

Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 3/2018

Kalankasvatuksen ympärille rakennettava yritysekosysteemi – SIBE-projektin tapaustutkimus

Tero Leppänen, Janne Anttila, Vesa Lind, Harri Haapasalo,
Teemu Ulvi, Anne-Mari Rytönen, Raimo Ihme,
Harri Vehviläinen, Kari Jokinen, Markus Kankainen ja Jouni Vielma

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 3/2018

Kalankasvatuksen ympärille rakennettava yritysekosysteemi – SIBE-projektin tapaustutkimus

Tero Leppänen, Janne Anttila, Vesa Lind, Harri Haapasalo,
Teemu Ulvi, Anne-Mari Rytönen, Raimo Ihme,
Harri Vehviläinen, Kari Jokinen, Markus Kankainen ja Jouni Vielma

Luonnonvarakeskus, Helsinki 2018



Leppänen, T., Anttila, J., Lind, V., Haapasalo, H., Ulvi, T., Rytönen, A-M., Ihme, R., Vehviläinen, H., Jokinen, K., Kankainen, M. ja Vielma, J. 2017. Kalankasvatuksen ympärille rakennettava yritysekosysteemi – SIBE-projektin tapaustutkimus. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 3/2018. Helsinki. 54 s.

ISBN 978-952-326-529-5 (Painettu)

ISBN 978-952-326-530-1 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-530-1>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Tero Leppänen, Janne Anttila, Vesa Lind, Harri Haapasalo, Teemu Ulvi, Anne-Mari Rytönen, Raimo Ihme, Harri Vehviläinen, Kari Jokinen, Markus Kankainen ja Jouni Vielma

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2018

Julkaisuvuosi: 2018

Kannen kuva: Havainnekuva Laitakarin Kala Oy:n suunnitelmasta. Laitakarin Kala Oy.

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Tero Leppänen, Janne Anttila, Vesa Lind, Harri Haapasalo (Oulun yliopisto)
Teemu Ulvi, Anne-Mari Rytönen, Raimo Ihme (Suomen ympäristökeskus)
Harri Vehviläinen, Kari Jokinen, Markus Kankainen, Jouni Vielma (Luonnonvarakeskus)

Kotimaisen kalatuotannon kauppataase on 400 miljoonaa euroa miinuksella. Kalan lisäksi vihanneksia, kasviksia, hedelmiä, marjoja ja sieniä tuodaan maahan merkittäviä määriä. Tuonnin arvo pelkästään vihanneksissa ja kasviksissa on lähes 200 miljoonaa euroa vuodessa. Lähellä tuotetulle kotimaiselle ruoalle on suuri kysyntä, jota vahvistavat entisestään uudet ruokatrendit. Perinteinen suomalainen alkutuotanto kärsii myös kannattavuusongelmista ja on osittain liian kapea-alaista. Kotimaisen ruoantuotannon kilpailukykyä voidaan parantaa mm. hyödyntämällä kiertotaloudellisia ratkaisuja ja puhkaita teknologioita sekä tehdä asioita tehokkaammin yhteistyössä koko arvoverkon eri toimijoiden kanssa.

Hankkeen lähtökohtana oli Laitakarin Kala Oy:n suunnitelmat Oulusta 20 kilometriä pohjoiseen Haukiputaan Martinniemen sijoitettavasta suuresta kalankasvattamosta. Tavanomaisen kalankasvattamon rakentamisen lisäksi hankkeessa tarkasteltiin mahdollisuuksia saada kalankasvatuksen rinnalle muita liiketoimintoja, jotka tukisivat toisiaan. Hankkeen lopputuloksena syntyi konsepti sienen biotalouden liiketoimintaekosysteemistä, sen arvoketjuista ja toimijoista sekä arviot materiaali- ja energiavirroista. Konseptia työstettiin hankkeen aikana yhteistyössä ekosysteemin potentiaalisten toimijoiden kanssa haastatteluissa sekä yhteisessä työpajatilaisuudessa.

Hankkeen aikana osa mietityistä innovatiivisista ratkaisuista osoittautui vielä taloudellisesti kannattamattomiksi ja osasta saatavat hyödyt ovat perinteisiin ratkaisuihin verrattuna niin marginaalisia, että niitä ei ainakaan tällä hetkellä kannata lähteä toteuttamaan. Kasvihuoneviljelyn kohdalla suurimmaksi haasteeksi muodostui liiketoiminnasta kiinnostuneen yrittäjän löytäminen. Kalan ja kasvien tuotannon yhdistämisellä saatavat synergiaedut näyttävät olevan melko marginaalisia johtuen kummankin prosessin kannalta tehtävistä kompromisseista. Kohteeksi valittu kurkun ympärivuotinen kasvihuoneviljely on lisäksi niin energiaintensiivistä, ettei suljetun kierron ratkaisulla konseptin sisällä kasvihuoneen energiantarpeen täyttämisen ole mahdollista. Vaikka osa suunnitelluista ratkaisuista vaikuttaa esiselvityksen perusteella olevan kannattamattomia tai symbioosietujen olevan ennakoitua pienemmät, ovat ne tuloksina silti arvokkaita ja voivat säästää yrittäjiä turhalta yrityksen ja erehdyksen kautta tapahtuvalta toiminnalta. Lisäksi tulokset osoittavat suuntaa aihepiiriin tarvitsemalle T&K-toiminnalle.

Asiasanat: Vesiviljely, kierto-vesikasvatus, kasvihuonetuotanto, aquaponics

Sisällys

1. Johdanto	6
2. Tarkastelujen teoriapohjan kuvaus	7
2.1. Materiaalivirtatarkastelut	7
2.2. Energiantuotannon tarkastelu	7
2.3. Liiketoimintaekosysteemin tarkastelu	8
2.4. Arvoketjujen tarkastelu	11
3. Hankkeessa tarkasteltu toiminta.....	13
3.1. VE0: Kirjoloihen kasvatusta merialtaissa ja poikastuotanto muualla	13
3.2. VE1: Yhdistetty kierto-vesikasvatusta, meriallas-kasvatusta ja kasvihuonetuotanto	13
4. Kalankasvatusta	15
4.1. Verkkoallaskasvatusta	15
4.2. Kierto-vesikasvatusta	16
4.3. Kalankasvatuksen materiaali-virrat tarkastelluissa vaihtoehdoissa.....	17
4.3.1. Kierto-vesikasvatuksen materiaali-virrat (VE1)	17
4.3.2. Meriallas-kasvatuksen materiaali-virrat (VE0 ja VE1).....	19
4.3.3. Yhteenveto sivuvirroista	20
5. Kasvihuonekasvatusta	22
5.1. Tarkastellun kasvihuonetuotannon materiaali-virrat	24
6. Konseptin energiantarve ja energiantuotannon vaihtoehdot	26
6.1. Kalankasvatuksen energiankulutus.....	26
6.2. Kasvihuonetuotannon energiankulutus.....	27
6.3. Konseptin kokonaisenergiankulutus ja energiankulutuksen vaihtelu	28
6.4. Konseptin energiantuotannon vaihtoehdot	31
6.4.1. Lämmöntuotanto	32
6.4.2. Yhdistetty sähkö- ja lämmöntuotanto	36
7. Työpajatilaisuus	38
7.1. Työpajan ensimmäinen vaihe	38
7.1.1. Kalankasvatuksen arvoketju.....	38
7.1.2. Kierto-vesilaitoksen ja kasvihuoneen arvoketju.....	40
7.1.3. Ekosysteemin energiantuotanto	43
7.2. Työpajan toinen vaihe.....	44
8. Johtopäätökset.....	45
8.1. Johtopäätökset materiaali-virtatarkastelusta.....	45
8.2. Johtopäätökset energiantuotantovaihtoehtojen tarkasteluista.....	46
8.3. Alustava ekosysteemikonsepti.....	47

8.4. Pohdinta ja jatkotoimenpiteet.....	48
9. Lähdeluettelo	50
Liitteet	52

1. Johdanto

Vuonna 2030 maailmassa tarvitaan 50 % enemmän ruokaa, 45 % enemmän energiaa ja 30 % enemmän vettä (Suomen biotalousstrategia, 2014). Suomen biotalousstrategian mukaan Suomeen tavoitellaan 100 000 uuden biotalouden työpaikan luomista vuoteen 2030 mennessä. Lisäksi cleantechstrategian (Valtioneuvoston strategia cleantech-liiketoiminnan edistämisestä, 2014) mukaisesti tavoitellaan 40 000 puhtaan työpaikan syntymistä vuoteen 2020 mennessä. Yhtenä nykyisen hallituskauden tavoitteena on myös saada kotimaisen ruoantuotannon kannattavuus nousuun ja kauppatasetta parannettua 500 miljoonalla eurolla.

Suurimmat mahdollisuudet ruoan kauppataseen parantamiselle ja samalla uusien biotalouden ja cleantechin työpaikkojen syntymiselle ovat kalankasvatuksessa ja kasvihuoneviljelyssä. Tarpeen ytimenä toimii kotimaisen kalatuotannon kauppatase, joka on 400 miljoonaa euroa miinuksella. Suomessa syödystä kalasta vain yksi kolmasosa on kotimaista. Kalan lisäksi vihanneksia, kasviksia, hedelmiä, marjoja ja sieniä tuodaan maahan merkittäviä määriä. Tuonnin määrä pelkästään vihanneksissa ja kasviksissa on lähes 200 miljoonaa euroa vuodessa. Lähellä tuotetulle kotimaiselle ruoalle on suuri kysyntä, jota vahvistavat entisestään uudet ruokatrendit kuten puhdas ja prosessoimaton ruoka, uudet korkean jalostusasteen ruokainnovaatiot, uudet proteiininlähteet ja kasvisruoan nouseva suosio. Perinteinen suomalainen alkutuotanto kärsii kannattavuusongelmista ja on kapea-alaista. Kotimaisen ruoantuotannon kilpailukykyä voidaan parantaa mm. hyödyntämällä kiertotaloudellisia ratkaisuja ja puhtaita teknologioita sekä tehdä asioita tehokkaammin yhteistyössä.

Sinisen Biotalous Ekosysteemi (SIBE) -hanke etsi ratkaisuja kestävämpään kalan- ja kasvien tuotantoon. Hankkeessa kehitettiin uutta konseptia kalankasvatuksen ympärille rakennettavasta ekosysteemistä, jossa useat eri toimijat toimisivat symbioosissa, ja arvioitiin sen toteuttamiskelpoisuutta. Ekosysteemin ytimenä toimisi symbioottinen kalan-, energian- ja kasvientuotanto suljetun kierron periaatteiden mukaisesti. Suljetun kierron lisäksi eri toimijoilta syntyvät sivuvirrat voitaisiin hyödyntää ja jalostaa samalla alustalla uusiksi tuotteiksi. Myös logistiikka ja pakkaus pystyittäisiin hoitamaan keskitetysti. Hankkeen tarkoituksena oli toimia lähtölaukauksena laajalle sinisen biotalouden kehitykselle Pohjois-Pohjanmaan alueella. Idea hankkeelle syntyi alueen kalayrittäjältä.

Hankkeen lähtökohtana olivat Laitakarin Kala Oy:n suunnitelmat Oulusta 20 kilometriä pohjoiseen Haukiputaan Martinniemeen sijoitettavasta suuresta kalankasvatamosta. Tavanomaisen kalankasvatamon rakentamisen sijaan hankkeessa tarkasteltiin mahdollisuuksia saada kalankasvatuksen rinnalle muita liiketoimintoja, jotka tukisivat toisiaan. Hankkeen lopputuloksena syntyi konsepti sinisen biotalouden liiketoimintaekosysteemistä, sen arvoketuista ja toimijoista sekä arviot materiaali- ja energiavirroista. Konseptia työstettiin hankkeen aikana yhteistyössä ekosysteemin potentiaalisten toimijoiden kanssa haastatteluissa sekä yhteisessä työpajatilaisuudessa.

Hankkeen esittämä idea vaatii toimintatapojen muutosta ja koordinoitua, minkä takia kyseessä oli ainoastaan esiselvityshanke, jonka tavoitteena oli konseptoida ja arvioida suunniteltua ekosysteemiä sekä toimia ensimmäisenä askeleena kohti ekosysteemin toteutumista. Tavoitteena on rakentaa sinisen biotalouden yritys- ja tutkimusklusteri, joka ekosysteeminä edistää pk-yritystoiminnan kilpailukykyä, luo uusia liiketoimintamahdollisuuksia ja edistää energiatehokkuutta. Hankkeen tuloksien on tarkoitus luoda mahdollisuuksia uusien biotalouden ja cleantechin innovaatioiden syntymiselle uudenlaisen ekosysteemialustan kautta.

Sinisen Biotalous Ekosysteemi -hanke toteutettiin aikavälillä 1.1.2017–30.9.2017. Hanketta rahoittivat Euroopan aluekehitysrahasto (EAKR) sekä Pohjois-Pohjanmaan Liitto, ja hankkeen kokonaisbudjetti oli 100 000 euroa. Hankkeen toteuttajina olivat Oulun yliopisto, Suomen ympäristökeskus SYKE ja Luonnonvarakeskus Luke. Hankkeen tavoite kuului EAKR:n toimintalinjaan 2 Uusimman tiedon ja osaamisen tuottaminen ja hyödyntäminen erityistavoitteena uusiutuvan energian ja energiatehokkaiden ratkaisujen kehittäminen.

2. Tarkastelujen teoriapohjan kuvaus

Hankkeessa luotiin alustava ekosysteemikonsepti materiaali- ja energiavirtatarkastelujen sekä liiketoimintaekosysteemin ja sen arvoketjujen tarkastelujen pohjalta. Tässä luvussa on kuvattu käytettyjen tarkastelumenetelmien teoriapohjat.

2.1. Materiaalivirtatarkastelut

Materiaalitehokkuudella tarkoitetaan sitä, että vähemmästä tuotetaan enemmän ympäristöä säästämällä. Tavoitteena on käyttää mahdollisimman vähän materiaaleja, raaka-aineita ja energiaa. Yritykset voivat parantaa materiaalitehokkuuttaan muun muassa tehostamalla tuotantoprosessien raaka-aineiden ja energian käyttöä. Materiaalitehokkuustarkasteluja voidaan käyttää myös teollisten symbioosien edistämiseen (Motiva 2017a).

Materiaalivirta-analyysissä (material flow analysis, MFA) arvioidaan tietyssä ajassa ja paikassa määritellyn järjestelmään liittyviä materiaalivirtoja ja -varastoja (Brunner & Rechberger 2004). Tarkastelussa yhdistetään materiaalien lähteet ja reitit. Materiaalivirta-analyysissä voidaan huomioida myös energiankulutus. Materiaalivirta-analyysiin ei suoraan sisälly ympäristövaikutusten arviointia, tulosten arvottamista tai toimenpidesuositusten antamista. Menetelmää käytetäänkin usein laajemman elinkaariarvioinnin osana.

Materiaalivirta-analyysin vaiheet voidaan määritellä seuraavasti:

- Määritellään ongelma ja tavoitteet.
- Valitaan järjestelmärajaukset ja mukaan otettavat aineet, tuotteet ja prosessit.
- Arvioidaan ja lasketaan ko. materiaalien virtojen ja varastojen suuruudet. Tarkastelu voidaan aloittaa karkeilla arvoilla ja tilapäisillä tiedoilla, joita vähitellen jalostetaan.

Materiaalikatselemusten tuloksia esitetään usein Sankey-kaaviona, jossa nuolten paksuudet kuvaavat materiaali- tai energiavirtojen suuruutta. Kaavioilla voidaan visualisoida esimerkiksi teollisia prosesseja, palveluiden tai tuotteiden kuluerittelyjä tai tietyllä maantieteellisellä alueella tapahtuvia energia- ja materiaalivirtoja.

Tämän hankkeen materiaalivirtatarkastelussa huomioitiin vuoden aikana syntyvät keskeisimmät materiaalivirrat suunnitellun kalankasvatuksen ja kasvien tuotannon ollessa täydessä laajuudessa. Materiaalivirtatarkasteluissa ei otettu huomioon rakentamiseen käytettäviä materiaaleja tai energiavirtoja. Materiaalivirtakaavioiden laadinnassa hyödynnettiin IFU Hamburgin kehittämää [eSankey!-työkalua](#).

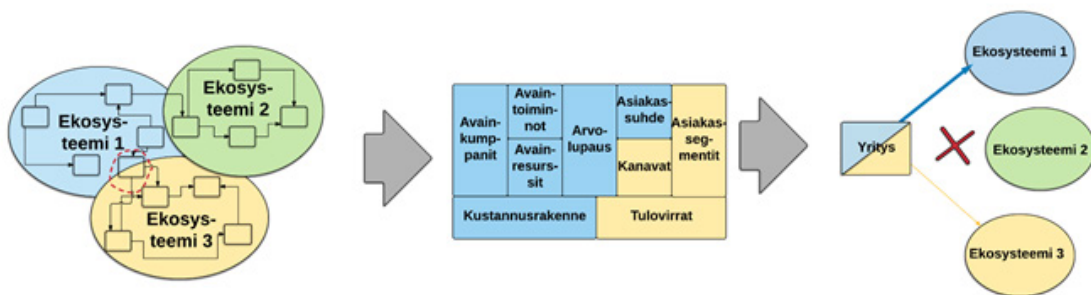
2.2. Energiantuotannon tarkastelu

Hankkeessa arvioitiin myös liiketoimintaekosysteemin energiankulutusta ja vertailtiin alustavasti erilaisia uusiutuviin energialähteisiin pohjautuvia tuotantovaihtoehtoja. Eryityisesti huomiota kiinnitettiin ekosysteemissä syntyvien sivuvirtojen hyödyntämismahdollisuuksiin energiantuotannossa. Energiankulutuksen ja uusiutuvan energian tuotantovaihtoehtojen arvioinnissa hyödynnettiin kirjallisuuteen ja asiantuntijoiden kokemuksiin perustuvia referenssejä. Lisäksi biokaasun tuotannon arvioinnissa käytettiin entisen Maa- ja elintarviketalouden tutkimuslaitoksen (nykyään Luonnonvarakeskus) kehittämää [Biokaasulaskuria](#).

2.3. Liiketoimintaekosysteemin tarkastelu

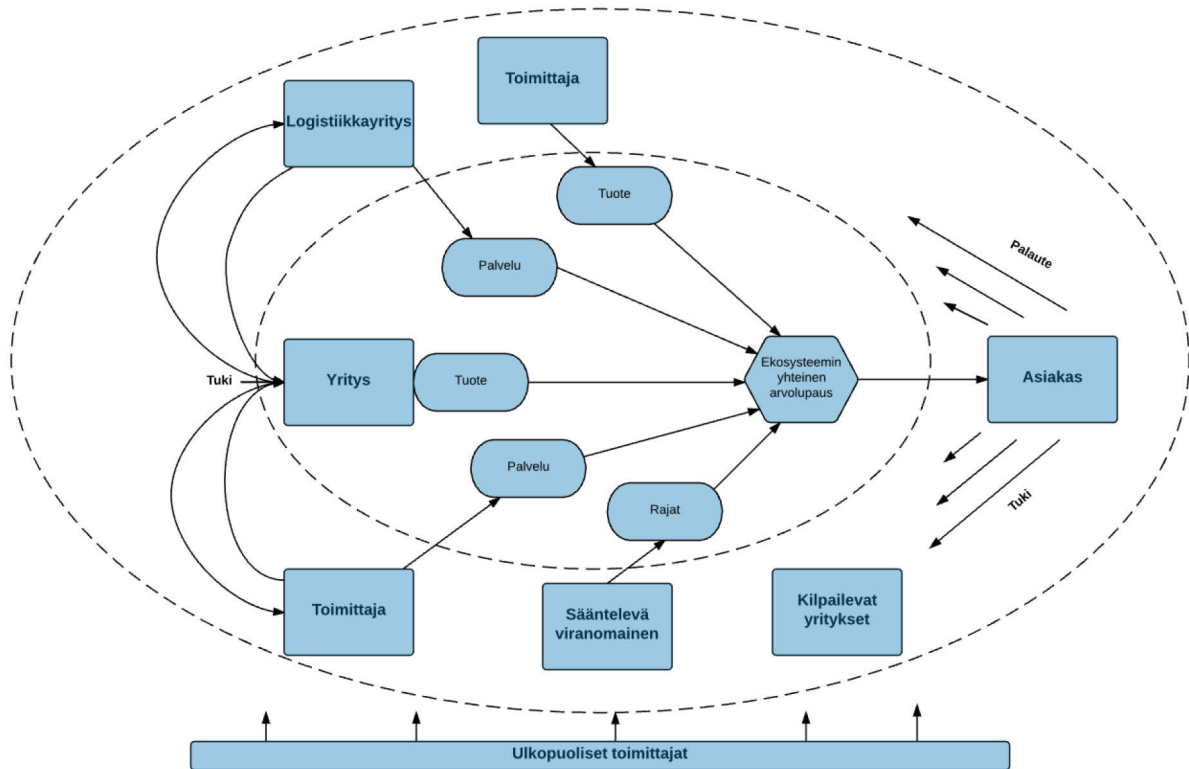
Liiketoimintaekosysteemi konseptina tarkoittaa useiden eri toimijoiden muodostamaa verkostoa, jossa toimijat ovat jatkuvasti muuttuvassa symbioottisessa, dynaamisessa ja kehittävässä vuorovaikutuksessa keskenään ja sitä kautta kykenevät menestymään markkinoilla ja luomaan uusia innovaatioita toimialalleen. Liiketoimintaekosysteemi tarkastelun kannalta yritys tulisi ajatella yksittäisen toimijan sijaan osaksi laajempaa kokonaisuutta. (Moore 1993, Zahra & Nambisan 2012, Hearn & Pace 2006)

Oulun yliopiston tuotantotalouden tutkimusyksikössä on tutkittu paljon liiketoimintaa ja erilaisia tapoja ymmärtää ja mallintaa sitä. Ekosysteemin tarkastelua varten on kehitetty kolmitasoinen kuvaus liiketoiminnasta (kuva 1). Nämä tasot ovat ekosysteemitaso, liiketoimintamallin taso ja liiketoimintatapaustaso (business case -taso).



Kuva 1. Ekosysteemin kolme tasoa. Ekosysteemit tulee nähdä yksilöllisinä kokonaisuuksina, jotka voivat kilpailla keskenään. Ekosysteemit koostuvat yksittäisistä yrityksistä, joiden liiketoimintamallin tulee olla kestävä. Yksittäisten yritysten pitää tapauskohtaisesti miettiä, mihin ekosysteemeihin yrityksen kannattaa lähteä mukaan ja kuinka suurella panostuksella. (Kuva mukaillen mm. Väänänen 2017, Osterwalder ja Pigneur 2009, Kinnunen ym. 2011).

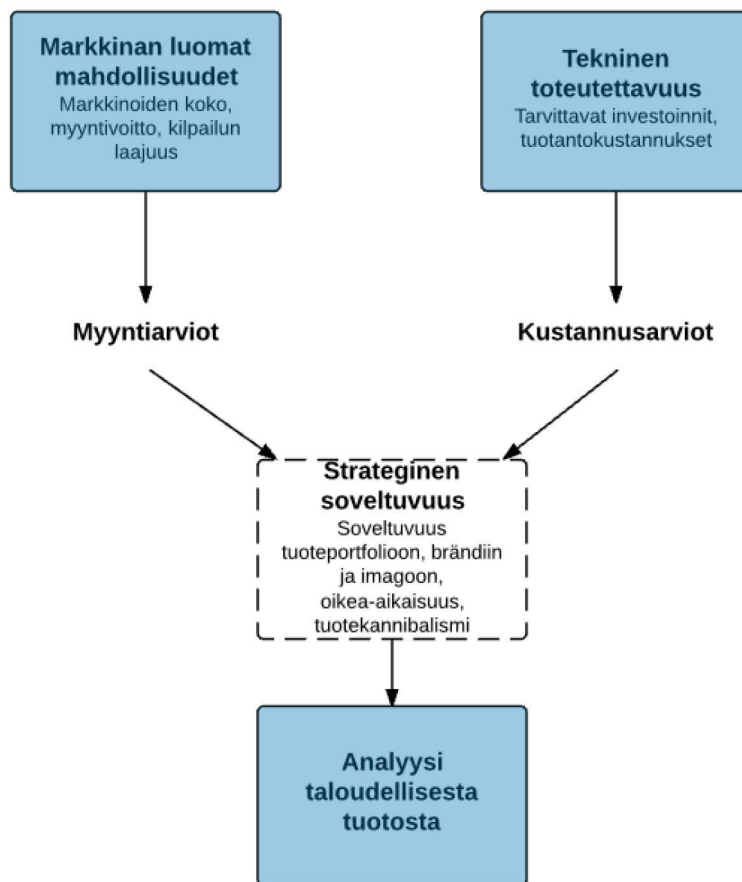
Ekosysteemitason perustana on arvoketju tai verkko. Liiketoimintaekosysteemi on mallinnettu kuvassa 2. Jotta ekosysteemi toimisi, tulee jokaisella mukana olevalla yrityksellä olla aidot liiketoimintaintressit. Eri toimijoilla voi kuitenkin olla erilaiset strategiset roolit ekosysteemin sisällä. Iansiti ja Levien (2004) ovat tunnistaneeet kolme erilaista ekosysteemirolia: avainyritykset, nicheyritykset ja hallitsijayritykset. Avainyritykset ovat olennainen osa ekosysteemiä, ja nämä toimijat käytännössä pitävät ekosysteemin elossa. Mikäli ekosysteemin avainyritys kaatuu, kaatuu yleensä myös koko ekosysteemi. Nicheyritykset ovat usein pieniä toimijoita, joilla on erityisosaamista tietystä kapeasta aihealueesta. Nicheyritykset tuovat arvoketjuun lisäarvoa, mutta tällaisen toimijan poislähtö ei välttämättä vielä kaada koko ekosysteemiä. Hallitsijayritykset dominoivat ekosysteemiä joko yrittämällä hallita suurta osaa arvoketjusta ja näin kaapata itselleen enemmistön arvon tuotosta tai imemällä muiden toimijoiden tuottamat arvot itselleen tuottaen itse vain vähän, jos ollenkaan, arvoa ekosysteemille. Hallitsijayrityksen olemassaolo ekosysteemissä on suuri riski, ja yleensä kestävät ekosysteemit pohjautuvat avainyritysten ja nicheyritysten yhteistyölle (Iansiti ja Levien 2004).



Kuva 2. Liiketoimintaekosysteemi (mukaiillen Moore 1993, Gossain ja Kandiah 1998, Frosch ja Gallopoulos 1989, Schulte 2013, Hearn ja Pace 2006).

Ekosysteemin sisällä on useita eri yrityksiä. Jokaisella yrityksellä pitää olla oma *liiketoimintamalli*, josta selviää yrityksen sisäiset liiketoiminnan kannalta keskeiset seikat. Osterwalderin ja Pigneurin (2009) luoma liiketoimintakangas (business model canvas) on yksi tunnetuimmista tavoista tarkastella yksittäisen toimijan liiketoimintamalli. Liiketoimintakangas perustuu yhdeksään eri osioon, jotka yhdessä luovat kattavan kuvan yrityksen liiketoiminnasta. Liiketoimintakankaan keskiössä on arvolutaus, eli kuvaus, kuinka yrityksen toiminta tuo lisäarvoa asiakkailleen. Kankaan toiselle puolelle listataan, kuinka tämä arvo saadaan välitettyä eteenpäin. Tätä varten tulee yrityksen määrittellä asiakassegmenttinsä, tuotteen tai palvelun asiakkaalle välittämiseen käytettävät kanavat, asiakassuhteet ja tulovirrat. Kankaan toiselle puolelle merkataan arvon tuottamiseen vaadittavat toimenpiteet. Toimijan tulee tunnistaa avainkumppanit, -toiminnot ja -resurssit sekä kustannusrakenne. Liiketoimintakankaan pohja löytyy liitteestä 1.

Liiketoimintatapaustasolla yksittäinen toimija analysoi potentiaalisia sijoituskohteita ja tekee päätöksen siitä, käyttääkö toimija omia rajallisia resurssejaan kyseiseen liiketoimintatapaukseen. Kinnunen ym. (2011) ovat luoneet työkalun tuotekehityksen liiketoimintatapaustausanalyysin tekemiseen, mutta työkalua voidaan soveltaa myös tämän hankkeen kaltaisessa ekosysteemitarkastelussa yksittäisten toimijoiden kohdalla. Yksinkertaistettuna tapauskohtaisen päätöksen tekemiseen vaikuttavat tuloarvion ja kustannusarvion summa. Mikäli taloudellinen tulos saadaan kannattavalle tasolle ja kyseinen case sopii yrityksen strategiaan, on myönteinen päätös perusteltavissa. Arvioiden pohjaksi on otettava huomioon myös tekninen toteutettavuus sekä tuotteen/palvelun arvo ja markkinat. Yksinkertaistettu kuva liiketoimintatapaustausanalyysistä löytyy kuvasta 3. Yksityiskohtaisempi liiketoimintatapaustauskäsittely on mallinnettu liitteessä 2. (Kinnunen ym. 2011)



Kuva 3. Yksinkertaistettu kuva liiketoimintatapa-analysistä Kinnusen ym. (2011) mukaan.

Liiketoimintaekosysteemin menestymistä voidaan arvioida ekosysteemin terveyden kautta. Den Hartighin ym. (2006) tekemän tutkimuksen mukaan ekosysteemin terveydellä on kaksi pääkomponenttia: kumppanuus- ja verkostoterveys. Kumppaneiden terveys heijastaa ekosysteemin yksittäisten toimijoiden tehokkuutta ja kestävyttä. Tuottamattomat yritykset, joilla on vaikeuksia selvitä, heikentävät koko ekosysteemin terveyttä. Liiketoimintatapa- ja liiketoimintamallitasojen avulla pystytään arvioimaan yksittäisten yritysten terveyttä: liiketoimintatapa lyhytaikaista ja liiketoimintamalli pitkäaikaista selviytymistä.

Ekosysteemitasolla terveyden kannalta kriittisintä on verkostoterveys. Lappi (2017) on luonut liiketoimintaekosysteemin arviointimallin, joka on esitetty kuvassa 4. Lappin (2017) mukaan ekosysteemin terveyden mittareita ovat kestävyys (pitkän aikavälin menestyminen), uudistuminen (roolien, käytänteiden ja suhteiden muokkaaminen), kimmoisuus (muutoksiin mukautuminen) ja innovatiivisuus (uusien arvomahdollisuuksien tutkiminen). Näitä neljää attribuuttia voidaan arvioida verkoston koon, roolien ja suhteiden kautta. Suhteet voidaan lisäksi jakaa vahvoihin ja heikkoihin. Vahvat suhteet ovat läheisiä, toistuvia ja luottamukseen perustuvia, heikot suhteet sen sijaan muodollisempia ja luonteeltaan väliaikaisia. (Dittrich ym. 2004, Lappi 2017)



Kuva 4. Liiketoimintaekosysteemin terveydentila-arviointimalli (mukaillen Lappi 2017).

2.4. Arvoketjujen tarkastelu

Arvoketju on Porterin (1985) esittelemä työkalu yrityksen sisäisten toimintojen tarkasteluun kilpailukyvyyn parantamiseksi. Arvoketju voidaan jakaa perus- ja tukitoimintoihin. Perustoimintoihin laskeaan Porterin mukaan tulologistiikka, työvaiheet, lähtölogistiikka, markkinointi ja myynti sekä palvelut. Tukitoimintoja ovat yritysinfrastrukturi, henkilöstöhallinto, teknologiakehitys ja hankinta. Arvoketjun jokaisen osan tulisi tuottaa lisäarvoa asiakkaalle. Hallitsemalla arvoketjun toiminnot ja poistamalla arvoa tuottamattomia tehtäviä yritys saa parannettua kilpailukykyään. Huomioitavaa on, että arvoketjun toimintojen tärkeys voi vaihdella riippuen yrityksen toimialasta. Esimerkiksi jakeluyritykselle logistiikan toimivuus on kriittisin kategoria, huoltotoimintoja tarjoavalle yritykselle palvelukategoria ja pankille myynti ja markkinointi. Kaikki toiminnot ovat kuitenkin kaikissa arvoketjuissa olemassa jossain roolissa. (Porter 1985)

Muun muassa arvoketjun tehostamisen seurauksena useat yritykset keskittävät resurssinsa oman ydintoimintansa ympärille, ja yksittäisten tuotteiden/palveluiden valmistamisessa onkin monesti mukana suuri joukko yrityksiä. Yrityksen sijaan arvoketjulla kuvataan nykyisin usein myös asiakkaan näkökulmasta tapahtuvaa toimintojen ketjua, jonka lopputuloksena syntyy lisäarvoa tuottava palvelu tai tuote (Evans ja Berman 2001). Myös tässä hankkeessa arvoketjulla viitataan useiden yritysten yhdessä luomaan toimintosarjaan. Muita nimityksiä asiakkaan näkökulmasta tapahtuvalle arvoketjulle on muun muassa arvojärjestelmä (Porter 1985), arvotoimitusketju (Evans ja Berman 2001) tai arvoverkosto (Pitta ja Laric 2004).

Arvoketjun visualisoimiseksi on luotu erilaisia kaavioita. Arvovirtaketjukaavio (Value Stream Mapping) on yhden prosessin mallintamiseen soveltuva työkalu, jonka avulla pystytään tunnistamaan arvo ja hukka (Rother ja Shook 1999). Tämä työkalu ei kuitenkaan sovellu kovin hyvin monimutkaisempien kokonaisuuksien hallintaan. SIBE-hankkeen kaltaiseen, useista toimijoista koostuvan ekosysteemin tarkasteluun sopii paremmin uimaratakaavio. Uimaratakaaviossa toimijat merkataan yhdelle sarakkeelle, ja sen jälkeen toimintoja listataan aikajärjestyksessä jokaisen toimijan muodostamalle

radalle. Uimaratakaaviosta on helppo tunnistaa yksittäiset toimijat ja heidän vastuunsa (Martinsuo ja Blomqvist 2010). Uimaratakaavion heikkoudet ovat monimutkaisten ja päällekkäisten prosessien visualisoinnissa. Monimutkaisempien uimaratakaavioiden visualisoinnissa voidaan käyttää prosessikaaviota, johon mallinnetaan eri toimintovaiheet ja näiden väliset yhteydet. Prosessikaavio on kuitenkin huono mallintamaan materiaalivirtojen suuruutta. Materiaalivirtojen mallintamiseen osuvin työkalu on materiaalivirtakaavio, jossa virtojen suuruus saadaan visualisoitua nuolien paksuudella. Materiaalivirtakaaviosta ei kuitenkaan nähdä toimijoita ja heidän vastuitaan. Kattavan kokonaiskuvan saamiseksi tässä hankkeessa päätettiin käyttää niin materiaalivirta-, prosessi- kuin uimaratakaavioitakin arvoketjujen mallintamiseksi.

3. Hankkeessa tarkasteltu toiminta

Hankkeen tarkastelu kohdistettiin pääasiassa tilanteeseen, jossa Laitakarin Kala Oy:n käynnistyvän kalankasvatustoiminnan (jäljempänä VE0) lisäksi alueella toimisi poikaskasvattamo ja kasvihuone, joka hyödyntäisi kalankasvatuksen sivutuotteita (taulukko 1). Lisäksi tarkasteltiin erilaisia energiantuotantovaihtoehtoja ja mahdollisuuksia konseptin osittaiseen energiaomavaraisuuteen.

Taulukko 1. Yhteenveto tarkastelluista vaihtoehtoista.

VE0 Nykytila: käynnistyvä kalankasvatus	VE1 Yhdistetty kalankasvatus ja kasvihuonetuotanto
Kalanpoikaset tuodaan muualta	Kalanpoikaset kasvatetaan kiertovesilaitoksessa
Kasvatus merellä verkkoaltaissa	Kasvatus merellä verkkoaltaissa
Talvisäilytys	Talvisäilytys
Perkaamo	Perkaamo
	Kasvihuone 1 ha

3.1. VE0: Kirjoloihen kasvatus merialtaissa ja poikastuotanto muualla

Laitakarin Kala Oy on saanut 10.5.2017 ympäristö- ja vesitalousluvan uuden kalankasvatustoiminnan aloittamiseen Oulun Martinniemessä sijaitsevassa Laitakarissa (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2017). Toiminta koskee kirjolohien verkkoallaskasvatusta avomerellä, kalojen talvisäilytystä verkko- ja maa-altaissa sekä perkaamotoimintaa. Myönnetyn luvan mukainen tuotanto on noin 1 000 000 kg kirjolohta vuodessa.

Kasvatukseen tarvittavat poikaset tuodaan aluksi sisämaassa sijaitsevalta laitokselta. Poikaset viedään alkukesällä mantereelta noin 3,5 km päässä sijaitseviin verkkoaltaisiin, jossa ne kasvavat syksyyn mennessä myyntikokoon. Kalojen talvisäilytys tapahtuu osittain satama-altaissa ja osittain maalla sijaitsevilla altaissa. Kalat tuodaan talvisäilytysalueelle syksyllä aikaisintaan 15.9., ja ne viedään takaisin merelle keväällä viimeistään 10.6. Laitokselle rakennetaan oma perkaamo. Perkausta tehdään 4–5 päivänä viikossa ympärivuotisesti. Perattu kala myydään Oulussa sijaitsevaan Hätäla Oy:n kalajalostamoon jatkokäsiteltäväksi.

3.2. VE1: Yhdistetty kiertovesikasvatus, meriallaskasvatus ja kasvihuonetuotanto

SIBE-hankkeessa tarkasteltiin vaihtoehtoa, jossa Laitakarin Kalan Oy:n kalanpoikaset tuotettaisiin maalla, laitoksen omalla tontilla sijaitsevassa kiertovesilaitoksessa. Poikaslaitos tuottaisi vuosittain Laitakarin Kala Oy:n tuotantosuunnitelman tarvitseman määrän eli noin 360 000 kg kirjolohienpoikasia, jotka vietäisiin jatkokasvatettavaksi avomerelle. Laitakarin Kala Oy:n tämänhetkisenä tavoitteena on kiertovesilaitoksen rakentaminen, mikäli se osoittautuu kannattavaksi. Todennäköisesti kiertovesilaitoksen toteuttaminen yksinomaan poikastuotantoa varten ei olisi kannattavaa, vaan laitoksen toiminta tulisi saada ympärivuotiseksi kasvattamalla kirjolohien rinnalla esimerkiksi siikaa. Tämän hankkeen puitteissa tarkasteltiin kuitenkin vain kirjolohien tuotantoa. Laitoksen vuodenaikaiskiertoa on kuvattu taulukossa 2.

Kiertovesikasvatuksessa syntyy sivutuotteena ravinteita, hiilidioksidia ja ravinnepitoista jätevetä. Laitos kuluttaa energiaa veden jäädytykseen ja tarvittaessa lämmitykseen. SIBE-hankkeessa tarkasteltiin mahdollisuutta hyödyntää kalankasvatuksen sivuvirtoja yhden hehtaarin suuruudessa kasvihuoneessa, jossa tuotetaan kurkkua ympärivuotisesti. Lisäksi tarkasteltiin kalankasvattamon ja kasvi-

huoneen energiatarpeita ja pohdittiin vaihtoehtoisia energialähteitä. Rakentamiseen vaadittavia investointeja, materiaaleja tai eri vaiheissa tarvittavaa työvoimapanosta ei tarkasteltu.

Taulukko 2. Konseptin vuodenaikaiskierto vaihtoehdossa VE1.

	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	Heinä	Elo	Syys	Loka	Marras	Joulu
1. vuosi	Mäti tuodaan laitokselle					Poikasten kiertovesikasvatus						
2. vuosi	Poikasten kierto-vesikasvatus				Noin 500g poikaset merelle				Talvisäilytys ja perkaus			
3. vuosi	Talvisäilytys ja perkaus				Uudet poikaset merelle				Talvisäilytys ja perkaus			
Perkaus ja myynti	Ympäri vuotisesti, sesongit helmi-huhtikuussa ja heinä-syyskuussa											
Kasvihuonetuotanto	Ympäri vuotisesti											

4. Kalankasvatus

Suomessa toimii noin 170 päätoimista vesiviljely-yritystä, jotka tuottavat kalaa elintarvikemarkkinoille sekä poikasia jatkokasvatukseen ja istutuksiin luonnonvesistöihin. Ruokakalan tuotanto on ollut viime vuosina 14–15 miljoonaa kiloa, josta noin 90 % on kirjolohta, 6-8 % siikaa ja lisäksi pieniä määriä mm. taimenta, nieriyää, sampea ja kuhaa. Ruokakalasta valtaosan tuottaa alle 10 yritystä. Ruokakalasta noin 80 % tuotetaan meressä verkkoaltaissa. Sisämaassa on ruokakalankasvatuksen lisäksi poikastuotantoa. Kotimainen ruokakalan tuotanto kattaa Suomen kysynnästä noin kolmasosan, ja lähes 70 % ruokakalasta tulee Norjasta (merilohi) ja Ruotsista (kirjolohti). Ruotsalainen kirjolohituotanto on pääasiassa suomalaistaustaisten yritysten hallussa, sillä yritykset alkoivat hakeutua Ruotsiin noin 10 vuotta sitten, kun tuotanto ei Suomessa voinut kasvaa tiukan ympäristösäätelyn vuoksi.

4.1. Verkkoallaskasvatus

Suomen rannikolla kalankasvatuslaitoksia on itäiseltä Suomenlahdelta aina Perämeren pohjukkaan asti. Pääosa tuotannosta sijaitsee Ahvenanmaalla, Saaristomerellä ja Satakunnan eteläosissa. Keskimääräinen tuotantoyksikön koko on edelleen noin 50 tonnia vuodessa, mutta yritysten koko on kasvanut yritysostoilla. Tavallisesti yhden yrityksen tuotantomäärä samalla alueella on noin 200–600 tonnia, jolloin tuotantoyksikköjä on neljästä kahteentoista.

Suomen rannikolla kaloja kasvatetaan kaksi tai kolme kasvatuskautta ennen perkausta. Kirjolohtet kasvatetaan tavallisesti yli kaksikiloisiksi ja siiat noin kilon painoisiksi. Yrittäjillä on tavallisesti erilliset tuotantoyksiköt poikaskasvatusta varten. Poikaslaitoksista kalat lajitellaan ja siirretään ensimmäisen tai toisen kasvukauden jälkeen jatkokasvatussyksiköihin. Kasvukausi on tavallisina vuosina noin toukokuun alusta marraskuun alkuun. Lämpiminä kesinä lämpötilat saattavat kohota matalilla ja suojaisilla alueilla liian korkeaksi, jolloin ruokinta pienenee voimakkaasti ja kasvu keskeytyy muutamiksi viikoiksi. Jääpeitteen ja erityisesti jään liikkeiden takia verkkoaltaat ja kehikot hinataan saariston suojaan talvisäilytyspaikoille loppusyksyllä. Talvisäilytyspaikat sijaitsevat suojaisilla alueilla, joilla ei muodostu ahojaitä ja jään liikkuminen on maltillista. Tuotantovälineistön lisäksi myös markkina-kokoiset kalat siirretään tavallisesti rannikon läheisyyteen paikkoihin, joista ne voidaan siirtää perattaviksi kelirikkoaikana tai viimeistään jään muodostuttua. Kalat tulevat edelleen markkinoille pääasiassa loppusyksyllä ja alkutalvella, jolloin niiden hinta on huomattavasti heikompi kuin esimerkiksi keväällä, jolloin kotimaisesta kirjolohesta on pulaa ja hinta korkea.

Nykyisin valtaosa Suomen merialueen tuotannosta sijaitsee väli- ja ulkosaaristossa. Tuotantolaitokset ovat ympäristölupien vuoksi pieniä verrattuna maailmalla sijaitseviin kasvatuslaitoksiin. Yrityksillä on tavallisesti rannassa toimipaikka lähellä kasvatuslaitoksia. Toimipaikassa ovat rehuvarastot, venelaiturit, perkaamo sekä muita toimitiloja ja varastoja.

Tyypillisellä merikasvatuslaitoksella nailonista valmistetut verkot on pingotettu muovisiin (polyeteeni) kehikoihin, jotka kelluvat pinnassa. Kalojen ruokinta tapahtuu tavallisesti erilaisilla verkkoallaskohtaisilla ruokintalaitteilla. Jotkut yritykset myös ruokkivat kaloja veneestä annostelemalla. Suurimmat työalukset Suomessa kantavat noin 20 tonnin kuorman, mutta useimmin käytössä on pienempiä huoltoveneitä. Maailman avomeriolosuhteissa käytetään enimmäkseen vastaavaa mutta järeämpää kasvatustekniikkaa. Suurilla avomerikasvatussyksiköillä ruokinta hoidetaan usein ruokintalautoilta, joilta rehu välitetään kasvatusaltaisiin automaattisesti ruokintaputkien avulla. Esimerkiksi Norjassa laitosten vuosituotanto avoimilla alueilla on keskimäärin noin 1 000 tonnia ja suurimmissa laitoksissa tuotetaan yli 4 000 tonnia kalaa vuodessa.

4.2. Kiertovesikasvatus

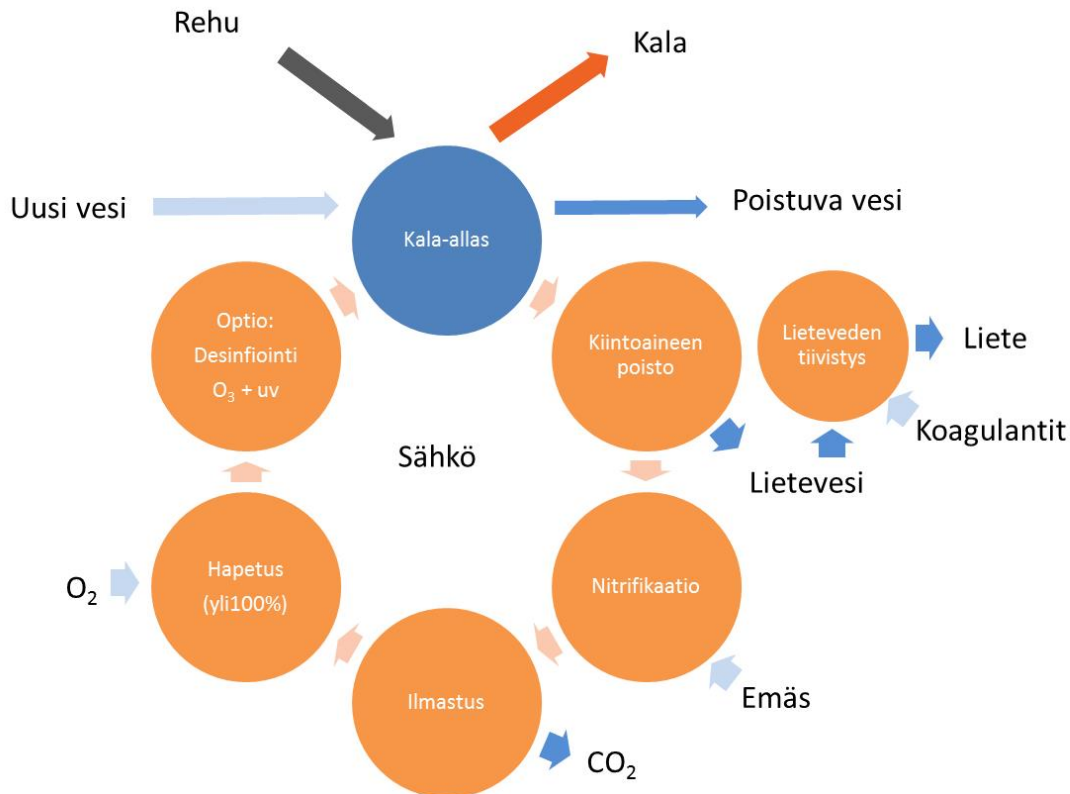
Kiertovesikasvatus on liiketoimintana melko uutta, ja sen kannattavuus on ollut Suomessa hyvin heikkoa. On odotettavissa, että tekniikan kehittyminen kustannustehokkaaksi ja osaamisen kasvaminen voisivat tehdä kiertovesikasvatuksesta taloudellisesti kannattavaa. Sekä Suomessa että maailmalla kiertovesilaitosten koko on kasvamassa niin, että tyypillisesti kyseessä on vähintään 5 miljoonan euron investointi. Ahvenanmaalla on toiminnassa yksi markkinakokoista kirjolohta kasvattava suuri kiertovesilaitos ja toista suurta laitosta rakennetaan Varkauteen. Muut kiertovesilaitokset kasvattavat joko kirjolohen poikasia tai arvokkaampia kalalajeja kuten siikaa, kuhaa ja sampea. Kolme kiertovesilaitosta on lopettanut viime vuosina toimintansa.

Teknisesti kiertovesikasvatuksessa käytetään lähes suljetun kierron periaatetta, jolloin suurin osa vedestä käsitellään eri tekniikoilla ja kierrätetään uudelleen kasvatusaltaisiin. Tällöin laitoksen veden tarve pienenee ja käytetty vesi voidaan puhdistaa, jolloin tuotantomäärää kohden rehevöittävät päästöt vähenevät. Nykyaikainen kiertovesilaitos käyttää uutta vettä noin 500 l/syötetty rehukilo. Kierrätettävä vesimäärä mahdollistaa ympärivuotisen veden lämpötilan säätämisen (lämmitys ja jäähdytys), jolloin kasvatusolosuhteet ovat tasaiset. Kiertovesikasvatuksen avulla tuotanto voidaan viedä myös sellaisille paikoille, joissa vesi ei riittäisi perinteiseen kasvatukseen.

Kiertovesilaitosten tekniikka vaatii paljon investointeja sekä energiaa, joten synergia teollisuuden, valmiin infrastruktuurin ja palveluiden kanssa alentavat kustannuksia. Kustannusten alentaminen vaikuttaa suoraan kiertovesitekniikan kiinnostavuuteen ja mahdollistaa kannattavan liiketoiminnan perustamisen. Suomessa rakennetaan parhaillaan toista isoa paperiteollisuuden yhteydessä olevaa kiertovesilaitosta. Myös symbioosia kasvihuonetuotannon kanssa kehitetään maailmalla.

Kiertovesilaitoksen vedenkäsittelyprosessissa erottuu tyypillisesti kaksi jaetta. Kalojen uloste, järjestelmässä syntyvä bioflokki ja syömätön rehu poistetaan mekaanisesti siivilöimällä ja laskeuttamalla. Tässä ns. lietevesijakeessa on suurin osa kalojen hyödyntämättä jääneestä fosforista. Lietevettä tyypillisesti tiivistetään paksummaksi massaksi saostamalla, flokkuloimalla ja suodattamalla. Lietevettä voitaisiin johtaa myös teollisuuden ja yhdyskuntien puhdistamoon tai biokaasulaitokseen. Kiertovesilaitoksesta poistuvassa toisessa, ohuemmassa vesijakeessa on vähemmän kiintoainetta ja fosforia, mutta suurin osa kalojen hyödyntämättä jäävästä typestä. Typpi on biologisen vedenkäsittelyn myötä nitraattina. Näiden kahden jakeen suhteelliset osuudet riippuvat käytettävästä teknologiasta. Lieteveden kuiva-ainepitoisuus ilman tiivistämistä on noin 0,5–2 %, ja sitä syntyy hieman alle puolet käytetystä vesimäärästä ja reilu puolet on poistovettä, jonka kiintoainepitoisuus on kertaluokkaa pienempi, mutta jossa on tyypillisesti noin 50 mg nitraattityyppiä litrassa.

Kalat ja biologinen vedenkäsittely kuluttavat happea ja tuottavat hiilidioksidia. Happea lisätään tyyppillisesti nestemäisestä liuottaen, ja hiilidioksidi tuuletetaan pois ns. ilmastimissa. Biologinen vedenkäsittely kuluttaa lisäksi veden alkaliniteettiä, ja veteen lisätään pH:ta puskuroivaa emästä.



Kuva 5. Kiertovesikasvatuksen tyyppiset vedenkäsittelyn prosessit ja materiaalivirrat

4.3. Kalankasvatuksen materiaalivirrat tarkastelluissa vaihtoehdoissa

Kappaleissa 4.3.1 ja 4.3.2 on kuvattu vaihtoehtojen VE0 ja VE1 mukaisen kalankasvatustoiminnan keskeisimmät materiaalivirrat. Yhteenvedo eri tuotantovaiheissa syntyvistä sivutuotteista on esitetty kappaleessa 4.3.3. Tarkemmin sivutuotteiden hyödyntämisen mahdollisuuksia ja vaihtoehtoja on arvioitu luvussa 9.

4.3.1. Kiertovesikasvatuksen materiaalivirrat (VE1)

Kuvassa 6 ja taulukossa 3 on esitetty hankkeessa tarkastellun kirjolohenpoikasten kiertovesikasvatuksen keskeisimmät materiaalivirrat. Materiaalimäärien arviointi perustuu kiertovesikasvatuksen keskimääräisiin arvoihin suhteessa käytettyyn rehumäärään. Hankkeessa tarkastellun kiertovesilaitoksen tuotanto on noin 360 000 kg kirjolohenpoikasta jatkokasvatettavaksi avomerellä verkkoaltaissa.

Kiertovesilaitokseen tuodaan joko mäti tai pienpoikaset. Rehua kuluu vajaa kilo yhtä tuotettua kalakiloa kohden. Kiertovesiprosessiin on lisättävä happea ja emästä. Kalanpoikasten kuolleisuuden arviointiin liittyy paljon epävarmuuksia. Suhteellisesti suurinta kuolleisuus on alkuvaiheessa. Kuollutta kalaa muodostunee joitakin tuhansia kiloja.

Merivesi muodostaa kiertovesilaitoksen merkittävimmän materiaalivirran. Vuoden aikana käytetystä vedestä noin puolet poistuu kiertovesilaitoksesta. Poistuva vesi erotetaan laitoksella lietevedeksi, joka sisältää pääosan kiintoaineesta ja hyödyntämättömästä fosforista. Tiivistetty lietevesi

voidaan johtaa jätevedenkäsittelyyn tai biokaasulaitokseen tai kompostoida. Puhtaampi poistuva vesi voidaan johtaa takaisin vesistöön. Lietteen ja poistoveden suhteelliset osuudet riippuvat käytettävästä teknologiasta.

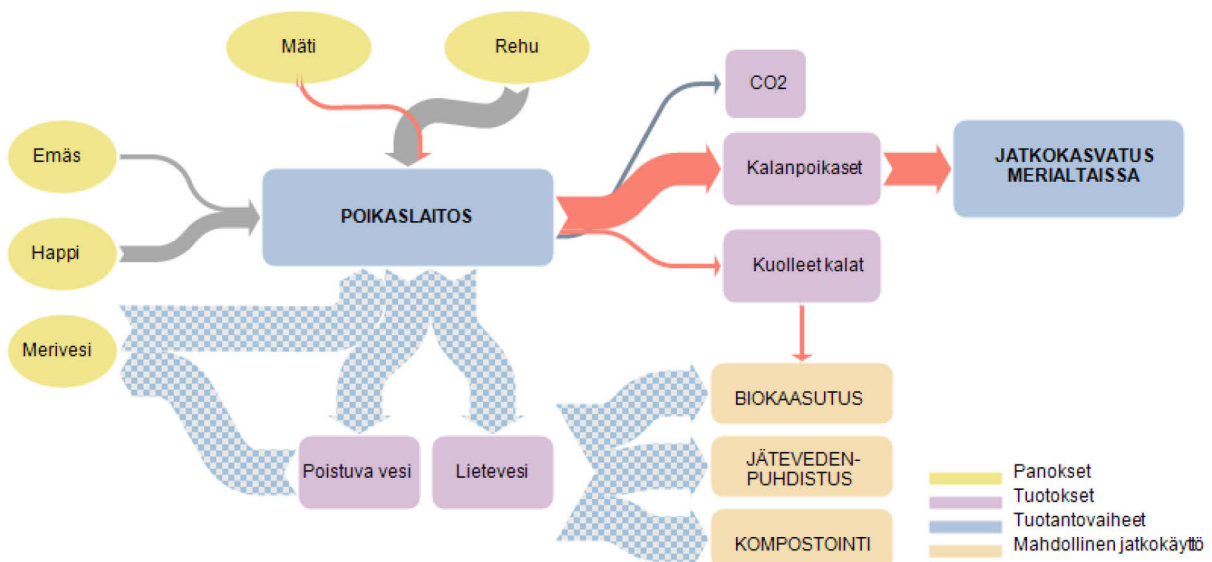
Kiertovesikasvatuksen merkittävimpiä sivutuotteita ovat hiilidioksidi (270 t), fosforipitoinen lietevesi (1 300 m³) ja typpipitoinen poistovesi (106 000 m³).

Hiilidioksidi on mahdollista ottaa talteen ja hyödyntää esimerkiksi kasvihuoneessa.

Kiertovesilaitoksen **lietevesi** tiivistetään massaksi, jonka kuiva-ainepitoisuus on noin 5 %. Noin 80 % hyödyntämättä jääneestä fosforista (950 kg) on sitoutuneena tähän lieteveeseen. Liettevesi voidaan esimerkiksi kompostoida, mädättää biokaasulaitoksessa tai johtaa jätevedenpuhdistamolle. Biokaasutuksen ravinnepitoinen mädätysjäännös voidaan edelleen käyttää hyödyksi. Koska lietteen tilavuuspainosta ei ole tarkempaa tietoa, oletetaan, että kuutio lietettä painaa yhden tonnin, eli lietteen kokonaismäärä on 1 350 tn.

Kiertovesilaitoksesta **poistuva vesi** sisältää vähemmän kiintoainetta ja fosforia, mutta suurimman osan hyödyntämättä jääneestä typestä (noin 50 mg nitraattityppeä litrassa). Typpi on periaatteessa mahdollista poistaa kaasuna denitrifikaation avulla. Poistovesi voidaan johtaa takaisin vesistöön tai mahdollisesti hyödyntää kasvihuoneviljelyssä.

Kiertovesikasvatuksen energiankulutusta on tarkasteltu kappaleessa 6.1. Sivutuotteiden jatkokäyttöä on tarkasteltu tarkemmin kappaleessa 9.1.



Kuva 6. Vaihtoehdon VE1 mukaisen kierto-vesikasvatuksen keskeisimmät materiaali- virrat. Yli 0,5 milj. kg:n virrat on kuvattu rasteripinnalla.

Taulukko 3. Kalanpoikasten kiertovesikasvatuksen laskennalliset materiaalivirrat vaihtoehdossa VE1.

KIRJOLOHENPOIKASTEN KIERTOVIKASVATUS			
	Arvioinnissa käytetty suhdeluku	VE1	
Panokset	Mäti/poikaset		
	Rehu	0,7–1 kg rehua/kg kasvua	270 000 kg
	Merivesi	500–1000 l/kg rehua	202 500 m ³
	Energia (sähkö+lämmitys/jäähdytys)	2–5 kWh/kg rehua	945 000 kWh
	Happi	0,5–0,8 kg/kg rehua	175 500 kg
	Emäs (sooda/kalkki)	0,2 kg/kg rehua	54 000 kg
	Arvioinnissa käytetty suhdeluku	VE1	
Tuotokset	Kalanpoikaset jatkokasvatukseen		360 000 kg
	Poistuva vesi yhteensä	400 l/kg rehua	108 000 m ³
	Poistovesi		106 600 m ³
	*Nitraattityppi	20–30 g/kg rehua	6 750 kg
	*Fosfaattifosfori	0,5–1 g /kg rehua	200 kg
	Lietevesi		noin 1 350 m ³
	*Kiintoaine	0,2–0,3 kg/kg rehua	67 500 kg
	*Fosfori	3–4 g P/kg rehua	950 kg
	Hiilidioksidi	1 kg/kg rehua	270 000 kg
	Kuolleet kalat	kuolleisuus suurinta alkuvaiheessa	2 000-5 000 kg

4.3.2. Meriallaskasvatuksen materiaalivirrat (VE0 ja VE1)

Kuvassa 7 ja taulukossa 4 on esitetty hankkeessa tarkastellun meriallaskasvatuksen keskeisimmät materiaalivirrat. Arviot materiaalimääristä perustuvat Laitamarin Kala Oy:n saamaan lupapäätökseen (Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2017).

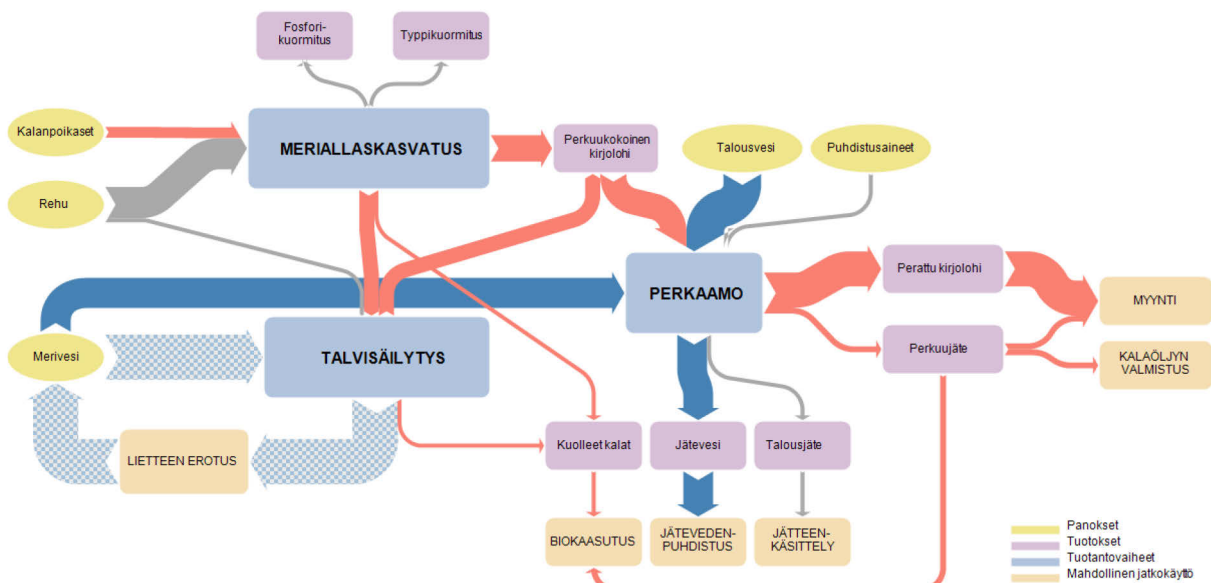
Merialtaissa kalojen kasvu vuoden aikana on noin miljoona kiloa. Tämän kasvun tuottamiseksi tarvitaan noin 360 000 kg kalanpoikasia. Rehun tarve on noin kilo kohti tuotettua lohikiloa. Toiminnan alkuvaiheessa kalojen rehu kuljetetaan veneellä altaalle kerran tai kahdesti päivässä. Myöhemmin laitokselle rakennetaan ruokintalautta, jossa rehua voidaan varastoida. Kalojen ruokinnasta ja ulosteista aiheutuu merelle typpi- ja fosforikuormitusta. Kuolleet kalat tuodaan maalle.

Kalat säilytetään syksyllä satamassa sijaitsevilla verkkoaltaissa ja joulu-huhtikuun välisenä aikana maa-altaissa. Talvisäilytettävän kalan määrä on yhteensä enintään 500 000 kg vuodessa, joista maa-altaissa säilytetään 300 000 kg. Verkkoaltaissa talvisäilytyksessä olevien kalojen ylläpitoruokintaan käytetään rehua noin 10 000 kg. Maa-altaissa kaloja ei ruokita. Kalankasvatuksen merkittävimmän materiaalivirran muodostaa talvisäilytyksen merivesi, joka pumpataan joulu-huhtikuun välisenä aikana ns. läpivirtauksena (enimmillään 200 l/s) maalla sijaitseviin altaisiin ja johdetaan takaisin mereen purkuputkea pitkin. Ennen veden johtamista takaisin mereen vedestä erotetaan liete laskauttamalla tai suodattamalla. Koska kaloja ei ruokita maa-altaissa, muodostuvan lietteen määrä on vähäinen.

Kalojen perkausta tehdään ympärivuotisesti. Perkuujätettä muodostuu noin 200 000 kg vuodessa. Perkuujäte sisältää rasvaa noin 20 %. Perkuujätteelle on monia käyttövaihtoehtoja, kuten turkiseläinten rehu, biokaasutus tai kalaöljyn valmistus. Kalaöljyn jatkojalostamiseksi on useita vaihtoehtoja (Mattila ym. 2018). Perkaamossa käytetään merivettä tainnutukseen ja verestykseen sekä talousvettä perkaukseen. Lisäksi käytetään puhdistusaineita. Perkaamon jätevedet johdetaan viemäriverkostoon. Jatkojalostukseen toimitettavan kirjolohen määrä on noin 1,1 miljoonaa kiloa.

4.3.3. Yhteenvedo sivuvirroista

Vaihtoehdon VE1 mukaisessa kalankasvatustoiminnassa (kiertovesilaitos + meriäkalakasvatus + perkaamo) muodostuu kaikkiaan **noin 1 560 tonnia eloperäistä ainesta**, joka koostuu jätevesilietteestä, kuolleista kaloista ja perkuujätteestä. Tätä massaa on mahdollista hyödyntää biokaasun tuotannossa. Biokaasun tuotantoa on tarkasteltu kappaleessa 6.3. Muita sivutuotteiden käyttämahdollisuuksia on arvioitu kappaleessa 9.1.



Kuva 7. Periaatekuva kalankasvatustuotannon keskeisimmistä materiaali- ja energialivirroista. Yli 1,5 milj. kg/l virrat on kuvattu rasteripinnalla.

Taulukko 4. Meriälläkasvatuksen, kalojen talvisäilytyksen ja perkaamon materiaalivirrat tarkastelluissa vaihtoehtoissa.

VERKKOALLASKASVATUS MERELLÄ		
		VE0 ja VE1
Panokset	Kalanpoikaset	360 000 kg
	Rehu	1 034 000 kg
	Polttoaine	6000 l
Tuotokset	Kalojen kasvu	967 000 kg
	Kalojen kokonaisbiomassa	1 367 000 kg
	*Talvisäilytykseen	500 000 kg
	*Perkaamoon	867 000 kg
	Fosforikuormitus merelle kasvatuskaudella (130 vrk)	3 600 kg
	Typikuormitus merelle kasvatuskaudella (130 vrk)	35 130 kg
TALVISÄILYTYS SATAMA- JA MAA-ALTAISSA		
		VE0 ja VE1
Panokset	Kirjalohti	500 000 kg
	Merivesi maa-altaisiin (max 200 l/s joulu-huhtikuussa)	1 900 800 m ³
	Rehu	10 000 kg
Tuotokset	Kala perkaamoon	500 000 kg
	Fosforikuormitus	30 kg
	Typikuormitus	300 kg
	Purkuvesi mereen	1 900 800 m ³
	Liete	vähäinen määrä
PERKAAMO		
		VE0 ja VE1
Panokset	Perkaamoon tuleva kala	1 298 650 kg
	Talousvesi perkaukseen	1 250 m ³
	Vesi tainnutukseen ja verestykseen (pumppaamolta)	1000 m ³
	Desinfiointi- ja pesuaineet	490 l
Tuotokset	Perattu kala myyntiin	1 162 000 kg
	Perkeet	197 540 kg
	Jätevesi kunnalliseen viemäriverkostoon	990 m ³
	Pakkausjäte	3500 kg
MUUT TUOTOKSET PROSESSISTA		
		VE0 ja VE1
Jäteöljy		150 l
Kuolleet kalat		6000 kg

5. Kasvihuonekasvatus

Tällä hetkellä Suomessa viljellään puutarhatuotteita kasvihuoneissa myyntiin noin 1200 yrityksessä. Näistä yrityksistä vihannestuotantoa harjoittaa noin 580, ruukkuvihannesten viljelyä noin 85 ja koristekasvintuotantoa noin 530 yritystä.

Ammattimaiseen viljelyyn käytettäviä lämmitettäviä kasvihuoneita on Suomessa noin 390 hehtaaria. Hakelämpölaitoksia on yleisesti käytetty kasvihuoneiden lämmityksessä, ja edelleen yhä useampi huone lämpiää hakkeella. Tätä nykyä jo yli kolmannes kasvihuoneiden tarvitsemasta lisälämmöstä saadaankin bioenergiasta. Öljyn käyttö kasvihuoneiden lämmityksessä on romahtanut 2000-luvulla. Suomalaisen kasvihuoneviljelyn ilmastovaikutuksia ovat yksityiskohtaisesti tarkastelleet Yrjänäinen ym. (2013).

Tyypillinen suomalainen kasvihuoneyritys on noin 3 000 neliömetrin suuruinen ja sitä hoitaa yrittäjäperhe. Suurimmat yritykset työllistävät kymmeniä henkilöitä. Suurissakin yrityksissä taustalla on yksi tai useampia itse työhön osallistuvia yrittäjäperheitä. Kasvihuonetuotannon arvo viljelijähinnoin vuonna 2014 (alv 0 %) oli 280 miljoonaa euroa.

Kasvihuoneviljelijöiden määrä on vähentynyt viime vuosikymmenten aikana. Kasvihuoneita hyödynnetään kuitenkin entistä tehokkaammin, mikä lisää koko tuotannon tehokkuutta. Viljelykautta on pidennetty ja ympärivuotista tuotantoa lisätty kysynnän kasvun myötä.

Eniten tuotetaan tomaatteja ja kurkkuja, toiseksi eniten koristekasveja ja kolmatta sijaa pitävät ruukkuvihannekset. Kotimaisten vihannesten kysyntä kehittyy jatkuvasti monipuolisempaan suuntaan. Suuren kysynnän vhannekset kurkku ja tomaatti säilyttänevät johtoasemansa myös tulevina vuosina. Perinteisen tomaatin rinnalle ovat tulleet myös erikoistomaattilajikkeet. Ruukkusalaatit ovat pitkään olleet suomalaisten suosikkisalaatteja. Viime aikoina erilaiset pusseihin pakatut salaattiseokset ovat merkittävässä määrin kasvattaneet suosiotaan, osittain ruukkusalaattien kustannuksella. Valmiiksi pakattujen salaattiseosten suosion taustalla on helppokäyttöisyys ja tuotteen parempi säilyvyys.

Kotimaisen tuotannon markkinaosuus on tuonnista huolimatta varsin hyvä. Kotimaisuusaste kokonaiskulutuksesta on tomaatilla 58 %, kurkulla 81 % ja ruukkuvihanneksilla lähes 100 %. Kotimaisen pääsadon aikaan suomalaisen kurkun ja tomaatin markkinaosuus on yli 90 prosenttia. Sadon huippukausi yltyy kevästä syksyyn.

Kasvihuonetuotannon kehityksessä merkittävää on viime vuosina ollut kasvukauden pidentyminen. Lisävalolla kyetään jatkamaan satokautta ja parantamaan tuotteiden laatua. Ruukkuvihannesten, kurkun, tomaatin ja ruukkukukkien tuotanto on monissa yrityksissä ympärivuotista. Usein valotuksen käyttö tehostaa tuotantoa siten, että tuoteyksikköä kohti syntyvät energiakulut eivät kasvukautta jatkettaessa kasva. Kasvuvalotusta käytettäessä valaisimien energia lämmittää kasvihuonetta ja vähentää lämmityspolttoaineen käyttöä.

Kuluttajien kiinnostus vihannesten ja kasvien alkuperää kohtaan on myös kasvamassa ja tuotantomuodon läpinäkyvyyttä pidetään kasvavana trendinä. Kasvihuonetuotannon ympäristöystävällisyys tulee olemaan myyntivaltti, jolloin se saattaa mahdollistaa tuotteille myös korkeamman hinnan. Tästä esimerkkinä ovat luomutuotteet. Luomutuotannon lisäksi yksistään energiatehokkuus tai hiilineutraalius saattaisi mahdollistaa tuotteelle jopa 10–40 % suuremman hinnan.

Yleisen käsityksen mukaan viestinnän rooli tulee olemaan merkittävä markkinoitaessa energiatehokkaasti tuotettuja vhanneksia. Tällöin on tärkeää, että tuotteissa on helposti tunnistettava energiatehokkuus- tai hiilineutraaliusmerkintä, jotta tuotteelle voidaan asettaa hintalisä. On myös todennäköistä, että tarjonta kasvattaisi kysyntää, ja energiatehokkaasti tuotettujen vihannesten tulo markkinoille kannustaisi kuluttajia kiinnittämään huomiota elintarvikkeiden hiilijalanjälkeen nykyistä enemmän.

Teknisesti ympärivuotiseen viljelyyn soveltuva kasvihuone voidaan toteuttaa avoimena, puolisoljettuna tai suljettuna. Suljetussa kasvihuoneessa ei käytetä tuuletusluukkuja. Tällöin kasvihuoneen energiatehokkuus on parempi ja satotaso on suurempi kuin avoimessa ratkaisussa. Puolisuljettu kas-

vihuone vaatii ajoittaista tuulettamista kasvatusolosuhteiden hallitsemiseksi, mutta mahdollistaa kuitenkin avoimeen ratkaisuun verrattuna korkeamman hiilidioksidipitoisuuden käytön ja jopa 20–30 % suuremman satotason. Suljetussa kasvihuoneessa kertynyttä lämpöä ei tuuleteta hallitsemattomasti ulos, vaan lämpö voidaan varastoida esimerkiksi maahan ja/tai veteen myöhempää käyttöä varten. Mitä suljetumpi kasvihuone on, sitä enemmän tarvitaan kuitenkin tekniikkaa ja automaatiota, mikä tarkoittaa myös korkeampia investointikustannuksia.

Kasvihuoneen ilmaston, lannoituksen ja kastelun säätö perustuvat yleensä keskitettyyn säätötekniikkaan. Kasvihuoneesta mitattaville parametreille on kullekin erilliset anturit. Mikäli kasvihuoneessa on useita osastoja, ohjataan eri osastojen toimintaa keskustietokoneen avulla kasvihuoneen valvomosta käsin. Ohjauslaitteistoa käytetään mm. optimaalisen lämmitys-, jäähdytys-, hiilidioksidin ja ravintetaso ylläpitämiseen, kastelun ohjaukseen, lannoitteiden sekoitukseen sekä valaistuksen säätöön.

Suuri kasvihuone voidaan myös osastoida siten, että olosuhteet kyetään säätämään kullekin viljeltävälle lajille kuten kurkulle, tomaatille ja salaatile optimaalisiksi. Tällaisessa monien lajien tuotantoon perustuvassa kasvihuoneessa voidaan ottaa huomioon myös kunkin tuotteen vallitseva markkinatilanne.

Auringonvalon lisäksi ympärivuotinen kasvihuonetuotanto edellyttää keinovaloa. Valo tuottaa kasvien yhteyttämiseen tarvittavan energian. Perinteisillä lampuilla toteutettu valotus on myös huomattava lämpöenergian lähde tuottaen merkittävän osan kasvihuoneen tarvitsemasta lämmityksestä keväästä syksyyn. Kasvihuoneeseen tuotettu lämpöenergia on 15–25 % valotuksen käyttämästä energiasta.

Kasvihuoneen valotus on perinteisesti toteutettu suurpainenatriumlampuilla (HPS) kasvuston päällä. Korkeiden kasvien kuten kurkun ja tomaatin viljelyssä käytetään yleisesti ylävalotuksen lisäksi välivalotusta viljelyrivien välissä. Nykyisin vaihtoehtona on käyttää myös LED-tekniikkaan perustuvia valaisimia. Valotuksessa voidaan hyödyntää myös ns. hybridivalotusta, jolloin rivien välissä ovat LED-valaisimet ja ylävaloina HPS-valot.

Kasvihuoneviljelyssä käytettävät kiinteät kasvualustat on valmistettu pääosin joko kivivillasta tai turpeesta. Viime aikoina on kehitetty myös kookoskuituun ja sammaleeseen perustuvia kasvualustoja. Moderneimmista ja nykyisin rakennettavissa kasvihuoneissa kasvien veden ja ravinteiden annostelu perustuu täydelliseen kierto-liuosviljelyyn ja ravinnejärjestelmä on suljettu. Kasteluvesi, johon on lisätty kaikki kasvien tarvitsemat ravinteet (N, P, K, Ca, Mg, S, jne; noin 16 alkuainetta), kierrätetään siten, että kuljettuaan kasvualustan läpi se valuu keruuputkiin, josta se johdetaan mekaanisesti puhdistettavaksi väli-varastointia varten. Kierrätettävään ravinneliuokseen lisätään puuttuvia ja siis kasvien käyttämiä ravinteita. Ravinneliuoksen pitoisuutta mitataan mm. sähkönjohtavuuden avulla. Mikäli sähkönjohtavuus on suositeltua korkeampi, lisätään kasteluravinneliuokseen vettä, jotta kasvien veden ja ravinteiden otto on tasapainoista.

Kasvihuoneviljely voi perustua myös viljelytekniikkaan, jossa kiinteää kasvualustaa ei käytetä lainkaan (aeroponinen ja kelluva viljely) tai hyvin niukasti (kouruviljely). Tällöin kasvit ottavat veden ja ravinteet suoraan liuoksesta eivätkä kasvualustasta. Yleensä näitä viljelytekniikoita käytetään nopeasti kehittyvien salaattien ja yrttien viljelyssä.

Aeroponisessa viljelyssä vesi ja ravinteet suihkutetaan ohuena sumuna kasvin juurille. Menetelmän teho perustuu ravinneliuoksen voimakkaaseen hapettumiseen ja kaikkien ravinteiden hyvään liukoisuuteen. Sumutettavan liuoksen hiukkaskoon tulee olla riittävän pieni, joka saadaan aikaan korkeapainepumpun ja pieniauikkoisten suuttimien avulla. Koska suuttimet tukkeutuvat helposti, vaatii järjestelmä tehokkaita suodatusmenetelmiä.

Kelluva viljely perustuu kasvien viljelyyn suoraan ravinneliuoksessa. Kasvit on kiinnitetty esimerkiksi muovista valmistettuihin kelluviin lauttoihin, jolloin juuret ovat osittain ilmassa ja osittain suoraan ravinneliuoksessa. Ravinneliuosta voidaan hapettaa ilmapumpulla. Suurien tuotantomäärien ja liuoksen ravintetasapainon hallinta tehokkaasti on erittäin haastavaa.

Kouruviljely on menetelmä, jossa vesi ja ravinteet virtaavat ohuena filminä kourun pohjalla. Kouruviljelyssä kasvi kasvaa pienessä taimiruukussa, joka tukee kasvia ja ruukussa oleva kasvualustamateriaali pitää juuriston kosteana. Nesteen määrä kourussa pidetään vähäisenä, jotta muodostuvan juurimaton yläosa saa happea. Kourut on kallistettu muutaman asteen, jotta ravinneliuos pääsee virtaamaan painovoimaisesti. Tällä hetkellä kouruviljely on yleisin ja tehokkain tapa viljellä salaatteja ja yrttejä. Menetelmä on myös pitkälle automatisoitu.

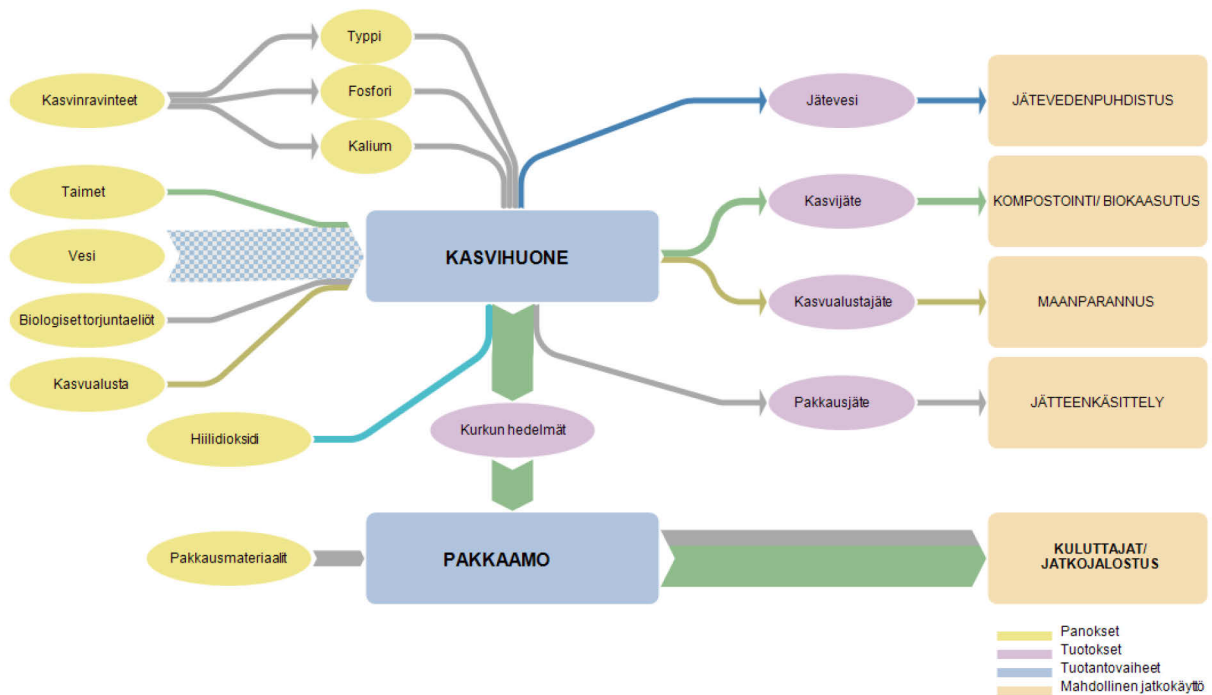
Akvaponinen viljely (aquaponics) yhdistää kiertovesikasvatuksen ja kasvien viljelyn. Akvaponisessa viljelyssä kiertovesikasvatuksen vettä ja/tai partikkelisuodatuksessa syntynyttä lieteveettä johdetaan kasvituotantoon. Ekstensiivisessä akvaponisessa tuotannossa kasveille johdettu liuos voidaan palauttaa takaisin kalankasvatukseen, mutta todennäköisemmin se kannattaa poistaa tuotantojärjestelmistä. Periaatetta voidaan soveltaa lähes kaikissa kasvien ja kalojen viljelyä yhdistävissä vesiviljelymenetelmissä. Yksityiskohtainen tekninen toteutus voi kuitenkin vaihdella, koska viljelykasvien ravinnevaatimukset optimoidussa tuotannossa eivät välttämättä ole yhteneviä kalojen kiertovesiviljelyssä syntyvien ravinnemäärien ja niiden liukenevuuden suhteen. Tyypillisesti kasvatusliuokseen jouduttaisiin lisäämään ravinteita ja toisaalta vedessä voi olla kasvien kannalta melko paljon mm. natriumia. Mikäli kiertovesikasvatuksen lieteveettä käytetään kasvituotantoon, se tulee ensin hydrolysoida kasveille paremmin käyttökelpoiseen muotoon. Veden ja ravinteiden lisäksi kiertovesikasvatuksen ja kasvihuonetuotannon yhdistämisessä saattaisi olla synergiaa lämpötaloudessa, kiertovesikasvatuksessa syntyvän hiilidioksidin hyödyntämisessä sekä infran ja työvoiman hyödyntämisessä. Tämän hankkeen puitteissa Martin (2017) laati tuoreen katsauksen akvaponisten järjestelmien eduista ja haasteista.

5.1. Tarkastellun kasvihuonetuotannon materiaalivirrat

Hankeessa päätettiin tarkastella kasvihuonekurkun ympärivuotista kasvatusta yhden hehtaarin suuruisessa kasvihuoneessa kalanviljelyn rinnalla. Kurkun ympärivuotisessa kasvatuksessa tavoitteena on tavallisesti kolme neljän kuukauden mittaista tuotantojaksoa. Oletuksena on, että taimet ostetaan valmiina ja uusitaan kolmesti vuodessa väli-istuttaen, jolloin tuotanto on lähes jatkuvaa. Sato korjataan 2–3 kertaa viikossa. Keskisadoksi oletettiin 2,5 kg/viikko/m², jolloin tuotanto olisi 120 kg/m² vuodessa.

Kuvassa 8 ja taulukossa 5 on esitetty hankkeessa tarkastellun kasvihuoneen keskeisimmät materiaalivirrat. Arviot määristä perustuvat keskimääräisiin arvioihin. Tuotantopanoksia työvoiman ja energian ohella ovat taimet, vesi, kasvialustana käytettävä turve tai kivivilla, ravinteet, hiilidioksidi ja biologiset torjuntaeliöt. Yhden hehtaarin kokoisen kasvihuoneen keskimääräinen vuosisato on 1 200 tonnia kurkkua. Kurkut pakataan muoviiin ja aaltopahvilaatikoihin.

Kurkun tuotannon sivutuotteena muodostuu kasvijätettä 210 tonnia vuodessa. Kasvijäte voidaan kompostoida tai käyttää biokaasun tuotannossa. Tuotannosta syntyvä kasvialustajäte voidaan käyttää maanparannusaineena pelloilla (turve) tai maanrakentamisessa (kivivilla). Kasvialustana käytettävää turvelevyä peittää tavallisesti muovikalvo, josta syntyy muovijätettä. Jäteveden määrä on tavallisesti hyvin pieni, koska kasvihuoneissa vesi ja siinä olevat ravinteet kierrätetään oman puhdistamon kautta. Kasvihuoneen vuotuinen vedenkulutus on noin 20 000 m³.



Kuva 8. Kasvihuoneviljelyn keskeisimmät materiaalivirrat. Yli 1,5 milj. kg/l virrat on kuvattu rasteripinnalla.

Taulukko 5. Kasvihuoneviljelyn vaiheiden laskennalliset panokset ja tuotokset tarkastelluissa vaihtoehdoissa.

PROSESSI 1			
		Arvioinnissa käytetty suhdeluku	VE1
Panokset	Taimet		
	Kurkku	2,5 tainta/m ²	25 000 tainta
	Kasvinravinteet yhteensä		10 238 kg
	Typpi (mg nitraatti-N/l)	4 025,0 kg/ha/v	4 025 kg
	Fosfori	700,0 kg/ha/v	700 kg
	Kalium	5 512,5 kg/ha/v	5 513 kg
	Vesi	20 000 m ³ /ha	20 000 m ³
	Hiilidioksidi	200 t/ha	200 t
	Kasvualusta	3,2 turvelevyjä kpl/m ² /v	32 000 kpl
	Biologiset torjuntaeliöt		hyvin pieniä määriä
	Lämpö	0,3 MWh/m ²	3 000 MWh
	Sähkö (valo)	1,45 MWh/m ²	14 500 MWh
	Pakkausmateriaalit		
	pahvi	Pahvilaatikko 370g/10 kg	44 400 kg
kelmu	2,3g/kpl (450 g)	6 240 kg	
Tuotokset	Myytävät kasvit		
	Kurkku	120 kg/m ² /v	1 200 tn
	Kasvijäte	21 kg/m ² /v	210 000 kg
	Jätevesi	3000 m ³ /ha	3 000 m ³
	Kasvialustajäte	600 m ³ /ha	600 m ³
Muovijäte (kasvialustan päällinen)		ei arvioitu	

6. Konseptin energiantarve ja energiantuotannon vaihtoehdot

Tässä luvussa on tarkasteltu ekosysteemikonseptin energiantuotannon eri vaihtoehtoja ja arvioitu konseptin sisältämien arvoketjujen energiankulutusta.

6.1. Kalankasvatuksen energiankulutus

Kalankasvatuksen energiantarve riippuu voimakkaasti tuotantotavasta. Tässä tarkastellaan kalankasvatuksen osalta aiemmin kuvattua vaihtoehtoa VE1, jossa yhdistyvät perinteinen verkkoallaskasvatus, kalanpoikasten tuotanto kiertovesilaitoksessa ja kalojen talvisäilytys maa-altaissa.

Perinteinen verkkoallaskasvatus vie melko vähän energiaa. Sen energiankulutus muodostuu lähinnä veneiden polttoaineesta, kun kasvatusaltille kuljetaan kalojen ruokinnan ja rakenteiden huollon ja kunnossapidon takia. Polttoaineen kulutukseksi on Laitakarın Kala Oy:n ympäristölupahakemuksessa arvioitu 6000 litraa vuodessa. Kevyen polttoöljyn ja dieselin energiasisältö on noin 10 kWh/l, jolloin meriallaskasvatuksen energiantarve olisi vuodessa 0,06 GWh.

Talvisäilytys maa-altaissa vaatii veden jatkuva pumppausta ja ajoittain mahdollisesti lämmitystä veden alijäähtymisen estämiseksi. Talvisäilytettävän kalan määrän on arvioitu olevan enintään 500 000 kg/v, josta maa-altaissa säilytettäisiin noin 300 000 kg/v. Veden tarve maa-altaissa on 1–2 l/s kalatonna kohden. Ympäristölupahakemuksen mukaan vedenoton tarve marraskuun alun ja toukokuun lopun välisenä aikana olisi enimmillään 200 l/s, mutta käytännössä vettä tarvitaan vähemmän. Energialaskelmassa on arvioitu, että pumppausmäärä olisi keskimäärin 100 l/s ja pumppausaika 7 kk vuodessa. Lupahakemuksen mukaan vesi pumpataan merestä 3–4 metrin syvyydeltä 200–300 metrin etäisyydeltä. Häviöt huomioon ottaen pumpun tehontarpeeksi arvioitiin 6 kW. Näin ollen talvisäilytyksen vaatiman pumppauksen energiantarve olisi 0,03 GWh vuodessa. Pumpattavaa vettä on lisäksi lämmitettävä sellaisina päivinä, kun on riski, että merivesi alijäähtyy, jolloin putkistot ja pumput jäätyisivät. Talvella 2016–17 tehdyn automaattisen lämpötilaseurannan tulosten perusteella veden lämpötila ottosyvänteen pohjalla voi käydä alle nollan lähinnä joului- ja tammikuussa, satunnaisesti helmikuussa ja vain erittäin harvoin marras- ja maaliskuussa. Mittaukset tehtiin puolen tunnin välein marraskuun puolivälistä maaliskuun alkupäiviin saakka. Laskelmassa asetettiin tavoitteeksi nostaa veden lämpötila +0,5 °C:een aina, kun se oli mittausten perusteella alle nollan. Näillä oletuksilla veden lämmitykseen kuluisi energiaa noin 0,36 GWh vuodessa. On oletettu, että lämmitys hoidetaan imuputkeen asennetulla lämmityskaapelilla, joten kaikki talvisäilytyksen vaatima energiankulutus olisi sähköä. Mittausten perusteella energiantarpeen on oletettu jakautuvan niin, että helmikuussa tarvitaan alle 5 % kaikesta lämpöenergiasta ja loppukulutus jakautuu likimain tasan joului- ja tammikuun kesken.

Kiertovesikasvatus vaatii laitoksessa veden pumppausta, hapetusta, puhdistusta ja jäähdytystä, jotka kuluttavat sähköä. Laitosrakennuksen lämmitystarve on vähäinen. Laskelmassa on oletettu, että tarvittava lämpöenergia tuotettaisiin lämpöpumpuilla, joita voidaan hyödyntää myös jäähdytyksessä. Näin ollen kaikki SIBE-konseptin kiertovesilaitoksen kuluttama energia olisi myös sähköä. Luonnonvarakeskuksen kokoamien tietojen perusteella kiertovesilaitosten energiankulutus on 3–5 kWh/tuotettu kalakilo (nykyisissä laitoksissa voi olla suurempikin) tai 2–5 kWh/käytetty rehukilo. Tarkastellussa vaihtoehdossa laitoksen poikastuotannon kapasiteetiksi on arvioitu 360 000 kg/v, jolloin kiertovesikasvatuksen kokonaissähköntarve keskimääräisellä energiantarpeella arvioituna olisi 1,44 GWh vuodessa. Laitoksen teknisillä ratkaisuilla ja käytöllä voi olla merkittävä vaikutus energiankulutukseen ja sen jakautumiseen kuukausittain.

Kasvatettujen kalojen käsittely perkaamossa kuluttaa energiaa mm. tilojen lämmitykseen ja jäähdytykseen, erilaisten koneiden ja laitteiden käyttöön ja jään tuotantoon. Tilojen lämmitykseen tarvittavan energian osuus on vähäinen. Myös perkaamon osalta on oletettu, että tarvittava lämpö-

energia tuotettaisiin lämpöpumpuilla, joita hyödynnettäisiin myös tuotantotilojen jäähdytyksessä. Luonnonvarakeskuksen asiantuntija-arvion mukaan perkaamo kuluttaa sähköenergiaa 0,16 kWh/kg käsiteltyä kalaa eli yhteensä 0,16 GWh vuodessa.

Kuten edellä on esitetty, laskelmissa on oletettu, että kalankasvatuksen energiantarve koostuu sähkökulutuksesta lukuun ottamatta meriallaskasvatuksen polttoaineen kulutusta. Yhteenvedo sähköenergian tarpeesta on esitetty taulukossa 6. Kokonaissähkökulutus on arviolta 2 GWh vuodessa. Lisäksi meriallaskasvatuksen veneliikenteen energian tarve on alle 0,1 GWh polttoöljyä tai dieseliä.

Taulukko 6. Arvio konseptin kalankasvatuksen sähköenergiankulutuksesta.

Tuotantovaihe	Tuotanto	Suurimmat energian käyttökohteet	Sähkön kulutus
	kg		GWh
Talvisäilytys maa-altaissa	300 000	Veden pumppaus ja lämmitys	0,4
Kiertovesilaitos	360 000	Veden pumppaus ja jäähdytys, kiinteistön lämmitys	1,4
Perkaamo	1000 000	Jääntuotanto ja kylmätilat, kiinteistön lämmitys	0,2
		YHTEENSÄ	2,0

6.2. Kasvihuonetuotannon energiankulutus

Ympärivuotinen ja osittain tekovalotukseen perustuva kasvihuonetuotanto on pinta-alaa kohti tarkasteltuna energiantensiivisempää kuin perinteinen luonnonvalotuotanto, koska energiaa tarvitaan lämmityksen lisäksi valotukseen (Taulukko 7). Toisaalta energiankäyttö tuotekiloa kohti eli energiatehokkuus saattaa olla jopa pienempi ympärivuotisessa tuotannossa kuin luonnonvalotuotannossa.

Erytisesti ympärivuotisen kasvihuonetuotannon energiankulutukseen, energiatehokkuuteen ja tuotannon aiheuttamaan ilmastovaikutukseen vaikuttavat käytettävä energiantuotantotapa, viljelmän maantieteellinen sijainti, kasvihuoneen rakenteelliset ratkaisut, tuotannossa olevan kasvilajin valo- ja lämpötilavaatimukset, tuotanto- ja viljelytekniikka ja satomäärä (Yrjänäinen ym. 2013, Kaukoranta ym. 2014, Särkkä ym. 2017). Esimerkiksi yleisesti viljeltyjen vihanneskasvien valovaatimuksissa on suuria eroja. Kurkun viljelyssä valon tarve on 300–400 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, tomaatilla 200–300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ja salaateilla 100–200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Vähemmän valoa vaativien kasvien viljely kuluttaa luonnollisesti vähemmän energiaa, vaikka valotuksen merkittävä vähentäminen saattaa jonkin verran lisätä lämmityksen tarvetta. Yksittäisen kasvilajin viljelyssä pyritään valotuksen intensiteetti ja päivittäinen kesto säättämään siten, että viljely on mahdollisimman energiatehokasta, mutta myös taloudellisesti kannattavaa. Energiatehokkuutta voidaan hallita valotuksen lisäksi säätelemällä vuosittaista tuotantoaika ja -rytmiä, muuttamalla huoneen lämpötilaa ja jopa ottamalla käyttöön uusinta energian varastointi- ja talteenottotekniikkaa. Nykyisin eri kasvihuonetuotteiden ilmastovaikutus eli hiilijalanjälki on mahdollista laskea ja optimoida Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT:n (nykyään osa Luonnonvarakeskusta) kehittämällä [verkkolaskurilla](#).

Taulukon 7 perusteella ympärivuotisessa tuotannossa olevan kasvihuoneen, jonka pinta-ala on yksi hehtaari ja jonka valotuksessa käytetään perinteisiä korkeapainenaatriumvalaisimia, energiankulutus voi olla vuodessa jopa 19 000 MWh. Energiasta yli 80 % kuluu valotukseen. Tuotantomäärään suhteutettuna energiantarve on 8–10,7 kWh tuotettua satokiloa kohti. LED-valaisimien käyttö säästäisi taulukon mukaan noin kolmanneksen valotukseen kuluvaista energiasta. Toisaalta korkeapainevalaisimien tuottama hukkalämpö vähentää lämmitystarvetta. Uuden, 120 m^2 :n sähkölämmitteisen pientalon sähkökulutus on noin 19 500 kWh vuodessa (Valkeakosken Energia Oy, www.sähkönkulutus.fi, viitattu 21.9.2017), joten tyypillistä nykytekniikkaa edustavan, yhden hehtaarin kasvihuoneen energiankulutus vastaa siis lähes tuhatta sähkölämmitteistä pientaloa. Ledien hinta on vielä toistaiseksi liian korkea, että niiden käyttäminen olisi liiketaloudellisesti kannattavaa, joten

tässä hankkeessa päätettiin tarkastella perinteistä valotusratkaisua. Näin ollen taulukon 7 keskimääräisillä arvoilla laskettuna yhden hehtaarin kasvihuoneen kokonaisenergiantarve olisi vuodessa noin 17,5 GWh, josta 14,5 GWh kuluisi valotukseen ja 3 GWh lämpöön (Taulukko 8). Jos oletetaan, että 120 m²:n omakotitalon kokonaislämmöntarve on vuodessa noin 15 000 kWh, vastaa tässä tarkastellun kokonaiskonseptin lämmöntarve mittakaavaltaan reilun 200 omakotitalon vuosikulutusta. On kuitenkin huomattava, että uuden tekniikan käyttöönotolla voidaan jopa puolittaa perinteisen kasvihuoneen energian kulutus. Kasvihuoneyrityksen menestymisen kannalta on kuitenkin tärkeää, että uuden tekniikan hyödyntäminen perustuu liiketaloudelliseen kannattavuuteen eikä pelkästään energian säästöön.

Taulukko 7. Erialaisten kasvihuonetuotantoratkaisujen energiantarpeet ja kasvihuonekaasupäästöt (Kaukoranta ym. 2011).

Tuotantoratkaisu	Satotaso	Valotus	Lämmitys	Energian kulutus	CO ₂ -päästö
	kg/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/kg	kWh/kg
A Luonnonvalotuotanto	40–50	0	500–600	10–12,5	0–3,9
B Nykyinen ympärivuotinen	150–200	1400–1500	200–400	8–10,7	0–2,3
C B + kesällä jäähdytetty	190–220	1400–1500	100–450	6,8–8,4	0–1,8
D C + tehokkaampi LED-valotus	210–240	900–1000	200–450	6,7–8,1	0–1,7
E D + 2-kertainen kate, jäähdytys ympäri vuoden	210–240	900–1000	0–175	5,8–7,3	0–1,5

Taulukko 8. Yhden hehtaarin kurkkukasvihuoneen energiantarve eri tuotantoratkaisuiilla.

Tuotantoratkaisu	Satotaso	Sato	Valotus	Valotuksen energiankulutus	Lämmitys	Lämm. energiankulutus	Energian kulutus yht.
	kg/m ²	kg	kWh/m ²	GWh	kWh/m ²	GWh	GWh
A Luonnonvalotuotanto	45	450000	0	0	550	5,5	5,5
B Nykyinen ympärivuotinen	175	1750000	1450	14,5	300	3	17,5
C B + kesällä jäähdytetty	205	2050000	1450	14,5	275	2,75	17,25
D C + tehokkaampi LED-valotus	225	2250000	950	9,5	325	3,25	12,75
E D + 2-kertainen kate, jäähdytys ympäri vuoden	225	2250000	950	9,5	87,5	0,875	10,375

6.3. Konseptin kokonaisenergiankulutus ja energiankulutuksen vaihtelu

SIBE-hankkeessa tarkastellun, kalankasvatuksen ja kasvihuonetuotannon muodostaman konseptin kokonaisenergiantarve arvioitiin olevan 19,6 GWh, josta sähkön osuus on lähes 85 %. Kasvihuone kuluttaa noin 90 % kaikesta konseptin tarvitsemasta energiasta (Taulukko 9).

Taulukko 9. Tarkastellun kalankasvatuksen ja kasvihuonetuotannon muodostaman konseptin kokonaisenergiatarve.

	Polttoaine, GWh	Sähkö, GWh	Lämpö, Gwh	Yhteensä, GWh
Kalankasvatus	0,1	2,0	0	2,1
Kasvihuonetuotanto	0	14,5	3,0	17,5
Energiankulutus yhteensä	0,1	16,5	3,0	19,6

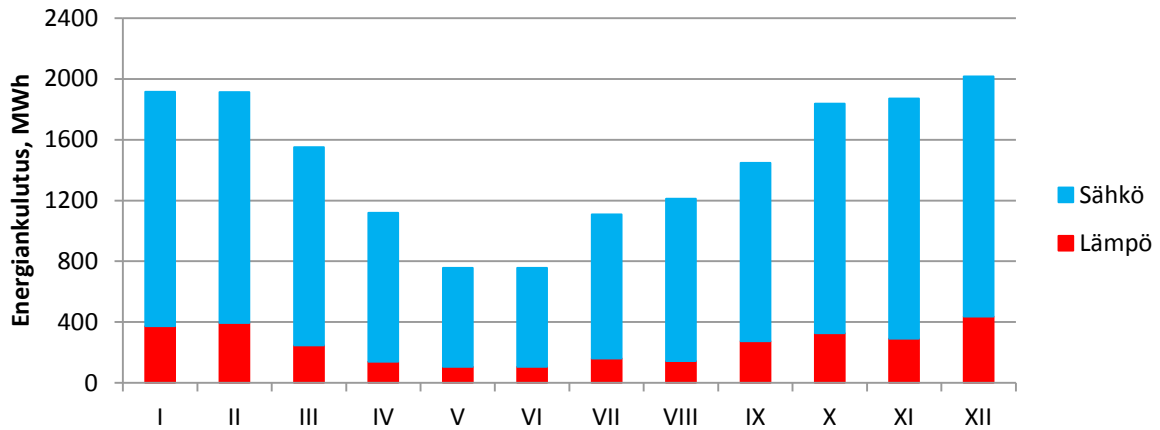
Konseptin oman energiantuotannon mitoittamiseksi täytyy arvioida, miten energiankulutus vaihtelee kuukausittain. Kasvihuoneen energiankulutusta ympärivuotisessa kurkun tuotannossa ovat tutkineet Kaukoranta ym. (2014). Tutkimuksessa käytettiin valotusta aina, kun auringonsäteily määrä oli alle 150 W/m², mutta kuitenkin enintään 18 tuntia vuorokaudessa. Noin kolme neljäsosaa lamppuista oli kasvustojen yläpuolella ja neljäsosa kasviritvien välissä. Kasvihuoneen lämpötila pidettiin vähintään 19 °C:ssa. Tutkimuksessa oli kolme jaksoa: kevät (helmi–toukokuu), kesä (touko–syyskuu) ja syys (syys–tammikuu). Jokaiselle jaksolle istutettiin uudet kurkuntaimet, ja jaksojen välissä pidettiin muutaman viikon tauko. Tutkimus siis kuvastaa todellista viljelykiertoa realistisesti. Mitatut kuukausittaiset kurkun tuotantomäärät ja lämpö- ja sähköenergian kulutukset tuotettua kiloa ja tuotantopinta-alaa kohti yleisesti käytetyssä tuuletetussa kasvihuoneessa on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Kurkun tuotantomäärät ja lämpöenergian ja valotuksen aiheuttaman sähköenergian kulutukset kurkun ympärivuotisessa tuotannossa tuuletetussa kasvihuoneessa, jossa valotusteho oli 230 W/m². Energiankulutukset on laskettu Kaukorannan ym. (2014) esittämien tulosten perusteella. Tutkimuksessa pidettiin kasvatusjaksojen välissä tauot helmi- ja syyskuussa, joten niiltä kuukausilta ei ole artikkelissa tuloksia. Tähän taulukoon helmi- ja syyskuun arvot on interpoloitu taulukkoon viereisten kuukausien lukemista (merkitty huomiovärillä).

	Sato	Lämpö	Sähkö	Lämpö	Sähkö	Lämpö	Sähkö
	kg/m²kk	MJ/kg	(valotus) MJ/kg	kWh/kg	(valotus) kWh/kg	kWh/m²	(valotus) kWh/m²
Tammi	13	18	40	5,0	11,2	65,5	145,6
Helmi	20,5	12	25	3,4	7,0	68,9	143,5
Maalis	22	7	20	2,0	5,6	43,1	123,2
Huhti	22	4	15	1,1	4,2	24,6	92,4
Touko	22	3	10	0,8	2,8	18,5	61,6
Kesä	22	3	10	0,8	2,8	18,5	61,6
Heinä	20	5	16	1,4	4,5	28,0	89,6
Elo	18	5	20	1,4	5,6	25,2	100,8
Syys	18	9,5	22	2,7	6,2	47,9	110,9
Loka	17	12	30	3,4	8,4	57,1	142,8
Marras	13	14	41	3,9	11,5	51,0	149,2
Joulu	13	21	41	5,9	11,5	76,4	149,2

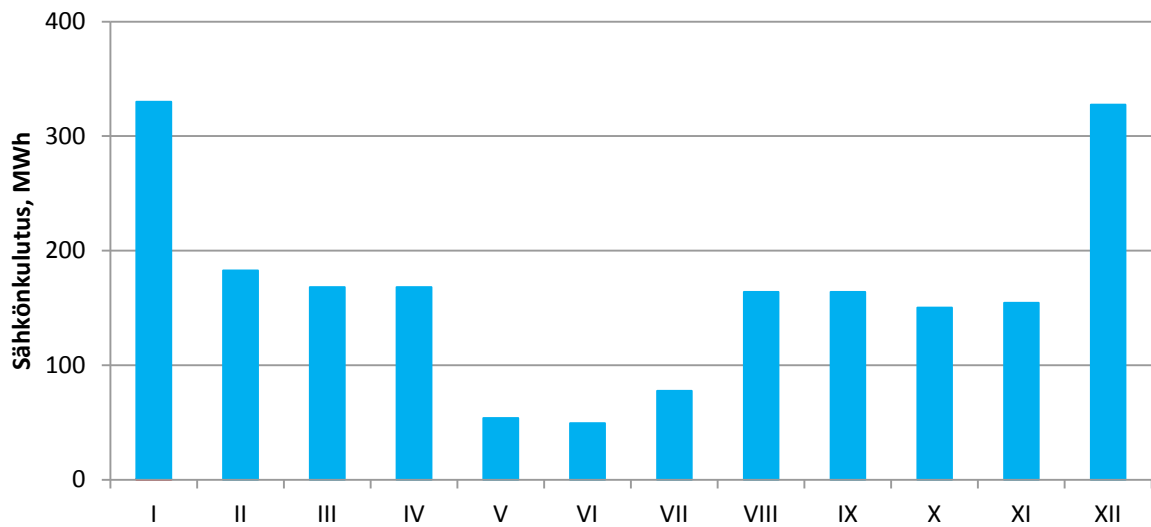
Kuvassa 9 on esitetty arvio SIBE-hankkeen konseptin mukaisen kasvihuoneen energiankulutuksen kuukausijakaumasta. Tässä on oletettu, että lämpöenergian kulutus 3 GWh ja sähköenergian kulutus 14,5 GWh jakautuvat kuukausien välille prosentuaalisesti samalla tavalla kuin edellisessä taulukossa 10. Suurin kulutus tarkastellussa yhden hehtaarin kurkkukasvihuoneessa ajoittuu joulukuulle, jolloin sähkönkulutus olisi noin 1,6 GWh ja lämmönkulutus reilut 0,4 GWh. Kuva osoittaa, että energiaa voitaisiin säästää merkittävästi vähentämällä sähkön käyttöä eli kasveille annettavan tekovalotuksen määrää (=valotusaika x valon intensiteetti). Tällä hetkellä kotimaisessa ympärivuotisessa

viljelyssä käytettävä tekovalotuksen määrä perustuu pääsääntöisesti kokemusperäiseen tietoon. Siispä tarvittaisiin mahdollisimman paljon uusia numeerisia tutkimustuloksia siitä, paljonko eri kasvien sato alenee vai aleneeko lainkaan, jos valotusta vähennetään vaikkapa kevät- ja kesäaikaan, jolloin luonnonvalo on eniten. Myös älykkäiden valotusjärjestelmien tehokas hyödyntäminen pienentäisi mitä todennäköisimmin nykyistä sähkön käyttöä.



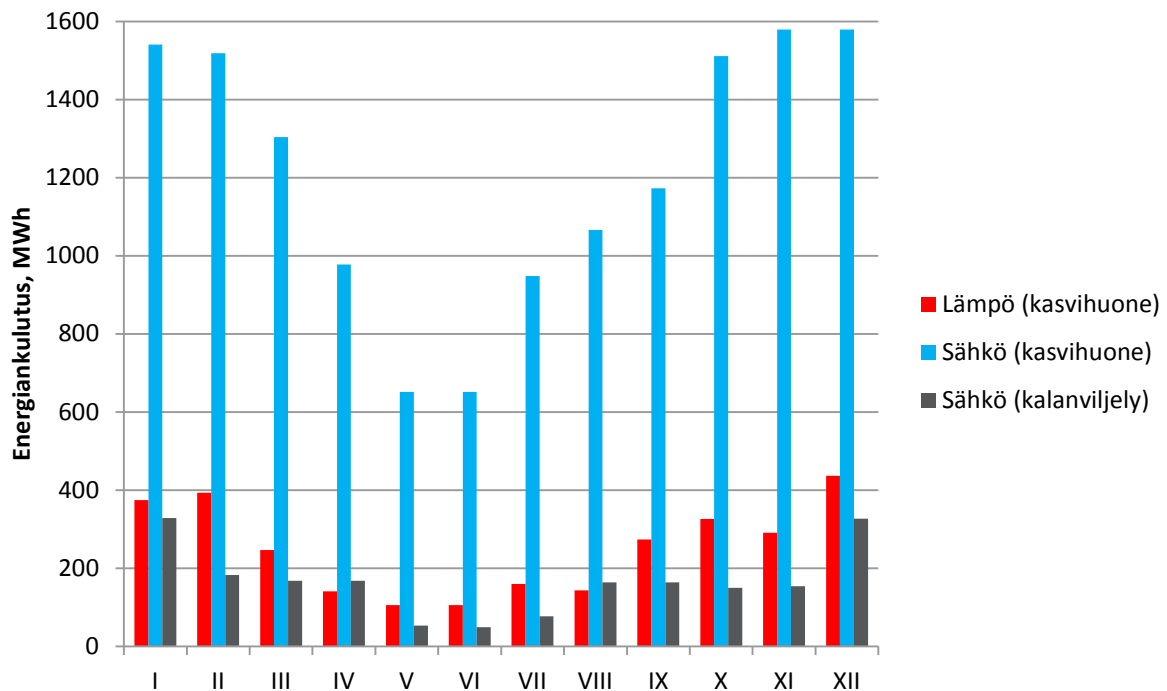
Kuva 9. SIBE-hankkeen konseptin mukaisen, ympärivuotisen, yhden hehtaarin kurkkukasvihuoneen arvioitu energiankulutuksen kuukausijakauma.

Kalanviljelyn energiankulutuksen jakauman arvioinnissa on otettu huomioon kiertovesilaitoksen, talvisäilytyksen ja perkaamotoiminnan energiantarpeen vaihtelu. Kiertovesikasvatuksen energiankulutuksen jakautumisesta vuoden ympäri ei ole olemassa koottua tietoa. Kun tässä vaiheessa ekosysteemiin suunnitellusta laitoksesta ja sen käytöstä ei ole suunnitelmia olemassa, sähkön tarpeen vaihtelua voidaan arvioida vain hyvin karkeasti. Tässä on oletettu, että syksystä kevääseen laitosta käytetään tasaisesti kirjolohen poikastuotannossa, toukokuussa laitos tyhjenee kirjolohen poikasista ja on touko-heinäkuussa vähäisellä tuotannolla esimerkiksi siian kasvatuksessa. Näillä perusteilla arvioitiin, että touko-heinäkuussa laitos kuluttaisi yhteensä 10 % koko vuoden sähkön tarpeesta ja loppu kulutus jakautuisi tasaisesti muille kuukausille. Kalojen talvisäilytyksen sähkönkulutuksen jakaumaa arvioidessa oletettiin, että vettä pumpataan maa-altaisiin tasaisesti koko säilytysajan ja alijäähtymisen estämiseksi tarvittava lämmitys kuluttaa joului- ja tammikuussa kummassakin 48 % ja helmikuussa 4 % lämmityksen sähkötarpeesta. Perkaamon sähkönkulutuksen oletettiin jakautuvan niin, että perkaussesonkeina helmi-huhtikuussa ja heinä-syyskuussa kuluisi 75 % perkaamon kokonaissähkönkulutuksesta ja loppu neljännes jakautuisi muiden kuukausien osalle tasan. Arvio SIBE-hankkeen konseptin mukaisen kalanviljelyn sähkönkulutuksen kuukausijakaumasta on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. SIBE-hankkeen konseptin mukaisen kalanviljelyn arvioitu energiankulutuksen kuukausijakauma.

Koko konseptin energiankulutuksen jakauma on esitetty kuvassa 11. Suurimmillaan energiantarve on tammi- ja joulukuussa, noin 2,3 GWh, josta sähkön osuus on noin 1,9 GWh ja lämmön 0,4 GWh. Vastaavasti näinä vuoden kylmimpinä ja pimeimpinä kuukausina sähkötehoa tarvitaan enimmillään noin 2,6 MW ja lämmitystehoa 0,6 MW.



Kuva 11. SIBE-hankkeen kokonaiskonseptin (kalanviljely + kasvihuone) arvioitu energiankulutuksen kuukausijakauma.

6.4. Konseptin energiantuotannon vaihtoehdot

Energiantuotannon vaihtoehtojen arvioinnin lähtökohdaksi oli, että konseptin tarvitsema energia tuotettaisiin uusiutuvista lähteistä laitosalueella. Lämmöntuotantoon on useita vaihtoehtoja. Se on ratkaistava joka tapauksessa paikallisesti, koska kaukolämpöverkko ei ulotu alueelle. Kiertovesilaitoksen ja kasviuonetuotannon muodostaman konseptin energiantarve koostuu kuitenkin suurimmaksi osaksi ympärivuotisen kasviuonetuotannon vaatiman valotuksen sähkökulutuksesta. Kaikki sähkö-

energia voidaan luonnollisesti ostaa verkosta, mutta hankkeessa tarkasteltiin myös yhdistetyn lämmön- ja sähköntuotannon (CHP) soveltuvuutta. Koska hankkeen tavoitteena oli kehittää bio- ja kiertotalouteen pohjautuvaa liiketoimintakonseptia, fossiilisia energialähteitä ei ole tarkasteltu.

6.4.1. Lämmöntuotanto

Uusiutuvia ja vähäpäästöisiä lämmöntuotantotapoja ovat kiinteät biopohjaiset polttoaineet, biokaasu, lämpöpumput ja aurinkokeräimet. Biopolttoaineista suurten tuotantorakennusten lämmitykseen käytetään nykyään yleisesti metsähaketta, mutta sopivia energian lähteitä voivat olla myös pelletit ja erilaiset peltobiomassat. Käytännössä peltobiomassojen käyttö on Suomessa energiantuotannossa hyvin vähäistä mm. niiden polttotekniikkaan liittyvien ongelmien takia, ja siksi tässä hankkeessa tarkasteltiin vain metsäbiomassojen käyttömahdollisuuksia. Sekä kalankasvatuksessa että kasvihuone- tuotannossa syntyy biokaasun tuotantoon soveltuvia biojätteitä. Tässä yhteydessä arvioitiin niiden biokaasun tuotantopotentiaalia. Lämpöpumppujen käyttö kiinteistöjen lämmityksessä on lisääntynyt hurjaa vauhtia. Niiden suurin käyttökohde ovat pientalot, mutta vähitellen niitä on alettu hyödyntää myös suuremmissa kohteissa. Tässä työssä arvioitiin lämpöpumpputekniikoista maalämpöjärjestelmän soveltuvuutta. Maalämpö voisi soveltua konseptin lämmöntuotantomuodoksi periaatteessa hyvin, koska sitä voidaan käyttää myös tuotantorakennusten tai veden viilentämiseen. Viilennyskäyttöä ei ole tässä työssä kuitenkaan arvioitu. Aurinkokeräimiä ei tässä hankkeessa tarkasteltu, koska niillä saadaan kerättyä lämpöenergiaa lähinnä kesäaikaan, kun lämmityksen ja lämpimän käyttöveden tarve on hyvin vähäistä.

Konseptin peruslämmöntuotantojärjestelmää ei välttämättä kannata mitoittaa huippukulutus- tarpeiden mukaan, koska huipputehoa tarvitaan vain hyvin harvoin, ehkä vain muutamia kylmimpiä päiviä vuodessa. Huipputehon mukaan mitoitettu järjestelmä voi kasvaa turhan suureksi, jolloin se ei normaalikäytössä välttämättä toimi parhaalla hyötysuhteella ja myös sen investointikustannukset kasvavat. Järjestelmä kannattaa suunnitella niin, että huipputehon tuottamiseen varaudutaan jollain lisäjärjestelmällä, joka on tarvittaessa nopeasti otettavissa käyttöön. Kasvihuone- tuotannossa käytetään tähän tarkoitukseen nykyisin usein kevyttä polttoöljyä tai maakaasua.

Metsäbiomassojen käyttö Suomen kasvihuoneviljelyn energiantuotannossa on kasvanut voimakkaasti 2000-luvulla. Puupolttoaineilla tuotetun energian määrä on yli kaksinkertaistunut ja sen osuus on kasvanut 10 %:sta yli viidennekseen vuodesta 2006 vuoteen 2014. Samalla aikajaksolla öljyn käyttö on romahtanut 75 %. Hakkeen osuus käytetyistä puupolttoaineista on yli 80 %, kun pelletin osuus on vain 7 % (Luonnonvarakeskus 2015).

Sekä hake- että pellettilämmitysjärjestelmät ovat kasvihuoneille hyviä vaihtoehtoja, koska ne mahdollistavat biomassapohjaisen polttoaineiden käytön ja lämmityksen täydellisen automatisoinnin. Hake tehdään karsitusta tai karsimattomasta kokopuusta, hakkuutähteistä, kannoista tai muusta puujätteestä (Bioenergianeuvoja.fi 2017). Hake on kosteaa (kosteusprosentti 40–55 %), ja se sisältää energiaa 0,7–1,0 MWh/irto-m³. Pelletti taas valmistetaan teollisesti puristamalla kuivasta sahanpurusta, höylänlastusta tai hiontapölystä, joten se on huomattavasti kuivempaa kuin hake (kosteusprosentti 8–10 %) ja sen energiatiheys on noin nelinkertainen hakkeeseen verrattuna (Metsäkeskukset 2008).

Hakelämmitysjärjestelmä koostuu lämmityskattilasta, hakevarastosta ja hakkeen siirtojärjestelmästä. Kattilassa voi olla varajärjestelmänä esimerkiksi öljypoltin tai sähkövastukset. Pellettilämmitysjärjestelmään kuuluvat kattila, pellettipoltin, varastosilo ja pelletin siirtojärjestelmä (Metsäkeskukset 2008). Stokeripoltin tarjoaa monipuolisimmat mahdollisuudet erilaisten biopolttoaineiden käytölle, ja voi siksi olla hyvä vaihtoehto enemmän energiaa kuluttavissa kohteissa, koska sillä voi kustannustehokkaasti polttaa kulloinkin halvinta polttoainevaihtoehtoa (Bioenergianeuvoja.fi 2017).

Hakelämmitys tarvitsee suuremmat varastotilat kuin pelletti tai hakevarastoa täytyy täydentää useammin, koska sen kulutus on huonomman energiatheyden takia pellettiä selvästi suurempaa. Hakkeen laatua määritellään kolmella kriteerillä: hakkeen kosteusarvolla, laadun tasaisuudella sekä

palojen koolla. Laadun vaihtelu voi vaikuttaa lämmityksen toimivuuteen. Tasainen laatu ja oikea palakoko takaavat lämmitysjärjestelmän luotettavan toiminnan ja puhtaan palamisen. Kosteuden kasvaessa hakkeen kulutus kasvaa ja kattilan hyötysuhde heikkenee. Hyvälaatuisen hakkeen kosteusprosentti on alle 30 %. Yli 55 % kosteaa haketta ei kannata polttaa lainkaan. Hyvin kostea hake voi myös holvaantua, homehtua tai jäätyä varastossa. Pellettilämmityksen etuna hakkeeseen verrattuna on polttoaineen tasainen laatu. Myös pellettien siirtojärjestelmä voi olla hakkeen siirtolaitteita kevytrakenteisempi, ja siksi se on jonkin verran edullisempi. (Metsäkeskukset 2008, Bioenergianeuvoja.fi 2017)

Hakelämmitysjärjestelmän investointikustannukset ovat yleensä pellettilämmitystä korkeammat, mutta polttoaineena hake on edullisempaa. Syyskuussa 2017 metsähakkeen hinta käyttöpaikalla oli 16,82 €/MWh, kun pelletin hinta oli 26,39 €/MWh (Metsälehti 2017). Pitkällä aikavälillä, ja erityisesti jos lämpöenergian tarve on suuri, hake on pellettiä halvempi lämmitysmuoto.

Hakelämmitys vaatii enemmän huoltopäivystystä ja voi olla työlämpi ylläpitää kuin pellettilämmitys (Määttä 2017). Kalanviljely- tai kasvihuoneyrittäjien ei ole välttämättä mielekästä itse toimia lämpöenergian tuottajana, vaan järkevä vaihtoehto voisi olla lämpöenergian hankinta lämpöyrittäjältä, joka huolehtii lämpökeskuksen toiminnasta ja hankkii tarvittavat polttoaineet. Yrittäjä saa tuloa tuotetun energian perusteella. Lämpökeskus voi olla kiinteistön omistajan tai lämpöyrittäjän omaisuutta (Motiva 2017b).

Biokaasua syntyy eloperäisen aineksen mätänemisen lopputuloksena. Mätänemistä tapahtuu luonnossa hapettomissa oloissa. Biokaasusta 55–75 % on metaania ja 25–45 % hiilidioksidia. Muiden aineiden osuudet ovat hyvin vähäisiä. Periaatteessa kaikki orgaaninen aines voidaan mädättää, mutta tekniikka sopii parhaiten helposti hajoaville aineksille. Biokaasua voidaan käyttää lämmöntuotannon polttoaineena kaasukattiloissa tai kaasumoottorissa lämmön ja sähkön tuottamiseksi tai jalostaa liikennepolttoaineeksi. Biokaasun raaka-aineeksi soveltuvat monenlaiset biomassat, jotka voivat olla maatalouden, yhdyskuntien tai teollisuuden jätteitä tai sivutuotteita. Biokaasulaitokset voivat toimia märkinä tai kuivina prosesseina ja olla joko jatkuvatoimisia tai panostoimisia. (Motiva 2013, Kymäläinen & Pakarinen 2015)

Suomen ja Ruotsin virallisissa puutarhatilastoissa ei ole mainittu yhtään kasvihuoneyritystä, joka käyttäisi biokaasua energialähteenä (Luonnonvarakeskus 2015, Jordbruksverket 2015). Kuitenkin ainakin yksi biokaasua hyödyntävä kasvihuoneyritys Suomessa on. Juvalla Turakkalan Puutarha Oy ostaa sähköenergiaa noin 1400 MWh ja lämpöenergiaa noin 2000 MWh vuodessa vieressä sijaitsevalta Juvan Bioson Oy:n biokaasulaitokselta. Yrityksen biokaasureaktoriin syötetään sen osakastilojen tuottamaa lietelantaa ja kanan kuivalantaa, porttimaksullista vihannesjätettä, rasvanerotuskaivojen lietteitä ja viherrehua. Myös leipomojätteen vastaanottoa on testattu. Ympäristöluvan mukaan laitos on mitoitettu maksimissaan 19 500 tonnin vuotuiselle jätemäärälle. Biokaasulaitoksen sijainti mahdollistaa myös mädätyksessä syntyvän hiilidioksidin käytön kasvihuonetuotannossa. Ylijäämä sähkö myydään paikalliselle sähköyhtiölle. Mädatejäänös kuljetetaan takaisin osakastiloille lannoite- ja maanparannuskäyttöön (Juvan Bioson Oy 2017, Itä-Suomen aluehallintovirasto 2010).

Hankkeessa tarkasteltiin, kuinka paljon kalankasvatuksen ja kasvihuonetuotannon muodostamasta kokonaiskonseptista syntyy biohajoavaa jätettä ja kuinka paljon siitä olisi saatavissa biokaasua ja energiaa. Arvioinnissa käytettiin entisen Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT)(nykyään osa Luonnonvarakeskusta) kehittämää [Biokaasulaskuria](#). Sen avulla voidaan eri syötteistä saatavissa olevaa metaanimäärää ja vertailla eri energiantuotanto- ja hyödyntämismuotojen kannattavuutta. Laskurin laskelmat perustuvat keskimääräisiin arvoihin, ja sen antamat tulokset ovat suuntaa-antavia. Biokaasulaitoksen tuotot, kulut ja investointikustannukset ovat aina tapauskohtaisia. SIBE-hankkeen konseptin mukaisen kalanviljelyn ja kasvihuonetuotannon arvioidut biojättemäärät on esitetty taulukossa 11. Biokaasutukseen soveltuvia jätteitä syntyy konseptissa noin 1770 tonnia vuodessa.

Taulukko 11. Konseptin tuotannossa syntyvät biojättemäärät. Kasvihuonetuotannossa on oletettu, että kaikki biojäte vastaisi kaasuntuotoltaan vihannesten naatteja. Kala- ja perkuujätteen sekä vihannesjätteen koostumuksen ja kaasuntuoton osalta on käytetty laskurin oletuksia. Kiertovesilaitoksen tiivistetyn lietteen oletetaan sisältävän kuiva-ainetta 5 %, ja orgaanisen osuuden kuiva-aineesta on oletettu olevan 95 %.

Syöte	Määrä, tonnia/vuosi
Kala- ja perkuujäte	
Perkaamon perkuujätteet	197,5
Kuolleet kalat	
kiertovesilaitos	3,5
meriallaskasvatus	6
talvisäilytys	3,5
Vihannesten naatit	210
Kiertovesilaitoksen liete	1350
Syötteet yhteensä	1770,5

Laskurissa asetettiin oletus, että biokaasulaitoksessa olisi sekä reaktori että jälkikaasuuntumislaitos, joka lisää laitoksen kaasuntuotantoa. Laitoksen metaanintuotto olisi laskurin arvion mukaan noin 41 000 m³/v, josta 47 % syntyisi kiertovesilaitoksen lietteistä, 39 % kala- ja perkuujätteestä ja 14 % vihannesten naateista. Sen energiansisältö olisi noin 410 MWh. Jos koko kaasumäärällä tuotettaisiin lämpöä 90 %:n hyötysuhteella, lämpöenergiaa saataisiin noin 369 MWh. Tästä biokaasulaitoksen oma kulutus veisi noin 70 MWh, joten muiden rakennusten lämmittämiseen jäisi 300 MWh eli vain reilut 11 % konseptin kokonaislämmöntarpeesta.

Biokaasulaskurin arvioimat laitoksen investointikustannukset olisivat noin 220 000 euroa. Jos kaikki kaasu käytettäisiin lämmöntuotantoon korvaamaan ostoenergiaa, laitoksen taloudellinen vuosituotto oli noin 23 000 euroa, kun laskennassa käytettiin laskurin lämpöenergian oletushintaa 0,08 €/kWh eikä otettu huomioon laitoksen käyttö- ja huoltokustannuksia. Biokaasulaskurin arvion mukaan biokaasulaitos ei olisi näillä syötemäärillä kannattava. Kannattavuutta voitaisiin parantaa, jos ravinnerikas mädätysjäännös saataisiin myytyä esim. lähiseudun maataloilille. Joka tapauksessa konseptissa syntyvillä biojättemäärillä laitoksen koko jäisi pieneksi, ja sen tuottamalla energialla voitaisiin kattaa vain hyvin vähäinen osuus koko konseptin energiantarpeesta. Biokaasulaitos tarvitsisi huomattavasti enemmän syötettä, kuten maatalojen lantaa tai peltobiomassoja, että investointia kannattaisi harkita. Lähiseudulla on kuitenkin aktiivituloja hyvin vähän, joten syötteen saaminen olisi hyvin epävarmaa ja mädätysjäännöksen myyntimahdollisuudet pienet. Näin ollen biokaasulaitosinvestointia ei voida pitää järkevänä suunnitellulle sijaintialueelle.

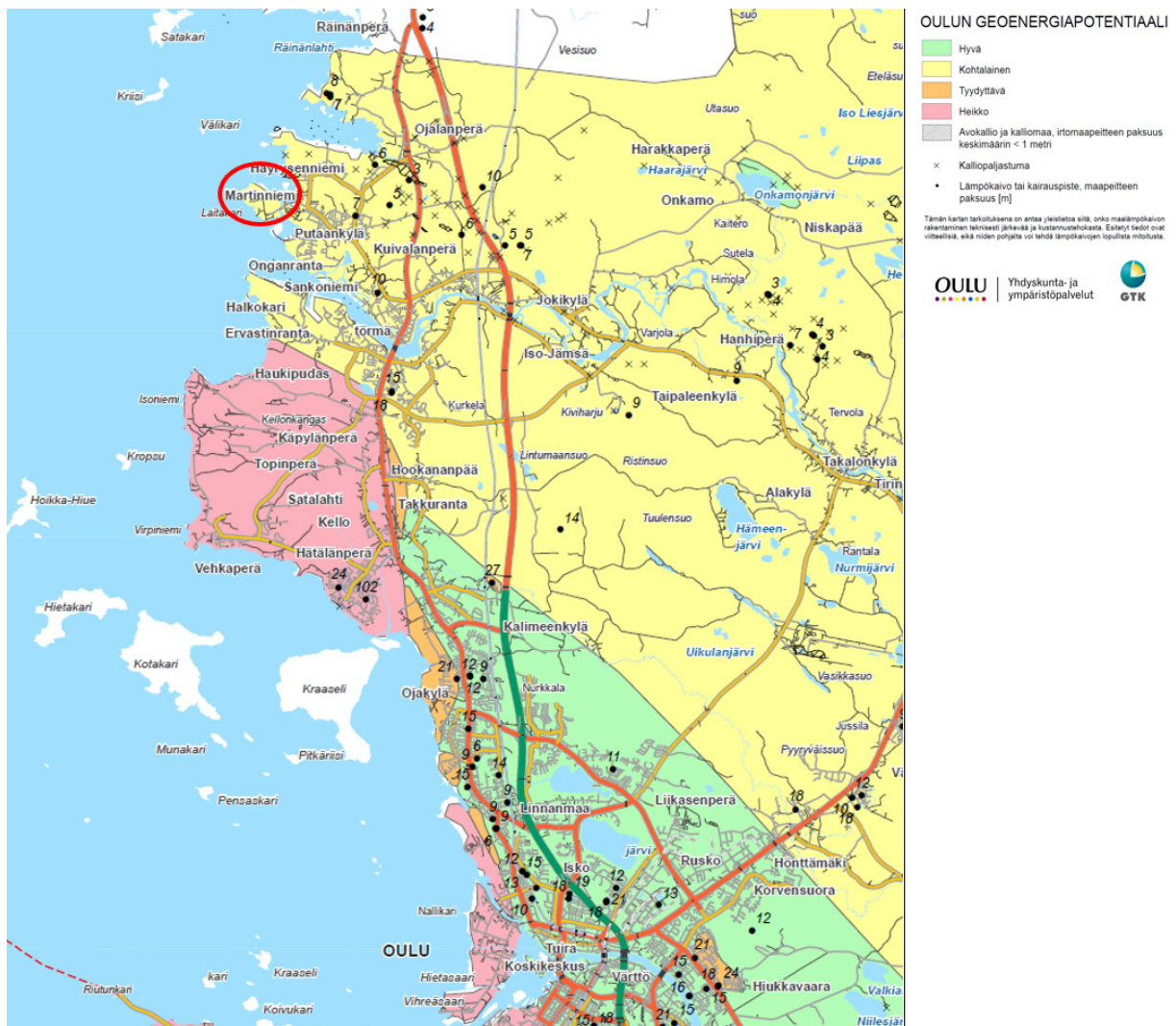
Maalämpöpumppu kerää maaperään, kallioon tai veteen varastoitunutta auringon lämpöä. Suurin osa kohteista toteutetaan kallioon porattavilla lämpökaivoilla. Keruuputkiston asennus maanpintaan on myös mahdollista, mutta se vaatii suuren pinta-alan. Vesistöön asennetusta keruuputkistosta voidaan puolestaan ottaa suurempia tehoja ja energiamääriä kuin vastaavasta maaputkituksesta, koska veden lämmönsiirto-ominaisuudet ovat parempia kuin maaperän (Motiva 2017c).

Lämpöpumpun hyötysuhdetta kuvaa lämpökerroin, joka kuvaa, kuinka paljon enemmän lämpöä pumppu tuottaa verrattuna sen kuluttamaan sähköön. Jos lämpöpumpun lämpökerroin on 3, se kuluttaa 1 kWh sähköä siirtotyöhön, jonka avulla pumppu tuottaa 3 kWh lämpöenergiaa (Motiva 2017d).

Hyvinkin suuriin kohteisiin on jo toteutettu maalämpöratkaisuja, mm. kerrostaloihin, sairaaloihin, liike- ja logistiikkakeskuksiin ja teollisuusrakennuksiin. Kasvihuoneissa maalämmitystä on käytetty toistaiseksi vielä harvoin. Suomen kasvihuoneilastoissa ei ole eritelty yhtään maalämpökohdetta, mutta muutamaan kasvihuoneeseen maalämpöjärjestelmiä on rakennettu. Puutarhaliiton tiedossa olevista kasvihuoneiden maalämpöjärjestelmistä Suomessa suurin on kooltaan 600 kW (Tuominen 2017). Ruotsissa oli uusimpinen, vuotta 2014 koskevien maataloustilastojen mukaan 23 maalämpöä

hyödyntävää kasviuoneyritystä, joissa maalämmöllä tuotettiin lämpöenergiaa yhteensä noin 5 400 MWh. Vuoden 2011 tilastoissa ei Ruotsissa ollut vielä yhtään maalämpöä käyttävää kasviuoneyritystä, joten maalämpö on alkanut lisääntyä siellä nopeasti. Eniten maalämpöä käytetään kasviuoneissa kokoluokaltaan 2 000–4 999 m², joissa maalämmöllä tuotettua lämpöenergiaa käytettiin yli 3 000 MWh. Ruotsissa on käytetty maalämpöä myös yli hehtaarin kasviuoneissa. Tilastoista ei käy ilmi, minkä tyyppisissä kasviuoneissa ja minkä kasvien tuotannossa maalämpöä on käytetty (Jordbruksverket 2015).

Maalämmön soveltuvuutta arvioitaessa täytyy ottaa huomioon maa- ja kallioperän geoenergian tuotantopotentiaali. Geologian tutkimuskeskus (2013) on tehnyt arvion Oulun kaupungin alueen geoneergiapotentiaalista. Selvityksen mukaan konseptin suunnittelussa sijaintipaikassa Laitakarissa maa- ja kallioperän energiapotentiaali olisi kohtalainen (Kuva 12). Todellinen lämmöntuotokyky on isoissa kohteissa aina varmistettava tekemällä koelämpökaivo, josta tuottoa voidaan mitata. Maalämpöjärjestelmän vaatima kaivomäärä ja niiden syvyys ja tarvittava maalämpöpumppujen teho mitoitetaan koemittausten perusteella.



Kuva 12. Ote [Oulun geoneergiapotentiaalikartasta](#) (Geologian tutkimuskeskus 2013). Kartta antaa yleistietoa siitä, onko maalämpökaivon rakentaminen teknisesti järkevää ja kustannustehokasta. Konseptin suunniteltu sijaintialue Laitakari on merkitty karttaan ympyrällä.

Maalämpöpumpun tehoa ei kannata mitoittaa kattamaan kohteen huippulämmitystehontarvetta vaan noin 60–80 prosenttiin rakennuksen mitoitustehosta. Tällöin järjestelmän kustannustehokkuus on parempi ja kompressorin käyttöikä pitenee (Motiva 2017c). Huipputehontarve voidaan tuot-

taa esimerkiksi maalämpöpumpun lisälämmitysvastuksella tai öljy- tai kaasukattilalla, niin kuin kasvihuoneissa nykyisin usein toimitaan. Niiden etuna ovat edulliset investointikustannukset ja helppokäyttöisyys. Isossa maalämpöjärjestelmässä lisätehon tuotannossa voitaisiin käyttää myös erilaisia biomassakattiloita, mutta investointi voi olla öljyyn ja kaasuun verrattuna selvästi kalliimpi, joten se ei välttämättä ole kilpailukykyinen vaihtoehto.

Maalämmön tuotantokustannukset ovat edulliset, koska ne koostuvat vain pumpun kuluttamasta sähköstä. Maalämmön alkuinvestointi on kuitenkin usein suurempi verrattuna muihin lämmöntuotantomuotoihin. Siksi esim. kasvihuonetuotannossa maalämmön hankinnan esteeksi voivat nousta yritysten investointirahoituksen rajalliset saantimahdollisuudet.

Konseptin suurin lämmitystehon tarve on joulukuussa 590 kW. Jos maalämpöjärjestelmä mitoitettaisiin kattamaan 60–80 % kasvihuoneen huipputehon tarpeesta, lämpöpumppujen yhteistehon tulisi olla noin 350–470 kW. Tällainen järjestelmä riittäisi kattamaan kaiken lämpöenergian tarpeen joulu-, tammi- ja helmikuuta lukuun ottamatta, jolloin tarvittaisiin lisätehoa kylmimpien päivien varalle.

Tämän kokoluokan maalämpöjärjestelmän investointikustannuksia ja sitä kautta kannattavuutta on mahdotonta arvioida ilman koelämpökaivon porausta ja TRT-mittausta. TRT- eli terminen vastetestti on mittaus, jolla voidaan määrittää maalämpökentän kannalta oleelliset kalliion termiset ominaisuudet (kalliion lämmönjohtavuus, kalliion häiriintymätön lämpötila, porakaivon vastus), jotka vaikuttavat merkittävästi kallioperästä saatavissa olevaan energiaan. Testikaivon poraus antaa myös tärkeää tietoa kallioperän porattavuudesta sekä pintamaakerroksen paksuudesta (Lapon Oy 2017). Osatehollekin mitoitettuna tässä kokoluokassa kyseessä olisi satojentuhansien eurojen investointi. Konseptin sijaintialueella Laitakarissa voisi tulla kyseeseen myös lämmönkeruuputkiston asentaminen vesistöön, joka olisi todennäköisesti lämpökaivoja edullisempi vaihtoehto. Esteenä voivat kuitenkin olla jokisuun jää- ja virtausolot, vesiliikenteen vaatimat kulkuväylät ja väylien ja sataman vaatimien rakenteiden kunnossapito. Maa- ja vesistölämmön hyödyntämismahdollisuuksiin liittyy paljon avoimia kysymyksiä, jotka vaativat tarkempia lisäselvityksiä suunnitellulla sijaintialueella.

6.4.2. Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto

Koska erityisesti ympärivuotinen kasvihuonetuotanto kuluttaa sähköä todella paljon, voisi sähkön ja lämmön yhteistuotanto (CHP, combined heat and power) olla potentiaalinen vaihtoehto SIBE-hankkeen konseptille. CHP-tuotantolaitokset voidaan jaotella koon perusteella kolmeen eri kokoluokkaan: mikro-CHP, pien-CHP ja suuren kokoluokan CHP-laitokset (Takalo 2013). SIBE-hankkeen konseptin lämmön ja sähkön tarpeet voitaisiin kattaa pien-CHP-kokoluokan laitoksella.

Biopolttoaineita energialähteenä käyttävät pien-CHP-laitokset voidaan jakaa tuotantotekniikan perusteella neljään perustekniikkaan: polttomoottorit ja kaasuturbiinit, höyryturbiinit ja muut höyryvoimalaitteet, välittäjäaineisiin liittyvät tekniikat ja polttokennot. Polttomoottoreihin ja höyrykoneisiin ja -turbiineihin perustuvat tekniikat ovat jo laajasti käytössä ja markkinoilla on useiden valmistajien laitoksia, mutta osa edellä mainituista tekniikoista on vielä kehitysasteella. Osassa tekniikoista kiinteitä biopolttoaineita voidaan käyttää sellaisenaan, kuten höyryturbiineissa, joissa höyryntuotanto tapahtuu erillisessä kattilassa, kun osa perustuu biomassan kaasutukseen. Sähkön ja lämmön yhteistuotannon kokonaishyötysuhde on yleensä 80–95 %. Esimerkiksi polttomoottoreilla CHP-laitosten sähköhyötysuhde on 25–40 % ja lämpöhyötysuhde 45–50 % (Takalo 2013, Karjalainen 2012).

CHP-tuotannon haasteena on, että erityisesti lämmölle täytyy olla riittävästi kysyntää. Ylijäämänsähkö voidaan aina syöttää sähköverkkoon, mutta laitoksen tuottamalle lämmölle pitäisi olla oma käyttötarve tai sille pitää olla asiakas, joka ostaa lämpöenergian (Karjalainen 2012). CHP-laitosten suunnittelussa on järkevää olla lähtökohtana kohteessa tarvittava lämpöenergian määrä, jolloin syntynyt sähkö on periaatteessa sivutuote. Laitos mitoitetaan lämpöenergian tarpeeseen verrattuna osateholle, ja huipputehon aikainen tarve on varauduttava tuottamaan jollain muulla lämmitysjärjestelmällä. Koska pien-CHP-laitosten investointikustannukset voivat olla huomattavan suuria, laitokselle

pitäisi saada mahdollisimman suuri käyttöaika ja energian tuotantomäärä vuodessa, että se tulee taloudellisesti kannattavaksi (Hirvonen 2013).

Sähkön pientuottajien, joiden tuotannon nimellisteho on yli 100 kVA, ei tarvitse maksaa sähköveroa itse tuottamastaan ja käyttämästään sähköstä, jos sähköntuotanto on enintään 800 MWh vuodessa. Jos em. tuotantoraja ylittyy, kaikesta vuoden aikana tuotetusta sähköstä peritään vero. Kaikkien yli 100 kVA:n nimellistehoisten sähkön tuottajien ja varavoimakoneiden omistajien tulee rekisteröityä verovelvolliseksi Verohallinnolle. Aina kun sähkö siirretään sähköverkon kautta, sähkön kuluksi siirtävä verkonhaltija kantaa siitä sähköveron. Sähköntuottajan verkkoon luovuttamasta sähköstä ei veroa peritä (Verohallinto 2016). Jos sähköntuotanto jäisi alle em. verorajan, oman sähköntuotannon kannattavuus olisi tietysti parempi, mutta silloin vain hyvin pieni osa vuoden kokonaissähkönkulutuksesta voitaisiin kattaa omalla tuotannolla. Niin pienimuotoinen tuotanto ei taas välttämättä olisi kannattavaa korkeiden investointikustannusten vuoksi. Polttoaineen hinta muodostaa valtaosan energian tuotantokustannuksista CHP-laitoksissa. Oman sähköntuotannon kannattavuutta kasvihuoneviljelyssä heikentää se, että verottomanakin tuotetun sähkön verohyöty jää esim. muuta maataloustuotantoa pienemmäksi, koska ammattimainen kasvihuoneviljely kuuluu teollisuuden kanssa edullisempaan sähköveroluokkaan 2. Niiden ostama sähköenergia on veroedun takia noin 1,5 snt/kWh edullisempaa kuin veroluokassa 1, johon kuuluvat muu maataloussektori, kotitaloudet, julkinen sektori ja palvelutoiminnot. Veroluokassa 1 sähkövero on 2,253 snt/kWh, kun veroluokassa 2 se on 0,703 snt/kWh (Valtiovarainministeriö 2017).

Kalanviljelyn ja kasvihuonetuotannon muodostamassa konseptissa erityisesti kesäaikaan lämmön tarve on hyvin vähäinen, ja jos lämmölle ei ole ulkopuolista ostajaa, CHP-laitoksen hyötysuhde pelkän sähkön tuotannossa on liian alhainen, jotta tuotanto olisi kannattavaa. Näin ollen CHP-laitos ei todennäköisesti ole taloudellisesti kilpailukykyinen nykyisen SIBE-hankkeen konseptin tarpeisiin. Jos suunnitellulle laitosalueelle syntyisi muuta toimintaa, joka voisi hyödyntää enemmän lämpöenergiaa, tilanne voi olla toinen. Hyvä vaihtoehto ylijäämälämmön käyttöön voisi olla esimerkiksi polttoaineena käytettävän hakkeen kuivaus, jolloin ylimääräinen energia varastoituisi hakkeeseen, kun se kosteuspitoisuus pienenee.

7. Työpajatilaisuus

Hankkeen yhtenä toimenpiteenä oli yritysten kartoittaminen hankkeessa suunniteltuun ekosysteemiin ja niiden kontaktointi. Hankkeeseen sitoutettiin yrityksiä sekä haastattelujen ja yhteisen työpajatilaisuuden avulla. Haastatteluja tehtiin kymmenessä eri yrityksessä aikavälillä maaliskuu–toukokuussa 2017. Huomioita haastatteluista:

- Symbioottisen kalan ja kasvien tuotannon ongelmana on eri toimintoja riippuvaisuus toisistaan. Mikäli yksi toiminto pettää, koko systeemi on vaikeuksissa.
- Symbioottisessa kalan ja kasvien tuotannossa synergiaedut kasvihuoneen kannalta ovat vähäiset ja olemassa olevissa symbioottisissa ratkaisuisissa kasvihuoneviljelyä ei ole saatu kannattavaksi liiketoiminnaksi.
- Kotimaiselle kalalle riittää kysyntää ja sen tuotantoa tulisi lisätä.
- Vihanneksista paikallisesti tuotetulle kurkulle ja tomaatille löytyy kysyntää.
- Kuluttajat ovat hyvin hintatietoisia, eikä lähiruoasta voida pyytää kovin paljon korkeampaa hintaa. Luomusta saadaan hieman parempaa katetta.
- Perkuujätteestä erotettavasta öljystä voidaan jalostaa biodieseliä, jonka kysyntä puhtaana polttoaineena tulee todennäköisesti tulevaisuudessa kasvamaan entisestään.
- Perkuujätteen yleisin käyttökohde on turkiseläinten rehuksi.
- Ekosysteemin energiaratkaisuja pohdittaessa tulisi ottaa huomioon myös niiden erilaiset bisnessmallit, kuten leasing- tai joukkorahoitusratkaisut.

Hankkeen työpajatilaisuuden tarkoituksena oli työstää ekosysteemikonseptia yhdessä hankehenkilöstön ja paikallisten yritysten edustajien kanssa. Tilaisuuteen saatiin paikalle yhteensä 24 osallistujaa 16 eri organisaatiosta. Tilaisuuden osallistujalista löytyy liitteestä 3.

Työpajassa esiteltiin tarkastelun kohteeksi valitut arvoketjut, jotka olivat kalankasvatus, kierto-vesilaitos yhdistettynä kasvihuoneeseen, energiantuotanto ja sivuvirrat. Työskentely oli jaettu kahteen vaiheeseen. Lopuksi workshopissa keskusteltiin yritysten mahdollisista tarpeista jatkohankkeelle sekä tulevista toimenpiteistä.

7.1. Työpajan ensimmäinen vaihe

Työpajan ensimmäisessä vaiheessa osallistujat jaettiin kolmeen ryhmään, joista yksi käsitteli kalankasvatuksen arvoketjua, toinen kiertovesilaitoksen ja kasvihuoneen yhdistelmää ja kolmas ryhmä ekosysteemin energiantuotannon eri vaihtoehtoja.

7.1.1. Kalankasvatuksen arvoketju

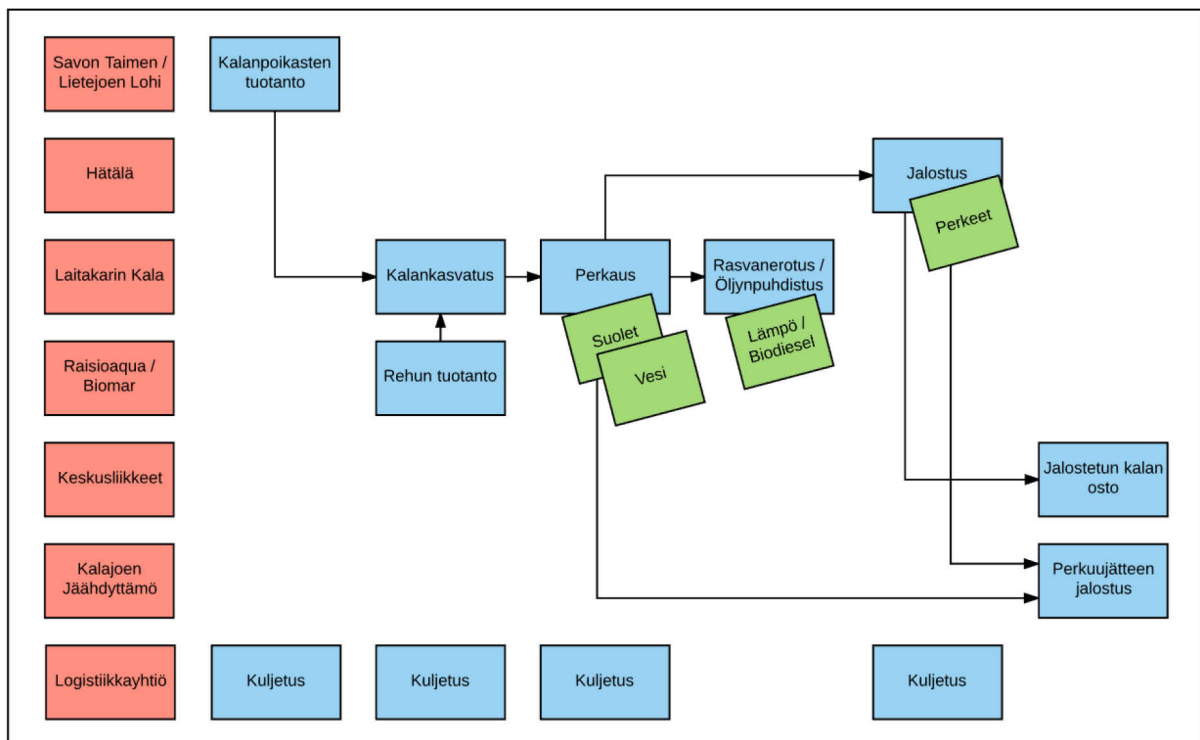
Kalankasvatuksen arvoketjua tutki ryhmä, johon osallistui hankeryhmän jäseniä tuotantotalouden tutkimusryhmästä, CEE:stä ja SYKEstä. Hankeryhmän ulkopuolisia asiantuntijajäseniä paikalla oli Laitakarin Kalalta, Hätälältä, EHP Environmentilta ja Kalajoen Jäähdyttämöltä.

Ryhmässä lähdettiin pohtimaan kalankasvatuksen arvoketjua uimaratakaavion avulla. Ensimmäisenä haasteena ryhmässä huomattiin uimaratakaavion lineaarisuus, vaikka kalankasvatus on luonteeltaan kiertävää, jossa samat toiminnot toistuvat vuosittain ja osittain jopa päivittäin. Ryhmässä päätettiin ottaa tarkastelun kohteeksi yksittäinen kala, jolloin alkupisteeksi pystyttiin valitsemaan poikasen tuonti Laitakariin, ja loppupisteeksi jalostetun kalan päätyminen kaupan hyllylle. Tarkastelussa päätettiin keskittyä pääpainoisesti eri toimijoiden rajatoimintoihin, ja yritysten sisäisiä prosesseja ei tarkasteltu kuin yleisellä tasolla.

Uimaratakaaviossa huomattiin, että ekosysteemin veturiyritys verkkoallaslaitos on keskiössä arvoketjussa, ja lähes jokaisessa toiminnossa Laitakarin kala on linkittyneenä toimintoon joko asiakkaan

tai myyjän roolissa. Kalankasvattamo ostaa jatkuvasti rehua kasvatettaville kaloille, ja uusia kalanpoikasia kasvatettavaksi. Näistä erityisesti rehun ostaminen on niin suuren mittaluokan toimintaa ja yksi isoimmista kuluista, että suhteet rehun toimittajan ja kalankasvattamon välillä ovat erittäin tärkeitä. Kalankasvattamon ydintoiminnoiksi tunnistettiin kirjolohen kasvatus ja perkaus. Perkauksen yhteydessä suolet ja veri poistetaan, ja loppuosa kalasta viedään jatkojalostettavaksi. Jatkojalostuksessa kalasta valmistetaan fileitä ja muita tuotteita, jotka myydään valmiissa pakkauksissa keskusliikkeille jälleenmyytäväksi.

Kalankäsittelyn niin perkauksen kuin jatkojalostuksenkin, yhteydessä syntyy sivuvirtoina perkuu- ja fileerausjätettä. Työpajassa todettiin, että tulevaisuudessa suurin kilpailu alalla kannattavuuden osalta käydään sivuvirtojen hyödyntämisen osalta. Jätteen sijaan sivuvirrat pitäisikin nähdä toisen liiketoiminnan raaka-aineena. Kalankasvatusarvoketjun osalta kalankäsittelyn sivuvirrat ovat käsittelyn tehneen toimijan omaisuutta: perkuujätteet kalankasvattamon ja fileerausjätteet jatkojalostajan. Sivuvirtoja tarkasteltiin työpajassa erillisessä osiossakin, mutta jo tässä vaiheessa lisäarvoa tuotti ymmärrys perkuujätteiden arvosta. Alkuperäisen suunnitelman mukaan suolet myytäisiin suoraan jatkojalostajalle, mutta työpajassa ilmeni, että Oulun alueella on teknistä osaamista ja valmiutta helposti erottaa suolista kalaöljy siten, että jäljelle jäänyt öljytön suolimassa on edelleen jalostettavissa esimerkiksi turkiseläinten rehuksi. Työpajassa laskettiin, että 30 % saantioletuksella pelkästään Laitakarin perkuujätteistä saadaan 60 tonnia öljyä, joka polttamalla vastaa yli viiden omakotitalon lämmitystarvetta. Fileerausjätteiden osalta jatkojalostaja Hätälällä on jo prosessit, joiden avulla sivuvirroista saadaan mahdollisimman hyvää liiketoimintaa. Kalojen päät pystytään myymään Aasiaan, ja muusta fileerausjätteestä irrotetaan einersruokiin käytettävää kalamassaa. Jäljelle jäävät osat myydään tällä hetkellä Kalajoelle jatkojalostettavaksi turkiseläinten rehuksi. Ryhmän tuloksena syntynyt uimaratakaavio on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Kalankasvatuksen arvoketjun mallinnus uimaratakaaviolla.

Ryhmässä pohdittiin mahdollisia synergiaetuja kalankasvatusarvoketjun osalta. Uimaratakaavion yksi merkittävimmistä huomioista oli logistiikan merkitys lähes joka vaiheessa arvoketjua. Kuljetus ei rajoitu pelkästään kalankasvatukseen, vaan sitä tarvitaan myös muualla konseptoidussa ekosyste-

missä, kuten kasvihuoneen tuotannon kuljettamisessa jatkojalostettavaksi. Tällä hetkellä jokainen yksittäinen toimija vastaa omalta osaltaan logistiikasta, eikä mitään yhteistyötä eri toimijoiden kesken ole. Ryhmässä myönnettiin, että yhteinen logistiikka olisi ekosysteemin kannalta järkevää, mutta käytännön toteutuksessa on haasteita. Merkittävimpänä esteenä logistiikan yhdistämiselle on se, että jokainen toimija yrittää minimoida omat logistiikkakustannuksensa, jonka seurauksena yrityksillä on solmittuna omia sopimuksia kuljetusalan yritysten kanssa. Esimerkiksi perkuu- ja fileerausjätteen yhteiskuljetus Kalajoelle hyödynnettäväksi on ongelmallista sen vuoksi, että kuljetuskulut laskutetaan yleensä tuntiperusteisesti, ja vaikka kalankasvattamolla suolimassa olisikin valmiina heti kuljetusrekan saapuessa, voisi jalostamolla rekka helposti joutua odottamaan tunteja, että fileerausjäte saadaan siirrettäväksi. Tämä odottelu kasvattaa kuljetuskustannuksia siten, että logistiikkakulut todellisuudessa voisivat nousta nykytilanteeseen verrattuna. Myös kuljetuskalusto täytyisi logistiikan yhdistämisessä ottaa huomioon, sillä eri tuotteet tarvitsevat erilaiset kuljetustilat. Työpajapohdinnan tuloksena logistiikan yhdistämistä ei nähdä kovinkaan realistisena vaihtoehtona.

Tärkein etu Laitakarin kalankasvattamon kohdalla on sijainti. Myös Oulussa sijaitseva Hätälä onkin jo tehnyt ostosopimuksen Laitakarin kalan kanssa. Lisäksi Pohjois-Pohjanmaalla Kalajoella on toimija, joka on valmis ostamaan sekä kalan perkauksesta, että jatkojalostuksesta syntyvät perkuu- ja fileerausjätteet. Työpajan ryhmä oli yhtä mieltä siitä, että tämän eri yritysten toimipaikkojen välisen yhteyden tulee olla mahdollisimman tehokas, jotta jokainen yritys saisi parannettua kannattavuuttaan.

Fyysinen läheisyys ja hyvät henkilökohtaiset suhteet ovat suurimmat edut kalankasvatuksen arvoketjussa. Fyysinen läheisyys takaa sen, että esimerkiksi logistiikassa saadaan synergiaetuja. Vaikka yhteinen kalusto ei olekaan kovin realistista, niin lyhyet välimatkat tuovat muita etuja. Kalankasvattamon kalat pakataan yleisesti 10–20 kg pakkauksiin, jotka kuljetetaan kalanjalostajalle, mutta Laitakarin tapauksessa jalostaja on niin lähellä, että pakkauksen koot voivat olla jopa 300 kg. Suuremmat pakkauskoost säästävät niin pakkausmateriaalia kuin henkilötyövoimaakin. Samoin turkiseläinten rehunvalmistuksessa hyödytään lyhyistä välimatkoista, sillä tuoreesta kalankäsittelyjätteestä valmistettu rehu käy paremmin kaupaksi, minkä lisäksi vältetään pitempiäaikaisen säilönnän vaatimat työvaiheet ja materiaalihankinnat.

Työpajassa muistutettiin, että kalankasvatuksen arvoketju on yksinäänkin omanlaisensa ekosysteemi, jossa yhden toimijan päätökset vaikuttavat kaikkiin ympärillä oleviin yrityksiin. Keskinäinen luottamus liiketoiminnassa on siksi tärkeää. Keskusliikkeen maksama hinta vaikuttaa siihen, kuinka paljon jalostaja voi maksaa kalankasvattamolle kirjolohesta. Markkinahintaa kalliimmalla ostaminen syö jalostajan kannattavuutta, ja koska kilpailijat joka tapauksessa ostavat kirjolohen halvemmalla, on vaarana putoaminen markkinoilta. Markkinahintaa halvemmalla ostaminen sen sijaan laittaa kalankasvattamon taloudellisiin vaikeuksiin, ja koko kalankasvatus voi vaarantua kannattamattoman liiketoiminnan vuoksi. Luottamuksen ja henkilökohtaisten suhteiden vuoksi tämän hankkeen ekosysteemissä sekä kalankasvattamo että jalostaja pystyvät kuitenkin auttamaan toisiaan esimerkiksi hintojen tasauksella. Kirjolohen hinnassa näkyy jonkin verran kausivaihteluita, ja työpajatyöskentelyn yhteydessä nousi esille ajatus siitä, että jalostaja voisi maksaa hieman matalampaa hintaa, kun hinnat ovat korkealla ja vastaavasti korkeampaa hintaa hintojen ollessa matalalla. Näin kulut ja tuotot olisivat molemmille osapuolille paremmin ennustettavissa.

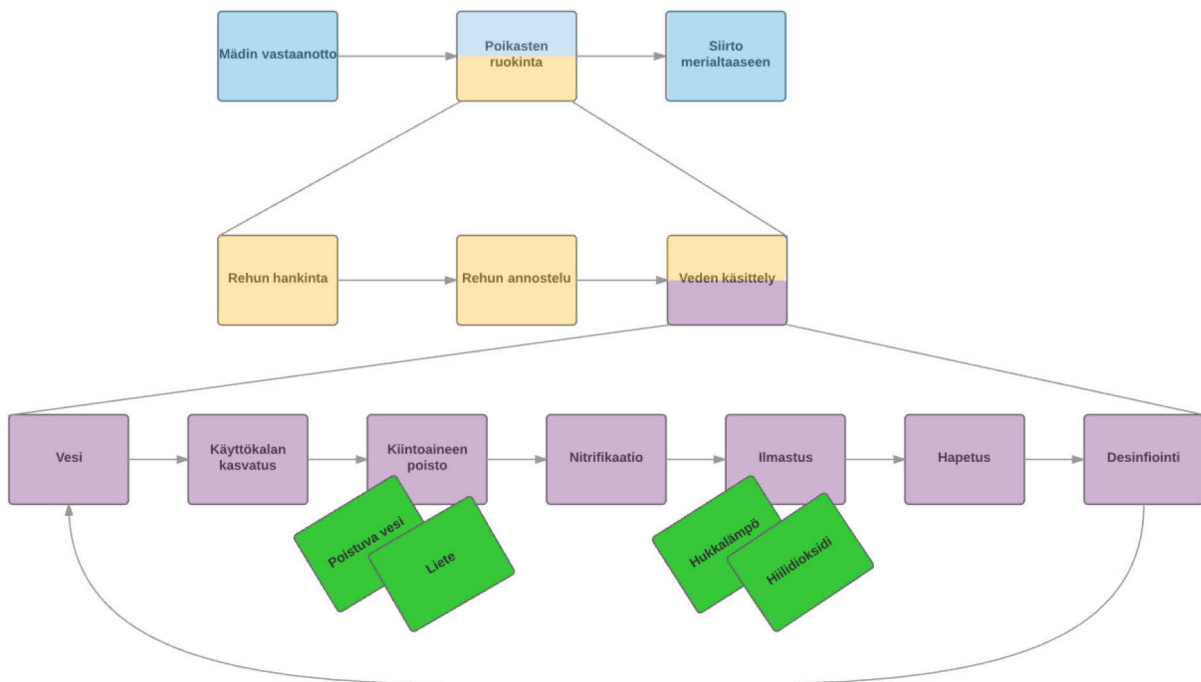
7.1.2. Kiertovesilaitoksen ja kasvihuoneen arvoketju

Kiertovesilaitosta ja kasvihuonetta pohtineessa ryhmässä oli osanottajia jokaisesta hankeryhmän organisaatiosta: yliopiston tuotantotalouden tutkimusryhmästä, CEE:tä, SYKEstä ja Lukesta. Asiantuntijajäseniä ryhmään saatiin Oulun ammattikorkeakoulun, ProAgrian ja Oulun seudun ammattiopiston kautta.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan ryhmän oli tarkoitus lähteä pohtimaan arvoketjuja uimarakaavion avulla. Ensimmäinen ajatus oli määrittää arvoketjut veden kierron näkökulmasta. Tämä

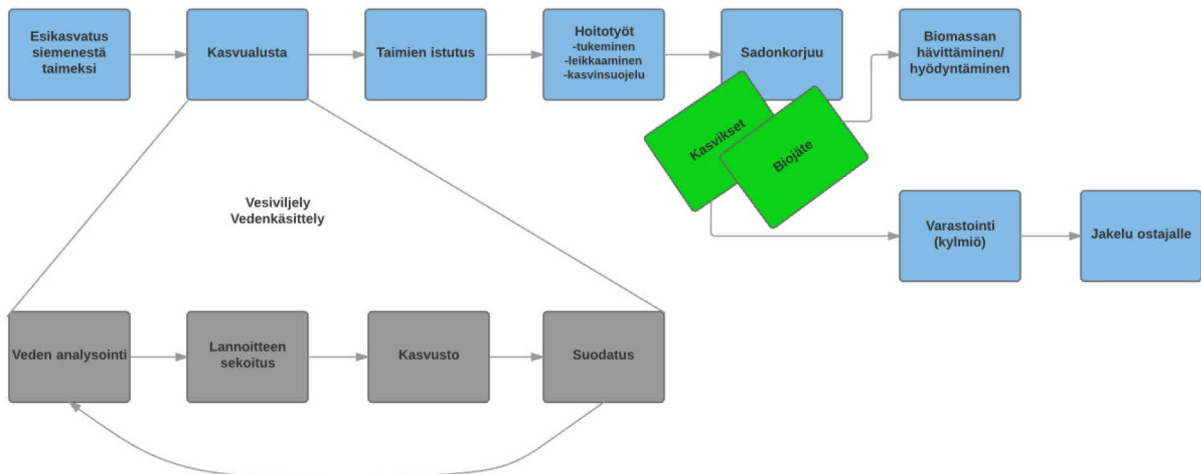
kuitenkin huomattiin huonoksi lähtökohdaksi, sillä kiertovesikasvatuksen ja kasvihuoneen kohdalla toimijoita on suhteellisen vähän, ja kasvihuoneen tarpeet tyydyttävä veden määrä on alle 1 % kaikesta kiertovesilaitoksen vedestä lopun veden kierteessä jopa sata kertaa kiertovesilaitoksen sisällä. Ryhmä päättikin uimaratakaavion sijaan havainnollistaa arvoketjuja yksinkertaistetuilla prosessikaavioilla ottaen huomioon myös prosessien vaatimat syötteet (inputit).

Työpajan ryhmässä käytiin läpi kiertovesilaitoksen ja kasvihuoneen prosessit, joka on kuvattu luvussa 4.2 ja 5. Keskustelujen pohjalta ryhmä luonnosteli arvoketjuille prosessikaaviot, jotka on esitetty kuvissa 14 ja 15.



Kuva 14. Kiertovesikasvatuksen prosessikuvaus.

Kiertovesiviljelyn syötteistä kalanoikasille syötettävä rehu on selvästi suurin kuluerä kattaen lähes puolet koko arvoketjun kustannuksista. Kuten kalankasvatusryhmässäkin huomattiin, on hyvä sopimus rehutoimittajan kanssa ja rehun tehokas käyttö tärkeää kustannusten hallinnan kannalta. Kasvihuonetuotannossa suurin kuluerä sen sijaan on energia, jota vaaditaan yhden hehtaarin kasvihuoneeseen jopa 17 GWh/v, eli nykyisillä markkinahinnoilla energiakustannuksiin menee yli miljoona euroa vuosittain. Energiasta suurin tarve on sähköenergialla, lämpöenergian osuus on huomattavasti pienempi.



Kuva 15. Kasvihuoneviljelyn ja vesiviljelymallin vaiheet.

Synergiaetuja pohtiessa ryhmässä nostettiin esille ajatus siitä, että nykyisen käsityksen mukaan kiertovesi-kasvihuone -yhdistelmässä voisi olla parempi käyttää niin kutsuttua de-coupled-mallia, jossa suljetun kierron sijaan symbiooseja hyödynnettäisiin vain soveltuvien osien. Täysin suljetussa kiertorossa kasvihuone ja kiertovesilaitos joutuisivat molemmat tekemään kompromisseja, ja Martinin (2017) mukaan kasvihuonetuotanto olisi tällaisessa vaihtoehdossa jopa tappiollista. Koska saavutettavat symbioosiedut ovat suhteellisen pieniä, on de-coupled-malli ryhmän mielestä potentiaalisempi ekosysteemiin. Tätä ajatusta tukevat myös uusimmat eurooppalaiset tutkimukset. Ennen työpajaa Kannuksen kauppapuutarhan toimitusjohtaja Aleksi Hauhtonen kertoi puhelinhaastattelussa, että kurkunviljelijälle ainoa aidosti houkutteleva symbioosietu olisi hiilidioksidi, joka sekin on kuitenkin vain 2 % koko kasvihuonetuotannon kuluista. Lisäksi pitää huomioida, että kasvihuoneeseen syötettävän hiilidioksidin pitää olla hyvin puhdasta. Kasvihuoneyrityksen kannalta ekosysteemin tuottaman hiilidioksidin puhtaus herättää epäilyksiä.

Työpajan ryhmässä tultiin siihen lopputulokseen, että jotta ekosysteemi saataisiin toimimaan, olisi tuotantoprosessien väkisin yhdistämisen sijaan keskityttävä ydinliiketoiminnan prosessien hioamiseen mahdollisimman tehokkaaksi ja karsittava kulurakennetta nimenomaan suurimmista menolähteistä. Kiertovesilaitoksen ja kasvihuoneen suurimmat kustannuserät on listattu taulukossa 12. Kiertovesilaitoksen kohdalla kannattavuuden parantaminen tarkoittaa korkeaa käyttöastetta sekä rehun ja energian käytön optimoimista. Kasvihuoneen osalta suurin kuluerä on energia. Nykyiset ratkaisut, kuten led-lamput ja liikkuvat valot, eivät vielä merkittävästi pienennä kasvihuonetuotannon kulurakennetta johtuen korkeista investointikuluista. Työpajassa keskusteltiin voitaisiinko nykyisistä kasvihuoneista luopua kokonaan, ja kasvattaa vihanneksia esimerkiksi energiatehokkaammissa hallissa. Työpajassa tuli esille, että keinovalolla saadaan jopa nelinkertainen kasvihuonetuotanto verrattuna auringon valoon, ja nykyisenlaisia kasvihuoneita joudutaan jäähdyttämään kesäisin. Tämä huomioiden vähemmän energiaa kuluttava viljelytila olisi tutkimisen arvoinen asia. Työpajaryhmä oli yhtä mieltä siitä, että kasvihuoneviljelyssä olisi kysyntää radikaaleille innovaatioille energiatehokkuuteen liittyen.

Taulukko 12. Kiertovesilaitoksen ja kasvihuoneen suurimmat kustannuserät (%-osuus kokonaiskuluista).

Kiertovesilaitoksen input (osuus kokonaiskuluista)	Kasvihuoneen input (osuus kokonaiskuluista)
Rehu (45 %)	Sähköenergia (40 %)
Investointien poistot (20 %)	Henkilöstö (18 %)
Sähköenergia (10 %)	Lämpöenergia (15 %)
Henkilöstö (10 %)	Taimet ja muut tarvikkeet (14 %)
Mäti / poikaset (5 %)	Investointien poistot (6 %)
Vedenkäsittelyn kemikaalit (3 %)	Kasvualusta (4 %)
Happi (2 %)	Hiilidioksidi (2 %)
Muut (5 %)	Vesi ja jätevesi (1 %)

7.1.3. Ekosysteemin energiantuotanto

Energiapuolen käsittelyyn workshopissa osallistui hankehenkilöstöstä jäseniä CEE:stä, tuotantotalouden tutkimusryhmästä ja SYKEstä. Lisäksi ryhmään kuului hankkeen ulkopuolisia asiantuntijoita Oulun ammattikorkeakoulusta, Iin Micropolis Oy:stä, Tyrnävän kunnasta, Macon Oy:stä, Bioterme Oy:stä sekä Oulun Energialta. Ryhmän tarkoituksena oli pohtia eri energiantuotantotapoja ekosysteemin energiantarpeen tyydyttämiselle sekä niiden hyviä ja huonoja puolia. Lähtökohtana tarkasteluun oli tehty arviot ekosysteemin energiantarpeesta. Suunnitellussa ekosysteemissä, joka sisältää verkkoallas- kasvatuksen, kierto-vesilaitoksen ja kasvihuoneen, sähköntarve on moninkertainen lämmöntarpeeseen nähden. Tämä johtuu kasvihuoneesta, jossa valaistukseen menee sähköä suuria määriä. Kasvihuone on muutenkin ekosysteemin energiasyöppö, jonka rinnalla kierto-vesilaitoksen ja verkkoallas- kasvatuksen energiantarpeet ovat varsin pieniä.

Tehtävää tarkastelua rajoittivat useat ekosysteemiin liittyvät asiat, jotka eivät vielä olleet tiedossa. Energiatarpeesta oli tehty arviot koko vuodelle sekä sähkön että lämmön osalta, mutta kuukausijakaumia ei oltu arvioitu. Lisäksi massa- ja energiataseet puuttuivat. Tästä johtuen energiantuotannon mitoitusta oli hankala arvioida. Myös tukimahdollisuudet eri energiantuotantomuodoille oli työpajan aikaan vielä tarkemmin selvittämättä. Eri energiantuotantotapojen arviointiin lähtökohdaksi otettiin oletus, että sähköä tarvitaan noin 1 MW:n jatkuva tuotanto suhteellisen tasaisesti ympäri vuoden ja lämmön tuotantoa noin 0,5 MW tyydyttämään talvikuukausien kulutuspiikki.

Työpajassa arvioitiin, että biokaasulaitos vaatisi ekosysteemin omien jätevirtojen lisäksi valtavan määrän ulkopuolelta tulevaa jätettä ollakseen investointina järkevä. Suunnitellun ekosysteemi sijainnin lähialue tulisi haravoida mahdollisten jätteiden tuottajien löytämiseksi, mutta arvioitiin, että jätteitä tuskin siinä määrin löytyy, että biokaasulaitosinvestointi muuttuisi kannattavaksi. Biokaasutuksessa syntyy hiilidioksidiä, joka voitaisiin kasvihuoneessa hyödyntää, mutta kierto-vesilaitoksesta vapautuva hiilidioksidi pitäisi jo itsessään riittää kasvihuoneelle. Lisäksi pohdittiin mahdollisuutta laimennetun biokaasutuksen rejektin hyödyntämiselle kasvihuoneen lannoituksessa, mutta ravinnesuhteet eivät todennäköisesti ole kasveille optimaalisia.

Maalämmön alkuinvestoinnin arvioitiin olevan noin 300 000 euron luokkaa. Sijainti meren rannalla mahdollistaa myös vesistölämmön käyttämisen, mikä voisi alueen maa- ja kallioperän huomiota ottaen olla maalämpöä järkevämpi vaihtoehto. Myös alkuinvestointi on vesistölämmössä pienempi kuin perinteisessä maalämmössä. Toisaalta ei ole tiedossa kuinka nopeasti ranta paikalla syvenee tai millaisia virtauksia alueella on. Myös jääolot ja vesiliikenteen ja sataman vaatimat rakenteet voivat olla vesistölämmön rakentamisen esteenä. Nämä tekijät voivat merkittävästi vaikuttaa vesistölämmön toteutusmahdollisuuksiin.

CHP-laitoksella voitaisiin tuottaa lämpöä ja sähköä ekosysteemin tarpeisiin, mutta ekosysteemin mittakaavassa CHP-laitosten kannattavuus on hyvin epävarmaa. Sähkön ostaminen verkosta yhdis-

tettynä uusiutuvan energian täydentäviin ratkaisuihin kuten aurinkoenergiaan vaikutti työpajassa alustavastiärkevimmältä vaihtoehdolta. Tuulivoiman tuotantoa alueelle tuskin voidaan toteuttaa paikallisten asukkaiden aiemman vastustuksen takia. Teollisuuden hukkalämmön hyödyntämistä pohdittiin yhtenä vaihtoehtona energiakustannusten pienentämiseksi. Lämmön osuus energiantarpeesta on kuitenkin sähköön verrattuna sen verran pieni, että hukkalämmön hyödyntämisellä saattava hyöty todettiin ryhmän toimesta kokonaisuuden kannalta melko merkityksettömäksi. Tässä hankkeessa tarkastellulla laitospaikalla teollisuuden hukkalämpöä ei ole käytettävissä.

7.2. Työpajan toinen vaihe

Työpajan toisen vaiheen työskentelyyn osallistuivat kaikki tilaisuudessa paikalla olleet. Ensimmäisessä vaiheessa identifioidut sivuvirrat niin kalankasvatuksesta, kiertovesilaitoksesta kuin kasvihuoneestakin otettiin tarkempaan käsittelyyn, ja niiden mahdollisia eri hyödyntämiskohteita arvioitiin. Lopputuloksena nousivat esille kaikkein potentiaalisimmat ja mielenkiintoisimmat hyödyntämiskohteet muutamille merkittävimmille sivuvirroille.

Kalankasvatuksesta syntyvistä sivuvirroista kaikkein merkittävin ovat perkaamosta syntyvät perkuujätteet. Niiden osuus on noin 17 % kalan kokonaismassasta. Perkuujätettä voidaan sellaisenaan hyödyntää turkiseläinten rehuksi tai bioenergiaksi. Bioenergiaksi perkuujätteen käyttäminen sellaisenaan todettiin huonoksi vaihtoehdoksi parempienkin hyödyntämiskohteiden ollessa mahdollisia. Suurin osa kalankasvatuksen perkuujätteistä menee tällä hetkellä turkiseläinten rehuksi, mikä on hyvä perusratkaisu perkuujätteen hyödyntämiselle. Kalajätteestä on mahdollista valmistaa ns. boostereita biokaasutuslaitoksiin, joilla saadaan metaanin tuottoa radikaalisti lisättyä. Saksalaiset ovat tuotteistaneet tämän, ja itse valmistusprosessi ei ole kovin vaativa. Perkuujätteestä on myös mahdollista erottaa kalaöljy, jolle on useita hyödyntämiskohteita. Kalaöljy voidaan esimerkiksi jatkojalostaa biodieseliksi.

Toinen kiinnostava syntyvä sivuvirta on kalojen fileerausjäte, jota syntyy jatkojalostuksessa. Fileerausjäte koostuu kalojen päistä, ruodoista sekä vatsalieberen rasvasta. Fileerausjätettä on mahdollista hyödyntää useisiin eri tarkoitukseen mm. kalaliemikuutioiden valmistukseen. Nykyisin fileerausjätteetkin menevät suurilta osin turkiseläinten rehuksi. Fileerausjätteestä on myös mahdollista erottaa kalaöljy. Fileerausjätteestä saatava kalaöljy poikkeaa perkuujätteestä saatavasta kalaöljystä siinä, että se on mahdollista hygienisoida ja tällöin se soveltuu jalostettavaksi korkeamman arvon tuotteiksi esimerkiksi kosmetiikka- tai elintarviketeollisuuteen. Kalaöljyn hyödyntämistä korkeamman lisäarvon tuotteina ovat käsitelleet tarkemmin Hiidenhovi ym. (2017).

8. Johtopäätökset

Sinisen Biotalous Ekosysteemi – SIBE -hankkeessa lähdettiin hakemaan ratkaisuja kestävämpään kalan- ja kasvien tuotantoon. Hankkeessa kehitettiin uutta konseptia kalankasvatuksen ympärille rakennettavasta ekosysteemistä, jossa useat eri toimijat toimisivat symbioosissa, ja arvioitiin sen toteuttamiskelpoisuutta. Hankkeen aikana osa mietityistä innovatiivisista ratkaisuista osoittautui taloudellisesti kannattamattomiksi ja osasta saatavat hyödyt ovat perinteisiin ratkaisuihin verrattuna niin marginaalisia, että niitä ei ainakaan tällä hetkellä kannata lähteä toteuttamaan. Kasviuoneviljelyn kohdalla suurimmaksi haasteeksi muodostuu kiinnostuneen yrittäjän löytäminen. Kalan ja kasvien tuotannon yhdistämisellä saatavat synergiaedut näyttävät olevan melko marginaalisia johtuen kumman prosessin kannalta tehtävistä kompromisseista. Kasviuoneviljely on lisäksi niin energiantensiivistä, ettei suljetun kierron ratkaisuilla konseptin sisällä kasviuoneen energiantarpeen täyttämisen ole mitenkään mahdollista. Vaikka osa suunnitelluista ratkaisuista vaikuttaa esiselvityksen perusteella olevan kannattamattomia tai symbioosietujen olevan ennakoitua pienemmät, ovat ne tuloksina silti arvokkaita ja voivat säästää yrittäjiä turhalta yrityksen ja erehdyksen kautta tapahtuvalta toiminnalta. Hankkeessa tarkastellun kaltaiset integroidut ratkaisut ovat tällä hetkellä pinnalla, ja useat toimijat eri aloilla pohtivat vastaavien ratkaisujen toteuttamiskelpoisuutta. Niissä kuitenkin piilee omat ongelmansa, ja käytännössä perinteisemmät ratkaisut voivat kuitenkin ainakin vielä tällä hetkellä olla parempia.

8.1. Johtopäätökset materiaalivirtatarkastelusta

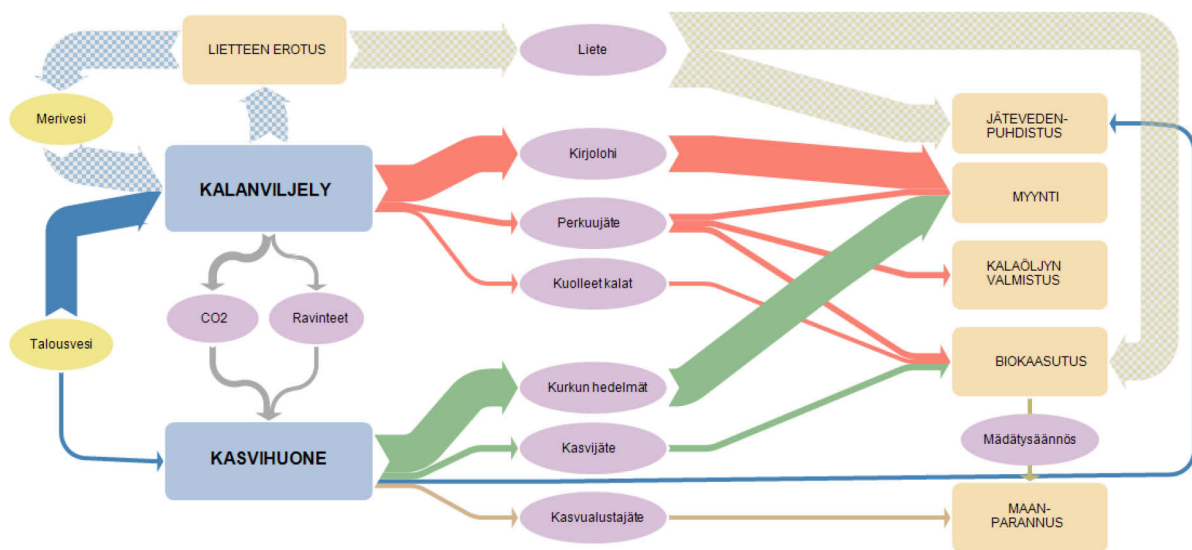
Kuvassa 16 on esitetty vaihtoehdon VE1 mukaisen kalankasvatustarvikkeen (kierto-vesikasvatustarvikkeet + meri- ja maanviljely) ja kasviuoneutuotannon (kurkun ympärivuotinen tuotanto yhden hehtaarin kasviuoneessa) yhteisiä materiaalivirtoja ja sivutuotteiden hyödyntämismahdollisuuksia.

Yhtenä tutkimuskysymyksenä selvitettiin, kuinka merkittäviä synergiaetuja kalankasvatustarvikkeen materiaalivirrat tarjoaisivat kasviuoneutuotannolle. Kalanpoikasten kierto-vesikasvatustarvikkeessa muodostuva hiilidioksidin määrä vastaa 1,35-kertaisesti kuvattua kasviuoneen tarvitsemää määrää. Kierto-vesikasvatustarvikkeesta poistuva vuotuinen vesimäärä on noin 106 600 m³ vuodessa. Hehtaarin suuruisen kasviuoneen käyttämä vesimäärä on tästä vain viidesosa. Poistovesi sisältäisi nitraattityyppiä 1,7-kertaisesti kasviuoneen tarvitseman määrän mutta alle kolmasosan fosfaattifosforin tarpeesta. Kierto-vesilaitoksen lietevesi sen sijaan sisältäisi 1,4-kertaisesti fosforia suhteessa kasviuoneen vuosittaiseen tarpeeseen.

Yhtenä johtopäätöksenä materiaalivirtatarkastelusta voidaan todeta, että kalankasvatustarvikkeen sivutuotteet eivät yksin riitä houkuttelemaan alueelle kasviuoneyrityksiä. Ravinteiden tai hiilidioksidin osuus kasviuoneutuotannon kulurakenteesta on korkeintaan joitakin prosentteja. Lisäksi kalankasvatustarvikkeen poistoveden tai lietteen ravinneoostumus ei itsessään ole optimaalinen kasveja ajatellen. Kasviuoneutuotannon kannalta merkittävämpiä synergiaetuja voisivatkin tuottaa keskitetty energiantuotanto, logistiikka, markkinointi ja työvoiman jakaminen, joita ei tarkasteltu tässä hankkeessa.

Toisena tutkimuskysymyksenä tarkasteltiin kalankasvatustarvikkeessa ja kasviuoneutuotannossa syntyvien sivuvirtojen hyödyntämiskohteita. Arvokkain ja käyttömahdollisuuksiltaan monipuolisin sivutuote lienee kalojen perkuujäte. Perkuujätteen hyödyntämiselle on monia vaihtoehtoja, kuten jalostaminen kalaöljyksi, myynti biodieselin tai kalaöljyn raaka-aineeksi, myynti turkiseläinten rehuksi tai biokaasun tuotanto yhdessä muun eloperäisen jätteen kanssa.

Biokaasutuotuksen ravinnepitoista, hygienisoitua mädätysjännöstä voitaisiin edelleen hyödyntää kasviuoneen kasvialustassa tai maanparannusaineena.



Kuva 16. Kalankasvatuksen ja kasvihuonetuotannon yhdistetyt materiaaliavirrat. Yli 1,2 miljoonan kilon virrat on kuvattu rasteripinnalla.

8.2. Johtopäätökset energiantuotantovaihtoehtojen tarkasteluista

Hankeessa tarkasteltu kalanviljelyn ja ympärivuotisen kasvihuonetuotannon muodostama konsepti kuluttaa erittäin paljon energiaa. Kaikesta konseptin energian tarpeesta tarkasteltu kasvihuonevaihtoehto kuluttaa yli 90 %, joten energian hinta on olennainen tekijä kasvituotannon kannattavuuden takaamiseksi. Lämmöntuotannon vaihtoehtoina tarkasteltiin metsäbiomassojen, biokaasun ja maalämmön hyödyntämistä. Suuren sähkönkulutuksen vuoksi arvioitiin myös sähkön ja lämmön yhteistuotannon soveltuvuutta.

Lämmöntuotannossa potentiaalisia vaihtoehtoja ovat metsäbiomassat ja maalämpö. Metsäbiomassoja käytetään jo hyvin yleisesti kasvihuonetuotannossa. Suuressa mittakaavassa hakelämmitys on yleensä kilpailukykyisempi vaihtoehto kuin pellettilämmitys. Lämmitysjärjestelmän käytettävyyden ja ylläpitoon kuluvan työmäärän puolesta hakelämmitys on taas todennäköisesti työläämpi. Metsäbiomassoihin perustuvaa lämmöntuotantoa harkittaessa kannattaa selvittää mahdollisuudet hankkia lämpöenergia lämpöyrittäjältä, koska energiantuotanto ei ole kalanviljely- ja kasvihuoneyrityksen ydintoimintaa.

Maalämmön käyttäminen kiinteistöjen lämmityksessä on yleistynyt voimakkaasti viime vuosina. Maalämpöjärjestelmiä on toteutettu jo kasvihuoneisiinkin, mutta toistaiseksi Suomessa vain muutamissa kohteissa. Maalämmön kannattavuuden kannalta kriittisiä kysymyksiä ovat kallioperän lämmöntuotto ja investointikustannukset. Kannattavuutta ei voida arvioida ilman kohdekohtaisia tarkempia tutkimuksia. Laitokarin laitospaikalla kannattaa selvittää myös vesistölämmön hyödyntämismahdollisuuksia.

Biokaasu ei ole järkevä polttoainevaihtoehto tässä hankeessa tarkastellulla laitospaikalla Laitokarin, koska konseptissa syntyvien biojätteiden määrä riittäisi kattamaan vain hyvin pienen osan koko energiantarpeesta ja erityisesti kalankasvatuksen biojätteille on todennäköisesti taloudellisesti kannattavampia hyödyntämistapoja. Konseptissa syntyviin biojätteisiin perustuvan laitoksen koko jäisi pieneksi, ja sen kannattavuus olisi todennäköisesti hyvin heikko. Lähialueella ei myöskään ole potentiaalisia ulkopuolisia lähteitä, joista biomassaa voitaisiin toimittaa merkittäviä määriä biokaasulaitokseen.

Yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon ongelmana tässä konseptissa ja tarkastellulla laitospaikalla on CHP-laitoksen tuottaman lämmön rajalliset hyödyntämismahdollisuudet. CHP-laitokset on

- **Biokaasutuslaitos** vaatii huomattavasti suuremmat syötemäärät, kuin mitä kalanviljelystä ja kasvihuonetuotannosta syntyy, toimiakseen kannattavasti. Kalanperkuujätteelle on olemassa myös toimijoita, jotka ostavat sitä raaka-aineeksi omiin liiketoimintoihinsa. Tällaisia toimijoita löytyy jopa Pohjois-Pohjanmaan alueelta, joten kalanperkuujätteet on liiketoiminnan kannalta parempi myydä eteenpäin. Biokaasutuslaitoksen toinen raaka-aine, kasvihuoneesta syntyvä kasvijäte, voidaan vastaavasti kompostoida ja käyttää uudelleen kasvihuoneen omassa toiminnassa tai toimittaa lähialueella toimiviin biokaasulaitoksiin. Biokaasutuslaitos päätettiin hylätä ekosysteemistä.
- **Kalaöljyn erotus** osoittautui lupaavimmaksi uudeksi liiketoiminnaksi ekosysteemiin. Hankkeen avulla selvisi, että Oulun alueelta löytyy teknistä osaamista kalaöljyn erottamiseen suolimassasta. Laitteiston toimittaja EHP Environment on ilmoittanut olevansa valmis sitoutumaan ekosysteemiin, ja suolimassan ostajakandidaateista Kalajoen Jäähdyttämö on kertonut voivansa ostaa suolimassan myös öljyttömänä. Kalaöljyn erotus on ekosysteemin veturiyrittäjien mukaan hyvin todennäköisesti mukana ekosysteemissä, ja näin samasta materiaalista saadaan aikaan entistä enemmän arvoa. Erotettua öljyä voidaan käyttää esimerkiksi kalan kasvattamon lämmitykseen.
- **Kiertovesilaitos** on suuri investointi. Kiertovesilaitoksessa on monia etuja, mutta toistaiseksi se on käytännössä osoittautunut lähes aina tappiolliseksi. Esimerkiksi Badiolan ym. (2012) haastattelema 47 yrityksestä puolet ovat joutuneet rakentamaan tilat uusiksi tai muokkaamaan tiloja kiertovesijärjestelmän petettyä. Yleisimpiä ongelmia ovat olleet huonot järjestelmäsuunnitelmat, vedenlaatu sekä mekaaniset ongelmat. Kiertovesilaitoksen tapauksessa laitteiston toimittajia on jo kartoitettu, ja Suomestakin löytyy osaamista kiertovesilaitoksen toimittamiseen. Hankkeen aikana haastateltiin Sybimaria ja otettiin yhteyttä Arvo-Tec Oy:öön, ja molemmat toimijat ilmaisivat halukkuutensa sitoutua ekosysteemiin. Kiertovesilaitoksen liittäminen ekosysteemiin vaatii tarkempia kannattavuusarvioita, ja lopullisen päätöksen tekee kustannukset ja riskit omistava kalankasvattamoyrittäjä.
- **Kasvihuone** vaikuttaa epävarmimmalta arvoketjulta. Hankkeen aikana Kasvishovi oli kiinnostunut sitoutumaan ekosysteemiin, mikäli kasvihuoneessa tuotetaan kurkkua ja/tai tomaattia. Kiinnostunutta kasvihuoneyrittäjää ei kuitenkaan löytynyt. Ravinteiden saaminen kiertovesilaitoksen kautta ei alan yrittäjien mukaan ole merkittävä etu, ja esimerkiksi Sybimarin vastavanlainen kasvihuoneratkaisu on osoittautunut ainakin vielä kannattamattomaksi. Täysin suljetun systeemin sijaan paras ratkaisu lienee de-coupled-malli, jossa kiertovesilaitoksesta saatavia ravinteita hyödynnetään vain parhaiten/helpoiten soveltuvin osin kasvihuoneeseen. Kasvihuone tulisi nähdä itsenäisenä kokonaisuutena, jossa kasvihuoneyrittäjä päättää mahdollisesta yhteistyöstä kiertovesilaitoksen kanssa.

8.4. Pohdinta ja jatkotoimenpiteet

SIBE-hanke oli erityinen, sillä liiketoimintaekosysteemi-konseptin soveltamista sinisen biotalouden alalle ei ole aiemmin tutkittu. Hankkeen aikana huomattiin, että biotalouden alalla on omia erityispiirteitä, jotka voivat vaikuttaa arvoketjujen muodostamiseen. Nämä erityispiirteet voidaan huomioida myös tulevaisuuden biotalouden liiketoimintaekosysteemien luomisissa.

SIBE-hankkeen aikana tutkittiin kalankasvatusta, kasvihuoneviljelyä ja perkuujätteiden hyödyntämistä. Näiden alkutuotantojen liiketoiminta on jatkuvaa, mutta tuotannon määrä epävarmaa, johon muun muassa biotalouden syklisestä luonteesta ja suuresta ympäristön roolista. Tuotanto on myös nopeasti pilaantuvaa, jolloin tavaran tulee liikkua nopeasti arvoketjussa. Nämä kaikki erityispiirteet johtavat siihen, että alkutuotannon arvoketju on yleensä hyvin vahvojen suhteiden ympäröimä. SIBE-hankkeessa tämä on nähtävillä erityisesti kalankasvatukseen ja perkuujätteen hyödyntämisen osalta. Heikoilla suhteilla kalankasvatukseen linkittyvät kiertovesilaitos ja kasvihuoneviljelyn arvoket-

jut voisivat tuoda ekosysteemiin innovatiivisuutta, mutta todennäköisempää on, että nämä liiketoiminnot jäävät lopullisesta ekosysteemistä pois.

Nopean liikkuvuuden vauhdittamiseksi alkutuotannon arvoketjun toimijat ovat myös usein fyysisesti lähellä toisiaan. Fyysinen läheisyys tuo paitsi nopeutta, myös logistiikkasäästöjä, mikä matalakatteisella alalla on erittäin tärkeää. Kustannussäästöihin ja vahvojen suhteiden ylläpitoon auttaa myös rajoitettu toimijoiden määrä. Vaikka yleisesti suurempi verkoston koko on ekosysteemin terveyden kannalta parempi, alkutuotannossa suhteiden ylläpidon, resurssien säästämisen ja epävarmojen tuotantomäärien vuoksi ostajatoimijoiden minimointi on perusteltua.

Johtuen alkutuotannon matalakatteisuudesta ja toimialan melko vakiintuneista prosesseista, erilaiset uudet liiketoimintojen integroinnit harvoin ovat kannattavia. Alkutuotannossa ei tuotekehitystä juurikaan tapahdu, jolloin prosessit ovat ehtineet mukautua mahdollisimman tehokkaiksi. Integroinnit sekoittavat olemassa olevat prosessit, jolloin helposti päädytään kompromissien tekoon ja tätä kautta tehottomampaan tuotantoon. Alkutuotantoalalla, jossa katteet ovat jo valmiiksi matalat, voi tämä johtaa pahimmillaan kannattamattomaan liiketoimintaan.

Markkinatilanteen kannalta biotaloustuotteet päätyvät yleensä tilanteeseen, jossa tuotanto menee olemassa oleville markkinoille, joissa kysyntä on varmaa ja ostajia tiedossa. Täysin uusille markkinoille yrittämistä hidastaa tuotannon nopea pilaantuminen, sillä niin kalat kuin kasviksetkin menettävät arvonsa hyvin nopeasti, eikä pitkäaikainen varastointi ole mahdollista. Samoin vahvat suhteet, jotka biotalouden alalla ovat luonnollisia, ohjaavat tuotannon perinteisille, varman kysynnän markkinoille.

Vaikka suljetun kierron konsepti todettiin hankkeessa kannattamattomaksi arvoketjujen integroinnista seuraavien kompromissien takia, on sinisen biotalouden ekosysteemin perustaminen silti ajatuksena kannustettavaa. Toimijoiden läheinen sijainti itsessään tuo useita etuja esimerkiksi yhteisten työtilojen ja energiaratkaisun sekä mm. jaettujen henkilöresurssien kautta. Myös pakkaus ja logistiikka voidaan hoitaa keskitetysti. Myös syntyvät sivuvirrat kannattaa pyrkiä hyödyntämään mahdollisimman lähellä. Arvoketjuja tulee kuitenkin tarkastella erikseen ja muiden arvoketjujen tarjoamia synergiaetuja kannattaa hyödyntää vain soveltuvin osin.

Hankkeen aikana ekosysteemimallin ajattelussa todettiin olevan valtavasti potentiaalia. Kuten työpajassakin mainittiin, tulevaisuudessa ekosysteemimäinen liiketoiminta tulee olemaan entistä merkittävämmässä roolissa, ja mahdollisesti jopa elinehtona matalakatteisen alkutuotannon menestymiselle.

SIBE-hankkeen aikana todettiin, että ympärivuotiseen valoviljelyyn perustuva kasvihuone ei välttämättä ole paras mahdollinen symbioosi kalanviljelyn kanssa integrointietujen jäädessä marginaaliseksi verrattuna nykyiseen toimintamalliin. Jatkotoimenpiteenä nousi mielenkiintoa tutkia, olisiko jokin toinen teollinen symbioosi parempi sinisen biotalouden ekosysteemille. Keskusteluun nousi mm. teollisuuden hukkalämmön hyödyntäminen ja kasvattamoiden sijoittaminen lähemmäksi markkinoita kauppakeskusten yhteyteen. Myös uusien kasvihuoneratkaisujen tutkiminen kiinnostaa esimerkiksi konsepti hyvin eristetystä hallista, jossa kasveja kasvatetaan ilman luonnonvaloa ledvalaistuksella. Kasvihuoneen ja kalankasvatuksen synergiaetuja voisi etsiä myös mm. työvoiman käytöstä tai logistiikasta.

Hanke tulee toimimaan pohjana tuleville sinisen biotalouden hankkeille Pohjois-Pohjanmaalla.

Laitakarin tapauksessa vastuu ekosysteemin muodostamisesta on hankkeen veturiyriyksellä Laitakarin Kalalla. Ekosysteemiin on valmis sitoutumaan useampia halukkaita yrityksiä, ja esimerkiksi kalanöljyerotuksen pilotoinnit sovittiin hankkeen aikana käynnistettävään. Jokainen hankkeen toteutukseen osallistunut organisaatio on ilmoittanut olevansa valmis antamaan omaa osaamistaan ekosysteemin tarpeisiin.

9. Lähdeluettelo

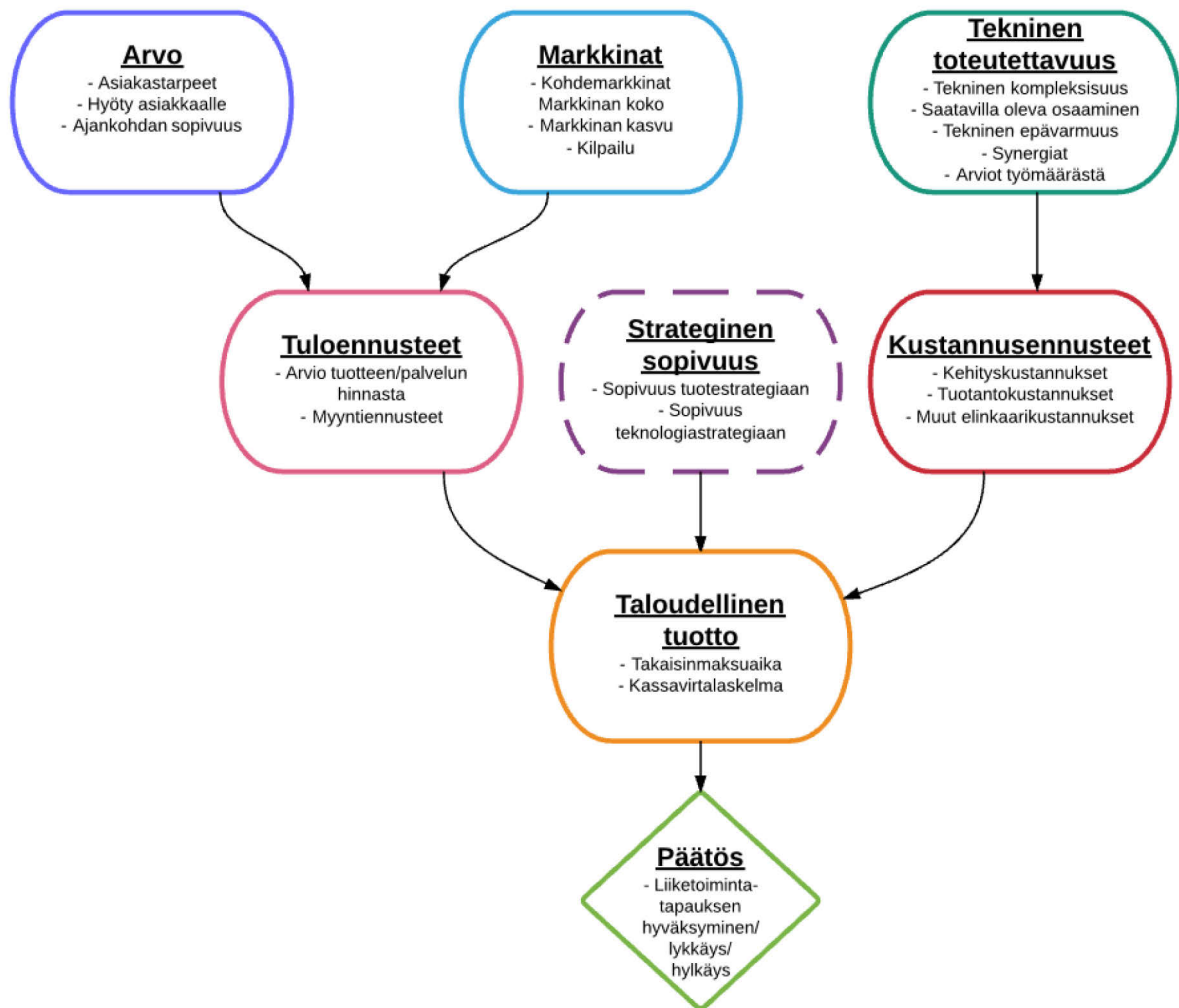
- Badiola M., Mendiola D. & Bostock J. 2012. Recirculating Aquaculture Systems (RAS) analysis: Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*, vol. 51, s. 26-35.
- Brunner P. & Rechberger H. 2004. *Practical handbook of material flow analysis*, CRC press LLC, 318 s.
- Chavan A. 2016. The Surprising Benefits and Types of Aquaponic Systems. <http://www.buzzle.com/articles/types-of-aquaponic-systems.html> [viitattu 5.9.2017]
- Dittrich K., Duysters G. & de Man A. 2004. Using Networks for Changing Innovation Strategy: The Case of Ibm. *ERIM Report Series*, 32 s.
- Evans, J. R. & Berman, B. 2001. Conceptualizing and Operationalizing the Business-to-Business Value Chain. *Industrial Marketing Management*, 30(2), s. 135–148.
- Frosch R. A. & Gallopoulos N. 1989. Strategies for manufacturing. *Scientific American*, 261, 3, s. 144–152.
- Geologian tutkimuskeskus 2013. Oulun geoenergiapotentiaalin kartoitus. Länsi-Suomen yksikkö, Kokkola. Raportti 26.4.2013.
- Gossain G. & Kandiah S. 1998. Reinventing value: The new business ecosystem. *Strategy & Leadership*, 26, 5, s. 28–33.
- Hartigh, E. den, Tol M. & Visscher W. 2006. The Health Measurement of a Business Ecosystem. *Proceedings of ECCON 2006*. 39 s.
- Hearn G. & Pace C. 2006. Value-creating ecologies: understanding next generation business systems. *Foresight*, 8, 1, s. 55–65.
- Hiidenhovi J., Saarni K., Koskela J., Välimaa A.-L., Kankainen M., Järvenpää E., Setälä J., Pap N. & Hirvonen, M. 2013. Pien-CHP-laitoksen mitoitus. Karelia ammattikorkeakoulu. Biotalouden keskus. Pien-CHP-teemapäivä 19.11.2013. Esitelmä.
- Iansiti M. & Levien R. 2004. Strategy as Ecology. *Harvard Business Review*.
- Itä-Suomen aluehallintovirasto. 2010. Ympäristölupa, joka koskee biokaasulaitosta. Juva Bioson Oy. [Päätös nro 112/10/1](#). Annettu 19.11.2010.
- Jordbruksverket 2015. Energianvändning in växthus 2014. Tomat, gurka och prydnadsväxter. Greenhouse energy use in 2014. Statistik från Jordbruksverket. *Statistikrapport 2015:04*.
- Juvan Bioson Oy 2017. [Yritys](#). Viitattu 25.9.2017.
- Karjalainen, T. 2012. Pienimuotoisen lämmön ja sähkön yhteistuotannon tilannekatsaus – laitteet ja niiden käyttöönotto. Oulun yliopisto. Kajaanin yliopistokeskus.
- Kaukoranta T., Näkkilä J., Särkkä L. & Jokinen K. 2014. Effects of lighting, semi-closed greenhouse and split-root fertigation on energy use and CO₂ emissions in high latitude cucumber growing. *Agricultural and food science* 23: 220–235.
- Kaukoranta T., Särkkä L., Näkkilä J., Koivisto A. & Jokinen K. 2011. Kehittyvä teknologia vähentää kasvihuoneen energiankulutusta. *Maaseudun tiede* 2/2011.
- Kinnunen T., Pekuri A., Haapasalo H. & Kuvaja P. 2011. Business case analysis in new product development. *Global Journal of Management and Business Research*, 11, 2.
- Kymäläinen, M. & Pakarinen, O. (toim.) 2015. Biokaasuteknologia. Raaka-aineet, prosessointi ja lopputuotteiden hyödyntäminen. Suomen biokaasuyhdistys ry. Hämeen ammattikorkeakoulu. *HAM-Kin e-julkaisuja* 36/2015.
- Lapon Oy 2017. [TRT-mittaus](#). Viitattu 28.9.2017.
- Lappi T. 2017. Formation and governance of a healthy business ecosystem. University of Oulu Graduate School, väitöskirja.
- Luonnonvarakeskus 2015. Kasvihuoneyritysten energiankulutus vuosina 2006, 2008, 2011 ja 2014. *Puutarhatilastot* 28.4.2015.
- Martin A. D. 2017. Technical and economical study of Aquaponics feasibility in northern Finland. Master's thesis. University of Oulu Faculty of Technology. 62p, 2 App.
- Martinsuo M. & Blomqvist M. 2010. Prosessien mallintaminen osana toiminnan kehittämistä. Tampereen teknillinen yliopisto. s. 11–12.
- Mattila P., Tupasela T., Lehtonen A. & Laaksonen P. 2017. Kalan elintarvikejalostuksen sivutuotevirtojen jalostaminen kalaöljyksi. *Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus* 51/2017. 40s.
- Metsäkeskukset. 2008. Maatilan hakelämmitysopas.
- Metsälehti. 2017. [Metsäenergian käyttöpaikkahinnat](#). Viitattu 4.10.2017.
- Moore J. 1993. Predator and Prey: A New Ecology of Competition. *Harvard Business Review*.
- Motiva 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla.
- Motiva Oy 2017a. Materiaalikatselemoijien koulutuspäivä, koulutuksen aineistot. 24.1.2017, Helsinki.
- Motiva Oy 2017b. [Lämpöyrittäjyys](#). Viitattu 15.9.2017.
- Motiva 2017c. [Maalämpöpumppu](#). Viitattu 15.9.2017.

- Motiva 2017d. [Lämpöpumput](#). Viitattu 15.9.2017.
- Määttä, T. 2017. Yrityksen lämpölaitosinvestoinnin kannattavuuden arvioiminen – Apuvälineitä päätöksenteon tueksi. Bioenergy4Business- hanke. Motiva Oy. Esitelmä 14.3.2017, Vantaa.
- Osterwalder A. & Pigneur Y. 2009. Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers. Self Published, 281 s.
- Pitta, D. A. & Laric, M. V. 2004. Value chains in health care. *Journal of Consumer Marketing*, 21(7), s. 451-464.
- Pohjois-Suomen aluehallintovirasto 2017. Isomatalan-Laitakarin kalankasvatustalouden ympäristö- ja vesitalous-lupa sekä toiminnan aloittaminen muutoksenhausta huolimatta ja valmistelulupa, Oulu ja li. Laitakarin Kala Oy. Lupapäätös nro 32/2017/1. Annettu 10.5.2017.
- Porter, M. E. 1985. *Competitive Advantage: Creating and sustaining superior performance*. NY: Free Press.
- Rother M. & Shook J. 1999. Learning to see: value stream mapping to create value and eliminate muda, Lean Enterprise Institute, 102 s.
- Schulte U. G. 2013. New business models for a radical change in resource efficiency. *Environmental Innovation and Social Transitions*, 9, s. 43–47.
- Särkkä L., Jokinen K., Ottosen C.-O. & Kaukoranta T. 2017. Effects of HPS and LED lighting on cucumber leaf photosynthesis, light quality penetration and temperature in the canopy, plant morphology and yield. *Agricultural and food science* 26: 101–109.
- Takalo, H. 2013. Mikro- ja pien-CHP. Teknologia- ja laitekantaselvitys sekä kannattavuuden tarkastelu tapausesimerkin avulla. lin Micropolis Oy.
- Tuominen, J. 2017. Kasvihuonetekniikan erikoiskonsulentti. Puutarhaliitto ry. Suullinen tiedonanto 29.9.2017.
- Työ- ja elinkeinoministeriö, Maa- ja metsätalousministeriö & Ympäristöministeriö 2014. Suomen biotalousstrategia, Edita Prima Oy, 32s.
- Työ- ja elinkeinoministeriö 2014, Valtioneuvoston strategia cleantech-liiketoiminnan edistämisestä, Edita Prima Oy, 11s.
- Valtiovarainministeriö 2017. Energiaverotus. Viitattu 28.9.2017.
- Verohallinto 2016. Energiaverotusohje 2016. Viitattu 25.9.2017.
- Väänänen S. 2017. Business Ecosystems of Side Stream Utilisation in Metal Industry – Petrit-T Case Study. Oulun yliopisto, diplomityö
- Yrjänäinen H., Silvenius F., Kaukoranta T., Näkkilä J., Särkkä L. & Tuhkanen E.-M. 2013. Kasvihuonetuotteiden ilmastovaikutuslaskenta. Loppuraportti. MTT Raportti 83.
- Zahra S. A. & Nambisan S. 2012. Entrepreneurship and strategic thinking in business ecosystems. *Business Horizons*, 55, s. 219–229.

LIITE 1. Liiketoimintakankaan pohja

AVAINKUMPPANIT	AVAINTOIMINNOT	ARVOLUPAUS	ASIAKASSUHDE	ASIAKASSEGMENTIT
	AVAINRESURSSIT		KANAVAT	
KUSTANNUSRAKENNE			TULOVIRRRAT	

LIITE 2. Liiketoimintatapauskäsittely



LIITE 3.

Workshop-tilaisuuden osallistujalista:

Timo Karjalainen	Laitakarin Kala Oy
Jaakko Seppälä	EHP Environment Oy
Jari Jääskeläinen	Hätälä Oy
Arttu Juntunen	Oulun Energia Oy
Mikko Ahokas	Macon Oy
Teemu Sauvula	Kalajoen Jäähdyttämö Oy
Petri Hietala	Bioterma Oy
Ilkka Kovalainen	Tyrnävän kunta
Irja Ruokamo	Iin Micropolis Oy
Veli Mathlin	OSAO
Taimi Mahosenaho	ProAgria
Sanna Moilanen	Oamk
Pekka Tervonen	Oulun yliopisto / Centre for Environment and Energy
Janne Anttila	Oulun yliopisto / Centre for Environment and Energy
Tero Leppänen	Oulun yliopisto / Centre for Environment and Energy
Alexi Alavuotunki	Oulun yliopisto / Centre for Environment and Energy
Harri Haapasalo	Oulun yliopisto / Tuotantotalouden yksikkö
Hanna Kropsu-Vehkaperä	Oulun yliopisto / Tuotantotalouden yksikkö
Vesa Lind	Oulun yliopisto / Tuotantotalouden yksikkö
Andreu Dana Martin	Oulun yliopisto / Tuotantotalouden yksikkö
Raimo Ihme	Suomen ympäristökeskus
Teemu Ulvi	Suomen ympäristökeskus
Anne-Mari Rytkönen	Suomen ympäristökeskus
Jouni Vielma	Luonnonvarakeskus



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000