla hajautetun energiantuotannon asiantuntija pystyäkseen käyttämään pienimuo-



toista tuotantolaitosta; sellaisen päivittäinen ylläpito ei ole erityisen vaativaa, ja huolto- ja korjaustöihin kannattaa joka tapauksessa käyttää ammattilaista.

Asiantuntijahaastatteluista saadun lisätiedon tuella pyrittiin kehittämään sellaiset hajautetun energiantuotannon konseptit, jotka olisivat rakenteeltaan mahdollisimman yksinkertaiset mutta sisältäisivät kuitenkin siinä määrin yksityiskohtia, että yritysten edustajat pystyisivät ryhmähaastatteluissa niitä kommentoimaan ja arvioimaan niiden kiinnostavuutta. Tarkkoja konsepteja olisikin ollut mahdotonta esittää, koska ratkaisuja ei sellaisenaan vielä ole saatavissa. Konseptit sinällään ovat keksittyjä mutta täysin mahdollisia, jos kysyntä saadaan riittävän suureksi ja siten massavalmistus ja markkinointi toimivaksi. Tarkoituksena oli selvittää, *mikä olisi sellainen kokonaisratkaisu, joka pitäisi kehittää ja jonka pystyisi myös myymään yrityksille.*

### 3.2 Konseptien arviointi

Ryhmähaastatteluissa käytiin läpi useita eri keskustelunaiheita (joista lisää artikkelin alussa mainitussa VaasaEMG:n raportissa), mutta keskeisin aihe oli hajautetun energiantuotannon konseptien läpikäynti. Haastateltaville selitettiin, mitä ne käytännössä tarkoittavat vaivan, tilan, rahan, kuoleusajan jne. kannalta. Hajautetun energiantuotannon peruskonseptina ryhmähaastatteluissa esitettiin seuraavaa:

- Valmis pakettiratkaisu, jonka ammattilainen voi asentaa yrityksen tiloihin ilman yrittäjän omaa panosta/tietämystä
- Ammattilaisen huoltama (palvelu/takuusopimus) mutta yrityksen itsensä ylläpitämä
- Tuottaa sähköä tai lämpöä tai molempia yrityksen käyttöön
- Yritys olisi edelleen kytkettynä normaaliin sähköverkkoon ja ostaisi sieltä sähkön entiseen tapaan silloin, kun oma sähköntuotanto ei riitä
- Käytettävä polttoaine sekalaista, esim. prosessoitua puuta tai biomassaa, käytännössä yleensä prosessoitava biokaasuksi ensin
- Teknologia: esimerkiksi Stirling-moottori tai pienimuotoinen sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos
- Investointikulut noin 10 000–30 000 euroa, investoinnin takaisinmaksuaika 3-6 vuotta. Riippuu paljon käytettävästä teknologiasta, polttoaineen hankinnasta sekä laitteen tuotantotehosta. Esimerkiksi oma biokaasureaktori nostaa kustannuksia jopa moninkertaisiksi, mutta toisaalta lisää omavaraisuutta ja pystyy maksamaan itsensä takaisin kohtuullisessa ajassa.

Jotta konseptia voitaisiin havainnollistaa, yrityksille esiteltiin kuvina ja teksteinä muutamia nykyään olemassa olevia tekniikoita, joilla energiaa voidaan tuottaa. Esiteltävänä oli esimerkiksi kaksi pienimuotoista sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitosta (EC-Power micro CHP system, jonka tuottoteho oli 160 000 kWh sähköä ja 500 000 kWh lämpöä vuodessa ja käytettävänä polttoaineena biokaasu; sekä SenerTec DACHS Micro-CHP unit jonka tuottoteho oli 25 000 kWh sähköä ja 52 000 kWh lämpöä per vuosi ja käytettävänä polttoaineena biokaasu) sekä Stirling-moottori (SOLO Stirling 161, jonka tuottoteho on 17 500 – 83 000 kWh sähköä ja 70 000 – 228 000 kWh lämpöä per vuosi, käytettävänä polttoaineena biokaasu ja koko 128 x 98 x 70 cm / 460 kg). Ideana oli lähinnä antaa esimerkkejä siitä, minkälaisia laitteet todella voisivat olla, minkä kokoisia ja näköisiä ja mikä olisi niiden tuotantokapasiteetti.

Peruskonsepti kiinnosti yrityksiä erittäin paljon, lukuun ottamatta ehkä niitä paria yritystä, joilla energiankulutus oli valtavan suuri ja siten kehittämämme konsepti liian pienimuotoinen. Muut yritykset olivat sitä mieltä, että konsepti on melkein liian hyvää ollakseen totta, ja jos tällaista todella tarjottaisiin, niin ne olisivat ehdottomasti kiinnostuneita investoimaan vaikka heti. Ainut merkittävä kritiikki tuli käytettävästä polttoaineesta. Biokaasua pidettiin jossain määrin huonona vaihtoehtona, koska sen tuottaminen itse vaatisi huomattavasti lisää etenkin rahallisia resursseja, ja sen ostaminen ulkopuolelta taas nähtiin melko hankalana ja kannattamattomana vaihtoehtona. Tulevaisuuden laitteistokehittelyltä toivottiin ennen kaikkea laitteita, jotka pystyisivät hyödyntämään biomassaa sellaisenaan. Lähes kaikki yritykset olivat sitä mieltä, että hajautetun energiantuotannon tulisi ehdottomasti tuottaa myös lämpöä (ei pelkästään sähköä).

Toisessa konseptissa peruskonseptiin lisättiin sopimus paikallisen sähköyhtiön kanssa. Tällöin yrityksen tuottamaa sähköenergiaa siirretään (sähköyhtiön maksamaa korvausta vastaan) yleiseen sähköverkkoon automaattisesti aina, kun sitä riittää yli yrityksen oman tarpeen, ja toisaalta sähköä siirretään sähköverkosta yritykseen automaattisesti normaaliin tapaan aina, kun tarvetta on (eli yrityksen oma sähköntuotanto ei riitä sen tarpeisiin). Tämä lisäys ideatasolla kiinnosti yrityksiä kovasti, mutta sähköyhtiöiden halukkuutta tällaiseen epäiltiin vahvasti. Yleensä uskottiin että mikäli sähköyhtiö ylipäätään suostuisi ostamaan ylimääräisen energian, se ei todennäköisesti maksaisi siitä kelvollista hintaa, ainakaan ilman valtion asettamia pakotteita, mihin ratkaisuun esimerkiksi Saksassa on päädytty.

Kolmannessa konseptissa esitettiin mahdollisuus ulkoistaa hajautettu energiantuotanto kokonaisuudessaan. Tällöin tehtäisiin ulkoistamissopimus jonkin välittäjäfirman (agentin) kanssa. Agentti hoitaisi kokonaisuudessaan hajautetun energiantuotannon ratkaisun yrityksessä. Yritys tekisi agentin kanssa sopimuksen, jossa sovitaan että yritys antaa käyttöön tilan laitteen asentamista varten ja hoitaa sen päivittäisen ylläpidon (lähinnä raaka-aineen täytön). Agentti huolehtii inves-

tointikustannuksista, laitteen käyttökustannuksista, laitteen huollosta jne. Tällöin riski ja vastuu siirtyvät suurimmaksi osaksi yritykseltä agentille. Toisaalta agentti saa myös energiantuotannosta syntyvät voitot. Yritys hyötyisi tästä kuitenkin solmimalla agentin kanssa pitkäaikaisen (esim. 5 v) sähkö sopimuksen, joka takaa yritykselle sähkön edulliseen hintaan. Tässä vaihtoehdossa yrityksen oma riski mutta myös hyödyt olisivat pienemmät kuin kahdessa muussa konseptissa.

Tätä vaihtoehtoa osa yrityksistä piti hyvänä, mikäli kiinnostusta ja resursseja energiantuotantolaitoksen kokonaishallintaan ei yrityksellä itsellään ole (mutta harvempi niistä piti kuitenkin tätä konseptia omakohtaisesti kiinnostavana). Tällöin yritys voisi kuitenkin saada energiaa edullisesti antamalla tilansa käyttöön energiantuotantolaitokselle (ja mahdollisesti hyötyä yrityksensä tuottamista jätteistä energiakäytössä). Toisaalta luotettavan agentin löytämisestä pidettiin erittäin suurena ongelmana. Tämäkin on konsepti, jota ei vielä ole olemassa, mutta jonka kehittämismahdollisuuksia kiinnostuneiden toimijoiden kannattaa selvittää.

#### **4. AVAINTEKIJÄT HAJAUTETUN ENERGIANTUOTANNON MARKKINOINNISSA**

Hajautetulla energiantuotannolla on merkittävää markkinointipotentialia yritysten keskuudessa, kunhan tuotantokonseptit suunnitellaan riittävän luotettaviksi, yksinkertaisiksi sekä houkutteleviksi. Yrittäjien arvostukset ja asenteet on tärkeää ottaa huomioon konseptien kehittämisen alusta lähtien vahvasti, kuten myös siinä vaiheessa, kun konsepteja markkinoidaan. On tärkeää nimenomaan kehittää konsepti, joka tarjoaa yritykselle kokonaisratkaisun, sen sijaan että keskityttäisiin kehittämään vain laitteita ja teknologiaa. Erityisesti pk-yritysten resurssit ja mielenkiinto eivät useinkaan riitä siihen, että ne itse ottaisivat asioista selvää ja rakentaisivat itselleen sopivan ratkaisun erilaisista palasista. Mikäli hajautettua energiantuotantoa halutaan suuressa määrin markkinoida, on tärkeää rakentaa helposti monistettava konsepti, joka sopii mahdollisimman monien yritysten tarpeisiin.

Pk-yrityksille tärkein motiivi hajautetun energiantuotannon käyttöönottoon on taloudellinen hyöty. Energiakustannuksia halutaan pienentää ja energian hinnan korotuksilta suojautua nykyistä paremmin. Toisaalta ympäristöystävällisyyttä pidetään myös jossain määrin tärkeänä ja yritysten omat sivutuotteet ja jätteet halutaan hyödyntää. Suurimpia esteitä ja uhkia pk-yritysten näkökulmasta hajautetun energiantuotannon käyttöönotolle ovat epävarmuus niin Suomen kuin EU:nkin politiikasta, tarpeettomasta byrokratiasta (esim. lupamenettelyt) ja valitun polttoaineen saatavuudesta tulevaisuudessa, joten on tärkeää hälventää tällaista epävarmuutta. Hajautetun energiantuotannon konseptien kehittämiseksi

ja markkinoimiseksi on tärkeää, että huomioon otetaan kaikki yritysten näkökulmasta keskeisimmät vaatimukset.

Hajautetun energiantuotannon käyttöönoton kannalta PK-yrityksille on olennaista, paitsi tietoisuuden lisääminen ja epävarmuuden hälventäminen, myös aktiivinen markkinointi sekä asioiden miettiminen yritysten puolesta mahdollisimman valmiiksi. Ei ole realistista olettaa, että pienet yritykset ryhtyisivät sankoin joukoin ottamaan käyttöön hajautettua energiantuotantoa, mikäli asia jätetään niiden oman aktiivisuuden varaan. Markkinointiponnistelut kuitenkin kannattavat, sillä potentiaalisia asiakkaita PK-yritysten joukossa on runsaasti.

On tärkeää, että yrityksille tarjotaan hajautetun energiantuotannon kokonaisratkaisu. Ratkaisu voi toki jossain määrin olla räätälöitävissä, mutta peruskonseptin tulisi olla valmis ja selkeä sekä sen muuntamisen tulisi olla yksinkertaista. Hajautetun energiantuotannon konseptin tulee olla myös sellainen, ettei sen käyttöönotto vaadi yritykseltä suuria ponnisteluja eikä perehtymistä. Konseptiin tulee sisältyä tuki, joka takaa ammattilaisten hoitavan ensiksikin asennuksen mutta pidemmällä aikavälillä myös tarpeelliset huolto- ja korjaustoimenpiteet.

Tutkimuksen perusteella näyttää siltä, että hajautettua energiantuotantoa voi lähteä nopeasti levittämään pienimuotoisuuden kautta. Yrityksiä kiinnostaa nimenomaan oma energiantuotanto (ei niinkään yhteislaitos muiden yritysten kanssa) mutta koska suomalaiset yritykset enimmäkseen ovat hyvin pieniä, niillä ei ole resursseja suuriin energiantuotantolaitoksiin investoimiseen. Pienimuotoinen laite, joka tuottaa edes osan yritysten tarvitsemasta energiasta, sen sijaan kiinnostaa yrityksiä hyvin paljon. On siis järkevää kehittää pieniä tuotantolaitteita, joiden tuotannossa päästään pystytään massavalmistukseen ja -markkinointiin. Konseptit tulee kehittää sellaisiksi, että niitä voidaan markkinoida yrityksille ennen kaikkea kustannustehokkuudella, omavaraisuuden lisääntymisellä, toimintavarmuudella ja ympäristöystävällisyydellä.

## LÄHDELUETTELO

Pakkanen, Merja ym. (2007) The role of Market and Marketing in the Development of Distributed Energy Production. Julkaisematon.



# KUUDEN ENERGIAYHTIÖN KÄYTÖN JA KUNNOSSAPIDON TEHOKKUUSVERTAILU

*Hannu Saaristo ja Josu Takala*

## Sisältö

1.	Hankeosion kuvaus.....	121
2.	Tulokset.....	121
3.	ABC-analyysien tulosten vertailu .....	122
4.	Analyttinen hierarkiaprosessi.....	124
5.	Tehokkuusvertailu.....	128
6.	Yhteenvedo.....	131
	Lähdeluettelo.....	132
	Liitteet.....	133



## 1. HANKEOSION KUVAUS

Hankeosiossa tutkittiin energiayhtiöiden sähkönsiirtoliiketoiminnan kustannuksia kuudessa eri energiayhtiössä. Tutkimaan päästiin kahta isoa kaupunkiyhtiötä, kahta keskikokoista kaupunkiyhtiötä sekä kahta maaseutuyhtiötä. Menetelminä olivat toimintolaskenta sekä analyttinen hierarkiaprosessi (analytical hierarchy process, AHP). Toimintolaskennassa keskityttiin analysoimaan erityisesti kunnossapidon kustannuksia ja AHP:llä selvitettiin verkkoyhtiön omistajan tavoitteiden täyttymisen kannalta tärkeiden asioiden painoarvoja. Tavoitteena oli tutkia, miten kunnossapidon painotukset muuttuvat siirryttäessä maaseudulta taajamiin sekä laatia karkeatasoinen verkkoliiketoiminnan ohjaamiseen soveltuva työkalu.

## 2. TULOKSET

Kaikki yritykset, joihin hankkeen puitteissa tehtiin toimintolaskenta-analyysi, saivat oman analyysinsä tulosaineiston sekä laskennassa käytetyt Excel-taulukot. Lisäksi muutamien yhtiöiden välillä suoritettiin tulosten kahdenkeskisiä vertailuja. Kaikkien yhtiöiden tuloksista laadittiin myös yhteisvertailu, jonka tuloksia on esitetty tässä raportissa. Yksittäisten yritysten analyysien tuloksia ei yritysten toivomuksesta voitu tässä raportissa julkaista, sillä pienen lukumäärän vuoksi osallistujat voitaisiin tunnistaa. Samasta syystä yritykset esiintyvät raportissa anonyymeinä eikä yhtiöistä voida paljastaa niiden tyyppiä. (maaseutu vai taajamalaitos.)

Hankeosion tuloksena syntyi alustava malli sähköverkkoliiketoiminnan ohjaamiseen. Menetelmänä käytettiin analyttistä hierarkiaprosessia (AHP), jolla haettiin painoarvoja sähköverkon omistajan toimivalle johdolle asettamiin vaatimuksiin. Näitä painoarvoja hyödynnettiin yritysten välisessä tehokkuusvertailussa, jossa toimintolaskennalla saatuja tuloksia painotettiin AHP:sta saatujen painoarvojen mukaisesti.

Lisäksi hankeosio tuotti käyttö- ja kunnossapitokustannustietoja toiminnassa olevasta biovoimalaitoksesta ja toi osaamistaan erityisesti kunnossapidon osalta kokonaishankkeen muiden osien käyttöön.

### 3. ABC-ANALYYSIEN TULOSTEN VERTAILU

Tehdyissä analyyseissä sähköverkkoliiketoiminnan kustannukset jaettiin omistamisesta aiheutuneisiin kuluihin ja operoinnista aiheutuneisiin kuluihin. Toimintolaskentojen lähtökohdiksi valittiin sähköverkkoliiketoiminnan eriytetyn tuloslaskelman tilit, josta otettiin tarkasteluun kulupuoli ja operointiin liittyvät kustannukset. Kustannuksista erotettiin verkon omistajuuteen liittyvät kustannukset. Tämä merkitsi seuraavien oikaisujen tekemistä

- kanta- ja alueverkon siirtomaksut vähennettiin palveluostoista
- verkostohäviöt vähennettiin
- muuntoasemien, sähköasematonttien yms. vuokrat vähennettiin
- omistajuuden osuus rahoituskuluista vähennettiin
- valmistus omaan käyttöön vähennettiin.

Toimintolaskenta-analyyseistä saatuja tuloksia verrattiin toisiinsa suhteellistamalla prosessien kustannukset kyseisen yhtiön verkostoyksiköiden määrään ja vertaamalla, paljonko kehityspotentiaalia yhtiöllä on saavuttaakseen prosessin pienimmillä kustannuksilla suhteessa verkostoyksiköihin suorittavan yhtiön kustannustason. Idea kustannusten suhteuttamisesta verkostoyksiköihin saatiin analysoiduista yhtiöistä. Kehityspotentiaalia on kuvattu kuvassa 1, jonka y:n arvo on alla olevan kaavan 1 mukaisesti

(1.)

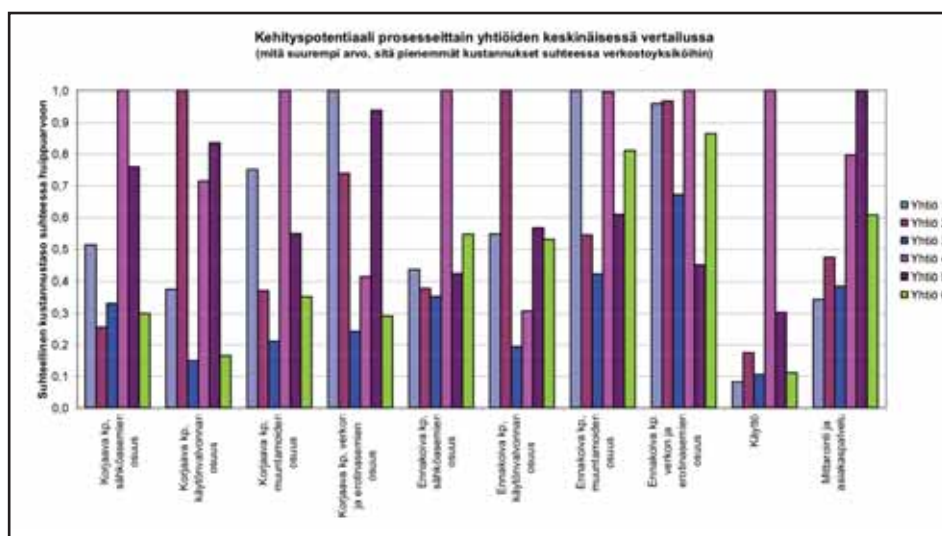
merkkien selitykset: ks. liite 2

$$y = \left( \frac{\left( \frac{K_{\min}}{v_{y_{\min}}} \right)}{\left( \frac{K_y}{v_y} \right)} \right)$$

Eli aluksi on laskettu, paljonko prosessin kustannus on suhteessa verkostoyksiköihin kaikissa yhtiöissä. Tämän jälkeen pienin kustannustaso on valittu tavoitearvoksi, johon kaikkien yhtiöiden verkostoyksiköihin suhteutetusta kustannuksesta on laskettu kehityspotentiaali. Vähiten resursseja suhteessa verkostoyksiköihin käyttänyt yhtiö saa tällöin arvokseen 1 ja enemmän resursseja käyttänyt arvon 0 ja 1 väliltä.

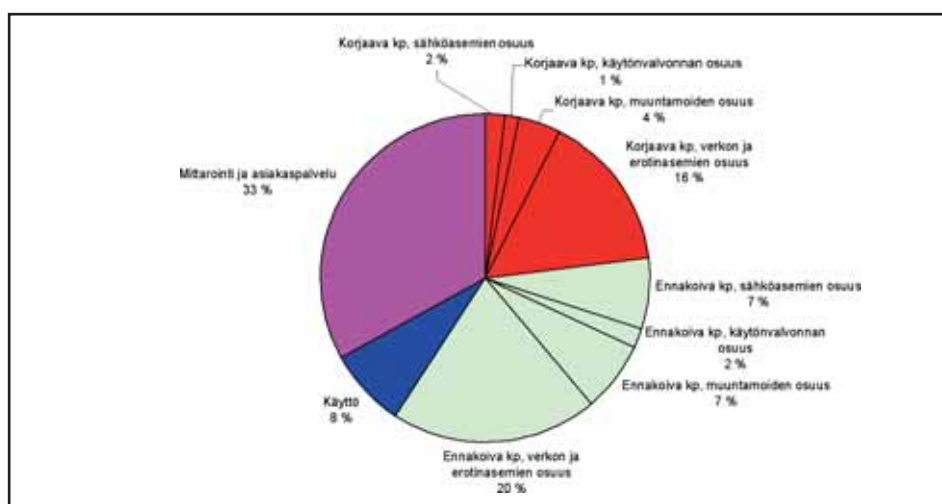
Kuvaa 1 voidaan tulkita siten, että pylväiden erotus kunkin prosessin kohdalla on yrityksen tehostamispotentiaali kyseisessä prosessissa. Verkon ja erotin-  
asemien kunnossapitokustannukset on kaaviossa laskettu yhteen, sillä kaikissa analyyseissä näitä ei eroteltu.





Kuva 1. Tutkimuskohteiden prosessien kustannustason vertailu suhteessa *verkostoyksiköihin*.

Tulosten mukaan näyttää siltä, että vertailuryhmän suurimmat erot tehokkuudessa ja eniten tehostamispotentiaalia löytyy verkon käytöstä, jonka kustannukset koostuvat suurimmaksi osaksi käytönvalvonnan kuluista. Toisaalta käyttö on kokonaiskustannuksista kuitenkin suhteellisen pieni osuus, kuten kuvasta 2 voidaan nähdä.

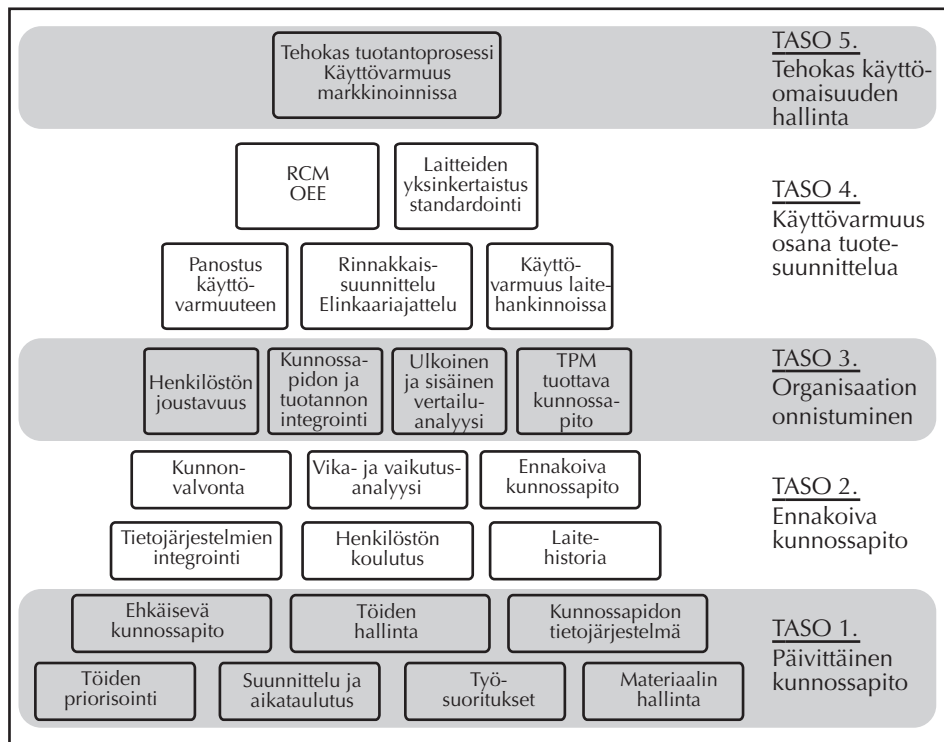


Kuva 2. Keskimääräinen kustannusjakauma analysoiduissa yhtiöissä.

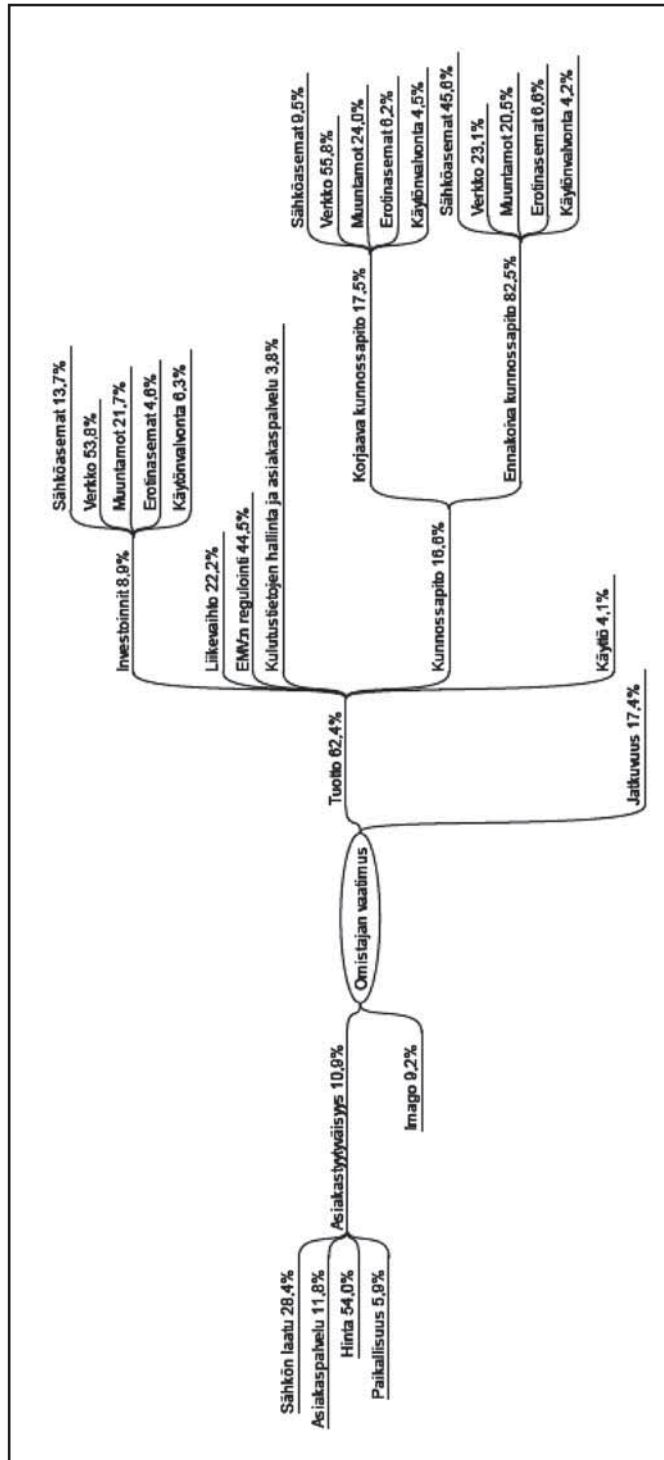
#### 4. ANALYYTTINEN HIERARKIAPROSESSI

AHP-menetelmän on kehittänyt Thomas L. Saaty vuonna 1988 ja se perustuu matriisialgebraan ja pareittaisvertailuun. Aluksi menetelmässä muodostetaan hierarkia, jossa on soveltuva päätavoite sekä osatavoitteet. Haastateltavat vertaavat hierarkian eri tekijöitä pareittain näiden tavoitteiden suhteen, jolloin saadaan tekijöiden suhteellinen paremmuus selville. Saaduista vastauksista lasketaan menetelmän luotettavuutta kuvaava kontingenssiarvo, joka kuvaa haastateltavan joukon yksimielisyyttä. Mitä pienempi kontingenssi on, sitä yksimielisempiä vastaajat ovat olleet (Leskinen 2005).

Laajentamalla tässä tutkimuksessa toteutettua AHP-kyselyä on mahdollista päästä kuvan 3 kaltaiseen ns. hiekkakakkumalliin. Lähtökohtana mallissa on ajatus, jonka mukaan huipulla kuvattu tavoite on saavutettavissa huolehtimalla ensin alempien tasojen toteutumisesta. AHP-menetelmällä pystytään tulkitsemaan kuvion korkeimman tason tavoitteet operatiivisen tason tehtävien priorisoinniksi. Painoarvot kuvion eri laatikoille saadaan AHP-kyselystä.

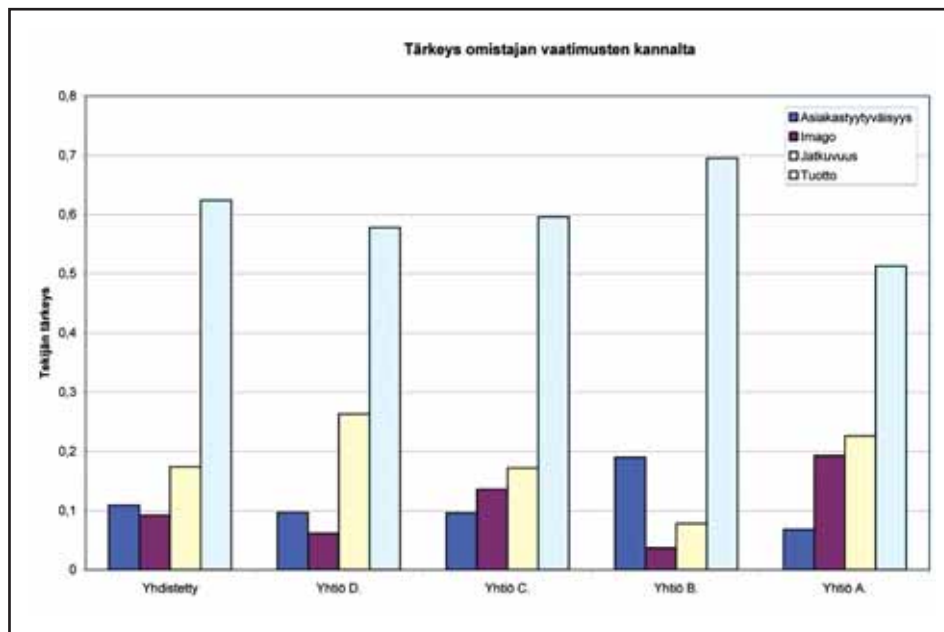


**Kuva 3.** Esimerkki kunnossapidon "hiekkakakkumallista" (Kuva lainattu Mäki 2000; Peterson 2000).



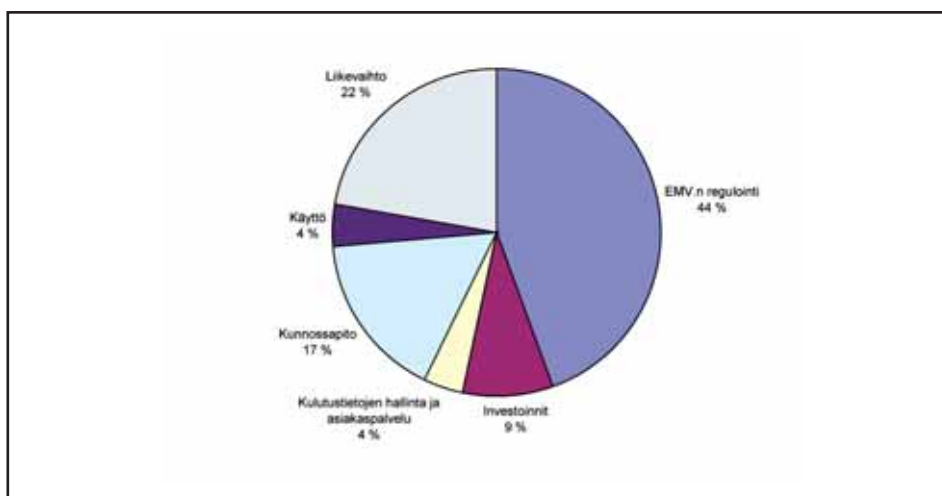
Kuva 4. Suppea päätöksentekohierarkia painoarvoineen.

Ohjausmallin päätöksentekohierarkia laadittiin tarkastelemalla energiayhtiöiden strategisia tavoitteita ja keskustelemalla kolmen suomalaisen energiayhtiön johdon edustajien kanssa. Päätöksentekohierarkia muodostui liitteessä 3 esitellyn mukaiseksi. Hierarkian eri tekijöiden painoarvoja selvitettiin kuvan 4 mukaisesti lähettämällä liitteessä 4 esitelty AHP-kysely seitsemään suomalaiseen energiayhtiöön, johon tutkimuksen aikaisemmissa vaiheissa oli oltu yhteydessä. Kyselyssä keskityttiin selvittämään tämän tutkimuksen kannalta oleellisimpia asioita, eikä vastaajien ajan säästämiseksi koko hierarkiaa menty lävitse. Vastauksia saatiin 4 kpl, jotka olivat hyvin toisiaan tukevia. Yhdistettyjen tulosten kokonaisristiriitaisuus (inconsistency) jäi arvoon 0,06 mikä kertoo vastaajien olleen hyvin samaa mieltä kysymyksiin vastatessaan. Vastaajina kyselyyn oli verkkoliiketoiminnan johtajia ja käyttöpäälliköitä, joilla kaikilla oli vähintään 20 vuoden työkokemus alalta.



**Kuva 5.** Päätekijöiden painoarvot omistajan vaatimusten kannalta (mitä korkeampi pylväs, sitä tärkeämpi tekijä).

Tuotto oli kaikkien vastaajien mielestä tärkein omistajan edellyttämä asia. Suurimman osan mielestä jatkuvuus oli toiseksi tärkein tekijä, mutta yksi vastaaja asetti asiakastyytyväisyyden jatkuvuuden edelle. Asiakastyytyväisyys lienee kuitenkin myös jatkuvuuden edellytys, mikä on hyvä ottaa huomioon vastauksia tarkastellessa.



**Kuva 6.** Tuoton eri tekijöiden tärkeys.

Tärkeimmäksi tuottoon vaikuttavaksi tekijäksi oli katsottu Energiamarkkinalviraston regulointi, jonka katsottiin vaikuttavan tuottoon eniten. Toiseksi tärkein tekijä oli liikevaihto ja kolmantena tuli kunnossapito.

## 5. TEHOKKUUSVERTAILU

Toimintolaskenta-analyysien tuloksia ja AHP-kyselyn avulla saatuja painoarvoja käytettiin laadittaessa yhtiöiden välistä vertailua seuraavan kaavan 2 mukaisesti:

$$(2.) \quad y = \left( \frac{\left( \frac{K_{kksmin}}{vy_{min}} \right)}{\left( \frac{K_{kks}}{vy_y} \right)} \right)^a \times \left( \frac{\left( \frac{K_{kkkmin}}{vy_{min}} \right)}{\left( \frac{K_{kkk_y}}{vy_y} \right)} \right)^b \times \left( \frac{\left( \frac{K_{kkmin}}{vy_{min}} \right)}{\left( \frac{K_{kk_y}}{vy_y} \right)} \right)^c \times \left( \frac{\left( \frac{K_{kkvmin}}{vy_{min}} \right)}{\left( \frac{K_{kkv_y}}{vy_y} \right)} \right)^d \times \left( \frac{\left( \frac{K_{eksmin}}{vy_{min}} \right)}{\left( \frac{K_{eks}}{vy_y} \right)} \right)^e$$

$$\times \left( \frac{\left( \frac{K_{ekmin}}{vy_{min}} \right)}{\left( \frac{K_{ek_y}}{vy_y} \right)} \right)^f \times \left( \frac{\left( \frac{K_{kmin}}{vy_{min}} \right)}{\left( \frac{K_{k_y}}{vy_y} \right)} \right)^g \times \left( \frac{\left( \frac{K_{mitmin}}{vy_{min}} \right)}{\left( \frac{K_{mit_y}}{vy_y} \right)} \right)^h \times \left( \frac{\left( \frac{K_{korjmin}}{vy_{min}} \right)}{\left( \frac{K_{korj_y}}{vy_y} \right)} \right)^i \times \left( \frac{\left( \frac{K_{korjmitmin}}{vy_{min}} \right)}{\left( \frac{K_{korjmit_y}}{vy_y} \right)} \right)^j$$

merkkien selitykset: ks. liite 2

(Hakkarainen ym. 2002; Takala ja Nirhamo 1994)

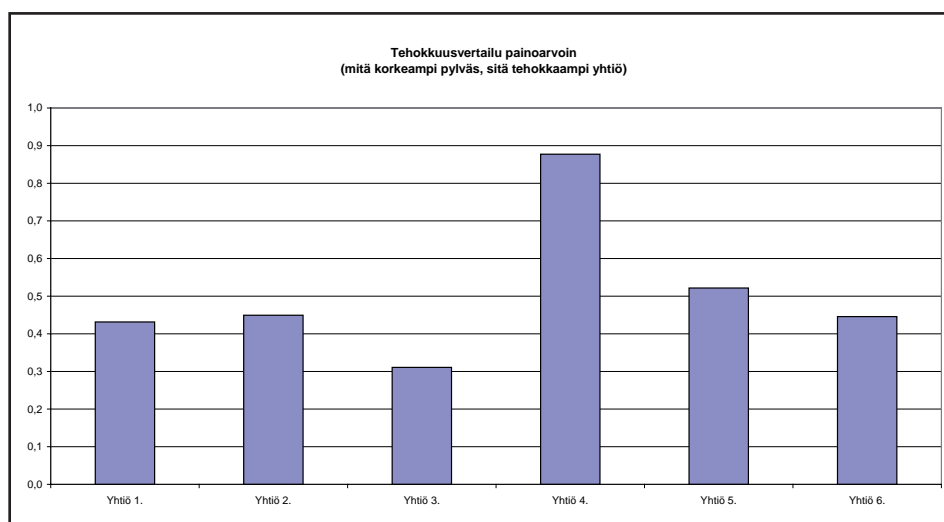
Laaditussa tehokkuusvertailussa prosessien kustannuksia painotettiin AHP-kyselystä saatujen painoarvojen mukaan, jotka esiintyvät edellisessä kaavassa tekijöinä a, b, c, d, e, f, g, h, i ja j. Painoarvot muodostivat yhteensä arvon 1 kuvan 7 arvojen mukaisesti.

Suurin painoarvo tehokkuusvertailussa oli siis sähköasemien ennakoivaan kunnossapitoon käytetyillä resursseilla. Toiseksi eniten saivat verkon ja erotinasemien ennakoiva kunnossapito sekä käyttö. Kolmantena tuli mittarointi ja asiakaspalvelu.



Kuva 7. Prosessien painoarvot tehokkuusvertailussa.

Verrattaessa yhtiöitä kaavan 2 mukaisella tavalla (kuva 8), voidaan todeta yhtiön nro 4 menestyvän vertailussa parhaiten ja yhtiön nro 3 heikoinen. Erot muiden yhtiöiden välillä ovat suhteellisen pieniä. Yhtiön nro 4 hyvä menestymisen vertailussa johtuneen pienistä kustannuksista suhteessa verkoston määrään erityisesti AHP-kyselyn perusteella suurimmat painoarvot saaneissa prosesseissa.

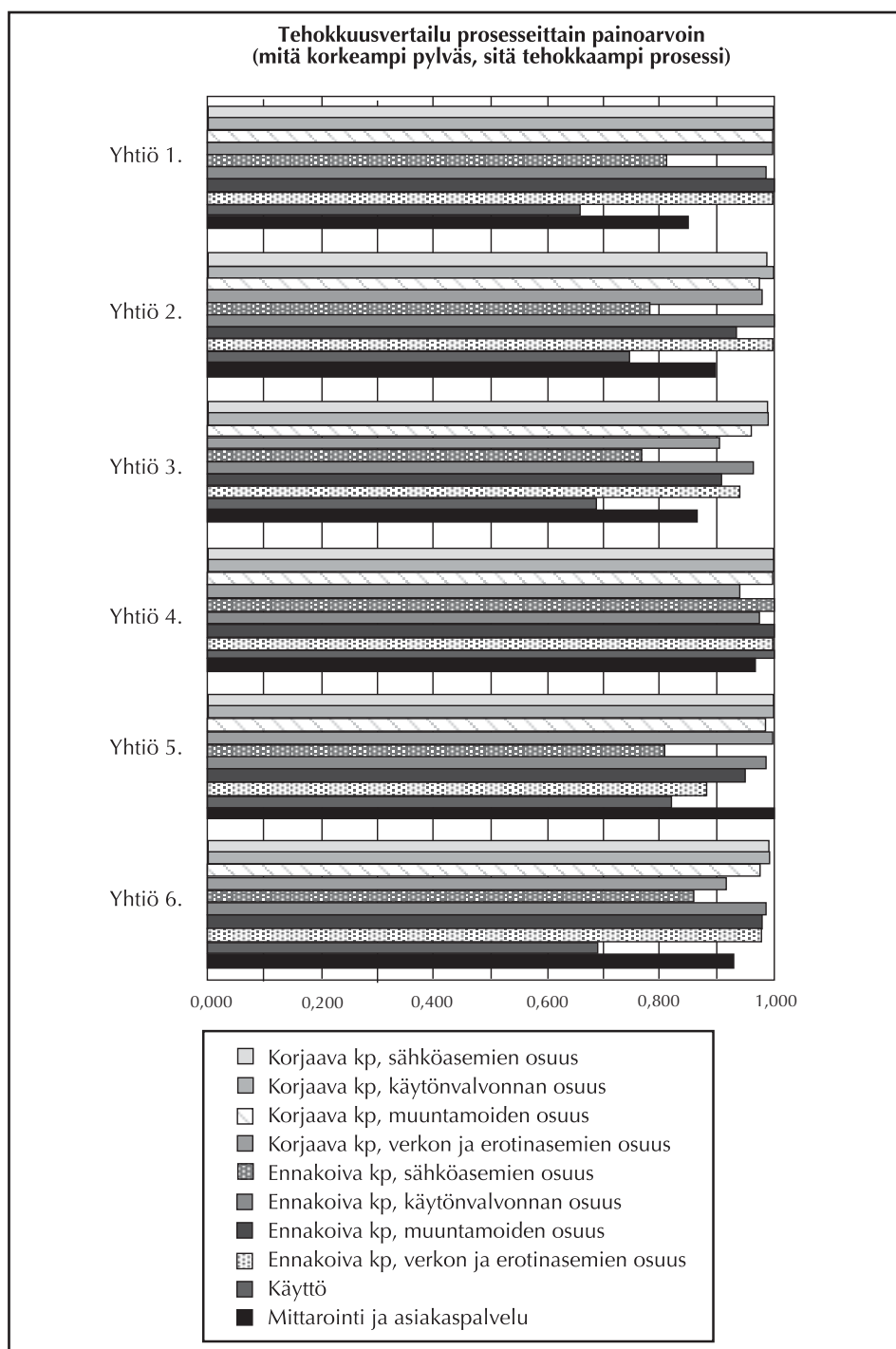


**Kuva 8.** Yhtiöiden välinen tehokkuusvertailu käyttäen AHP:sta saatuja painotuksia.

Kuvassa 9 (seuraavalla sivulla) on purettu kuvan 8 tehokkuusvertailussa käytetyt tekijät näkyville prosessitasolla. Kuvassa 9 y:n arvo muodostuu kaavan 3 mukaisesti, eli kuvassa 8 on laskettu kuvassa 9 esiteltyjen tekijöiden tulo. Analysoitujen yritysten kannattaa suunnata kehityspanostuksensa siis tekijöihin, joiden kehittämisellä kokonaistehokkuutta pystyy nostamaan eniten. Useimmissa yhtiöissä nämä prosessit näyttäisivät olevan käyttö, mittarointi ja asiakaspalvelu sekä sähköasemien ennakoiva kunnossapito.

$$(3.) \quad y = \left( \frac{\left( \frac{K_{\min}}{v_{y \min}} \right)}{\left( \frac{K_y}{v_{yy}} \right)} \right)^{z_y}$$

merkkien selitykset: ks. liite 2



**Kuva 9.** Yhtiöiden välinen prosessitason tehokkuusvertailu käyttäen AHP:sta saatuja painoarvoja.



## 6. YHTEENVETO

Suurimmat erot eri yhtiöiden tehokkuudessa näyttävät olevan käytössä. Eniten resursseja käytetään mittarointiin ja asiakaspalveluun sekä verkon ennakoivaan ja korjaavaan kunnossapitoon.

Tärkeimpänä omistajan edellyttämänä asiana pidettiin tuottoa. Eniten tuottoon puolestaan vaikutti Energiamarkkinaviraston regulointi ja yrityksen liikevaihto. Kolmantena tuottoon vaikuttavana tekijänä oli kunnossapito.

Tehokkuusvertailussa suurimman painoarvon saivat sähköasemien ennakoivaan kunnossapitoon käytetyt resurssit. Toiseksi eniten painoarvoa saivat verkon ja erotinasemien ennakoiva kunnossapito sekä käyttö. Parhaiten tehokkuusvertailussa menestyi yhtiö nro 4 ja heikoiten yhtiö nro 3.

Eniten vertailtujen yhtiöiden kokonaistehokkuutta nostavat tehostamiskohteet vaikuttaisivat tämän tutkimuksen perusteella olevan käyttö, mittarointi ja asiakaspalvelu sekä sähköasemien ennakoiva kunnossapito. Yhtiössä nro 4 saavutettaisiin kuitenkin parempi kokonaistehokkuus tehostamalla muuntamoiden korjaavaa kunnossapitoa sekä mittarointia ja asiakaspalvelua.

Tulosten yleistämiseen on suhtauduttava varauksellisesti, koska tutkimukseen osallistui vain suppea joukko yrityksiä. Lisäksi tuloksia tarkasteltaessa tulee huomioida, että maaseutu- ja taajamayhtiöt ovat mukana samassa vertailussa. Tuloksia voitaisiin tarkentaa laajentamalla tutkittavien yritysten lukumäärää sekä ryhmittelemällä yhtiöitä esimerkiksi omistajapohjan, verkon tyyppin (maaseutu-/taajamaverkko) tai koon mukaisesti. Lisäksi toimintolaskennassa mukana olevissa kuluerissä saattaa joissain yhtiöissä olla lieviä epätarkkuuksia johtuen kustannuserien erilaisista erittely- ja kirjauskäytännöistä.

Hankeosiossa käytettyjä menetelmiä voidaan soveltaa myös hajautettujen energiantuotantojärjestelmien kunnossapitoa tarkasteltaessa. Tähän tarkasteluun tarvittavaa data on kuitenkin hankittava erikseen.

## Lähdeluettelo

- Hakkarainen V., Takala J. ja Kess P. 2002. Development of effective supply network. IGLS'2002. Itävalta.
- Leskinen J. 2005. Maintenance Management with mobile Multimedia (4M) projektisuunnitelma. (julkaisematon)
- Mäki K.M. 2000. Kunnossapidon historiatiedon hallinnan kokonaismalli. Lisen-siaattityö. Jyväskylä: Kirjansitomo Rihto Ky. 129 s.
- Peterson B.S. 2000. Implementing Asset Management. The 15th European Main-tenance Congress EUROMAINTENANCE 2000. Gothenburg, Sweden, 07-09.03.2000. EFNMS. pp 15-23.
- Takala J. ja Nirhamo T. 1994. Further development of systematic method for supplier evaluation, Research Workshop on Management and (New) Technology, COST A3, Grenoble, Ranska.
- Energiamarkkinavirasto. Verkostoyksiköiden määrittely <<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Jaktal03.xls>> 2004.

## LIITE 1. Verkostoyksiköiden määrittely

Verkostoyksikkö on sähköverkon laajuutta kuvaava tunnusluku, jossa eri verkonosat saavat VY-lukuja alla olevan taulukon mukaisesti:

Verkostoyksikön arvona käytetään KA2:97 mukaisesti 53.000 markkaa eli 8913,96 euroa.

Eri verkosto-osille voidaan käyttää verkostoyksiköiden määrittelyssä seuraavia arvoja (Sener 21.4.1997/mahd. uudempi):

koodi/KA2	nimi/KA2	1,000 euro		yksikkö	VY-nimi	VY-hinta /euro		VY-luku	Huom
		hinta/KA2	hinta/KA2						
1143	PJ-ilmajohdo AMKA 35	8,91		km	PJ-ilmajohdo	8,91		1,0	Perusluku
1112	KJ ilmajohdo Raven	13,62		km	KJ-ilmajohdo	13,62		1,5	
1121	2-pylväsmuuntamo	3,70		kpl					
1131	Muuntaja 50 KVA	3,03		kpl	Muuntamo/ilmajohdoverkko	6,73		0,7	VY=1121+1131
2141	PJ-kaapeli 120 + veto	11,77		km					
2161	Kaap.oja, uudisalue	11,44		km					
2171	Kaap.oja, vanha alue	23,55		km	PJ-kaapeli	29,26		3,2	VY=2141+2161/2+;
2112	20KV kaapeli 120 + veto	30,27		km					
2161	Kaap.oja, uudisalue	11,44		km					
2171	Kaap.oja, vanha alue	23,55		km	KJ-kaapeli	47,77		5,3	VY=2112+2161/2+;
2181	Puistomuuntamo T1	33,64		kpl					
1136	Muuntaja 500KVA	9,25		kpl	Muuntamo/kaapeliverkko	42,89		4,7	VY=2181+1136
				km	110 KV:n ilmajohdot			7,5	
				km	110 KV:n kaapeilit				oma arvio
				kpl	(30-45)/(10-20) sähköasema				20+4xS/MVA
				kpl	110/(10-20) KV sähköasema				60+5xS/MVA

Verkostoyksiköiden määrittely (Energiamarkkinavirasto 2004).

Saatavana Word Wide Webistä:

<URL: <http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/fakta103.xls>>

## LIITE 2. Kaavojen selvitykset

### Selvitys kaavan nro 1 eri tekijöistä

- $K_{\min}$  = Prosessin kustannukset pienimmän kustannustason suhteessa verkostoyksiköihin omaavassa yhtiössä.  
 $vy_{\min}$  = verkostoyksiköiden lkm prosessissa pienimmän kustannustason omaavassa yhtiössä, katso määrittely liitteestä 1.  
 $K_y$  = Prosessin kustannukset verrattavassa yhtiössä.  
 $vy_y$  = verkostoyksiköiden lkm verrattavassa yhtiössä.

### Selvitys kaavan nro 2 eri tekijöistä

- $K_{\text{ks min}}$  = Kustannus, korjaava kunnossapito sähkökoasemilla, pienin arvo suhteessa verkostoyksiköihin.  
 $vy_{\min}$  = verkostoyksiköiden lkm prosessissa pienimmän kustannustason omaavassa yhtiössä, katso määrittely liitteestä 1.  
 $K_{\text{ksy}}$  = Sähköasemien korjaavan kunnossapidon kustannukset verrattavassa yhtiössä.  
 $vy_y$  = verkostoyksiköiden lkm verrattavassa yhtiössä.  
 $a$  = sähköasemien korjaavan kunnossapidon AHP-kyselyllä selvitetty painoarvo.
- $K_{\text{kk min}}$  = Kustannus, korjaava kunnossapito käytönvalvonnassa, pienin arvo suhteessa verkostoyksiköihin.  
 $vy_{\min}$  = verkostoyksiköiden lkm prosessissa pienimmän kustannustason omaavassa yhtiössä, katso määrittely liitteestä 1.  
 $K_{\text{kkky}}$  = Käytönvalvonnan korjaavan kunnossapidon kustannukset verrattavassa yhtiössä.  
 $vy_y$  = verkostoyksiköiden lkm verrattavassa yhtiössä.  
 $b$  = käytönvalvonnan korjaavan kunnossapidon AHP-kyselyllä selvitetty painoarvo.
- $K_{\text{kkm min}}$  = Kustannus, korjaava kunnossapito muuntamoilla, pienin arvo suhteessa verkostoyksiköihin.  
 $vy_{\min}$  = verkostoyksiköiden lkm prosessissa pienimmän kustannustason omaavassa yhtiössä, katso määrittely liitteestä 1.  
 $K_{\text{kkmy}}$  = Muuntamoiden korjaavan kunnossapidon kustannukset verrattavassa yhtiössä.  
 $vy_y$  = verkostoyksiköiden lkm verrattavassa yhtiössä.  
 $c$  = muuntamoiden korjaavan kunnossapidon AHP-kyselyllä selvitetty painoarvo.
- $K_{\text{kkv min}}$  = Kustannus, korjaava kunnossapito verkossa ja erotinasemilla, pienin arvo suhteessa verkostoyksiköihin.  
 $vy_{\min}$  = verkostoyksiköiden lkm prosessissa pienimmän kustannustason omaavassa yhtiössä, katso määrittely liitteestä 1.

$K_{kkvy}$  = Verkon ja erotinasemien korjaavan kunnossapidon kustannukset verrattavassa yhtiössä.  
 $vy_Y$  = verkostoyksiköiden lkm verrattavassa yhtiössä.  
 $d$  = Verkon ja erotinasemien korjaavan kunnossapidon AHP-kyselyllä selvitetty painoarvo.

$K_{eks\ min}$  = Kustannus, ennakoiva kunnossapito sähköasemilla, pienin arvo suhteessa verkostoyksiköihin.  
 $vy_{min}$  = verkostoyksiköiden lkm prosessissa pienimmän kustannustason omaavassa yhtiössä, katso määrittely liitteestä 1.  
 $K_{eksy}$  = Sähköasemien ennakoivan kunnossapidon kustannukset verrattavassa yhtiössä.  
 $vy_Y$  = verkostoyksiköiden lkm verrattavassa yhtiössä.  
 $e$  = Sähköasemien ennakoivan kunnossapidon AHP-kyselyllä selvitetty painoarvo.

$K_{ekk\ min}$  = Kustannus, ennakoiva kunnossapito käytönvalvonnalle, pienin arvo suhteessa verkostoyksiköihin.  
 $vy_{min}$  = verkostoyksiköiden lkm prosessissa pienimmän kustannustason omaavassa yhtiössä, katso määrittely liitteestä 1.  
 $K_{ekky}$  = Käytönvalvonnan ennakoivan kunnossapidon kustannukset verrattavassa yhtiössä.  
 $vy_Y$  = verkostoyksiköiden lkm verrattavassa yhtiössä.  
 $f$  = Käytönvalvonnan ennakoivan kunnossapidon AHP-kyselyllä selvitetty painoarvo.

$K_{ekm\ min}$  = Kustannus, ennakoiva kunnossapito muuntamoille, pienin arvo suhteessa verkostoyksiköihin.  
 $vy_{min}$  = verkostoyksiköiden lkm prosessissa pienimmän kustannustason omaavassa yhtiössä, katso määrittely liitteestä 1.  
 $K_{ekmy}$  = Muuntamoiden ennakoivan kunnossapidon kustannukset verrattavassa yhtiössä.  
 $vy_Y$  = verkostoyksiköiden lkm verrattavassa yhtiössä.  
 $g$  = Muuntamoiden ennakoivan kunnossapidon AHP-kyselyllä selvitetty painoarvo.

$K_{ekv\ min}$  = Kustannus, ennakoiva kunnossapito verkolle ja erotinasemille, pienin arvo suhteessa verkostoyksiköihin.  
 $vy_{min}$  = verkostoyksiköiden lkm prosessissa pienimmän kustannustason omaavassa yhtiössä, katso määrittely liitteestä 1.  
 $K_{ekvy}$  = Verkon ja erotinasemien ennakoivan kunnossapidon kustannukset verrattavassa yhtiössä.  
 $vy_Y$  = verkostoyksiköiden lkm verrattavassa yhtiössä.  
 $h$  = Verkon ja erotinasemien ennakoivan kunnossapidon AHP-kyselyllä selvitetty painoarvo.

$K_{k\ min}$  = Käytön kustannukset, pienin arvo suhteessa verkostoyksiköihin.  
 $vy_{\min}$  = verkostoyksiköiden lkm prosessissa pienimmän kustannustason omaavassa yhtiössä, katso määrittely liitteestä 1.  
 $K_{ky}$  = Käytön kustannukset verrattavassa yhtiössä.  
 $vy_Y$  = verkostoyksiköiden lkm verrattavassa yhtiössä.  
 $i$  = Käytön AHP-kyselyllä selvitetty painoarvo.

$K_{mit\ min}$  = Mittaroinnin ja asiakaspalvelun kustannukset, pienin arvo suhteessa verkostoyksiköihin.  
 $vy_{\min}$  = verkostoyksiköiden lkm prosessissa pienimmän kustannustason omaavassa yhtiössä, katso määrittely liitteestä 1.  
 $K_{mity}$  = Mittaroinnin ja asiakaspalvelun kustannukset verrattavassa yhtiössä.  
 $vy_Y$  = verkostoyksiköiden lkm verrattavassa yhtiössä.  
 $j$  = mittaroinnin ja asiakaspalvelun AHP-kyselyllä selvitetty painoarvo.

### Selvitys kaavan nro 3 eri tekijöistä

$K_{\min}$  = Prosessin kustannukset pienimmän kustannustason suhteessa verkostoyksiköihin omaavassa yhtiössä.  
 $vy_{\min}$  = verkostoyksiköiden lkm prosessissa pienimmän kustannustason omaavassa yhtiössä, katso määrittely liitteestä 1.  
 $K_y$  = Prosessin kustannukset verrattavassa yhtiössä.  
 $vy_Y$  = verkostoyksiköiden lkm verrattavassa yhtiössä.  
 $z_y$  = Prosessin AHP-kyselyllä selvitetty painoarvo.



## LIITE 4. Painoarvojen selvittämiseen käytetty AHP-kysely.

### HYVÄ HAASTATELTAVA!

Käytetty tutkimusmenetelmä on nimeltään AHP-menetelmä. Lomakkeessa on esitettyinä vertailupareja eri asioiden suhteen. Valitkaa lomakkeen kunkin rivin vertailuparin tekijöistä se, jonka koette **esitetyn tarkastelunäkökulman kannalta merkittävämmäksi tekijäksi**. Lisäksi teidän tulisi arvioida vertailuparien keskinäisen merkittävyyserojen suuruutta seuraavalla asteikolla:

- 1 = sama merkittävyys
- 3 = toinen hieman merkittävämpi
- 5 = toinen selvästi merkittävämpi
- 7 = toinen erittäin selvästi merkittävämpi
- 9 = toinen absoluuttisesti merkittävämpi
- 2,4,6,8 ovat asteikon väliarvoja

Esimerkiksi jos koette tason B tarkastelunäkökulman kannalta absoluuttisesti merkittävämmäksi osapuoleksi, valitkaa numero 9 asteikon oikeasta reunasta.



Esimerkki yllä: Taso B on merkitykseltään absoluuttisesti tärkeämpi kuin taso A.

#### VASTAAJAN TAUSTATIEDOT:

#### VASTAAJA KUULUU ITSE RYHMÄÄN:

Koulutus:	Omistaja	
	Ylin johto	
Työvuodet alalla:	Asiantuntija	
	Muu johtotehtävissä oleva	
	Suorittavaa henkilöstöä	



Arvioikaa kumpi alla olevista vertailuparin tekijöistä on mielestänne omistajan vaatimusten kannalta merkittävämpi tekijä. Tarkasteltava ajanjakso on yksi vuosi tästä hetkestä eteenpäin.

Tuotto	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Asiakastyytyväisyys
Tuotto	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jatkuvuus
Tuotto	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Imago
Jatkuvuus	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Asiakastyytyväisyys
Jatkuvuus	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Imago
Imago	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Asiakastyytyväisyys

Arvioikaa kumpi alla olevista vertailuparin tekijöistä on mielestänne asiakastyytyväisyyden kannalta merkittävämpi tekijä. Tarkasteltava ajanjakso on yksi vuosi tästä hetkestä eteenpäin.

Sähkön laatu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Asiakaspalvelu
Sähkön laatu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Hinta
Sähkön laatu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Paikallisuus
Asiakaspalvelu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Hinta
Asiakaspalvelu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Paikallisuus
Paikallisuus	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Hinta

Arvioikaa kumpi alla olevista vertailuparin tekijöistä on mielestänne **tuoton kannalta merkittävämpi tekijä**. Tarkasteltava ajanjakso on yksi vuosi tästä hetkestä eteenpäin.

Investoinnit	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Liikevaihto
Investoinnit	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	EMV:n regulointi
Investoinnit	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kulutustietojen hallinta ja asiakaspalvelu
Investoinnit	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kunnossapito
Investoinnit	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Käyttö
Liikevaihto	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	EMV:n regulointi
Liikevaihto	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kulutustietojen hallinta ja asiakaspalvelu
Liikevaihto	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kunnossapito
Liikevaihto	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Käyttö
EMV:n regulointi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kulutustietojen hallinta ja asiakaspalvelu
EMV:n regulointi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kunnossapito
EMV:n regulointi	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Käyttö
Kulutustietojen hallinta ja asiakaspalvelu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Kunnossapito
Kulutustietojen hallinta ja asiakaspalvelu	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Käyttö
Kunnossapito	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Käyttö

Arvioikaa kumpi alla olevista vertailuparin tekijöistä on mielestänne **investointien** kannalta merkittävämpi tekijä. Tarkasteltava ajanjakso on yksi vuosi tästä hetkestä eteenpäin.

Sähköasemat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Verkko
Sähköasemat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Muuntamot
Sähköasemat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Erotinasemat
Sähköasemat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Käytönvalvonta
Muuntamot	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Verkko
Muuntamot	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Erotinasemat
Muuntamot	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Käytönvalvonta
Verkko	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Erotinasemat
Verkko	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Käytönvalvonta
Käytönvalvonta	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Erotinasemat

Arvioikaa kumpi alla olevista vertailuparin tekijöistä on mielestänne **kunnossapidon** kannalta merkittävämpi tekijä. Tarkasteltava ajanjakso on yksi vuosi tästä hetkestä eteenpäin.

Korjaava kunnossapito	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ennakoiva kunnossapito
-----------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	------------------------

Arvioikaa kumpi alla olevista vertailuparin tekijöistä on mielestänne **korjaavan kunnossapidon** kannalta merkittävämpi tekijä. Tarkasteltava ajanjakso on yksi vuosi tästä hetkestä eteenpäin.

Sähköasemat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Verkko
Sähköasemat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Muuntamot
Sähköasemat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eroinaset
Sähköasemat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Käytönvalvonta
Muuntamot	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Verkko
Muuntamot	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eroinaset
Muuntamot	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Käytönvalvonta
Verkko	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eroinaset
Verkko	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Käytönvalvonta
Käytönvalvonta	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eroinaset

Arvioikaa kumpi alla olevista vertailuparin tekijöistä on mielestänne **ennakoivan kunnossapidon** kannalta merkittävämpi tekijä. Tarkasteltava ajanjakso on yksi vuosi tästä hetkestä eteenpäin.

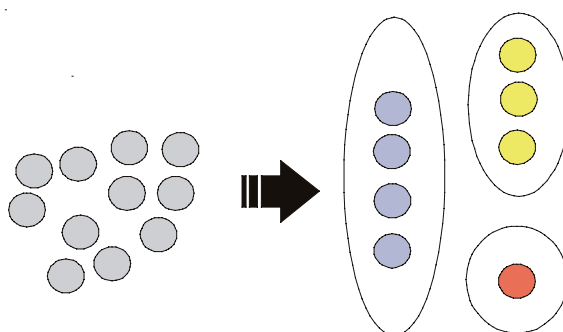
Sähköasemat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Verkko	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sähköasemat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Muuntamot	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sähköasemat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Erotinasemat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sähköasemat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Käytönvalvonta	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Muuntamot	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Verkko	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Muuntamot	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Erotinasemat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Muuntamot	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Käytönvalvonta	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Verkko	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Erotinasemat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Verkko	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Käytönvalvonta	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Käytönvalvonta	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Erotinasemat	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9



# VI

## HAJAUTETUN ENERGIANTUOTANNON MALLINNUS

*Teemu Mäenpää, Vesa Nyrhilä ja Matti Linna*



### Sisältö

1.	Johdanto .....	147
2.	Tietojärjestelmien kartoituskysely .....	149
3.	Biokaasulaitoksen informaatiomallinnus .....	152
4.	Mallinnusteoria.....	155
5.	Yhteenveto.....	166
	Lähdeluettelo .....	167
	Liite: Biokaasulaitoksen informaatiokartta.....	168





## 1. JOHDANTO

Osahanke on jatkoa *Informaatiokartta energijärjestelmien hallintaan* –projektille (HETIKA), jonka tavoitteena oli kartoittaa mitä informaatiota hajautettujen energijärjestelmien yhteydessä tarvitaan. Kartoitus koski järjestelmien koko elinkaarta aina järjestelmien toteutuksista niiden käyttöön ja romutukseen saakka.

HETIKA-projektissa kerättiin yksityiskohtaista tietoa energijärjestelmistä. Kerätty informaatio toimi pohjana laadittaessa informaatiokarttoja erilaisille hajautetun energiantuotannon muodoille. Informaatiokarttoja laadittiin kaikilta keskeisiltä osa-alueilta kattaen tuulivoiman, pien- ja minivesivoiman, lämpöpumput, biomassakattilat, kaasu- ja dieselmoottorit, mikroturbiinit, Stirling-moottorit, polttokennot ja höyryturbiinit ja -koneet. Aurinkosähkö ja -lämpö jätettiin käsittelyn ulkopuolelle. Perusteellisimmin keskityttiin tuuli- ja dieselvoimaan.

HETIKA-projektissa kehitettiin yleinen malli, niin sanottu elinkaarimalli, jota voidaan soveltaa eri energiamuotojen yhteydessä ja joka ottaa huomioon tuotteen koko elinkaaren. Mallia sovellettiin yksityiskohtaisemmin tuuli- ja dieselvoiman yhteydessä.

### *Tavoite*

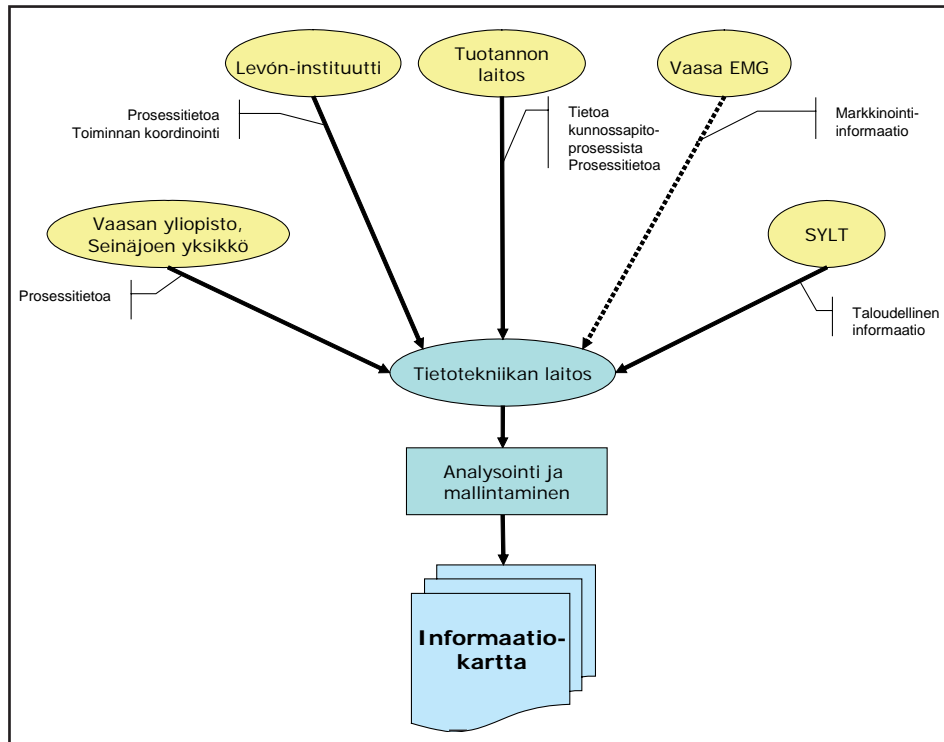
Tämän osahankkeen tavoite oli koota ja jäsentää hajautettua energiantuotantoa koskeva informaatio tämän hankkeen viitekehyksen ja aiemmin kehitetyn informaatiokartan mukaan hyödyntämällä hankkeen muiden osien tuloksia sekä aiemmin kerättyä informaatiota.

Tavoitteena oli myös kartoittaa tiedon jalostusmenetelmiä ja niiden vaatimuksia informaatiokarttaan, sekä jalostaa hankittua tietoa siten, että ristiin kytkentä informaation käyttäjien ja lähteiden välillä otetaan huomioon. Työssä tarkastellaan luotujen mallien ja hankitun informaation käyttöä konkreettisissa voimalaitosympäristöissä. Samalla jatketaan aiemmassa hankkeessa (HETIKA) kertyneen tiedon luokittelua ja analysointia, sekä selvitetään tiedon hyödyntäjien tarveprofiilit.

### *Liitynnät muihin osahankkeisiin*

Liiketoiminta hajautetussa energiantuotannossa -hankeohjelman koordinoinnista vastasi Lévon-instituutti, siihen osallistuivat Strategisen yritysjohton laskentatoimen tutkimusyksikkö (SYLT), Tuotannon laitos, Tietotekniikan laitos, Vaasa EMG ja Vaasan yliopiston Seinäjoen yksikkö. Tietotekniikan laitoksella hyödynnettiin muilta osapuolilta saatua tietoa soveltamalla sitä informaatiokartan

laatimisessa. Tietoa saatiin pitämällä yhteisiä kokouksia, tutustumalla pilotti-kohteisiin ja vieraillemalla hajautetun energiantuotannon laitoksissa. Liitynnät osahankkeisiin on esitetty kuvassa 1.



**Kuva 1.** Liitynnät osahankkeisiin.

### *Osahankkeen vaiheet*

Osahanke jakaantui kahteen vaiheeseen, jotka olivat tietojärjestelmien kartoituskysely ja informaatiomallinnus. Tietojärjestelmien kartoituskysely tehtiin, koska huomattiin että tietojärjestelmän rakenteiden kuvaaminen vaatii enemmän informaatiota nykyisistä tietojärjestelmistä kuin itse tuotantolaitoksesta. Kyselyssä selvitettiin energiayhtiöissä käytettävät tietojärjestelmät ja niiden väliset tietovirrat. Erityisesti kyselyssä kiinnitettiin huomiota järjestelmien välisten yhteyksien selvittämiseen.

Informaatiomallinnus jakaantui kahteen osaan, pilottikohteen mallintamiseen informaatiokartan avulla ja mallinnusteorian kehittämiseen. Pilottikohteen mallinnuksessa osahankkeista saatu sekä itse kerätty tieto sijoitettiin informaatiokarttaan. Teoria mallinnuksesta kehittyi samalla, kun tietoa kerääntyi pilottikohteesta.

## 2. TIETOJÄRJESTELMIEN KARTOITUSKYSELY

Sähköyhtiöille tehtiin tietojärjestelmien kartoituskysely, koska yhtiöiden tietojärjestelmien nykytila haluttiin selvittää. Ennen kyselyä tiedettiin, että sähköyhtiöllä voi olla käytössään useita eri tietojärjestelmiä, joiden avulla ne hallitsevat ydinliiketoimintaprosessejaan. Kun lasketaan mukaan kaikki sovellusohjelmat, nousee käytössä olevien järjestelmien määrä monilla yhtiöillä helposti yli kahdenkymmenen. Sähköyhtiöiden koolla ei ole kovin suurta vaikutusta käytettävien järjestelmien määrään. Siksi järjestelmien suuri määrä on taloudellinen rasite erityisesti pienemmille yhtiöille (Toivonen ym. 2005).

Koska tietojärjestelmiä on käytössä monta, on niiden välinen tietojen vaihto ja yhteen toimiminen välttämätöntä, jotta yhtiöiden liiketoiminta sujuisi ilman suurempia ongelmia. Tämä on kuitenkin hyvin vaikeaa, koska usein tärkeimmät käytössä olevat järjestelmät on hankittu yli kymmenen vuotta sitten eri toimittajilta. Lisäksi järjestelmät on saatettu toteuttaa eri standardeilla ja tekniikoilla. Järjestelmien uusiminen on hyvin kallista, joten vain harvoilla yhtiöillä on varaa tai halua ottaa suurta taloudellista riskiä järjestelmien integraation toteuttamiseksi. Yhden järjestelmän uusiminen kerrallaan voi myös tuntua yhtiöistä turhalta riskin otolta (Toivonen ym. 2005).

Kysely tehtiin yhteistyössä Tampereen teknillisen yliopiston Sähkövoimatekniikan laitoksen ja Vaasan yliopiston Tietotekniikan laitoksen ja Sähkötekniikan ja Tuotantotalouden laitoksen kanssa. Kaikki osapuolet olivat samaan aikaan toteuttamassa samantyyppistä kyselyä, minkä vuoksi pidettiin järkevänä toteuttaa kysely yhdessä, muun muassa ettei kummankaan vastausprosentti kärsisi toisen kyselystä.

Tampereen teknillisen yliopiston osuus kyselystä on osa DI Janne Toivosen diplomityötä ”Sähköjakeluyhtiöiden tietojärjestelmät ja tiedonhallinta”. Työn tavoitteena on ollut kartoittaa sähköjakeluyhtiöiden nykyisin käyttämiä tietojärjestelmiä ja niiden kehitystarpeita huomioiden muun muassa verkkoliiketoiminnan kehittyminen ja uudet liiketoimintamallit. Diplomityön toteutus on kuulunut osana Tampereen teknillisen yliopiston ja Lappeenrannan teknillisen yliopiston yhteiseen Tekesin ja yritysten rahoittamaan Sähköverkkoliiketoiminnan kehittäminen -tutkimusprojektiin.

Vaasan yliopistossa sähköyhtiöille suunnatun tietojärjestelmäkyselyn yhtenä tavoitteena oli kartoittaa suomalaisten energiayhtiöiden nykyisiä tietojärjestelmiä, niiden välisiä informaatiovirtoja sekä informaation jalostustarpeita. Tulosten avulla pyritään laatimaan spesifikaatio tulevaisuuden energiajärjestelmien hallintaan käytettävästä tietojärjestelmästä ja tietojärjestelmien integrointimenetelmästä, jota voidaan soveltaa erikokoisille toimijoille. Sähköyhtiöiden nykytilaa käsittelevä kysely toteutettiin, koska tietojärjestelmän staattisen ja dynaamisen rakenteen kuvaaminen vaatii enemmän informaatiota nykyisistä tietojärjestelmistä kuin itse tuotantolaitoksesta.

### *Kyselyn toteutus*

Ennen yhteisen kyselyn laatimista molemmat osapuolet olivat testanneet oman esikyselyn sähköyhtiöillä. Kyselyjen päällekkäisyys huomattiin, kun eräästä sähköyhtiöstä ilmoitettiin, että he ovat saaneet hiljattain kaksi samankaltaista kysymyslomaketta. Tämän jälkeen otettiin yhteyttä Tampereelle ja sovittiin kyselyjen yhteensovittamisesta.

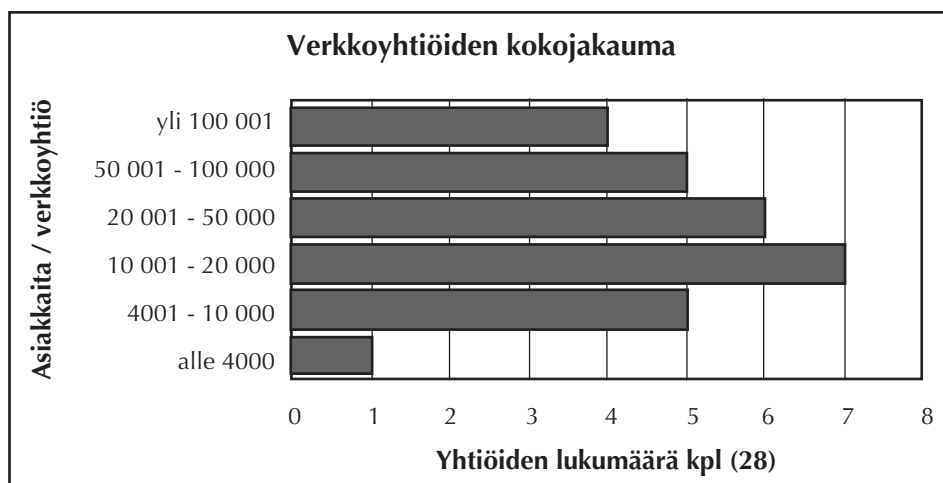
Yhdistetystä kyselystä tuli 11 sivua pitkä, ja kysymykset jaettiin seitsemään osioon: käytössä olevat tietojärjestelmät, järjestelmien käyttö, integrointi, hankinta ja käyttöönotto, käyttöpaikkatunnus, mittaukset sekä kunnonhallinta. Integrointiosio sisälsi sekä TTY:n että Vaasan yliopiston kysymyksiä, ja kunnonhallinta oli täysin Vaasan yliopiston osuutta.

Kyselyn jakelu suoritettiin siten, että Sähköenergialiitto ry Sener ja Energia-alan Keskusliitto ry Finergy lähettivät kyselykaavakkeen jäsenyhtiöidensä verkostopäälliköille sähköpostina Excel- ja PDF-formaatissa. Kysely lähetettiin yhteensä 87 yhtiölle. Vuoden 2004 alussa Suomessa oli 90 jakeluverkonhaltijaa (Finergy, Sähkö ja kaukolämpö 2003), joten kyselykaavake toimitettiin lähes jokaiseen verkkoyhtiöön.

### *Kyselyn tulokset*

Vastauksia saatiin yhteensä 28 sähköyhtiöltä, mikä on 31 prosenttia kaikista Suomen jakeluverkonhaltijoista. Kyselyssä oli mukana 87 yhtiötä, joten vastausprosentiksi saatiin 32,2 %. Vastausprosentti on kohtuullinen, koska kysely oli erittäin laaja, ja monissa yhtiöissä siihen joutui vastaamaan 3-4 työntekijää. Kuvasta 2 nähdään, että kyselyyn vastasi niin alle 10 000 asiakkaan kuin yli 100 000 asiakkaan verkkoyhtiöitä. Koko raportti on julkaistu Tampereen teknillisen yliopiston Sähkövoimatekniikan laitoksen raporttisarjassa (Toivonen ym. 2005).

Kyselytutkimus edustaa huomattavaa osaa Suomen jakeluverkoista ja sähkönkäyttäjistä. Vastanneiden verkkoyhtiöiden osuus kaikkien jakeluverkkojen kokonaispituudesta ja kaikista sähkönkäyttäjistä on esitetty taulukossa 1. Yhtiöiden verkkopituudet perustuvat Energiamarkkinaviraston julkaisemiin sähköverkkoliiketoiminnan tunnuslukuihin vuodelta 2002. Yhtiöiden asiakasmäärinä on käytetty vastaajien kyselyssä ilmoittamia lukuja. Suomen jakeluverkkojen kokonaispituudet ja sähkönkäyttäjien kokonaislukumäärä on Adato Energia Oy:n Sähkö ja kaukolämpö 2002 -vuosikirjasta (Toivonen ym. 2005.).



**Kuva 2.** Vastaajien asiakasmäärät.

**Taulukko 1.** Vastaajien osuus Suomen jakeluverkoista ja sähkökäyttäjistä.

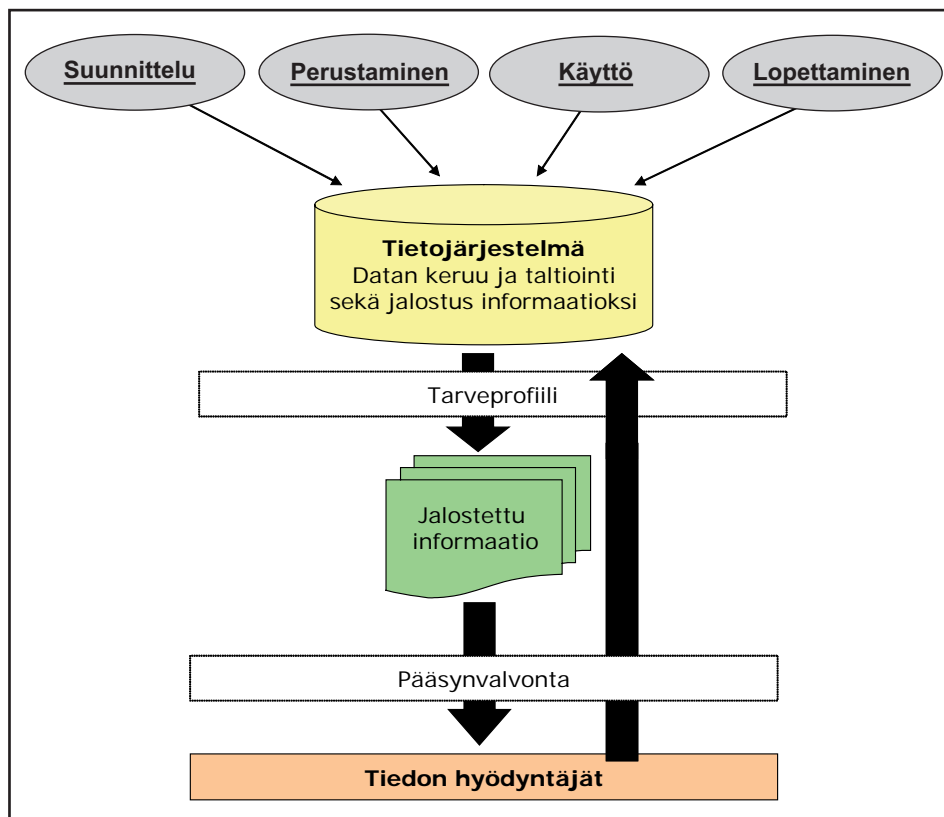
	PJ-verkko, 0,4kV km	PJ-verkko, 0,4kV km	PJ-verkko, 0,4kV km
Vastanneet yhtiöt	136 817	86 972	1 713 713
Kaikki Suomen jakeluverkonhaltijat	223 966	135083	3 059 000
Vastaajien osuus koko Suomesta	61 %	64 %	56 %

Kyselyyn vastanneet yhtiöt kertoivat kaikki mitä tietojärjestelmiä heillä on käytössä. Kyselyssä olleisiin monivalintakysymyksiin vastattiin erittäin hyvin. Avoimia kysymyksiä oli jätetty monissa tapauksissa täyttämättä, mutta myös monia kattavia vastauksia saatiin.

Kyselyssä löydettiin sähköyhtiöiden tärkeimmät tietojärjestelmät, joita ovat verkko-, asiakas-, käytönvalvonta-, käytöntuki- sekä mittaus- ja tasehallinta-tietojärjestelmä. Yleensä tietojärjestelmän omistaa yhtiö itse, ja vain joitain palveluita on ulkoistettu. Tietojärjestelmien ominaisuuksien hyödyntämisessä on kaikilla yhtiöillä puutteita. Yhtiöiden mielestä järjestelmissä on puutteita. Ne eivät muun muassa tue ulkoistamista, ja tietojärjestelmien välisten rajapintojen toimimattomuus aiheuttaa ongelmia niiden integroinnissa (Toivonen ym. 2005.).

### 3. BIOKAASULAITOKSEN INFORMAATIOMALLINNUS

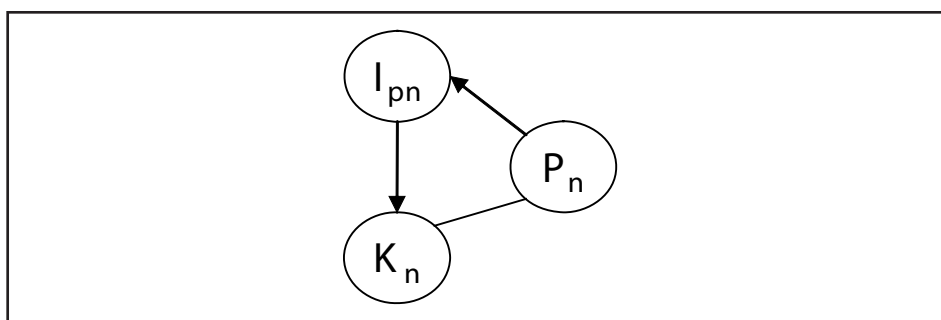
Voimalaitoksen elinkaari voidaan jakaa neljään vaiheeseen: suunnittelu, perustaminen, käyttö ja lopettaminen. Jokaisessa elinkaaren vaiheessa tuotetaan ja tarvitaan erilaista dataa. Syntynyt data kerätään tietojärjestelmään, jossa siitä jalostetaan hyödynnettävää informaatiota sidosryhmien ja prosessien käyttöön. Datan ja informaation yleinen kulku tietojärjestelmän ja hyödyntäjien välillä on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Datan ja informaation kulku tietojärjestelmän ja hyödyntäjien välillä.

### Tarveprofiili

Tarveprofiilin perusteella tietojärjestelmä määrittää minkälaista informaatiota annetaan kullekin tiedon käyttäjäryhmälle eli tiedonhyödyntäjälle. Tiedon hyödyntäjä voi olla järjestelmän käyttäjä tai jokin järjestelmän resursseja hyödyntävä prosessi. Kuvassa 4 on havainnollistettu miten tarveprofiili (P) vaikuttaa käyttäjän (K) saamaan informaatioon (I).



**Kuva 4.** Tarveprofiili.

Tarveprofiilissa järjestelmän käyttäjille luodaan roolit ja muodostetaan roolihierarkia, joka toimii pohjana sekä tarveprofiilille että pääsynvalvonnalle. Yleisimmät tavat muodostaa roolihierarkia ovat seuraavat: organisaatorakenteen mukainen roolihierarkia, käyttäjien työtehtävien ja vastuiden mukainen roolihierarkia.

### Pääsynvalvonta

Pääsynvalvontamekanismit ovat osa tietojärjestelmien tietoturvaa, mutta niiden lisäksi käytetään yleensä myös muita tietoturvasovelluksia. Pääsynvalvonnan avulla pyritään rajoittamaan laillisten käyttäjien suorittamia toimenpiteitä tietojärjestelmässä. Toinen pääsynvalvonnan tavoite on estää ei-toivottujen käyttäjien pääsy käsiksi tietojärjestelmän resursseihin ja sovelluksiin (Sandhu ja Samarati 1994).

Roolihierarkia koostuu neljästä peruskomponentista: käyttäjistä, rooleista, oikeuksista ja istunnoista. Käyttäjäksi määritellään yleensä henkilö, joka käyttää tietojärjestelmän resursseja, mutta käyttäjänä voi olla esimerkiksi jokin prosessi joka hyödyntää tietojärjestelmän resursseja. Rooli tarkoittaa käyttäjän toiminnallisten vastuiden kokonaisuutta organisaatiossa. Roolit ovat yleensä ennalta määriteltäviä ja käyttäjä liitetään tiettyyn rooliin. Käyttäjällä voi olla useita rooleja organisaatiossa (Sandhu ym. 1996).

Oikeudella tarkoitetaan käyttäjän oikeuksia käyttää tietojärjestelmän resursseja. Rooleihin on liitetty toiminnallisten vastuiden perusteella oikeuksia. Istunnon aikana käyttäjä on yhteydessä tietojärjestelmään ja käyttäjä aktivoi roolejaan sillä tavalla, että hän pystyy suorittamaan tehtävänsä. Käyttäjä voi siis kuulua moneen rooliin ja roolissa voi olla monta käyttäjää, ja vastaavasti rooleihin voi kuulua useita oikeuksia ja oikeus voi kuulua useampaan rooliin (Sandhu ym. 1996).

### *Tiedonhyödyntäjät*

Tiedonhyödyntäjiä ovat käyttäjät ja prosessit. Käyttäjiä ovat organisaation yksiköiden ja sen eri sidosryhmien jäsenet. Organisaatio määrittelee itse tarveprofiilit sen mukaan kenelle ja millaista informaatiota se haluaa jakaa yrityksen ulkopuolelle. Organisaation sidosryhmistä vain viranomaisella on lakiin perustuva oikeus saada käyttöönsä organisaation informaatiota. Prosessit hyödyntävät tietojärjestelmän tuottamaa tietoa yleensä vain käytön aikana.

### *Elinkaari*

Tässä luvussa esitetään millaista informaatioita liikkuu eri elinkaaren vaiheessa. Tarkemmat kuvaukset biokaasulaitoksen elinkaaren aikaisista informaatioista löytyvät liitteestä. Jokaiseen elinkaaren vaiheeseen on liitetty informaatiovirtojen aiheuttajat. Niitä ei ole ryhmitelty mitenkään, vaan ne on esitetty kaikki samalla tavalla ja samoilla väreillä. Keltaisella värillä maalattu pallo on tiedon yläkäsite, ja siihen liittyvät pallot ovat sen alakäsitteitä. Joissain tapauksissa alakäsitteeseen on liitetty taulukko, joko samaan tai eri dialle. Taulukkoon merkityt tiedot ovat atomista ja yksiarvoista tietoa. Atomisen tieto on selkeästi jakamatonta, ja yksiarvoinen tieto ei voi saada kuin yhden arvon kerrallaan.

*Suunnitteluvaiheessa* erilaisia informaatiovirtoja syntyy omistajatiedoista ja omistajan ja sidosryhmien välisestä kanssakäymisestä. Laitoksen valinta, toteutusedellytykset sekä maankäytölliset tekijät ja ympäristövaikutusten arviointi aiheuttavat myös informaatiovirtoja joista muodostuu erilaisia dokumentteja. Dokumenttien avulla informaatio siirtyy omistajaorganisaation sisäisille ja ulkoisille sidosryhmille.

*Perustamisvaiheessa* erilaisia informaatiovirtoja syntyy myös omistajan ja sidosryhmien välillä kuten suunnitteluvaiheessa. Lupien haku tuottaa erityisesti informaatiovirtoja perustamisvaiheessa. Lupien haku tuottaa dokumentteja ja raportteja, jotka aiheuttavat informaatiovirtoja.

*Käyttövaiheessa* syntyvät informaatiovirrat jaetaan prosessilähtöiseen ja organisaatiolähtöiseen dataan. Prosessilähtöinen data muodostaa informaatio-



virtoja laitoksen ja tietojärjestelmän välillä. Organisaatiolähtöisiä informaatiovirtoja syntyy käytön aikana erityisesti raportoinnista, dokumentoinnista ja sidosryhmistä. Prosessilähtöisiä informaatiovirtoja käyttövaiheessa syntyy prosessi-, valvonta-, mittaus-, komponentti-, järjestelmä-, energiatiedoista ja kunnossapidosta sekä näistä tehdyistä erilaisista raporteista.

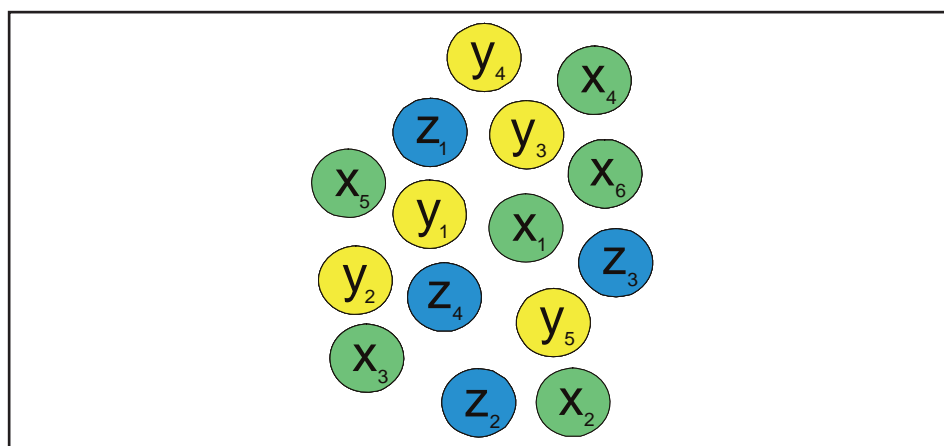
*Lopettamisvaiheessa* informaatiovirtoja syntyy erityisesti sidosryhmille ja omistajalle. Sidosryhmien ja omistajan välillä käydään informaationvaihtoa, josta syntyy monia dokumentteja.

#### 4. MALLINNUSTEORIA

Tässä luvussa käydään läpi informaationmallinnusteoria. Se koostuu kolmesta vaiheesta, joita ovat tiedon kerääminen, tiedon ryhmittely ja tiedon rakenteistaminen. Teoria on julkaistu aiemmin (Nyrhilä ym. 2005a ja b).

##### *Tiedon kerääminen*

Tiedon keräämisvaiheeseen osallistuvat toimitusprosessiin osallistuvat tahot, palveluja energiajärjestelmien käyttäjille tarjoavat tahot ja energiajärjestelmiä hankkivat tahot. Vaiheen tarkoituksena on kerätä mahdollisimman laajasti (kuva 5) mitä tietoa tällä hetkellä siirtyy paikasta toiseen ja mitä tietoa eri osapuolet tarvitsevat. Erityisesti kiinnitetään huomiota tuotteiden elinkaareen ja pyrkimykseen pitää laitteistot toimintakuntoisena koko tuotteen elinkaaren ajan. Näin ollen elinkaaren eri vaiheissa tarvitaan erilaista tietoa (Nyrhilä ym. 2005a ja b).

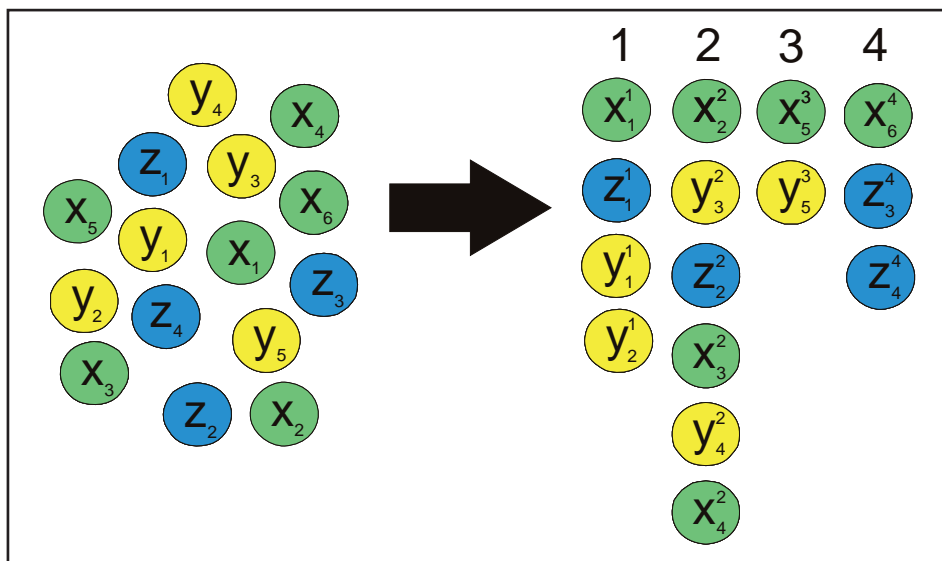


Kuva 5. Informaatiomassa.

Kuvassa 5 kirjain tarkoittaa tiedon tyyppiä ja alaindeksi erottaa samantyyppisen tiedon eri alkioita. Tyypillä tarkoitetaan millaista tieto on olemukseltaan. Esimerkiksi kaikki laitoksen elinkaaren aikana syntyvät dokumentit ovat samaa tyyppiä. Tyypillä ei tässä tapauksessa tarkoiteta esimerkiksi SQL:n ja eri ohjelmointikielissä käytettäviä tietotyyppisiä (Nyrhilä ym. 2005a ja b).

### Tiedon ryhmittely

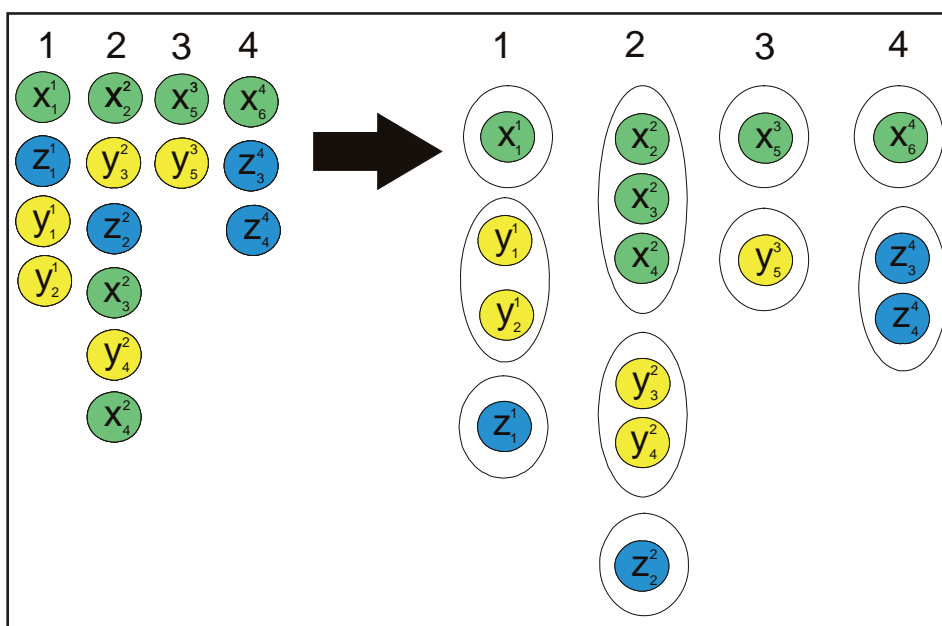
Ryhmittelyvaiheessa tiedolle määritetään sen syntyhetki, ja samalla hetkellä syntynyt tieto kerätään samaan paikkaan. Kuvassa 6 on ensimmäisessä vaiheessa kerätty tieto jäsenelty juuri tällä tavalla. Tässä tapauksessa tiedon syntyhetkiksi on valittu Elinkaarimallin mukaiset voimalaitoksen elinkaaren neljä vaihetta: suunnittelu (1), perustaminen (2), käyttö (3) ja lopettaminen (4). Esimerkiksi kuvassa 6,  $x_1^1$  tarkoittaa suunnitteluvaiheessa syntyneitä x-tyyppistä tietoa ja  $z_3^4$  kuvaa lopettamisvaiheen aikana syntyneitä tietoa, joka on tyyppiä z (Nyrhilä ym. 2005a ja b).



Kuva 6. Tiedon ryhmittely syntyhetken mukaan.

### Tietokokoelma

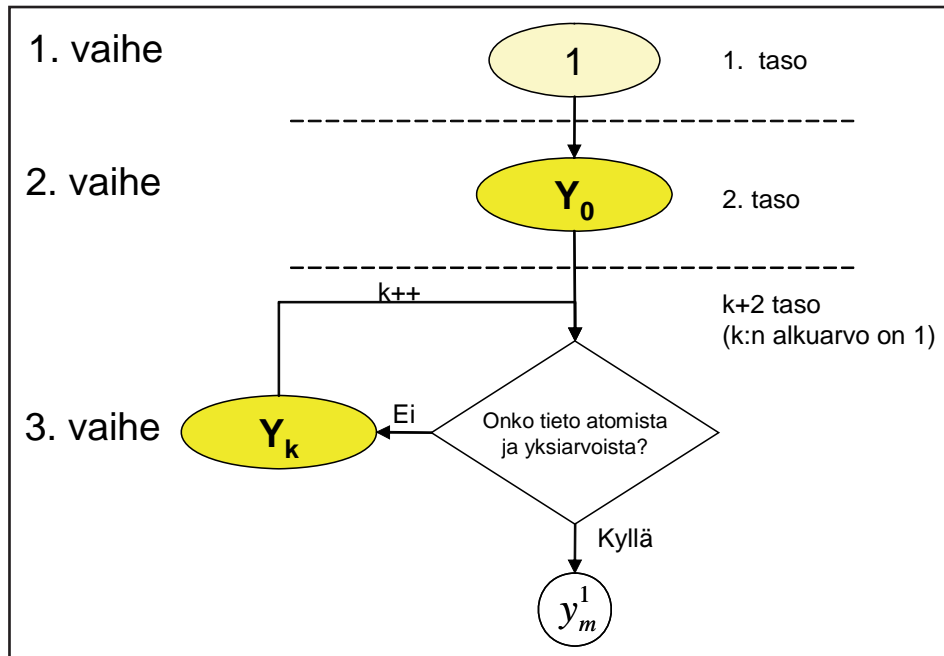
Tiedon ryhmittelyn jälkeen tieto analysoidaan ja pyritään löytämään samaa tyyppiä olevat tiedot. Samantyyppinen tieto kerätään samaan tietokokoelmaan (kuva 7). Tietokokoelma voi olla esimerkiksi tietokanta tai tietokannan taulu. Tässä vaiheessa pidetään koko ajan mielessä tiedon mallintamiseen, erityisesti tiedon jalostamiseen ja assosiointiin liittyviä näkökohtia (Nyrhilä ym. 2005a ja b).



Kuva 7. Tiedon kerääminen tietokokoelmiin.

### Laajennettu tietokokoelma

Tietokokoelman laajentaminen koostuu kolmesta eri vaiheesta (kuva 8). Ensimmäisessä vaiheessa yläkäsitteeksi määritellään tiedon syntyhetki. Toisessa vaiheessa tietokokoelmasta eli tyyppistä muodostetaan syntyhetken alakäsite. Kolmannessa vaiheessa alakäsitteiden hierarkiaa syvennetään niin kauan, että tietokokoelmissa oleva tieto voidaan esittää atomisena ja yksiarvoisena. Yksiarvoisella tietoalkiolla voi olla enintään yksi samanaikainen arvo. Arvona ei siis voi olla taulukko, luettelo jne. (Nyrhilä ym. 2005a ja b).



Kuva 8. Tietokokoelman laajentamisen vaiheet.

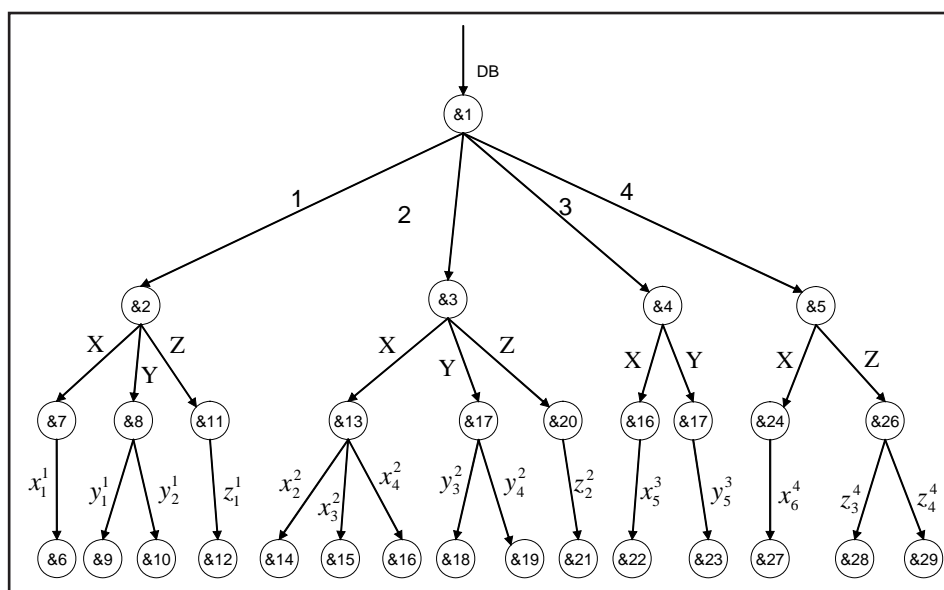
Tietokokoelman laajennuksessa syntyvät tasot voidaan esittää seuraavanlaisien polkujen avulla:

$$1 \rightarrow Y_0 \rightarrow \dots \rightarrow Y_k \rightarrow y_m^1$$

Polut kertovat miten laajennettu tietokokoelma rakentuu. Ne auttavat löytämään myös tyyppien ja alkioden välisiä yhteyksiä, jotka toimivat apuna vierekkyysien määrittelyssä (Nyrhilä ym. 2005a ja b).

### *Tiedon rakenteistaminen*

Tiedon rakenteistamisvaiheessa muodostetaan laajennetusta tietokokoelmasta OEM-graafi (kuva 9), jonka avulla kuvataan puolirakenteista tietoa. Graafi muodostuu siten, että tasoista muodostuu solmuja (node) yhdistävä reuna (edge). Graafissa alimmalla tasolla esitetty tieto on atomista ja yksiarvoista (Nyrhilä ym. 2005a ja b).



Kuva 9. OEM-graafi.

OEM-graafista voidaan muodostaa vierekkyysrelaatiotyyppi, jossa esitetään eri alkioiden välisiä vierekkyksiä vierekkyysrelaatiomallin avulla. Esimerkissä 1 on kuvattu symmetrinen vierekkyysrelaatiotyyppi (Nyrhilä ym. 2005a ja b).

**Esimerkki 1.** Olkoon  $(A, \mathfrak{R})$  symmetrinen vierekkyysrelaatiotyyppi, missä

$$A = \{A_1, A_2, A_3\}, \quad A_1 = \{x_2^2, x_3^2, x_4^2\}, \quad A_2 = \{y_1^1, y_2^1\}, \quad A_3 = \{z_2^2\},$$

ja  $\mathfrak{R}$  koostuu relaatioista:

$$R_{11} = \{(x_2^2, x_3^2), (x_2^2, x_4^2), (x_3^2, x_2^2), (x_4^2, x_2^2)\}$$

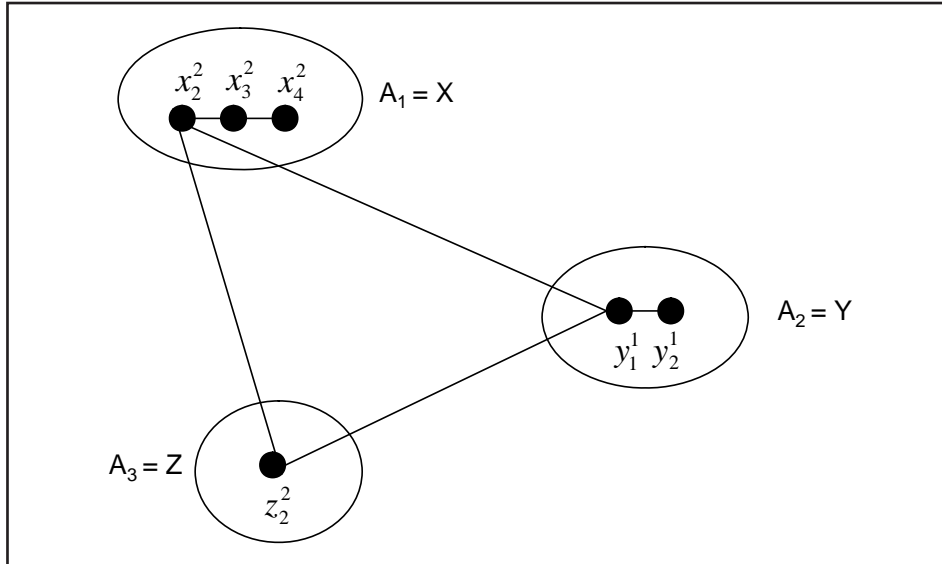
$$R_{12} = R_{21} = \{(x_2^2, y_1^1), (y_1^1, x_2^2)\}$$

$$R_{13} = R_{31} = \{(x_2^2, z_2^2), (x_2^2, z_2^2)\}$$

$$R_{22} = \{(y_1^1, y_2^1), (y_2^1, y_1^1)\}$$

$$R_{23} = R_{32} = \{(y_1^1, z_2^2), (z_2^2, y_1^1)\}$$

Sama on esitetty suuntaamattoman verkon avulla kuvassa 10 (seuraavalla sivulla).



Kuva 10. Symmetrinen ARS.

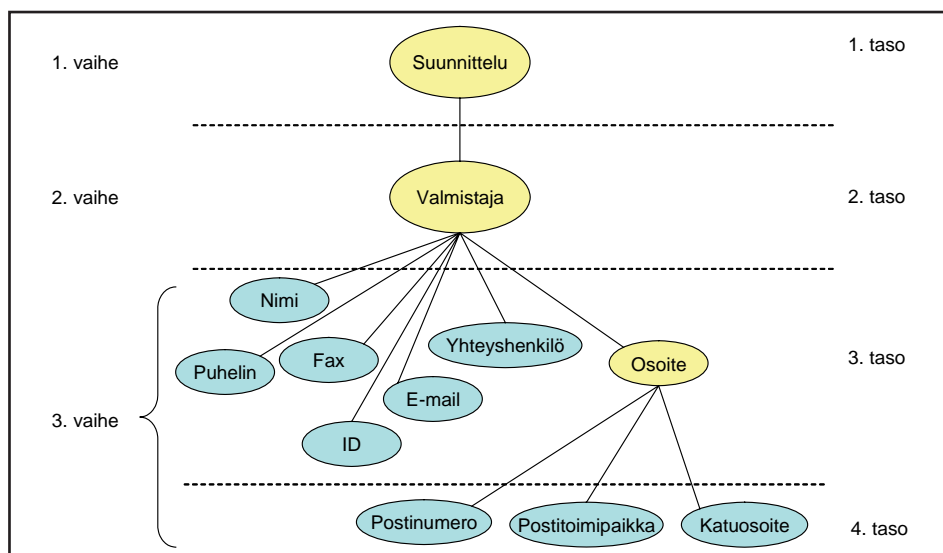
### Sovellus

Tässä luvussa kuvataan informaation mallinnusprosessin kulku bioenergian tuotannossa. Mallinnusprosessia havainnollistetaan esimerkkikuvilla. Bioenergian tuotannon mallinnus alkaa tiedonkeräysvaiheesta. Tässä vaiheessa kerätään mahdollisimman paljon tietoa bioenergiatuotannosta. Apuna erilaisen tiedon havainnollistamisessa voidaan käyttää mindmap tyyllisiä mielikuva karttoja. Mindmapin avulla saadaan tietomassan (kuva 5) alkioiden välisiä yhteyksiä karotoitettua jo tässä vaiheessa (Nyrhilä ym. 2005a ja b).

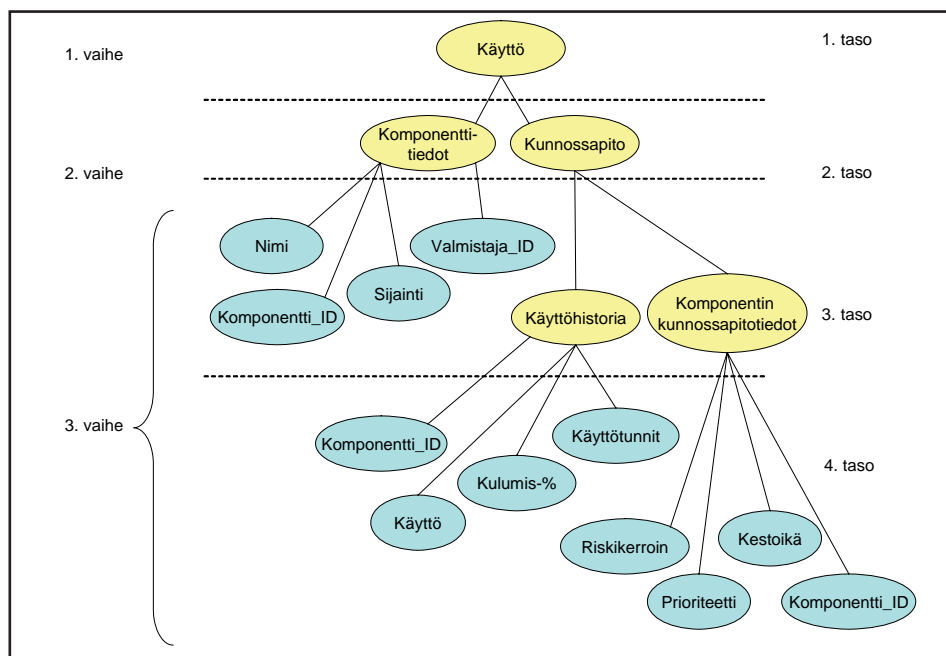
Toisessa vaiheessa tietomassan alkiolle määritellään syntyhetki, jonka mukaan tieto ryhmitellään. Tässä tapauksessa tiedon syntyhetkinä käytetään Elinkaarimallin mukaisia voimalaitoksen Elinkaaren neljää vaihetta: suunnittelu, perustaminen, käyttö ja lopettaminen. Syntyhetken määrittelyn jälkeen kerättyä tietoa analysoidaan ja samaa tietotyyppiä olevat alkiot kerätään samaan tietokokoelmaan (kuva 7; Nyrhilä ym. 2005a ja b).

Kuvissa 11 ja 12 on kuvattu tietokokoelman laajentaminen, joka koostuu kolmesta eri vaiheesta (kuva 8). Ensimmäisessä vaiheessa yläkäsitteeksi määritellään tiedon syntyhetki, joka kuvassa 11 on käyttö ja kuvassa 12 suunnittelu. Toisessa vaiheessa tietokokoelmasta eli tyypistä muodostetaan syntyhetken alakäsite, mitkä kuvassa 11 ovat komponentti- ja kunnossapitoalkiot ja kuvassa 12 sidosryhmäalkio. Tietokokoelman laajentamisen kolmannessa vaiheessa alakäsitteiden hierarkiaa syvennetään niin kauan, että tietokokoelmissa oleva tieto

voidaan esittää atomisena ja yksiarvoisena. Kuivissa 11 ja 12 tietokokoelma on laajennettu atomiselle ja yksiarvoiselle tasolle. Esitysteknisistä syistä kaikki tasot on merkitty samaan kuvaan (Nyrhilä ym. 2005a ja b).



Kuva 11. Tieto on ryhmitelty elinkaaren suunnitteluvaiheen mukaan.



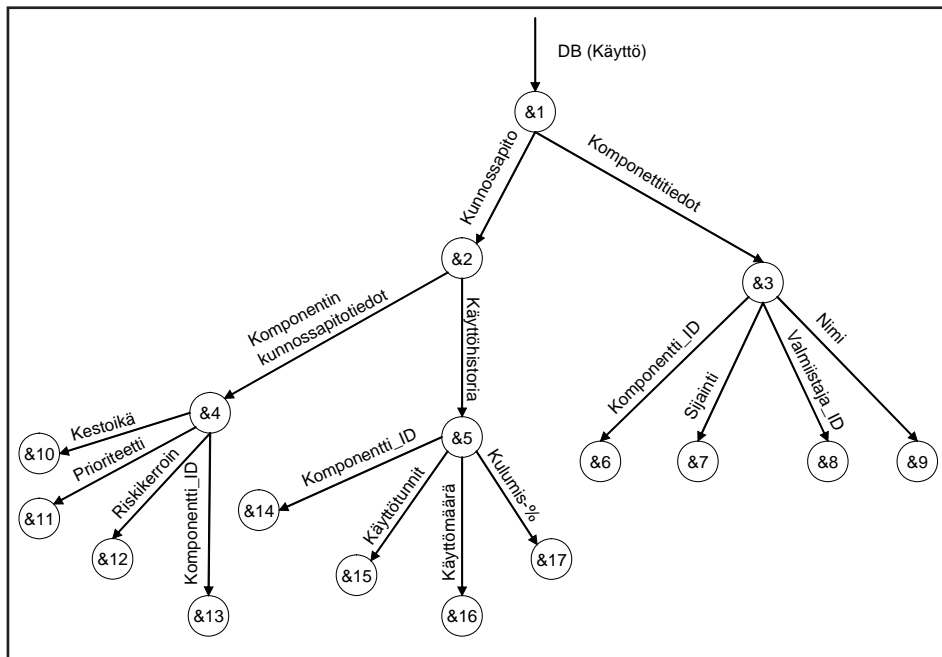
Kuva 12. Tieto on ryhmitelty elinkaaren vaiheen käyttö mukaan.

Esimerkiksi kuvan 12 tietokokoelman laajennuksessa syntyvät tasot voidaan esittää seuraavien polkujen avulla:

Suunnittelu → Valmistaja → Osoite → Postinro  
 Suunnittelu → Valmistaja → Osoite → Katuosoite  
 Suunnittelu → Valmistaja → Osoite → Postitoimipaikka  
 Suunnittelu → Valmistaja → ID  
 Suunnittelu → Valmistaja → Nimi  
 Suunnittelu → Valmistaja → Yhteyshlö  
 Suunnittelu → Valmistaja → Puhelin  
 Suunnittelu → Valmistaja → E-mail  
 Suunnittelu → Valmistaja → Fax

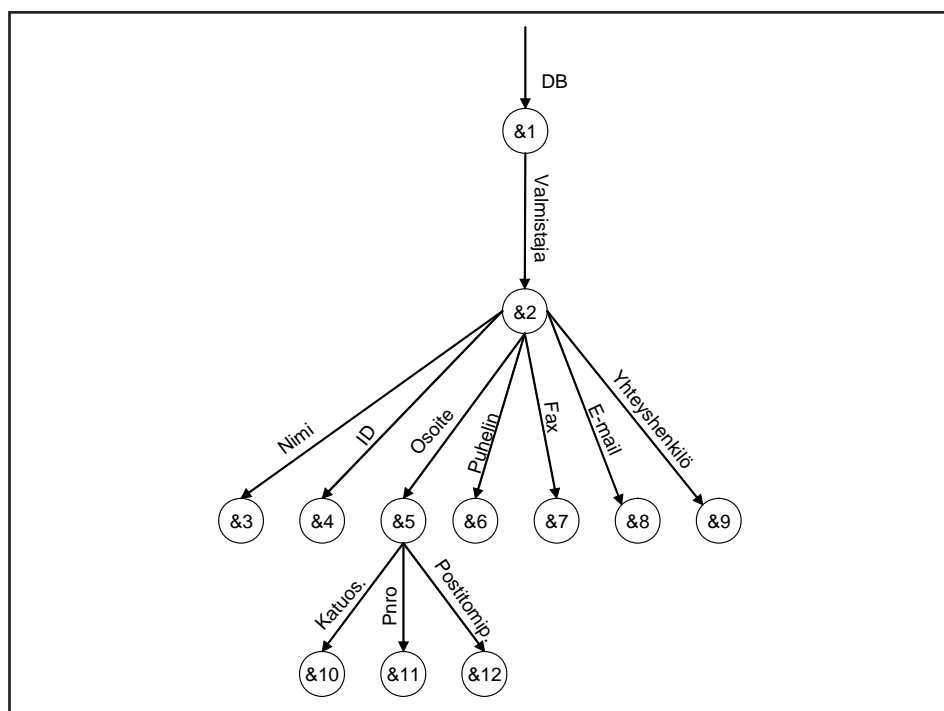
Polut kertovat, miten laajennettu tietokokoelma rakentuu. Ne auttavat löytämään myös tyyppien ja alkioiden välisiä yhteyksiä, jotka toimivat apuna vierekkyyksien määrittelyssä (Nyrhilä ym. 2005a ja b).

Tiedon rakenteistamisvaiheessa muodostetaan laajennetusta tietokokoelmasta OEM-graafi. Kuvassa 13 on esitetty kuvasta 11 muodostettu ja kuvassa 14 kuvasta 12 muodostettu OEM-graafi. Graafi muodostuu siten, että tasoista muodostuu solmuja (node) yhdistävä reuna (edge; Nyrhilä ym. 2005a ja b).



Kuva 13. OEM-graafi kuvasta 11.





Kuva 14. OEM-graafi kuvasta 12.

Seuraavassa esimerkissä kuvataan vierekkyyssrelaatiojärjestelmä, joka perustuu kuviin 13 ja 14 (Nyrhilä ym. 2005a ja b).

**Esimerkki 2.** Olkoon  $(A, \mathfrak{R})$  symmetrinen vierekkyyssrelaatiojärjestelmä (ARS), missä

$$A = \{A_1, A_2, A_3, A_4\}, \quad A_1 = \{x_1^3, x_2^3, x_3^3, x_4^3\}, \quad A_2 = \{y_1^3, y_2^3, y_3^3, y_4^3\},$$

$$A_3 = \{v_1^1, v_2^1, v_3^1, v_4^1, v_5^1, v_6^1, v_7^1, v_8^1, v_9^1\}, \quad A_4 = \{z_1^3, z_2^3, z_3^3, z_4^3\},$$

ja  $\mathfrak{R}$  koostuu relaatioista:

$$R_{12} = R_{21} = \{(x_1^3, y_1^3), (y_1^3, x_1^3)\}$$

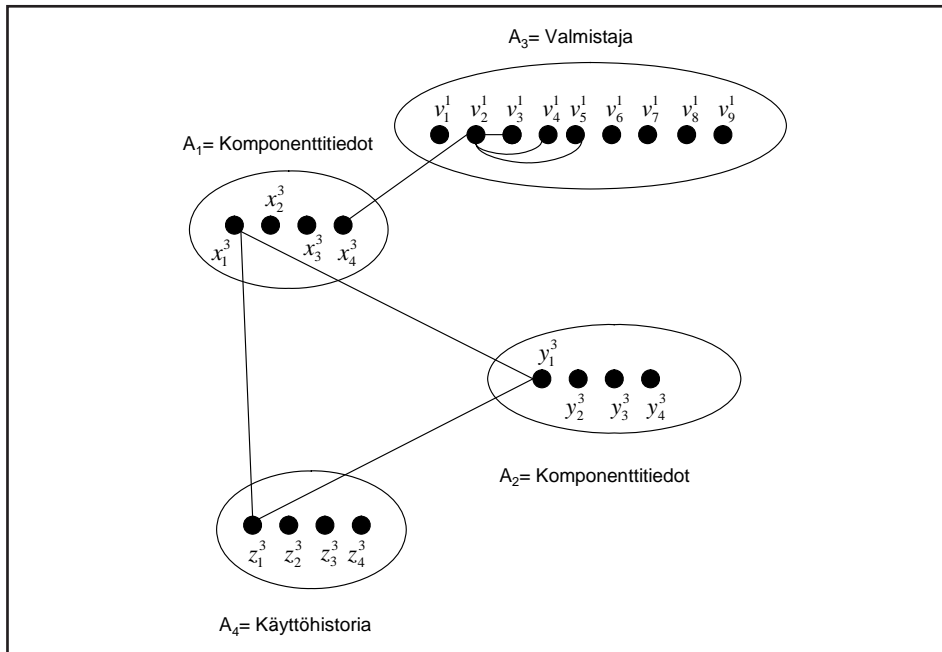
$$R_{13} = R_{31} = \{(x_4^3, v_2^1), (v_2^1, x_4^3)\}$$

$$R_{14} = R_{41} = \{(x_1^3, z_1^3), (z_1^3, x_1^3)\}$$

$$R_{24} = R_{42} = \{(y_1^3, z_1^3), (z_1^3, y_1^3)\}$$

$$R_{33} = \{(v_2^1, \{v_3^1, v_4^1, v_5^1\}), (v_3^1, v_2^1), (v_4^1, v_2^1), (v_5^1, v_2^1)\}$$

ARS voidaan esittää myös suuntaamattoman verkon avulla (kuva 15). Esi-merkin tyyppien ja joukkojen merkitykset löytyvät taulukosta 2 (Nyrhilä ym. 2005a ja b).



Kuva 15. Symmetrinen ARS.

**Taulukko 2.** Joukkojen ja elementtien merkitykset.

**$A_1$  = Komponenttitiedot**

$x_1^3$  = Komponentti\_ID

$x_2^3$  = Nimi

$x_3^3$  = Sijainti

$x_4^3$  = Valmistaja\_ID

**$A_3$  = Valmistaja**

$v_1^1$  = Nimi

$v_2^1$  = ID

$v_3^1$  = Katuosoite

$v_4^1$  = Postinumero

$v_5^1$  = Postitoimipaikka

$v_6^1$  = Puhelin

$v_7^1$  = Fax

$v_8^1$  = E-mail

$v_9^1$  = Yhteyshenkilö

**$A_2$  = Komponentin kunnossapitotiedot**

$y_1^3$  = Komponentti\_ID

$y_2^3$  = Kestoikä

$y_3^3$  = Prioriteetti

$y_4^3$  = Riskikerroin

**$A_4$  = Käyttöhistoria**

$z_1^3$  = Komponentti\_ID

$z_2^3$  = Käyttötunnit

$z_3^3$  = Käyttö

$z_4^3$  = Kulumis- %

## 5. YHTEENVETO

Tässä osahankkeessa tehtiin sähköyhtiöille suunnattu tietojärjestelmäkartoitus yhteistyössä TTY:n ja LTY:n kanssa. Tietojärjestelmäkartoituksesta julkaistiin tutkimusraportti TTY:n kanssa. Tutkimuksen jälkeen mallinnettiin biokaasulaitoksen elinkaaren aikaista informaatiota. Mallinnuksen pohjana toimi HETIKA-projektissa kehitetty kartoitusmenetelmä, jota tarkennettiin mallinnuksen tarpeisiin sopivaksi. Informaatio kerättiin kirjallisuudesta, pilottikohteista, muilta osahankkeilta ja henkilökohtaisesti keskustelemalla. Biokaasulaitoksesta tehty informaatiokartta on laajuudeltaan 107 diaa, ja se on esitetty liitteessä.

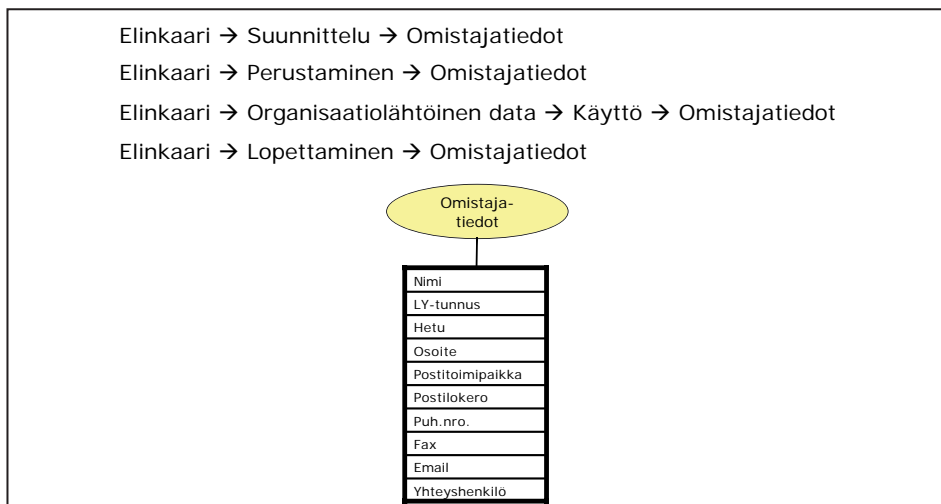
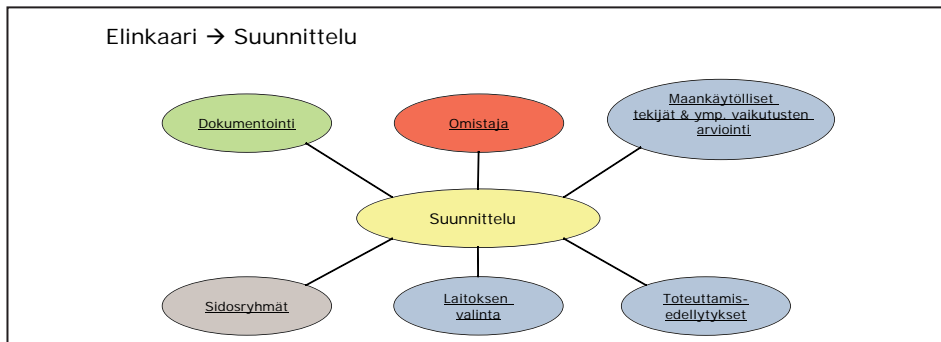
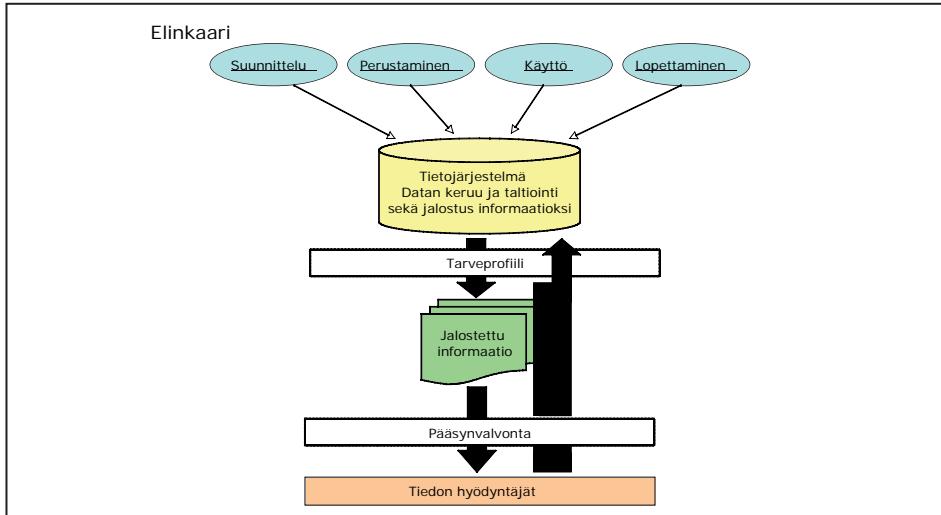
HETIKA-projektissa kehitetty mallinnusmenetelmä jalostettiin teoriaksi osahankkeen edetessä. Teoriasta on julkaistu kaksi tieteellistä artikkelia. Toinen artikkeleista on julkaistu WSEAS:n aikakausjulkaisussa (Nyrhilä ym. 2005a) ja toinen on esitetty ja julkaistu WSEAS:n konferenssissa (Nyrhilä ym. 2005b).

Osahankkeen tuloksiin ollaan tyytyväisiä, ja niiden pohjalta voidaan jatkaa mallinnusta ja teorian kehittämistä. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää tulevaisuudessa informaation mallintamisessa haasteellisissa ympäristöissä. Jatkotutkimuksessa laajennetaan tiedon keräystä käyttäen apuna uusia keräysmenetelmiä. Mallinnusteoriaa tullaan kehittämään, jotta päästäisiin lähemmäksi konkreettista tiedon mallinnusta. Tarkoituksena on luoda sovellus, jonka avulla voidaan hallita organisaatiossa liikkuvaa informaatiota.

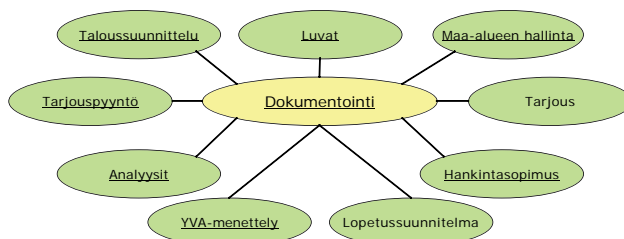
## Lähdeluettelo

- Adato Energia Oy. *Sähköenergian mittausseminaari 4.-5.3.2004*.
- Nyrhilä V., Mäenpää T., Linna M. ja Antila E 2005a. Information Modeling in The Case of Distribution Energy Production. WSEAS Transactions on communications, Issue 12, Volume 4, December 2005, ISSN 1109-2742.
- Nyrhilä V., Mäenpää T., Linna M. ja Antila E 2005b. A Novel Information Model for Distribution Energy Production. Proceedings of the WSEAS Conferences: 5th WSEAS Int. Conf. on POWER SYSTEMS AND ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (PSE '05), ISBN: 960-8457-34-3.
- Sandhu R.S. ja Samarati P. 1994. Access control: Principles and practice. IEEE Communications Magazine.
- Sandhu R.S., Coyne E.J., Feinstein H.L. ja Youman C.E. 1996. Role-based access control models. IEEE Computer: 29:2 [online] [viitattu 20.2.2004], 38-47. Saatavilla World Wide Webista osoitteesta: <URL: <http://ieeexplore.ieee.org/iel1/2/10411/00485845.pdf>>.
- Toivonen J., Trygg P., Antila S., Mäkinen A., Järventausta P., Mäenpää T., Nyrhilä V. ja Saaristo H. 2005. Sähköyhtiöiden tietojärjestelmäkartoitus. TTY:n Sähkövoimatekniikan laitoksen raporttisarja, tutkimusraportti 2005:2 1459-529X.

## LIITE. Biokaasulaitoksen informaatiokartta.

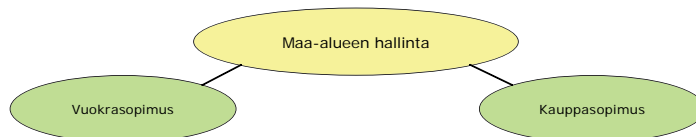


Elinkaari → Suunnittelu → Dokumentointi

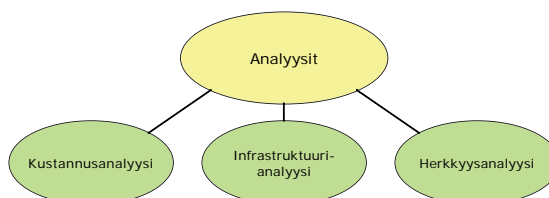


Elinkaari → Suunnittelu → Dokumentointi → Maa-alueen hallinta

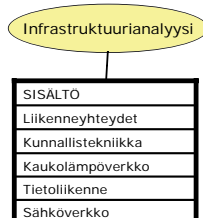
Elinkaari → Suunnittelu → Maankäytölliset tekijät ja ympäristövaikutusten arviointi → Maa-alueen hallinta



Elinkaari → Suunnittelu → Dokumentointi → Analyysit



Elinkaari → Suunnittelu → Dokumentointi → Infrastruktuuri-analyysi

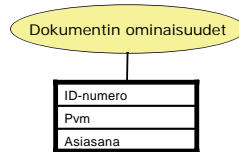


Elinkaari → Suunnittelu → Dokumentointi → Dokumentin ominaisuudet

Elinkaari → Perustaminen → Dokumentointi → Dokumentin ominaisuudet

Elinkaari → Organisaatiolähtöinen data → Käyttö → Dokumentointi → Dokumentin ominaisuudet

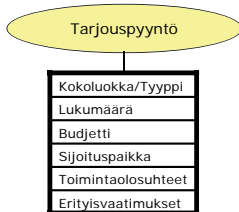
Elinkaari → Lopettaminen → Dokumentointi → Dokumentin ominaisuudet



Elinkaari → Suunnittelu → Dokumentointi → Hankintasopimus

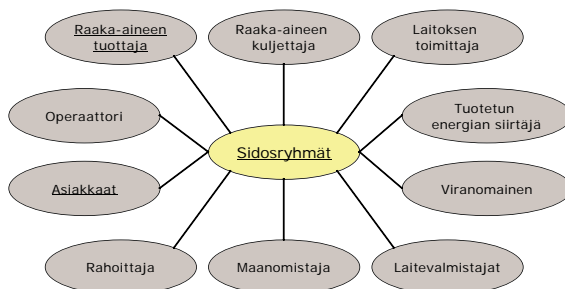


Elinkaari → Suunnittelu → Dokumentointi → Tarjouspyyntö





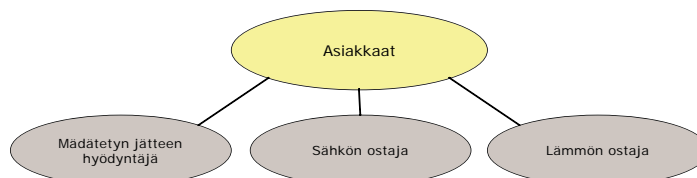
Elinkaari → Suunnittelu → Sidosryhmät  
 Elinkaari → Perustaminen → Sidosryhmät  
 Elinkaari → Organisaatiolähtöinen data → Käyttö → Sidosryhmät  
 Elinkaari → Lopettaminen → Sidosryhmät



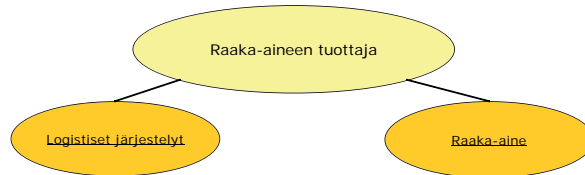
Elinkaari → Suunnittelu → Sidosryhmät → Sidosryhmän ominaisuudet  
 Elinkaari → Perustaminen → Sidosryhmät → Sidosryhmän ominaisuudet  
 Elinkaari → Organisaatiolähtöinen data → Käyttö → Sidosryhmät → Sidosryhmän ominaisuudet  
 Elinkaari → Lopettaminen → Sidosryhmät → Sidosryhmän ominaisuudet



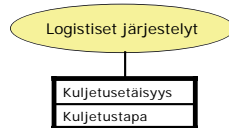
Elinkaari → Suunnittelu → Sidosryhmät → Asiakkaat  
 Elinkaari → Perustaminen → Sidosryhmät → Asiakkaat  
 Elinkaari → Organisaatiolähtöinen data → Käyttö → Sidosryhmät → Asiakkaat



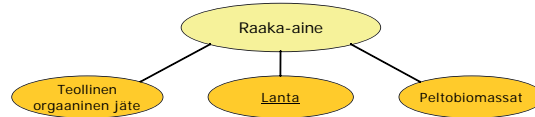
Elinkaari → Suunnittelu → Sidosryhmät → Raaka-aineen tuottaja



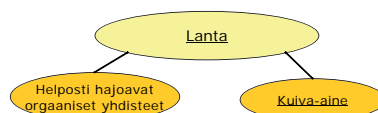
Elinkaari → Suunnittelu → Sidosryhmät → Raaka-aineen tuottaja → Logistiset järjestelyt



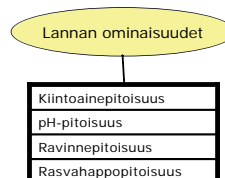
Elinkaari → Suunnittelu → Sidosryhmät → Raaka-aineen tuottaja → Raaka-aine  
 Elinkaari → Suunnittelu → Kustannukset ja kannattavuus → Nykytilan kartoitus → Raaka-aine



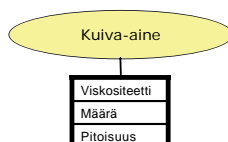
Elinkaari → Suunnittelu → Sidosryhmät → Raaka-aineen tuottaja → Raaka-aine → Lanta



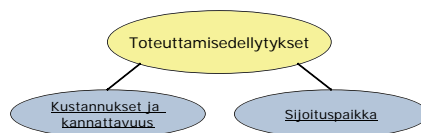
Elinkaari → Suunnittelu → Sidosryhmät → Raaka-aineen tuottaja → Raaka-aine → Lanta → Lannan ominaisuudet



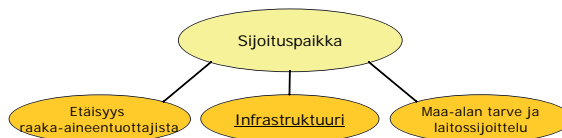
Elinkaari → Suunnittelu → Sidosryhmät → Raaka-aineen tuottaja  
 → Raaka-aine → Lanta → Kuiva-aine



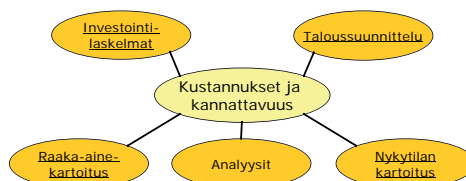
Elinkaari → Suunnittelu → Toteuttamisedellytykset



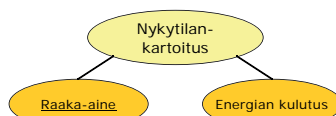
Elinkaari → Suunnittelu → Toteuttamisedellytykset → Sijoiuspaikka



Elinkaari → Suunnittelu → Toteuttamisedellytykset  
 → Kustannukset ja kannattavuus



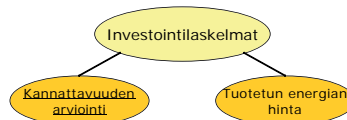
Elinkaari → Suunnittelu → Toteuttamisedellytykset  
 → Kustannukset ja kannattavuus → Nykytilankartoitus



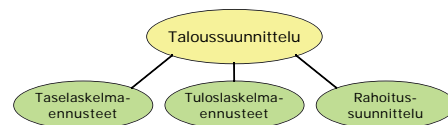
Elinkaari → Suunnittelu → Toteuttamisedellytykset  
 → Kustannukset ja kannattavuus → Raaka-ainekartoitus



Elinkaari → Suunnittelu → Toteuttamisedellytykset  
 → Kustannukset ja kannattavuus → Investointilaskelmat



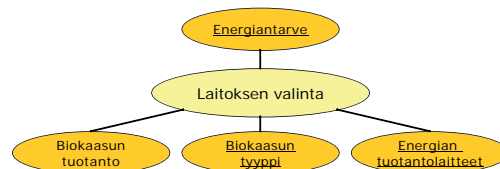
Elinkaari → Suunnittelu → Toteuttamisedellytykset  
 → Kustannukset ja kannattavuus  
 Elinkaari → Suunnittelu → Dokumentointi → Taloussuunnittelu



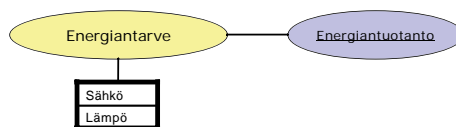
Elinkaari → Suunnittelu → Kustannukset ja kannattavuus →  
 Kannattavuuden arviointi



Elinkaari → Suunnittelu → Laitoksen valinta



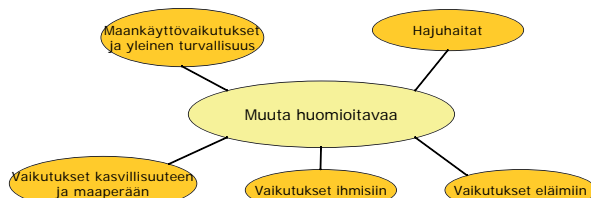
Elinkaari → Suunnittelu → Laitoksen valinta → Energiantarve



Elinkaari → Suunnittelu → Maankäytölliset tekijät ja ympäristövaikutusten arviointi



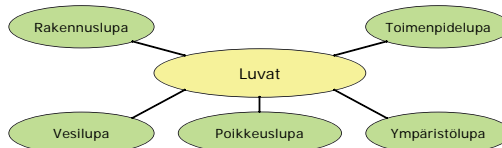
Elinkaari → Suunnittelu → Toteuttamisedellytykset → Maankäytölliset tekijät ja ympäristövaikutusten arviointi → Muuta huomioitavaa



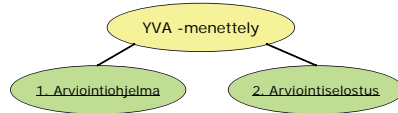
Elinkaari → Suunnittelu → Dokumentointi → Luvat

Elinkaari → Suunnittelu → Maankäytölliset tekijät ja ympäristövaikutusten arviointi → Luvat

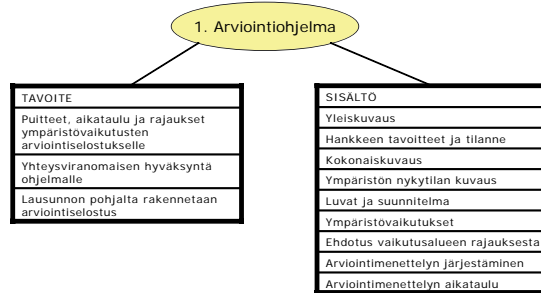
Elinkaari → Perustaminen → Dokumentointi → Luvat



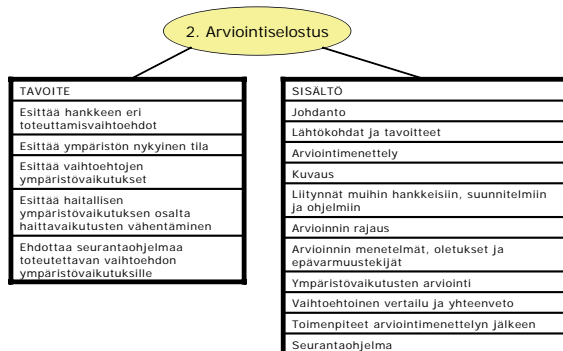
Elinkaari → Suunnittelu → Maankäytölliset tekijät ja ympäristö-vaikutusten arviointi → YVA-menettely  
 Elinkaari → Suunnittelu → Dokumentointi → YVA-menettely



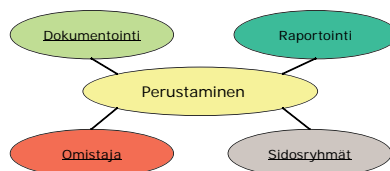
Elinkaari → Suunnittelu → Maankäytölliset tekijät ja ympäristö-vaikutusten arviointi → YVA-menettely → 1. Arviointiohjelma  
 Elinkaari → Suunnittelu → Dokumentointi → YVA-menettely → 1. Arviointiohjelma



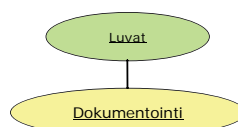
Elinkaari → Suunnittelu → Maankäytölliset tekijät ja ympäristö-vaikutusten arviointi → YVA-menettely → 2. Arviointiselostus  
 Elinkaari → Suunnittelu → Dokumentointi → YVA-menettely → 2. Arviointiselostus



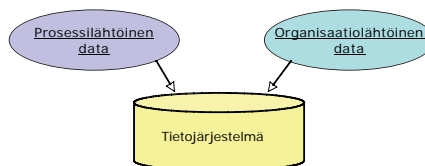
Elinkaari → Perustaminen



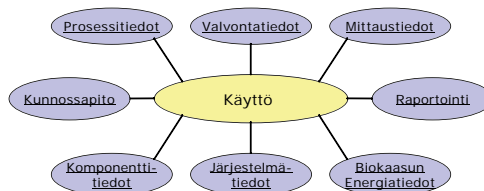
Elinkaari → Perustaminen → Dokumentointi



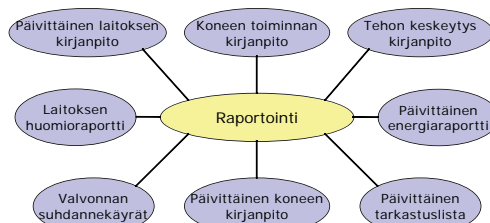
Elinkaari → Käyttö



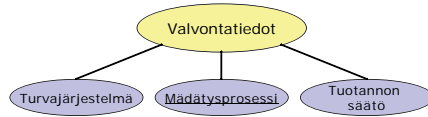
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö



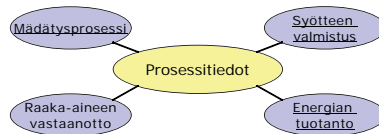
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Raportointi



Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Valvontatiedot



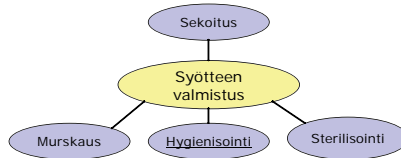
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Prosessitiedot



Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Prosessitiedot → Energian tuotanto



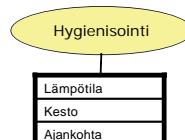
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Prosessitiedot → Syöteen valmistus



Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Prosessitiedot → Syöteen valmistus → Sterilisointi

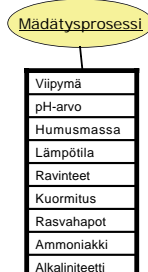


Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Prosessitiedot → Syöteen valmistus → Hygienesointi

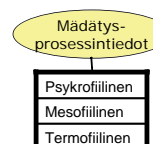




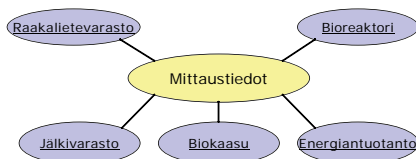
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
 Prosessitiedot → Mädätysprosessi  
 Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö  
 → Valvontatiedot → Mädätysprosessi



Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
 Prosessitiedot → Mädätysprosessi → Mädätysprosessintiedot  
 Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö  
 → Valvontatiedot → Mädätysprosessi → Mädätysprosessintiedot



Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Mittaustiedot



Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Mittaustiedot  
 → Raakalietevalasto

Raakalietevalasto

Sisääntulovirtausnopeus l/d	H <sub>2</sub> S
Sisääntulo pH	Pinta-aktiivinen aine
Sisääntulolämpötila °C	Alkaliniteetti
Ulosmeno pH	DO (liuenut happi) mg/l
Ulosmenolämpötila °C	SO <sub>4</sub> (sulfaatti)
Sisäänvirtaavan lietteen BOD (Biologinen hapen tarve) mg/l	Nitraattipitoisuus
Ulosvirtaavan lietteen BOD (Biologinen hapen tarve) mg/l	Kromipitoisuus
Sisäänvirtaavan lietteen COD (kemiallinen hapen tarve) mg/l	Natriumpitoisuus
Ulosvirtaavan lietteen COD (kemiallinen hapen tarve) mg/l	Kalsiumpitoisuus
COD:n muutos-%	Mangaanipitoisuus
PO <sub>4</sub> -pitoisuus	Kuparipitoisuus
NH <sub>3</sub> N	Nikkelipitoisuus
TDS	Kaliumipitoisuus
Kokonaiskiintoainepitoisuus (total solids)	Magnesiumpitoisuus
Haihtuvakiintoaine (volatile solids)	C/N -arvo (hiili/typpi)
Fenoli	

Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö  
 → Mittaustiedot → Bioreaktori

Lämpötila °C
pH-arvo
Kuormitus
Viipymä d
F/M (Food to Mass ratio)
COD mg/l
H <sub>2</sub> S mg/l
NH <sub>3</sub> N mg/l
Haihtuvat rasvahapot mg/l
Alkaliniteetti mg/l

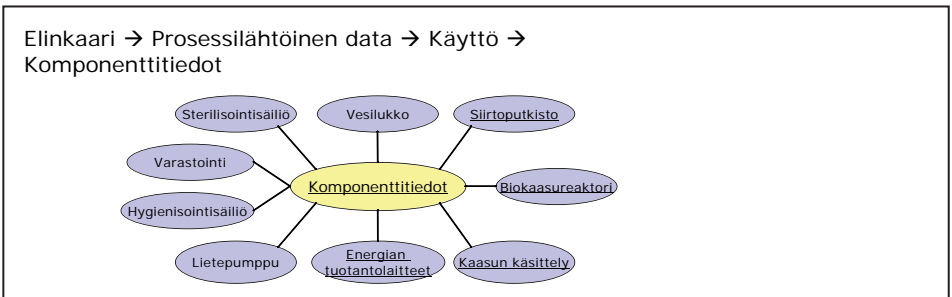
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö  
 → Mittaustiedot → Jälkivarasto

Lämpötila °C
pH-arvo
Kuormitus
Viipymä d
F/M (Food to Mass ratio)
COD mg/l
H <sub>2</sub> S mg/l
NH <sub>3</sub> N mg/l
Haihtuvat rasvahapot mg/l
Alkaliniteetti mg/l

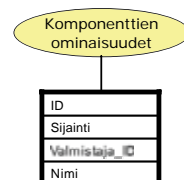
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Mittaustiedot  
 → Energiantuotanto  
 Elinkaari → Suunnittelu → Laitoksen valinta →  
 Energiantarve → Energiantuotanto

Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö  
 → Mittaustiedot → Biokaasu

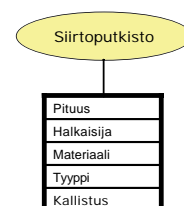
SUURE	MITTARI
CH <sub>4</sub>	IR-sensori
CO <sub>2</sub>	Kaasuanalysointilaitteisto, IR-sensori
SO <sub>2</sub>	Sähkökemiallinen sensori, IR-sensori
NO	Sähkökemiallinen sensori, IR-sensori



Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttitiedot → Komponenttien ominaisuudet



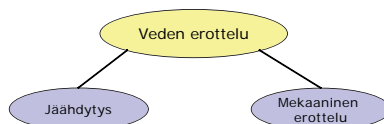
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttitiedot → Siirtoputkisto



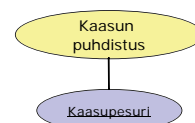
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttitiedot → Kaasun käsittely



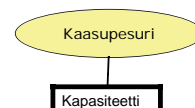
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttitiedot → Kaasun käsittely → Veden erottelu



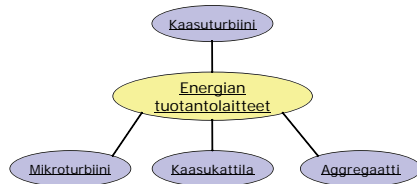
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttitiedot → Kaasun käsittely → Kaasun puhdistus



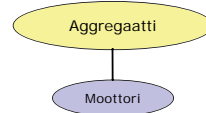
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttitiedot → Kaasun käsittely → Kaasun puhdistus  
→ Kaasupesuri



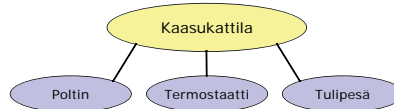
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
 Komponenttitiedot → Energian tuotantolaitteet  
 Elinkaari → Suunnittelu → Laitoksen valinta → Energian  
 tuotantolaitteet



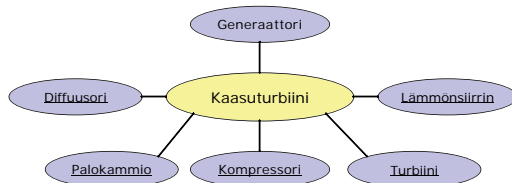
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
 Komponenttitiedot → Energian tuotantolaitteet → Aggregaatti  
 Elinkaari → Suunnittelu → Laitoksen valinta → Energian  
 tuotantolaitteet → Aggregaatti



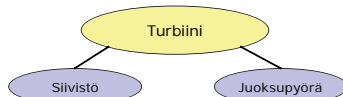
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
 Komponenttitiedot → Energian tuotantolaitteet → Kaasukattila  
 Elinkaari → Suunnittelu → Laitoksen valinta → Energian  
 tuotantolaitteet → Kaasukattila



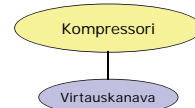
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
 Komponenttitiedot → Energian tuotantolaitteet →  
 Kaasuturbiini



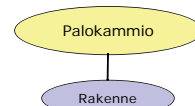
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
 Komponenttitiedot → Energian tuotantolaitteet → Kaasuturbiini



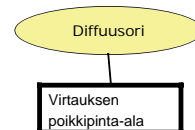
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttiedot → Energian tuotantolaitteet →  
Kaasuturbiini



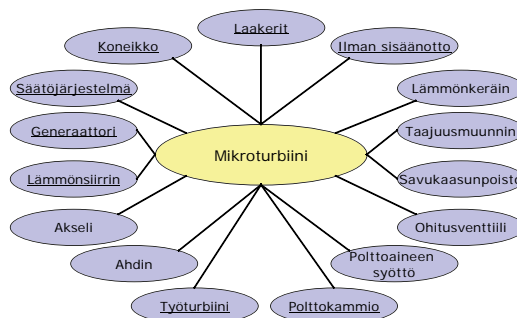
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttiedot → Energian tuotantolaitteet →  
Kaasuturbiini



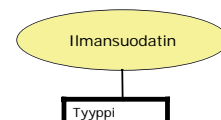
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttiedot → Energian tuotantolaitteet →  
Kaasuturbiini → Diffuusori



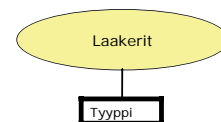
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttiedot → Energian tuotantolaitteet →  
Mikroturbiini



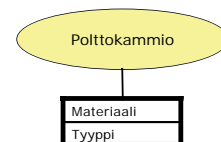
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttiedot → Energian tuotantolaitteet →  
Mikroturbiini → Ilman sisäänotto

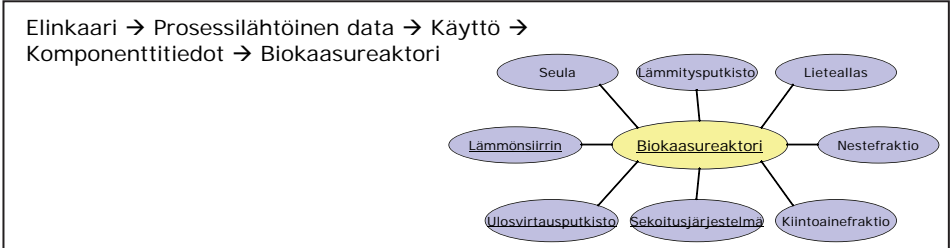
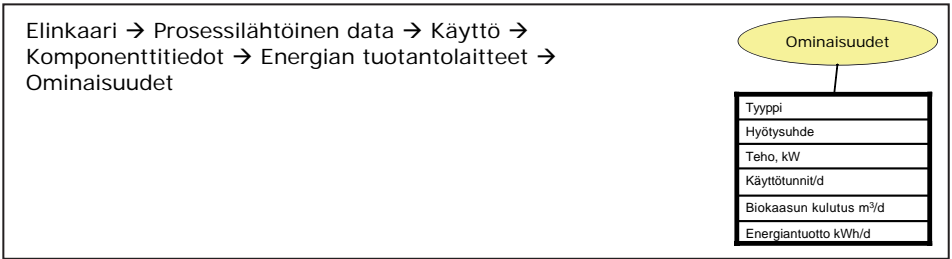
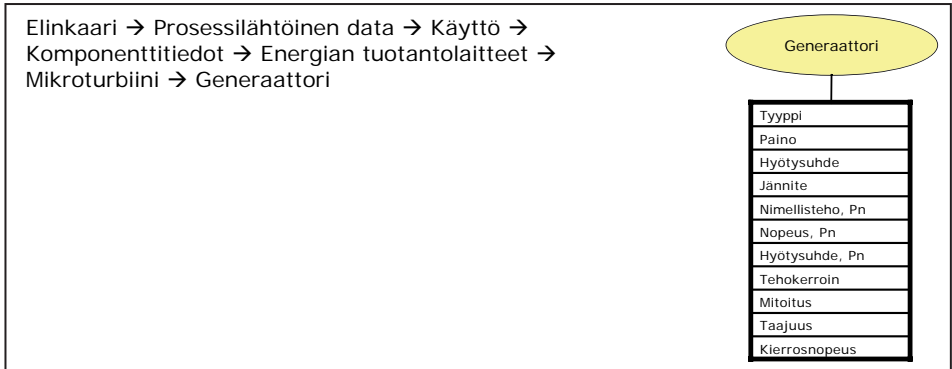


Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttiedot → Energian tuotantolaitteet →  
Mikroturbiini → Laakerit

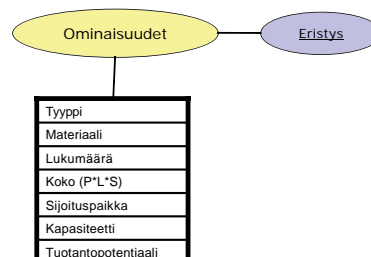


Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttiedot → Energian tuotantolaitteet →  
Mikroturbiini → Polttokammio

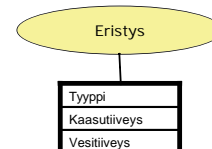




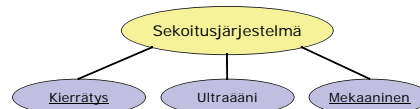
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttitiedot → Biokaasureaktori → Ominaisuudet



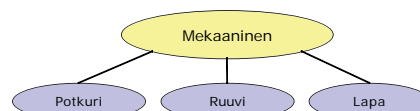
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttitiedot → Biokaasureaktori → Ominaisuudet →  
Eristys



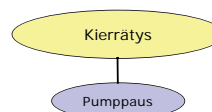
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttitiedot → Biokaasureaktori → Sekoitusjärjestelmä



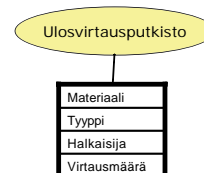
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttitiedot → Biokaasureaktori → Sekoitusjärjestelmä  
→ Mekaaninen



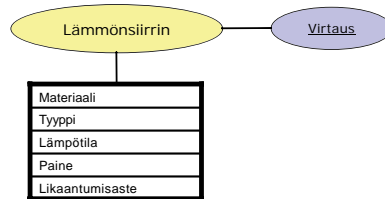
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttitiedot → Biokaasureaktori → Sekoitusjärjestelmä  
→ Kierrätys



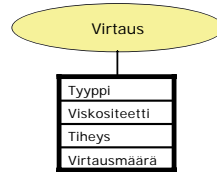
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Komponenttitiedot → Biokaasureaktori → Ulosvirtausputkisto



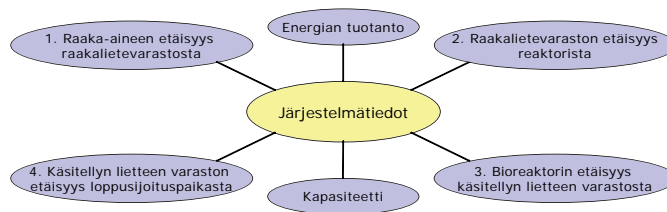
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Komponenttitiedot →  
 Biokaasureaktori → Lämmönsiirrin  
 Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Komponenttitiedot →  
 Energian tuotantolaitteet → Mikroturbiini → Lämmönsiirrin  
 Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Komponenttitiedot →  
 Energian tuotantolaitteet → Kaasuturbiini → Lämmönsiirrin



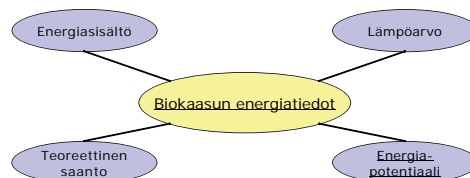
Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Komponenttitiedot →  
 Biokaasureaktori → Lämmönsiirrin → Virtaus  
 Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Komponenttitiedot →  
 Energian tuotantolaitteet → Mikroturbiini → Lämmönsiirrin → Virtaus  
 Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Komponenttitiedot →  
 Energian tuotantolaitteet → Kaasuturbiini → Lämmönsiirrin → Virtaus



Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
 Järjestelmätiedot

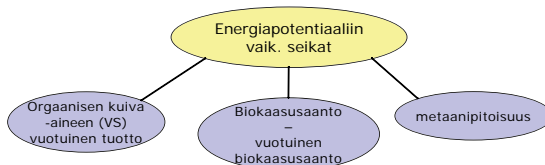


Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Biokaasun  
 energiatiedot

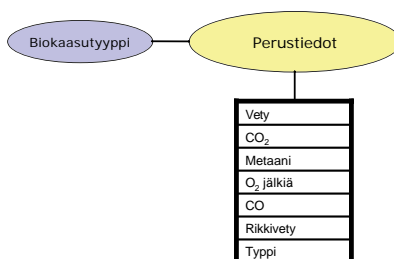




Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö →  
Energietiedot → Energiapotentiaaliin vaikuttavat seikat

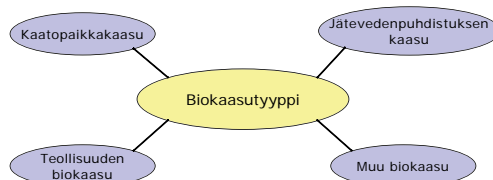


Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Biokaasun  
energiatiedot → Perustiedot

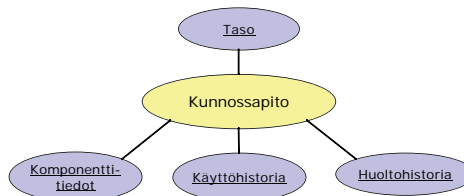


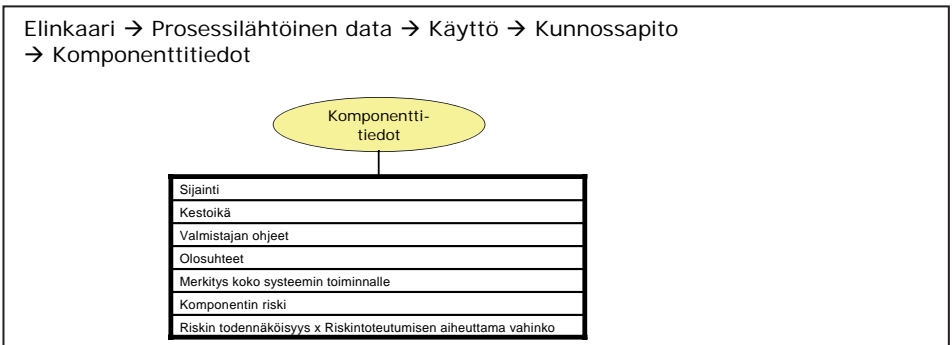
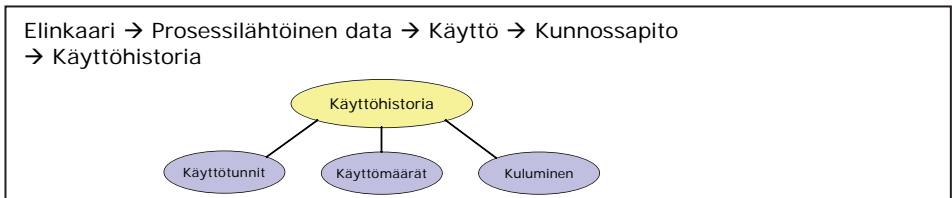
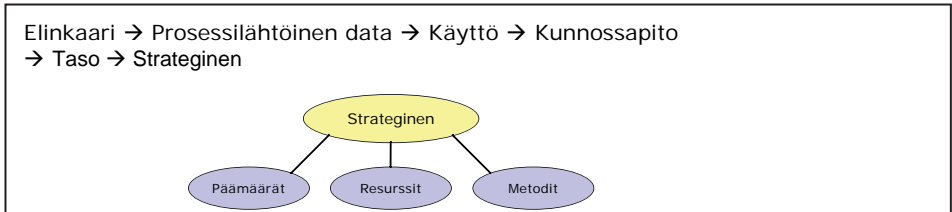
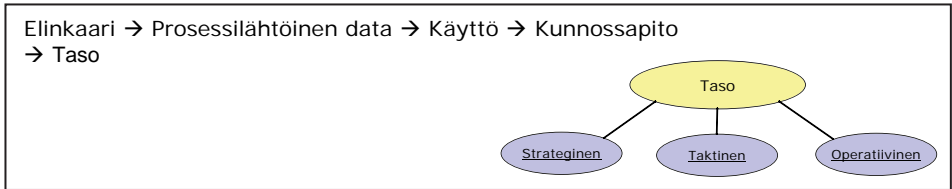
Elinkaari → Suunnittelu → Laitoksen valinta → Biokaasutyyppi

Elinkaari → prosessilähtöinen data → Käyttö → Biokaasun  
energiatiedot → Perustiedot → Biokaasutyyppi

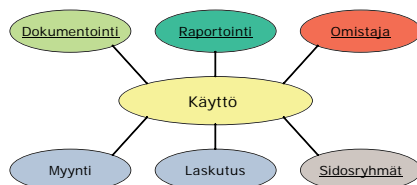


Elinkaari → Prosessilähtöinen data → Käyttö → Kunnossapito

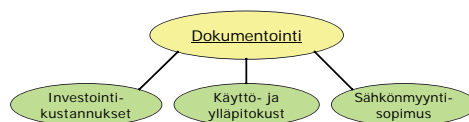




Elinkaari → Organisaatiolähtöinen data → Käyttö



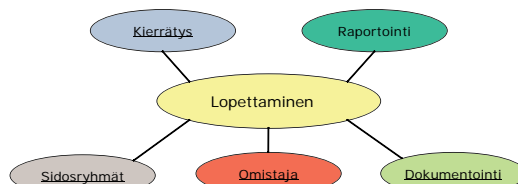
Elinkaari → Organisaatiolähtöinen data → Käyttö  
→ Dokumentointi



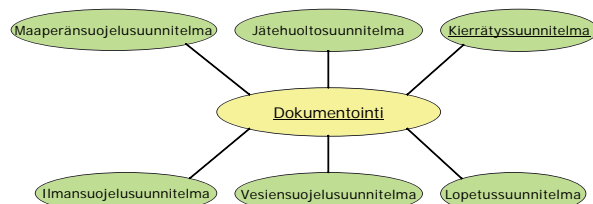
Elinkaari → Organisaatiolähtöinen data → Käyttö → Raportointi

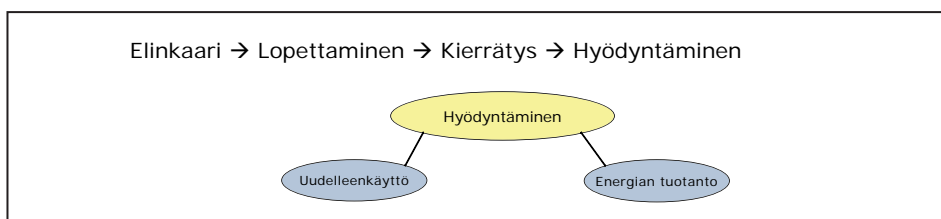
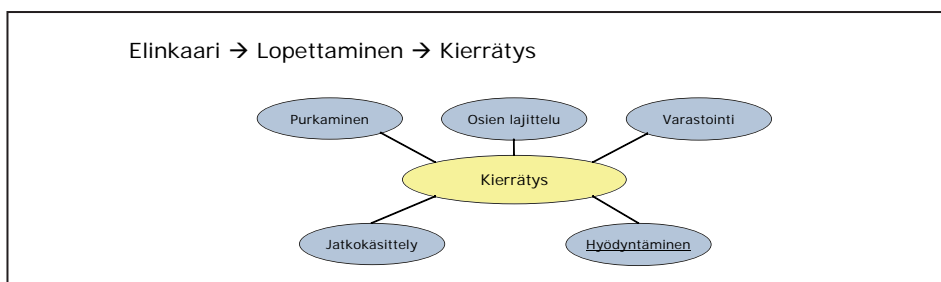


Elinkaari → Lopettaminen



Elinkaari → Lopettaminen → Dokumentointi





## LÄHTEET

- Alken-Murray corp. *Anaerobic digester diagnostic form* [online]. Julkaisematon. [siteerattu 14.2.2005]. Saatavana World Wide Webistä: <URL: <http://www.alken-murray.com/form-anaerobic-auto.htm>>.
- Alken-Murray corp. *Glossary of Environment and Microbiology Terms* [online]. Julkaisematon. [siteerattu 14.2.2005]. Saatavana World Wide Webistä: <URL: <http://www.alken-murray.com/glossarybug.html>>.
- Ansø, Niels, Preben Maegaard & Jacob Bugge (2000). *Final report: Rokel pig farm biogas demonstration plant* [online]. Hurup Thy, Tanska: FC-Print. 73 s. [siteerattu 17.2.2005]. Saatavana World Wide Webistä: <URL: [http://www.folkecenter.dk/en/rokai/FC\\_Rokel\\_report\\_03\\_2000.pdf](http://www.folkecenter.dk/en/rokai/FC_Rokel_report_03_2000.pdf)>.
- Biomass - Using Anaerobic Digestion: Case Study: Analysis of case study 1 - A Hotel with Golf Course* [online]. [siteerattu 17.1.2005]. Saatavana World Wide Webistä: <URL: [http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web\\_sites/03-04/biomass/case%20study.html](http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/03-04/biomass/case%20study.html)>.
- Halm, Antti, Tomas Wallenius, Jarno Leivonen, Elisa Myllyperkiö & Julien Bonifay (2003). *Energiatekniikan ja ympäristönsuojelun laboratorio Ene-47.121 Turbiinitekniikka: PBL2 Combustion chamber damage* [online]. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto. 6 s. Julkaisematon. [siteerattu 28.2.2005]. Saatavana World Wide Webistä: <URL: [eny.hut.fi/education/courses/Ene-47\\_121/R2PBL2.doc](http://eny.hut.fi/education/courses/Ene-47_121/R2PBL2.doc)>.

- Holm-Nielsen, Jens Bo & Teodorita AI Seadi. *Biogas in Europe: a general overview* [online]. Esbjerg, Denmark: South Jutland University Centre, Bioenergy Department. [siteerattu 17.1.2005]. Saatavana World Wide Webistä: <URL: <http://www.ecop.ucl.ac.be/aebiom/articles/biogas/biogas.htm>>.
- Energy Solutions Center (2004). *Microturbine CHP systems: 4.2 Microturbines 2004* [online]. Washington: Energy Solutions Center. [siteerattu 17.2.2005]. Saatavana World Wide Webistä: <URL: [http://www.poweronsite.org/AppGuide/Chapters/Chap4/42\\_Microturbines.htm](http://www.poweronsite.org/AppGuide/Chapters/Chap4/42_Microturbines.htm)>.
- Infrared Sensors* [online]. Julkaisematon. [siteerattu 17.2.2005]. Saatavana World Wide Webistä: <URL: <http://www.habmigern2003.info/suggestions/IR/Infrared-sensors.html>>.
- Rintala, Jukka, Ari Lampinen, Sari Luostarinen & Annimari Lehtomäki (2002). *Biokaasusta uusiutuvaa energiaa maataloilla* [online]. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteiden laitos, ympäristötieteet. 58 s. [siteerattu 1.2.2005]. Saatavana World Wide Webistä: <URL: <http://www.cc.jyu.fi/~ala/biokaasukirjanen.pdf>>.
- Saari, Pekka & Tommi Keikko (1999). *Opintomoniste 2-99: Sähköntuotanto ja kulutus* [online]. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Julkaisematon. [siteerattu 17.1.2005]. Saatavana World Wide Webistä: <URL: <http://leeh.ee.tut.fi/tuotanto/>>.
- Soini, Sanna (2001). *Lämmönsiirtimien suunnittelu integroidussa Simulointiympäristössä* [online]. Helsinki: Teknillinen Korkeakoulu. [siteerattu 10.2.2005]. Saatavana World Wide Webistä: <URL: <http://www.sim-serv.com/gallery/documentati-on/sannanDiplomityo.pdf>>.
- Stormossen. *Biokaasulaitoksen prosessi* [online]. Julkaisematon. [siteerattu 17.1.2005]. Saatavana World Wide Webistä: <URL: <http://www.stormossen.fi/default.asp?id=plantprocess-fi>>.
- Suomen Biokaasukeskus ry. *Perustietoja biokaasusta* [online]. Julkaisematon. [siteerattu 18.1.2005]. Saatavana World Wide Webistä: <URL: <http://www.kolumbus.fi/suomen.biokaasukeskus/raport.html>>.
- Taavitsainen, Toni, Petri Kapuinen & Kyösti Survo (2002). *MaLLa-hankkeen loppuraportti: Maatalouden lietteiden ja lantojen keskitetyn käsittelyn mallinnus*. Kuopio: Pohjois-Savon ammattikorkeakoulu, tekniikka. 141 s. ISBN 952-9533-66-7.
- Williams, Douglas W. (2003). Add a microturbine to a flushed dairy manure anaerobic lagoon system and monitor performance. *Western Regional Biomass Energy Program* [online] Paper No: 200000. Lincoln, USA: U.S. Department of Energy, The Western Regional Biomass Energy Program. [siteerattu 14.2.2005]. Saatavana World Wide Webistä: <URL: <http://www.westbioenergy.org/reports/55033/55033final.htm>>.

## Henkilökohtaiset tiedonannot:

- Anso, Niels. 31.3.2005. Folkecenter - DK.  
 Hyttinen, Timo. 10.2.2005. Vaasan yliopisto, Levón-instituutti.  
 Järvelä, Tuukka. 28.1.2005. Vaasan yliopisto.  
 Kuikka, Essi. 7.2.2005. Jyväskylän yliopisto.