



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

## **Teolliset symbioosit Laanilan teollisuusalueella**

Maiju Lahtinen

YMPÄRISTÖTEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA

Diplomityö

Huhtikuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Teolliset symbioosit Laanilan teollisuusalueella

Maiju Lahtinen

Oulun yliopisto, Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Diplomityö 2021, 102 s. + 2 liitettä

Työn ohjaaja(t) yliopistolla: TkT Jenni Ylä-Mella ja TkT, Professori Eva Pongracz

Teolliset symbioosit ovat yksi tapa edistää teollisten yritysten resurssitehokkuutta. Symbiooseissa yritykset hyödyntävät toistensa materiaali- tai energiavirtoja omassa toiminnassaan. Työn kirjallisuuskatsauksessa tutkittiin teollisia symbiooseja, ekoteollisuuspuistoja, niiden onnistumisen edellytyksiä, sekä biovoimalaitoksen sivuvirtojen (energiapuu, höyry ja hiilidioksidi) hyötykäyttötapoja. Näiden pohjalta tarkasteltiin, millaisia symbiooseja sivuvirroille voisi rakentua Laanilan alueella ja millainen toteutustapa niille sopisi. Tavoitteena Laanilassa on kasvattaa alueen sivuvirtojen hyötykäyttöä sekä saada alueelle uusi teollinen toimija.

Tarkasteltua energiapuuta voi hyödyntää esim. pyrolyysi- ja/tai uuteainelaitoksessa. Symbioosi muodostuu, kun tuotantolaitos hyödyntää biovoimalaitoksen höyryä ja biovoimalaitos hyödyntää tuotantolaitoksen biopohjaisia sivuvirtoja polttoaineenaan. Höyryn symbiooseja on jo alueen kemianlaitosten kanssa, mutta potentiaalia on tuottaa höyryä myös uusille toimijoille. Hiilidioksidin hyödyntämisen symbioosit syntyvät, jos hiilidioksidi jalostetaan tai käytetään suoraan alueen teollisuudessa. Jotta symbioosit kehittyisivät tehokkaasti, alueella olisi hyvä olla hallinto. Potentiaalisin hallintomalli tässä tapauksessa on julkishallinnon/koordinoijan ja yritysten yhteishallintomalli. Uusien yritysten löytämiseksi voidaan hyödyntää verkostoja tai suoraa kontaktointia.

Työtä tehdessä havaittiin, että Laanilan teollisuusalueella on jo ennestään ekoteollisuuspuiston kriteerit täyttävää toimintaa. Työn tuloksia voidaan hyödyntää jatkossa Laanilan symbioosien kehityksessä. Käytetty symbioosien suunnittelutapa on hyödynnettävissä myös muilla teollisuusalueilla.

*Asiasanat: teolliset symbioosit, ekoteollisuuspuistot, sivuvirtojen hyödyntäminen*

# ABSTRACT

Industrial symbioses in the Laanila industrial area

Maiju Lahtinen

University of Oulu, Degree Programme of Environmental Engineering

Master's thesis 2021, 102 pp. + 2 Appendixes

Supervisor(s) at the university: D.Sc.(Tech.) Jenni Ylä-Mella and D.Sc.(Tech.), Professor Eva Pongracz

Industrial symbioses are one way to promote the resource efficiency of industrial companies. In symbioses, companies utilize each other's material or energy flows in their own operations. The literature examination reviews industrial symbioses, eco-industrial parks, the conditions for their success, and the utilization of the by-products of the biopower plant (energy wood, steam and carbon dioxide). On the basis of these, it was examined what kind of symbiosis for side streams could be built in the Laanila area and what kind of implementation would be suitable for them. The goal in Laanila is to increase the utilization of the area's by-products and to get a new industrial player in the area.

The examined energy wood is utilized, for example, in a pyrolysis and/or extractant plant. The symbiosis is formed when a production plant utilizes the steam of a biopower plant and the biopower plant utilizes the bio-based by-products of the production plant as its fuel. There are already symbioses of steam with chemical plants in the area, but there is potential to generate steam for new entrants as well. Symbiosis of carbon recovery arises if CO<sub>2</sub> is refined or used directly in the region's industry. For symbioses to develop effectively, it would be good to have governance in the region. The most potential governance model in this case is the public administration/coordinator and corporate governance model. Networks or direct contact can be used to find new companies.

It was found that the Laanila industrial area already has activities that meet the criteria of the eco-industrial park. The results of the thesis can be utilized in the future in the development of the park's symbioses. The symbiosis design method used can also be utilized in other industrial areas.

*Keywords: industrial symbiosis, eco-industrial park, utilization of by-products*

# ALKUSANAT

Tämän diplomityön tarkoituksena oli tutkia teollisia symbiooseja, niiden jatkumoa ekoteollisuuspuistoja, sekä Laanilan uuden biovoimalaitoksen sivuvirtoja hyödyntämisen näkökulmasta. Työn aihe oli uusi näkökulma oman alani kiinnostuksen kohteeseen, kiertotalouteen. Työ on tehty kesän 2020 ja kevään 2021 välisenä aikana.

Isot kiitokset työnantajalleni AFRY Finland Oy:lle ja Katri Luoma-aholle työn aiheen kehittämisestä, sekä Oulun Energialle ja Tuomas Savolalle työn tilaamisesta ja mahdollisuudesta sitoa aihe oikeaan teollisuusalueeseen. Iso kiitos ohjaajilleni Jenni Ylä-Mellalle ja Eva Pongráczille Oulun yliopistosta tuesta ja kehittäivistä kommentteista. Työn aikana opin paljon teollisista symbiooseista ja niiden edistämisestä.

Opiskeluajat olivat ainutlaatuisia vuosia, joita kannan mukana lämmöllä. Kiitos niistä opiskelukavereilleni. Viimeiseksi suuret kiitokset perheelleni ja Laurille tuesta ja kannustuksesta läpi opintojeni, diplomityötä kirjoittaessa sekä elämässä ylipäänsä.

Oulu, 14.4.2021

Maiju Lahtinen

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ .....	1
ABSTRACT .....	2
ALKUSANAT .....	3
SISÄLLYSLUETTELO.....	4
1 JOHDANTO .....	6
1.1 Tausta .....	6
1.2 Työn tavoite .....	7
1.3 Työn rakenne.....	8
2 TEOLLINEN EKOLOGIA, KIERTOTALOUS JA TEOLLISET SYMBIOOSIT .....	9
2.1 Teollinen ekologia.....	9
2.2 Kiertotalous .....	11
2.2.1 Kiertotalouden ohjauskeinot Euroopan unionissa .....	13
2.2.2 Kiertotalouden ohjauskeinot Suomessa.....	14
2.3 Teolliset symbioosit .....	16
3 EKOTEOLLISUUSPUISTOT .....	18
3.1 Ekoteollisuuspuistojen originaalijaottelu .....	19
3.2 Ekoteollisuuspuistojen NaHEK-jaottelu .....	21
3.3 Ekoteollisuuspuistojen hallintomallit.....	24
4 EKOTEOLLISUUSPUISTOT ULKOMAILLA JA SUOMESSA .....	26
4.1 Ulkomaiset ekoteollisuuspuistot .....	26
4.1.1 Kalundborg .....	26
4.1.2 Styria.....	27
4.1.3 Händelö.....	28
4.2 Suomalaiset ekoteollisuuspuistot .....	30
4.2.1 ECO3 .....	30
4.2.2 Envitech .....	31
4.2.3 Jyväskylä.....	32
5 TEOLLISTEN SYMBIOOSIEN ONNISTUMISEN EDELLYTYKSET.....	34
5.1 Yleiset teollisten symbioosien onnistumisen edellytykset.....	34
5.1.1 Yhteistyö.....	35
5.1.2 Tieto.....	37
5.1.3 Taloudellisuus.....	38
5.1.4 Tiedonkulku.....	39
5.1.5 Muita onnistumisen edellytyksiä .....	39

5.1.6 Teollisten symbioosien perustamisen prosessi .....	40
5.2 Yleiset teollisten symbioosien haasteet.....	42
6 TUTKIMUSKOHDDE: LAANILAN TEOLLISUUSALUE JA OULUN ENERGIAN BIOVOIMALAITOS .....	44
6.1 Laanilan teollisuusalue.....	44
6.2 Hyödynnettävät materiaali- ja energiavirrat biovoimalaitoksen toiminnasta .....	46
6.2.1 Energiapuu.....	47
6.2.2 Rajoitukset ja ohjaukset puun hyötykäytölle .....	48
6.2.3 Ehdotuksia energiapuun hyötykäytölle.....	51
6.2.4 Höyry .....	56
6.2.5 Rajoitukset tai ohjaukset höyryn hyötykäytölle .....	57
6.2.6 Ehdotuksia höyryn hyötykäytölle .....	57
6.2.7 Hiilidioksidi ja CCU/S.....	60
6.2.8 Hiilidioksidin talteenoton tekniikat .....	62
6.2.9 Rajoitukset tai ohjaukset hiilidioksidin hyötykäytölle .....	64
6.2.10 Ehdotuksia hiilidioksidin hyötykäytölle (CCU).....	66
6.2.11 Hiilidioksidin talteenoton hyödyntäminen biovoimalaitoksella.....	68
7 BIOVOIMALAITOKSEN TEOLLISTEN SYMBIOOSIEN MAHDOLLISUUDET	71
7.1 Yhteistyön rakentaminen yritysten kanssa ja verkostoituminen.....	71
7.2 Mitä symbiooseja Oulun Energian biovoimalaitoksen toimintojen ympärille voisi rakentua?.....	73
7.3 Laanilan teollisten symbioosien toteutustavan hahmottaminen.....	79
7.3.1 Laanilan hallintomallin arviointi .....	79
7.3.2 Onnistumisen edellytysten soveltaminen Laanilaan.....	82
8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	85
9 LÄHDELUETTELO.....	89

#### LIITTEET:

Liite 1. Biovoimalaitoksen hiilidioksidipäästölaskennat nykytilan polttoaineilla

Liite 2. Biovoimalaitoksen hiilidioksidipäästölaskennat tulevaisuuden polttoaineilla

# 1 JOHDANTO

Tässä kappaleessa esitellään työn tekemisen taustat, tavoitteet ja rakenne.

## 1.1 Tausta

Teolliset symbioosit ovat perinteisessä mielessä kahden tai useamman teollisen toimijan välistä materiaali- ja energiasivuvirtojen vaihtoa. Niissä toisen jäte hyödynnetään toisen raaka-aineena, samalla välttäen neitseellisten raaka-aineiden käyttöä. Materiaali- ja energiavirtojen lisäksi symbiooseissa voi vaihtua informaatiota. Symbioosien etuina ovat taloudelliset ja ympäristölliset hyödyt mm. syntyvän jätteen vähentämisestä ja yrityksiä energiätehokkuuden parantamisesta. Symbioosiyritykset voivat myös saada kustannussäästöjä yhteisten palveluiden ja hankintojen kautta. Kun symbiooseja on tietyllä alueella enemmän, voidaan aluetta kutsua ekoteollisuuspuistoksi.

Teolliset symbioosit ovat keino edistää teollisuuden kiertotaloutta. Symbiooseilla saadaan kiertotalouden mukaisesti lisättyä resurssitehokkuutta, kun materiaalien elinkaarta saadaan pidennettyä ja hukkaenergiaa hyödynnettyä. Kiertotaloutta on edistetty Euroopan Unionin ja Suomen valtion tasolla mm. toimintasuunnitelmin. Kiertotalous on tavoitteena ottaa käyttöön poikkileikkaavasti niin yrityksissä kuin arkielämässä.

Teolliset symbioosit sanallistettiin 1980-luvun loppupuolella, toimivien teollisen symbioosien ollen jo toiminnassa muutamia vuosikymmeniä. Yksi kuuluisimmista ja tutkituimmista teollisten symbioosien malliesimerkistä on Kalundborgin ekoteollisuuspuisto Tanskassa. Valitettavasti monet, sekä orgaanisesti muodostuneet että rakennetut ekoteollisuuspuistot, ovat kuihtuneet vuosien saatossa niin, ettei niiden toiminnasta löydy kovinkaan helposti tietoa. Teollisten symbioosien ja ekoteollisuuspuistojen toimivaa rakennetta on hahmoteltu moniin tutkimuksiin ja oppaisiin, joiden päämääränä on ohjeistaa toimiviin ja kestäviin ekoteollisuuspuistoihin. Tiettyjä tunnuspiirteitä onnistuneissa symbiooseissa löytyy, mutta valitettavasti täysin samaa kaavaa toimivasta ekoteollisuuspuistosta ei voida kopioida suoraan toiseen puistoon. Jokaiset toimijat ja alueet ovat erilaisia, joten jokaisen puiston on löydettävä oma tapansa menestyäkseen.

Oulun kaupunki edistää kiertotaloutta alueellaan ja laatii parhaillaan kiertotalouden tiekarttaa. Myös Oulun Energia on ottanut hiilineutraaliuden edistämisen yhdeksi kehityskärjeksi, sillä heidän tavoitteenaan on saavuttaa oman energian tuotantonsa osalta 100 % hiilineutraalisuus vuoteen 2035 mennessä. Tähän liittyen heillä on tarkoituksenaan toteuttaa energiatehokkuutta ja hiilensidontaa lisääviä toimia, jotka koskevat tähän työhön liittyen myös Laanilan alueen toimintaa. (Oulun Energia 2021a).

## 1.2 Työn tavoite

Tämän työn tavoitteena on tutustua teollisiin symbiooseihin ja ekoteollisuuspuistoihin, sekä sen tiedon pohjalta laatia Laanilan teollisuusalueelle suunnitelma teollisten symbioosien käyttöönottoa varten. Tulevaisuudessa tavoitteena on löytää alueelle taho, joka voisi toimia symbioosissa ainakin Laanilaan rakentuvan biovoimalaitoksen kanssa.

Laanilan alueen tarkastelussa keskitytään biovoimalaitoksen kolmeen materiaaliin (puuhun, höyryyn ja hiilidioksidiin) siten, että tarkastelun avulla tiedetään mahdolliset rajoitukset ja ohjaukset hyötykäytölle, sekä mahdollisia vaihtoehtoja symbioosien toteuttamiseksi. Pohjatyönä tulevan symbioositahon löytämiseksi on myös kerätty tapoja, joilla mahdollisia tulevia yhteistyökumppaneita voidaan etsiä alueelle. Työssä on kerätty kirjallisuuslähteistä onnistumisen edellytyksiä toimiville symbiooseille, joita sovelletaan työn empiirisessä osassa Laanilan alueelle.

Alla on esitetty työtä ohjaavat tutkimuskysymykset.

### **Tutkimuskysymykset:**

1. Minkälaisia teollisia symbiooseja on olemassa ja mitkä ovat niiden onnistumisen edellytykset?
2. Mitä mahdollisia symbiooseja Oulun Energian Laanilan biovoimalaitoksen toimintojen ympärille voisi rakentua?
3. Millainen rakenne ja toteutustapa Laanilaan mahdollisesti sijoittuville teollisille symbiooseille sopisi?



### **1.3 Työn rakenne**

Työ sisältää kirjallisuuskatsauksen ja empiirisen osan. Kirjallisuuskatsauksessa on tutkittu teollisia symbiooseja ja ekoteollisuuspuistoja, sekä niihin vaikuttavia tekijöitä ja onnistumisen edellytyksiä. Empiirisessä osassa kirjallisuustiedon pohjalta on tutkittu Laanilan biovoimalaitoksen sivuvirtoja ja niiden hyötykäyttömahdollisuuksia, sekä kirjallisuustiedon pohjalta on laadittu suunnitelma teollisten symbioosien käyttöönottoon Laanilan teollisuusalueella.

## 2 TEOLLINEN EKOLOGIA, KIERTOTALOUS JA TEOLLISET SYMBIOOSIT

Tässä kappaleessa käydään läpi käsitteet teollinen ekologia, kiertotalous ja teolliset symbioosit, sekä niiden kytkökset. Tiivistettynä *teollinen ekologia* on ajattelumalli, jossa teollisuus ajatellaan systeeminä, joka pyritään kehittämään luontoa kuormittamattomaan muotoon. Teollista ekologiaa on kaikki ympäristöä valvovat tai ekologista kestävyyttä edesauttavat toimenpiteet teollisuudessa.

*Kiertotalous* puolestaan on läheinen termi teollisen ekologian kanssa. Kiertotalous on materiaalien elinkaaren kestävää suunnittelua, jossa jätteen määrää minimoidaan ja materiaalien elinkaarta pidennetään. Kiertotalouden kytkös teolliseen ekologiaan voidaan ajatella siten, että kiertotaloutta voidaan soveltaa teollisen ekologian eri osioihin.

*Teolliset symbioosit* puolestaan ovat yksi keino, jota voidaan käyttää kiertotalouden ja teollisen ekologian toteuttamiseen. Sitä voidaan hyödyntää teollisuudessa esimerkiksi toteuttamalla kiertotalouden mukainen synergia kahden teollisuuslaitoksen välillä. Edellä mainitut käsitteet eivät niinkään ole itseisarvoja vaan niiden tavoitteena on luoda kestävyyttä teollisuuden ja ympäristön välille.

### 2.1 Teollinen ekologia

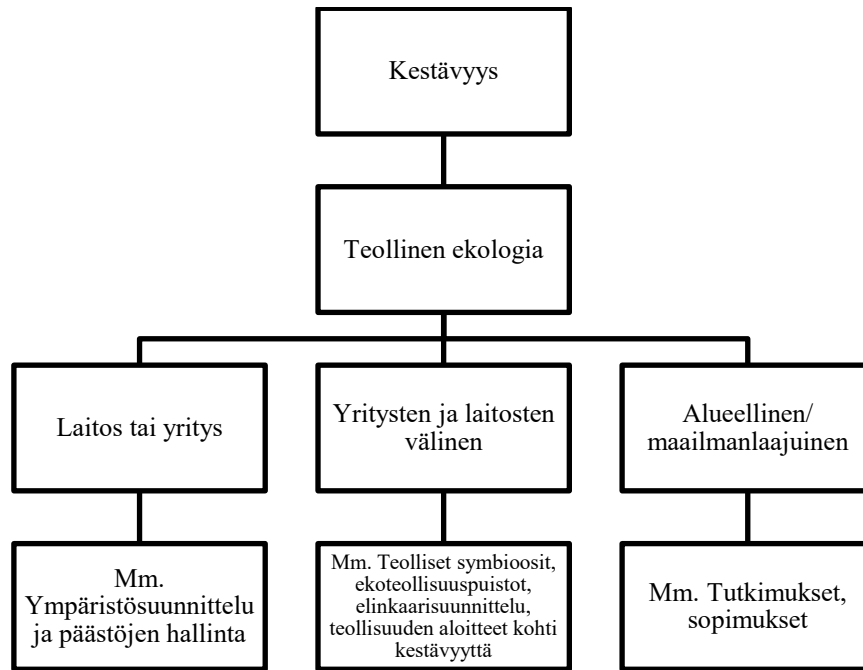
Teollisen ekologian -konsepti tuli ensi kertoja esille 1970-luvulla monissa eri piireissä, mm. UNIDOn (United Nations Industrial Development Organization), ECEn (the United Nations Economic Commission for Europe), sekä ekosysteemien, geokemian ja agroekosysteemien tutkimuksissa. Merkittävin teollisen ekologian konkretisointi tapahtui 1980-luvun lopulla Froschin ja Gallopoulosin artikkelissa nimeltään *Strategies for Manufacture*, jossa esiteltiin teollinen ekosysteemi tulevaisuuden teollisen tuotannon mallina. (Erkman 1997)

Käsitteellä teollinen ekologia verrataan ihmisen luomaa teollista ekologista systeemiä luonnon ekosysteemiin. Luonnon ekosysteemi tarkoittaa kokonaisuutta, jossa yhtenäisellä alueella asuvat elolliset eliöt (esim. mikrobit, sienet, kasvit, eläimet) ja eloton ympäristö (esim. vesi, maa, ilma, valo ja lämpö) toimivat vuorovaikutuksessa toistensa

kanssa. Luonnon ekosysteemissä ravinteet kiertävät tuottajista (omavaraiset, eli esim. kasvit) kuluttajiin (kasvin- ja lihansyöjät) ja hajottajien (esim. bakteerit ja sienet) kautta taas tuottajiin. Tätä kutsutaan ravintoketjuksi. Energia virtaa eliöstön läpi tullen auringosta, mutta päättyy jokaisessa eliössä osittain uloshengityksen kautta ilmakehään, kun taas aine kiertää edellä mainitun tapaisesti ravintoketjussa aina palautuen syklin alkuun. Ekosysteemin aineenkierto on tärkeimpiä merkkejä siitä, että ekosysteemi toimii. (Sisula 1977, s. 17-20)

Teollisessa ekologiassa pyritään siihen, ettei toiminta aiheuta luonnolle haittaa, energian ja materiaalien käyttö on optimoitua ja jätteitä syntyisi mahdollisimman vähän. Mahdollisuuksien mukaan pyrkimyksenä on, että materiaalit ja energia kiertävät systeemissään samalla tavalla kuin esimerkiksi ravinteet kiertävät luonnon ekologisessa systeemissä. Kierto voi tapahtua esimerkiksi hyödyntämällä toisen yrityksen sivuvirrat toisen yrityksen raaka-aineena. (Johnsen et al. 2015, s. 14; Finto 2020; Saikku 2006)

Teollisuudella ja luonnolla on kuitenkin suuria eroja, joiden vuoksi teollista ekologiaa ei voi täysin rinnastaa luonnon ekologiaan. Teollinen ekologia on riippuvainen luonnonvaroista, joita luonto tuottaa. Se on siten siis sisällä luonnon ekologiassa. Tavanomaiseen ympäristötarkasteluun verrattuna teollisella ekologialla on virtojen tarkastelussa laajempi systeeminäkökulma. Se ei keskity esimerkiksi vain yhteen tuotantoyksikköön vaan tarkastelee teollisuusjärjestelmää kokonaisuutena. (Saikku 2006) Kokonaisuus on esitetty kuvassa Kuva 1.



Kuva 1. Teollisen ekologian hierarkia (Mukaiillen: Chertow 2000).

Teollinen ekologia voidaan jakaa kolmeen tasoon: yrityksen tai laitoksen, yritysten tai laitosten väliseen ja alueelliseen tai maailman laajuiseen teolliseen ekologiaan. Yksittäisen yrityksen tai laitoksen teollinen ekologia sisältää esimerkiksi ympäristösuunnittelun, päästöjen hallinnan ja vihreiden tekojen kirjanpidon tietyssä organisaatiossa. Yritysten tai laitosten väliseen teolliseen ekologiaan kuuluvat teolliset symbioosit, materiaalien elinkaaren suunnittelu ja teollisuuden omat aloitteet kohti teollista ekologiaa. Alueelliseen tai maailman laajuiseen teolliseen ekologiaan kuuluvat taloudelliset asiat, kuten vihreään kehittämiseen liittyvät budjetit, ja muut asiat kuten erilaiset projektit sekä materiaali- ja energiatutkimukset. (Chertow 2000) Tämän diplomityön aihe, teolliset symbioosit, keskittyy näistä tasoista yritysten ja laitosten väliseen teolliseen ekologiaan.

## 2.2 Kiertotalous

Vallalla oleva talousmalli on hyvin lineaarinen, jossa materiaali kulkee ”ota-valmistä-hävitä”-periaatteella. Luonnonvaroja on rajallisesti ja sitä mukaa kun raaka-aineet vähenevät ja niiden tarve pysyy, sitä kalliimmaksi ne tulevat. Ratkaisuna tähän on kiertotalous, jossa lineaarinen talous muutetaan suljetuksi kierroksi. (Ellen MacArthur Foundation 2013) Kiertotaloutta voidaan soveltaa teollisen ekologian kaikissa tasoissa.

Kiertotaloudessa tavoitteena on käyttää käytössä oleva materiaali mahdollisimman tehokkaasti jätettä synnyttämättä, uudelleenkäyttämällä syntyvä jäte tai kierrättämällä se. Samalla tuotteiden arvo pyritään säilyttämään mahdollisimman pitkään. Kiertotalous on iso kokonaisuus, joka vaatii toteutuakseen koko toimintaketjun siirtymistä kiertotalouden malliin. Toteutuminen edellyttää uudenlaista tuotesuunnittelua, prosessisuunnittelua, palveluita sekä lainsäädäntöä. (Euroopan komissio 2014) Kiertotalous on hyvin monipuolinen kokonaisuus kuten Valtioneuvoston (2021) Kiertotalouden strategisen ohjelman ehdotuksessa kuvataan: ”*Kiertotalous mielletään vielä varsin yleisesti kierrätykseksi ja jätteiden jatkokäsittelyksi – se on sitäkin, mutta myös resurssitehokkuutta sekä palveluiden, digitalisaation ja teollisen internetin mukanaan tuomia mahdollisuuksia lisätä arvoa yritykselle, ympäristölle ja yhteiskunnalle.*”

Kiertotalouden hallinta lähtee tuotesuunnittelusta ja etenee prosessien kautta kulutukseen, uudelleenkäyttöön, korjaukseen ja kierrätykseen. Kiertotalouden mukaisessa tuotesuunnittelussa tavoitteena on tuotteen helppo ylläpito, korjaus, päivitys, uudelleen valmistettavuus ja kierrätys. Tuotteen ominaisuuksia muokataan siten, että siihen käytetään materiaalia vähemmän, mutta kuitenkin siten että tuote pysyy kestäväenä. Kestävyyden avulla tuotteen käyttöikä kasvatetaan. Vaarallisten aineiden ja vaikeasti kierrätettävien materiaalien käyttöä tuotteissa vältetään. Kiertotalouden mukaisissa prosesseissa energian kulutusta ja materiaalihukkaa vähennetään. Prosessien tuotantolaitteistoa koskevat kiertotalouden tuotesuunnittelun periaatteet. Uusia palveluita perustetaan täydentämään kiertotalouden toteutumista. Tällaisia ovat esimerkiksi huolto- ja korjauspalvelut tai prosessien tehokkuutta parantavat palvelut. Lainsäädännöllä voidaan kannustaa uusiin kiertotalousinnovaatioihin, rajoittaa jätteiden kaatopaikoittamista ja ohjata ihmisiä kierrättämään. (Euroopan komissio 2014)

Kiertotaloudessa kukin yritys on omalla osa-alueellaan toimimassa materiaalin kiertokulussa. Tätä osa-aluetta voidaan kutsua kiertotalouden liiketoimintamalliksi. Liiketoimintamalleja on viisi pääryhmää: tuotteen elinkaaren pidentäminen, tuote palveluna, jakamisalustat, uusiutuvuus, sekä talteenotto & kierrätys. (Valtioneuvosto 2021) Yritys voi omalla toiminnallaan vaikuttaa, kuinka hyvin se toimii kiertotalouden mukaisesti.

”Kiertotalouden kestävätkä liiketoimintamallit kemianteollisuuden yrityksille” -käsikirjassa on kuvattu yritysten kiertotalouteen siirtymisen tapahtuvan portaittain. Ajallisesti yritys ensin keskittyy oman toimintansa muuttamiseen, toisena he tukevat asiakkaidensa kiertotaloutta ja kolmanneksi muuttavat oman ekosysteeminsä kiertotalouden mukaiseksi. Neljä suuntaa, joissa yrityksen tulee kehittää osaamistaan, ovat **toimitusketjun tehostaminen** (mm. hukan välttäminen), **kulttuuri ja organisaatio** (mm. kiertotalous-periaatteiden tuominen organisaation ydintoimintaan), **tuotteet ja palvelut** (mm. tuotteiden ja palveluiden uudistaminen elinkaarien pidentämiseksi ja jätteiden vähentämiseksi) sekä **ekosysteemit** (mm. yhteistyö julkisen ja yksityisten sektoreiden kanssa kiertotalouden kehittämiseksi). (Accenture 2020)

Suomessa kiertotalouden ohjauskeinoja ajavat tahot ovat poliittisesti Euroopan komissio ja Suomen valtio. Euroopan komissio on julkaissut kiertotalouden toimintasuunnitelman tuleville vuosille, jonka etapit toteutuessaan vaikuttavat mm. lakien ja sertifiointien avulla myös Suomessa. Suomessa kiertotaloutta on tähän mennessä edistetty pääasiassa tiekartoin tai muilla suunnitelmilla.

### 2.2.1 Kiertotalouden ohjauskeinot Euroopan unionissa

Euroopan komission kiertotalouden toimintasuunnitelma julkaistiin maaliskuussa 2020. Sen keskeisiksi asioiksi Euroopan komissio nosti tuotepolitiikan ja kestävätkä tuotesuunnittelun, joilla voidaan vaikuttaa jopa 80 %:iin tuotteen kaikista ympäristövaikutuksista (Euroopan komissio 2020).

Yritysten yhteistyö kestävien tuotteiden valmistuksessa on yksi etappi kiertotalouteen siirtymässä. Suljetun kierron mallit, joihin teolliset symbioosit voidaan luokitella, tuovat yrityksille säästöjä ja suojaavat raaka-aineiden hinnanvaihteluilta. Materiaalisäästöt korostuvat yritysten taloudessa, sillä keskimäärin 40 % yritysten menoista kuluu materiaaleihin. Euroopan komission tavoitteena on lisätä teollisuuden kiertotaloutta sisällyttämällä kiertotalouden käytännöt tuleviin parasta käytettävissä olevaa tekniikkaa koskeviin vertailuasiakirjoihin, helpottaa teollisten symbioosien kehittämistä mm. teollisuusvetoisella raportointi- ja sertifiointijärjestelmällä, sekä edistää materiaalien seuranta, jäljitystä ja kartoitusta digitaalisilla tekniikoilla. Komissio aikoo myös tukea maailmanlaajuisista siirtymistä kiertotalouteen. (Euroopan komissio 2020)

Komission toimintasuunnitelmassa on määritelty keskeiset tuotteiden arvoketjut, joiden kestävyys aiheuttaa haasteita pidemmällä tähtäimellä. Nämä tuotteet tarvitsevat siis kiireellisiä toimia kiertotalouteen siirtymisessä (arvoketju luodaan uudestaan mm. kierrätyksen tai materiaalien kestävämmän käytön kautta). Pikaisesti koordinoitavat tuotteiden arvoketjut ovat elektroniikka ja tieto- ja viestintäteknikka, akut ja ajoneuvot, pakkausmateriaalit, muovit, tekstiilit, rakentaminen ja rakennukset, sekä elintarvikkeet, vesi ja ravinteet. (Euroopan komissio 2020)

### 2.2.2 Kiertotalouden ohjauskeinot Suomessa

Suomen valtion osalta kiertotalouden edistäminen on edennyt vaiheeseen, jossa on laadittu ehdotus kiertotalouden strategiaksi Suomelle. Strategiaehdotus julkaistiin vuoden 2021 alussa. (Valtioneuvosto 2021) Aikaisempia ohjenuoria kiertotalouden kehittämiseksi ovat aiemmin olleet mm. Sitran kiertotalouden tiekartta (2016) ja Sitran kiertotalouden tiekartta 2.0 (2019) (Sitra 2021). Lisäksi työ- ja elinkeinoministeriö on tehnyt julkaisun kiertotalouden ekosysteemeistä (2020), jossa annetaan myös toimenpidesuosituksia kiertotalouden liiketoiminnan kasvattamiseksi (Ahola et al. 2020).

Kiertotalouden strategiaohjelman ehdotuksen vision mukaan vuonna 2035 (Valtioneuvosto 2021):

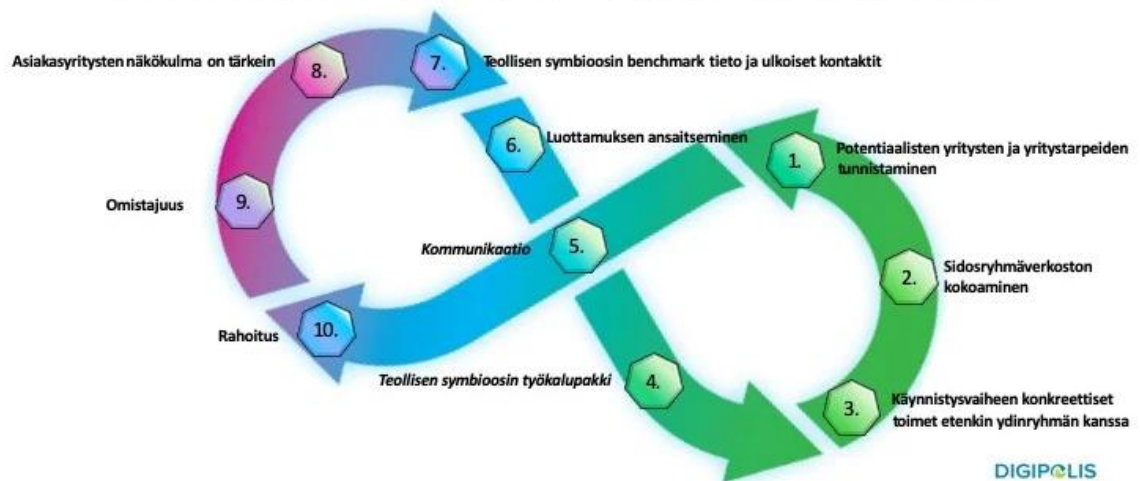
1. Kestävät tuotteet, palvelut ja kestävä kehitys ovat arkipäiväisiä asioita.
2. Yksilöiden, julkisen ja yksityisen sektorin valinnoissa otetaan huomioon tulevaisuus ja kestävä kehitys.
3. Materiaalien elinkaari on pidempi kuin nyt, sillä materiaalia käytetään pidempään, sekä sitä korjataan ja kierrätetään.
4. Kiertotalous on saatu aikaan innovaatioiden, digitaalisten ratkaisujen, järkevän sääntelyn sekä vastuullisten sijoittajien, yritysten ja kuluttajien avulla.
5. Suomi on globaalisti vahva kiertotalouden edelläkävijä, joka tarjoaa kestäviä ratkaisuja maailmalle.

Teollisiin symbiooseihin liittyen kiertotalouden edistämishjelma tähtää siihen, että Suomessa on vuonna 2035 useita menestyviä ja kiertotaloutta toiminnallaan edistäviä liiketoimintaekosysteemejä. Jotta kiertotaloudesta tulee totta, se tarvitsee ekosysteemeitä toteutuakseen. Tavoite toteutetaan perustamalla kiertotalouden ekosysteemien kehitys- ja

kasvukiihdyttämöjä, tukemalla ja kasvattamalla olemassa olevia ja käynnistämällä potentiaalisia innovaatioekosysteemejä, sekä kehittämällä FISS-verkoston (lisää kappaleessa 2.3) toimintaa ja siten rakentaa teollisia symbiooseja uusille alueille. (Valtioneuvosto 2021)

Kiertotalouden tiekartta 2.0:ssa yhtenä avainhankkeena on Kemin Digipoloksen vetämä teollisen kiertotalouden innovaatioalusta. Hankkeessa on kuvattu mm. teollisten symbioosien toimintamalli, tehty ohjeistus teollisten symbioosien käyttöönotolle ja kuvattu teollisen kiertotalouden haasteet ja mahdollistajat. Hankkeessa havainnollistettu teollisten symbioosien toimintamalli on esitetty kuvassa Kuva 2. (Digipolis 2020b) Osana kiertotalouden tiekarttaa on myös kiertotalouden kehitys- ja investointiavustusten aloittaminen. Avustuksia myöntää työ- ja elinkeinoministeriö ja niitä saa käyttää kiertotaloutta edistäviin hankintoihin, selvityksiin tai verkostojen käynnistämisiin tai työllisyyttä tukeviin kiertotalouden innovatiivisten ratkaisujen toteuttamiseen. (Sitra 2019; TEM 2020)

### TEOLLISTEN SYMBIOOSIEN TOIMINTAMALLI: 10 ASKELTA



Kuva 2. Kemin Digipoloksen teollisten symbioosien 10 askeleen toimintamalli (Lähde: Digipolis 2020c)

Poliittiset toimenpiteet helpottavat yritysten siirtymistä kiertotalouteen kannustamalla uusien tuotteiden ja palveluiden kehittämiseen sekä luomalla uudenlaisia kiertotalouden markkinoita. Työ- ja elinkeinoministeriön arvion mukaan Suomella on mahdollista kaksinkertaistaa kiertotalouden liikevaihto ja sen arvonlisä vuoteen 2030 mennessä. TEM suosittelee kiertotalouden kasvattamiseksi mm. pitkäjänteistä tukea tutkimukseen ja



kehitykseen, kiertotaloutta tukevia investointirahoituksia, pk-yritysten mahdollisuuksia hyödyntää erilaisia testi- ja pilotointiympäristöjä, sekä hiilidioksidipäästöjä vähentävien hankkeiden kannustimia. (Ahola et al. 2020) Varsinkin teknologiakehityksen tukemisella voidaan auttaa ekoteollisuuspuistojen symbioosien kehityksessä kehittämällä tehokkaita talteenotto-, erotus- ja kierrätysprosesseja. Lyhyitä hiiliyhdisteitä (hiilidioksidia, metaania ja muita C1-yhdisteitä) on tavoitteena hyödyntää energiana, materiaalina ja ruokana (Ahola et al. 2020).

### 2.3 Teolliset symbioosit

Teolliset symbioosit ovat yksi taso teollisesta ekologiasta. Se keskittyy yritysten ja laitosten väliseen vuorovaikutukseen toisiinsa. Symbioosi-sana tulee ekologian tapaan luonnon toiminnan symbiooseista, joissa vähintään kaksi eri eliötä elävät yhdessä tuottaen samalla hyötyä toisilleen. (Chertow 2000) Teollisissa symbiooseissa eri yritykset toimivat toisiinsa vuorovaikutuksessa siten, että kaikki osapuolet hyötyvät jollakin tavalla asiasta. Vuorovaikutus on fyysisten aineiden, kuten materiaalien, energian, veden tai sivuvirtojen vaihtoa. Teollisilla symbiooseilla saadaan yritykset toimimaan enemmän kiertotalouden mallin mukaisesti yritysten hyödyntäessä yhteisiä resursseja, vähentämällä neitseellisten raaka-aineiden käyttöä ja samalla vähentäen jätteitä. (Johnsen et al. 2015) Motivaationa teollisten symbioosien toteuttamisessa on toiminut vahvasti taloudelliset säästöt (Desrochers 2002). Teollisten symbioosien malli ymmärrettiin käytännössä ensimmäistä kertaa 1980-luvun lopussa. Silloin Kalundborgin teolliset yhteistyöt (lisää Kalundborgista kappaleessa 4.1.1) sanallistettiin symbiooseiksi alueen yhteistyön ollen jo toiminnassa lähes 20 vuotta 1970-luvun alusta lähtien. (Chertow 2000)

Teollisia symbiooseja rakentavina tahoina on muutamissa maissa kansallisia ohjelmia. Iso-Britanniassa toimii NISP (National Industrial Symbiosis Programme), eli kansallinen teollisen symbioosin ohjelma, joka on ensimmäinen kansallisen teollisen symbioosin ohjelma maailmassa. Sen tavoitteena kartoittaa ja yhdistää yrityksiä ja kehittää niiden välille teollisia symbiooseja raaka-aineiden, sivutuotteiden, henkilöstöressurssien, logistiikan, palveluiden, energian ja veden saralla. NISP on yritysvetoinen ja sitä tukee Iso-Britannian hallitus ja teollisuusorganisaatioita. (Saikku 2006) Toiminnan työkaluja ovat mm. työpajat ja toiminnassa kerätyt tietokannat. (International Synergies 2021)

NISP:n toiminta on vähentänyt hiilidioksidipäästöjä noin 42 miljoonaa tonnia. Taloudellisesti se luonut uusia markkinoita 1 biljoonalla punnalla sekä leikannut kuluja (jätteen hävittämisestä, varastoinnista, kuljetuksista ja ostoista) saman verran. NISP on vähentänyt kaatopaikoitettavan jätteen määrää noin 47 miljoonaa tonnia ja lisännyt hyödynnettävän vaarallisen jätteen määrää noin 1,8 miljoonalla tonnilla. Yksi syy ohjelman menestymiseen Isossa-Britanniassa oli sen tietämys alueellisesta taloudesta ja ympäristöstä. NISP-ryhmät koostuivat kansallisista ja paikallisista tahoista, jolloin paikallinen tietämys yhdistyi yleiseen synergiatietämykseen. (International Synergies 2021)

NISP:n toimintaa on kopioitu ja mukautettu moniin muihin maihin, kuten myös Suomeen. Suomessa teollisia symbiooseja fasilitoi FISS (Finnish Industrial Symbiosis System), jota koordinoi Motiva. Suomessa on alueellisia FISS-hankkeita 14:ssä maakunnassa. Alueellisten toimijoiden tehtävänä on löytää, aktivoida ja sitouttaa yritykset resurssitiedon vaihtamiseen, verkostoitumiseen ja siten symbioosien toteuttamiseen. Tässä apuna toimivat työpajat ja resurssitiedon keräys. (Motiva Oy 2021)

### 3 EKOTEOLLISUUSPUISTOT

Kun tietyllä alueella on useampia teollisia symbiooseja, aluetta voidaan alkaa kutsua ekoteollisuuspuistoksi. Ekoteollisuuspuistot ovat yksi kiertotalouden edistämisen muoto, jossa yritykset ovat luoneet symbioottista liiketoimintaa toistensa kanssa. Klassisena esimerkkinä tästä on, että toisen yrityksen jäte tai hukkaenergia hyödynnetään toisen yrityksen toiminnassa.

Ekoteollisuuspuistoissa eri yritykset tekevät yhteistyötä toistensa kanssa. Niiden tavoitteena on luoda kilpailuetua, jota yritykset voivat luoda paremmin yhdessä kuin erikseen. Kilpailuetua saadaan luonnonvarojen tehokkaalla käytöllä ja ympäristökuormitusta pienentämällä. Lisäksi säästöjä voidaan saada käyttämällä yhteisiä palveluita tai alihankintayrityksiä. (Saikku 2006) Kiertotalouteen ja teollisiin symbiooseihin ekoteollisuuspuistot linkittyvät siten, että puistot ovat yksi kiertotalouden ja symbioosien toteutustapa.

Erilaisia termejä ekoteollisuuspuistoista käytetään paljon, joka saattaa vaikeuttaa asiasta keskustelemista. Käytännössä ekoteollisuuspuistot ovat kuitenkin piirteiltään samanlaisia, käytettiin termiä ekoteollisuuspuisto, kiertotalouskeskus, teollinen symbioosi tai jotain muuta kiertotalouden mukaiseen teollisuusalueeseen viittaavaa termiä (Uusikartano 2020). Eri termit voivat kuvata puiston alueen rajausta, piirteitä tai tavoitteita (Saikku 2006).

Yhteistä erilaisille ekoteollisuuspuistoille on, että niissä toimii julkilausuttu tai -lausumaton toiminnan pyörittäjä. Pyörittäjä on puistossa avainasemassa yritysten väliseen sivuvirtojen toimittamiseen ja näiden mahdollisuuksien löytämiseen. Pyörittäjänä voi toimia yritys, puistoa koordinoiva keskusorganisaatio tai jokin muu usean toimijan muodostama alueella toimiva elin. Julkilausuttu pyörittäjä on yleensä se, joka kehittää, tarkkailee ja koordinoi aluetta yleisesti sekä saattaa muita yrityksiä alueelle yhteen. Julkilausumaton pyörittäjä puolestaan on sellainen, jonka sivuvirroista muut yritykset saavat raaka-aineensa ja joka on näin vetänyt omilla sivuvirroillaan nämä yritykset alueelle ekoteollisuuspuistoksi. (Uusikartano 2020)

Ekoteollisuuspuisto-termiä ei voi kuitenkaan käyttää liian löyhin perustein. Tärkeimpänä kriteerinä voidaan pitää sitä, että **ekoteollisuuspuistossa on minimissään kolme osallistujaa, jotka vaihtavat vähintään kahta eri materiaali- tai energiavirtaa** (Chertow 2007). Materiaali- ja energiavaihtojen lisäksi Lowen (2001) kriteereinä oikealle ekoteollisuuspuistolle on se, että sen pitää olla enemmän kuin:

- kierrätystoimintaa
- kokoelma ympäristöalan yrityksiä
- kokoelma yrityksiä, jotka tekevät ympäristöystävällisiä tuotteita
- teollisuusalue, jonka yrityksiä yhdistää yksi symbioottinen asia (esim. yhteisen aurinkoenergian käyttö)
- teollisuusalue, joka on rakennettu ympäristöystävällisesti tai
- teollisuuden, kauppojen ja asuinrakennusten yhteiskeskittymä (Lowe 2001)

### 3.1 Ekoteollisuuspuistojen originaalijaottelu

Ekoteollisuuspuisto -sanaa voidaan käyttää myös sellaisista symbiooseista, joissa yritykset sijaitsevat kauempana toisistaan. Taulukossa Taulukko 1 on esitelty ekoteollisuuspuistojen eri tyyppejä. Tyypit voivat vaihdella maantieteellisen sijoittumisen ja materiaalivaihtotyyppien mukaan. (Saikku 2006)

Taulukko 1. Ekoteollisuuspuistojen tyypit (Lähde: Saikku 2006; Chertow 2000)

Ekoteollisuuspuiston tyyppi	Kuvaus
Tyyppi 1	<b><i>Jätteiden vaihto</i></b> Kierrätettävät materiaalit annetaan tai myydään ulkopuoliselle yritykselle.
Tyyppi 2	<b><i>Symbioosit yrityksen tai organisaation sisäisesti</i></b> Kierrätettäviä materiaaleja annetaan saman organisaation sisällä eri osastolle.
Tyyppi 3	<b><i>Symbioosit toistensa välittömässä läheisyydessä sijaitsevien yritysten kesken</i></b> Kierrätettävien materiaalien, energioiden tai vesien vaihto lähekkäin olevien yritysten kesken tietyn teollisuusalueen sisällä.

---

Tyyppe 4	<p><b><i>Symbioosit lähekkäin sijaitsevien yritysten välillä</i></b>  Materiaalit kiertävät yritysten välillä, mutta yritykset eivät sijaitse toistensa välittömässä läheisyydessä. Suurempi mahdollisuus ottaa uusia yrityksiä mukaan verkostoon kuin tyyppi 3:ssa, koska puiston fyysiset rajat tulevat hitaammin vastaan. Etäisyydet noin kymmeniä kilometrejä.</p>
Tyyppe 5	<p><b><i>Symbioosit laajalla maantieteellisellä alueella sijaitsevien yritysten välillä</i></b>  Yhteistyötä tekevät yritykset voivat sijaita eri alueilla (satojen kilometrien päässä toisistaan, esim. Itämeren ympärillä).</p>

---

Tyyppi 1:n ekoteollisuuspuistotyyppi ei varsinaisesti täytä ekoteollisuuspuistojen kriteerejä vaan se on jätteen yksipuolista myymistä tai antamista eri toiminnan raaka-aineeksi. Riippuen materiaalista, yleensä jätteiden vaihto on viimeinen materiaalikierron vaihe ennen materiaalin energiakäyttöä tai hävitystä. Tällainen toiminta voi olla esimerkiksi romumetallin kierrätys. (Chertow 2000)

Tyyppi 2:ssa jätteiden vaihto yrityksen tai organisaation sisäisesti tapahtuu nimensä mukaisesti yhden organisaation sisällä. Se voi olla esimerkiksi toisen toiminnon jätteen hyötykäyttöä yrityksen toisessa toiminnossa tai organisaation yhteistä jätteen ja jäteveden käsittelyä. Energiaan liittyen se voi olla energian tuotannon tai käytön integrointia. (Chertow 2000) Tämän tyyppin toimintaa voi olla esimerkiksi metsäteollisuuden sahan ja sellutehtaan yhteisessä toiminnassa.

Tyyppi 3:ssa symbioosit sijaitsevat samalla teollisuusalueella tai muuten toistensa välittömässä läheisyydessä. Tarvittaessa tyyppin 3 ekoteollisuuspuiston rajat voivat olla joustavat, eli mahdollisuuksien mukaan alueen ulkopuolella oleva yritys voidaan liittää symbiooseihin. Alue voi olla tarkoituksella kehitetty ekoteollisuuspuistoksi tai symbiooseja on alettu kehittämään olemassa olevaan teollisuusalueeseen. Vaihdeettavia aineita voivat olla energia, vesi ja materiaalit, sekä yritykset voivat jakaa keskenään palveluita tai muita ei-fyysisiä asioita, kuten kuljetuksia, lupa-asioita tai markkinointia. (Chertow 2000)

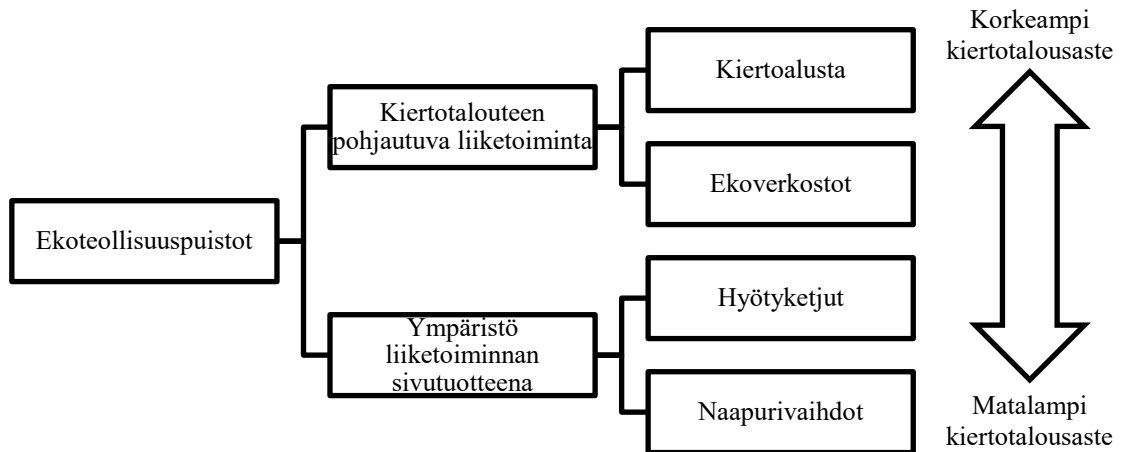
Tyyppi 4:n symbioosit voivat tapahtua lähekkäin toisistaan, mutta yritysten ei tarvitse olla toistensa naapureita. Tämä on etu, sillä yritykset voivat tehdä yhteistyötä, mutta aluetta ei sido liikaa rajallinen pinta-ala. Yleensä tässä tyypissä alueen keskeisimmät yritykset ovat olleet olemassa ennen kehittyneitä teollisia symbiooseja ja niitä täydentävät symbioosit ovat tulleet alueelle myöhemmin. (Chertow 2000)

Tyyppi 5:n symbioosit sijaitsevat laajalla maantieteellisellä alueella. Ne voivat olla hyvin vaihtelevia, sillä mitä laajemmalla alueella toimitaan, sitä laajempia ovat mahdollisuudet. Toisaalta pitkä välimatka myös karsii jotkut materiaalivaihdot pois, mutta toisaalta vaihdettava asia voi olla myös tieto. Tiedon avulla voidaan luoda ns. virtuaalisia ekoteollisuuspuistoja, jotka ovat apuväline konkreettisten symbioosien suunnitteluun. Tyyppi 5:n etuna on se, että jo olemassa oleva yritys voi tulla mukaan teollisuuden symbiooseihin ilman yrityksen sijainnin muutosta. Materiaalivaihto tapahtuu tässä tapauksessa esimerkiksi putkia pitkin, rekoilla tai laivoilla. Tyyppi 5:n kuuluvaa toimintaa voi olla materiaalikierrätykset, virtuaalisten ekoteollisuuspuistojen alustat tai valtakunnalliset kehitysprojektit. (Chertow 2000)

### **3.2 Ekoteollisuuspuistojen NaHEK-jaottelu**

Edelle esitetyn originaalijaottelun keskittyessä puistotyyppien jaotteluun perustuen niiden maantieteelliseen laajuuteen, saatetaan joissakin tapauksissa tarvita myös puistojen laadullista jaottelua. NaHEK-mallissa (**N**aapurivaihdot, **H**yötyketjut, **E**koverkostot ja **K**iertotalousalusta) jaottelu kuvaa puistojen symbioosien kattavuutta ja puiston pyörittäjän osallisuutta puiston toimintaan.

NaHEK-mallin mukaan ekoteollisuuspuistoja voidaan jaotella kahteen pääluokkaan: puistoihin, joissa ympäristö on liiketoiminnan sivutuotteena sekä kiertotalouteen pohjautuva liiketoiminta. Nämä kaksi pääluokkaa puolestaan voidaan jaotella vielä neljään eri tyyppiin, jotka ovat naapurivaihdolliset, yötyketjut, ekoverkostot ja kiertotalousalustat. Nämä tyypit on esitetty kuvassa Kuva 3. (Uusikartano 2020)



Kuva 3. NaHEK-mallin ekoteollisuuspuistotyypit jaoteltuna kahteen pääluokkaan: ympäristöasiat sivutuotteena ja ympäristö liiketoiminnan sivutuotteena (Mukaiillen: Uusikartano 2020).

Kun ympäristö on liiketoiminnan sivutuotteena, se on lähempänä tavallisempaa lineaarista liiketoimintaa. Siinä symbioosi on rakentunut yritysten normaalin liiketoiminnan päälle, kun yritykset ovat alkaneet hyödyntämään toisen/toistensa sivuvirtoja omassa toiminnassaan. Kiertotalouteen pohjautuva liiketoiminta puolestaan on rakentunut nimensä mukaisesti kiertotalouden pohjalle. Tähän pohjautuvia yrityksiä voi syntyä esimerkiksi olemassa olevien yritysten vierelle hyödyntämään heidän sivuvirtojaan. (Uusikartano 2020) NaHEK-mallin tyyppien vertailu on esitetty taulukossa Taulukko 2.

Taulukko 2. NaHEK-mallin ekoteollisuuspuistotyyppien vertailu.

Tyyppi	Orgaanisesti muodostunut	Pyörittäjä	Materiaali ja/tai tieto liikkuu
Naapurivaihdot	Kyllä	Kaikki osapuolet	Materiaali
Hyötyketjut	Kyllä	n. 1-4	Materiaali
Ekoverkostot	Ei	Yksi mahdollistaja	Materiaali ja tieto
Kiertoalusta	Ei	Yksi aktiivinen	Materiaali ja tieto

Naapurivaihdot ovat yleensä orgaanisesti syntyneitä symbiooseja, kun esimerkiksi naapuriyritykset huomaavat hyödyntämispotentiaalin toistensa sivuvirroissa. Ympäristöaspektien lisäksi vaihdoilla saadaan aikaan taloudellista säästöä. Yleensä puiston kaikki osapuolet ovat tasavertaisesti puiston pyörittäjiä ja ne sijoittuvat samalle teollisuuden alalle. Toimijoiden kanssakäyminen on vähäistä, pääasiassa vain kahden keskistä materiaalivaihtoa. (Uusikartano 2020)

Hyötyketjut ovat toinen Ympäristö liiketoiminnan sivutuotteena -luokan ekoteollisuuspuistotyyppi ja orgaanisesti edennyt muoto Naapurivaihdot-tyypistä. Tässä tyypissä kahden yrityksen keskinäiset vaihdot ovat voineet edesauttaa yrityksen muidenkin sivuvirtojen hyödyntämistä ja siten uusien symbioosiketjujen syntyä. Yritys on voinut esimerkiksi huomata vaihtojen olevan liiketoimintaa hyödyttäviä, jolloin uusille vaihtomahdollisuuksille on oltu avoimia. Vaihtojen keskellä on yksi tai muutama pyörittäjä, joiden olemassa olo mahdollistaa ketjujen olemassa olon. Toimijoiden välinen kanssakäyminen on kohtalaista ja perustuu materiaalivaihtoon. (Uusikartano 2020)

Ekoverkostot ovat yhden julkilausutun pyörittäjän organisoituja ekoteollisuuspuistoja. Pyörittäjä mahdollistaa verkoston synnyn ja toiminnan, mutta verkoston yritykset eivät ole aktiivisesti yhteydessä tähän tahoon vaan kanssakäymiset verkoston yritysten kanssa hoidetaan itsenäisesti. Puistossa vaihtuvat materiaalin lisäksi tieto, joka auttaa yrityksiä luomaan uusia symbiooseja muiden verkostossa olevien yritysten kanssa. Hyötyketjuihin verrattuna ekoverkostoissa onkin ketjujen lisäksi ketjuja yhdistäviä sidoksia. Tästä tuleekin verkosto-nimitys. Ekoverkostoihin voi kuulua monia eri teollisuuden aloja. Yhteisenä keskeisenä tekijänä näillä yrityksillä on halu tehdä kiertotalouden mukaista liiketoimintaa. (Uusikartano 2020)

Kiertoalustalla symbioosit kulkevat koko yritysten verkoston läpi eikä ilman verkostoa niiden toiminta olisi edes olemassa. Yksi elinehto kiertoalustalle on myös pyörittäjä, joka on yksi julkilausuttu aktiivinen toimija, jonka kautta tapahtuu kaikkien yritysten kanssakäymiset. Kiertoalusta on vielä aika ideaali ekoteollisuuspuistotyyppi. (Uusikartano 2020)



### 3.3 Ekoteollisuuspuistojen hallintomallit

Jotta ekoteollisuuspuistojen ja niiden teollisten symbioosien toimintaa pystyisi tehokkaasti arvioimaan ja kehittämään kokonaisvaltaisesti, ovat monet tutkijat sitä mieltä, että sillä pitää olla ohjaaja, joka tarkkailee, rakentaa ja ohjaa puistoa eteenpäin kokonaisuutena. Ohjaaja voi olla hallinto, joka voidaan toteuttaa puiston yritysten haluamalla tavalla. Mahdollisia hallintomalleja on luokiteltu tässä työssä taulukossa Taulukko 3. Esitetyt hallintomallit ovat puiston yritysten vetämä yhteishallintomalli, julkishallinnon vetämä malli, julkishallinnon ja yksityisten yritysten yhteishallintomalli, sekä yksityisen yrityksen vetämä malli (Unido 2017) Erilaisia eroja hallintomallien välillä ovat hallinnon koko, resurssit, näkökulma alueeseen ja päätäntävällän sijoittuminen.

Taulukko 3. Hallintotyyppien vertailu. (Lähde: Saikku 2006; Unido 2019)

Hallintotyyppi	Vetäjä	Haasteet	Mahdollisuudet
Julkishallinnon vetämä hallintomalli	Julkinen toimija, esim. kuntaorganisaatio, alueellinen ympäristökeskus tai maakuntaliitto.	- Toiminta julkishallinnon resurssien ja sääntöjen varassa.	+ Alueen yritykset voivat keskittyä ydinosaamiseensa, kun ei tarvitse osallistua verkoston hallinointiin.
Yksityisen yrityksen vetämä hallintomalli	Yksi alueen yritys, esim. ns. ankkuriyritys. (Ankkuriyritys on usein alueen isoin yritys.)	- Riskinä alueen kehitys vain hallinnoijan oman edun kannalta.	+ Vetävällä yrityksellä on sitoutuneisuutta sekä totuudenmukainen kuva puiston toiminnasta.
Puiston yritysten hallintomalli	Alueen yritykset yhdessä. Verkoston johdossa voi olla esim. yritysten omistama osakeyhtiö.	- Osakkaiden erilaiset tavoitteet.	+ Yhdessä asioista päättäminen varmistaa yritysten tasapuolisen kohtelun.

Julkishallinnon ja yksityisten yritysten hallintomalli	Yritykset ja julkinen toimija yhdessä. Verkoston johdossa voi olla esim. heistä koostuva yhteisyritys.	- Raskas hallinto. - Osakkaiden erilaiset tavoitteet.	+ Yhdessä asioista päättäminen varmistaa yritysten tasapuolisen kohtelun. + Verkoston työt voidaan jakaa julkishallinnon ja yritysten kesken: esim. itsehallinnolliset tehtävät yrityksille ja omaisuutta hallitsevat tehtävät julkiselle toimijalle.
--	--	--	--

Hallinnon kolme tärkeintä roolia ovat olla verkoston arkkitehti, johtava toimija ja huolenpitäjä. Verkoston arkkitehdin rooliin kuuluu symbioosiyritysten yhteen kokoaminen ja verkoston organisointi. Johtavan toimijan rooliin kuuluu symbioosiyritysten yhteen saattaminen yhteisiin projekteihinsa. Huolehtijan rooliin kuuluu puolestaan luottamuksen varmistaminen verkostossa, jotta yhteistyö onnistuu. (Zaoual & Lecocq 2018)

Lowen (2001) jaon mukaan hallinnon tehtävät voidaan jakaa omaisuutta hallitseviin tehtäviin ja yhteisön itsehallinnon tehtäviin. Omaisuutta hallitseviin tehtäviin kuuluvat mm. omaisuudesta ja infrastruktuurista huolehtiminen, uusien yritysten rekrytointi, puiston sisäiset ja ulkoiset sopimusneuvottelut, talouden hallinnointi, viestintä sidosryhmien kanssa ja valvonta. Yhteisön itsehallinnon tehtäviin puolestaan kuuluvat puiston elinvoimaisuuden ylläpito ja viestinnän edistäminen sisäisesti sekä ulkoiset tiedotukset. Näiden lisäksi on yhteisiä tehtäviä, jotka ovat esim. standardien voimaansaattaminen puistossa sekä materiaaleihin ja energian vaihtoon liittyvät tehtävät. (Lowe 2001)

## **4 EKOTEOLLISUUSPUISTOT ULKOMAILLA JA SUOMESSA**

Tässä kappaleessa esitellään ekoteollisuuspuistoja ja teollisia symbiooseja ulkomailta ja Suomesta. Alueet on valittu siten, että saataisiin mahdollisimman kattava kuvaus erilaisista teollisista symbiooseista sillä näkökulmalla, että alueella on myös voimalaitos. Ainoana poikkeuksena tästä on suomalaisen Envitechin teolliset symbioosit, joka on valittu sen monimuotoisten teollisuuden ja maatalouden yhdistävien symbioosien vuoksi. Teolliset symbioosit eivät aina välttämättä ole vain teollisuuslaitosten välisiä symbiooseja vaan ne voivat myös olla symbiooseja alkutuotannon kanssa.

### **4.1 Ulkomaiset ekoteollisuuspuistot**

Ulkomaisista teollisista symbiooseista tähän työhön valikoituivat Kalundborgin, Styrian ja Norrköpingin ekoteollisuuspuistot. Kalundborg ja Styrian symbioosit ovat isoja ja monimuotoisia ekoteollisuuspuistoja, jotka toimivat hyvin teollisten symbioosien oppien välittämiseen. Norrköpingin teolliset symbioosit valikoituivat mukaan sen vuoksi, että siellä voimalaitoksen polttoaineet ovat samankaltaisia diplomityön case-alueen Laanilan voimalaitoksissa käytettävien polttoaineiden kanssa.

#### **4.1.1 Kalundborg**

Kalundborgin teollisuusalue Tanskassa on maailman ensimmäinen ekoteollisuuspuisto. Se on kehittynyt orgaanisesti öljynjalostamon, hiilivoimalan ja kipsilevytehtaan ympärille. Ajavana tekijänä kehitykselle on ollut paremman taloudellisen hyödyn saavuttaminen ja teollisuuteen otettavan pintaveden kestävä käyttö. (Saikku 2006; Sommer 2020)

Kalundborgin ekoteollisuuspuistolla on oma hallitus, jossa on mukana edustajia alueella toimivista yrityksistä. He maksavat vuosittain jäsenmaksun puistolle ja ovat siihen sitoutuneita. Yhtenä hallinnollisena toimijana alueella on Kalundborgin teollisen symbioosin keskus. Keskus toimii hallituksessa sihteerinä ja puiston pyörittäjänä, tiedon välittäjänä alueella yritykseltä yritykselle, sekä kerää ja välittää tietoa Kalundborgin symbiooseista alueen ulkopuolisille toimijoille. Lisäksi keskus järjestää koulutuksia,

auttaa uusien ekoteollisuuspuistojen suunnittelussa sekä osallistuu uusien puistohankkeiden perustamiseen. (Saikku 2006; Sommer 2020).

Alueella on 11 teollisuusyritystä, joiden välillä on jatkuvasti kehittyviä symbiooseja. Erilaisia hyödynnettäviä sivuvirtoja alueella on 22, sisältäen lämmön, veden ja materiaalit (Kalundborg Symbiose 2021). Kalundborgin ekoteollisuuspuistotyyppi on NaHEK-mallin mukaisesti kiertoalusta tai sekoitus ekoverkoston ja kiertoalustan väliltä. Originaaliluokittelun mukaan puisto on tyyppiä 4.

Hiiltä polttoaineenaan käyttävä voimalaitos vastaanottaa pintavettä ja öljynjalostamon lauhdevettä. Pintavesi teollisuudelle saadaan Tissø-järvestä, josta vesiyhtiö toimittaa sen Kalundborgin alueen yrityksille. Voimalaitoksella pintavettä käytetään lauhdevetenä. Lisäksi voimalaitos käyttää samasta järvestä saatua öljynjalostamon saastumatonta lauhdevettä höyryntuotannossa. Käytetty lauhdevesi on lämpimämpää kuin suoraan järvestä saatu vesi, joten höyryn tuotannossa säästetään energiaa ja järvestä käyttöön otetun veden määrää. (Kalundborg Symbiose 2021)

Voimalaitoksen hyödynnettyjä tuotteita puolestaan ovat höyry, kaukolämpö, deionisoitu vesi, jätevesi, lentotuhka ja kipsi. Höyry hyödynnetään öljynjalostamolla sekä entsyymi- ja lääketehaalla. Kaukolämpöä käytetään myös samaisilla entsyymi- ja lääketehailla, sekä Kalundborgin kunnassa, jossa sillä lämmitetään asuntoja. Deionisoitua vettä käytetään voimalaitoksessa höyryturbiinissa, jotta höyrykattila- ja turbiinit eivät hajoaisi epäpuhtauksista. Tätä vettä lähetetään öljynjalostamon omaan höyryntuotantoon sekä jätevedenpuhdistamolle. Jätevesi kulkeutuu jäteveden puhdistamolle, jossa se puhdistetaan ja lämpö otetaan lämmönvaihtimilla talteen kaukolämmöksi. Puhdistettu vesi ohjataan luontoon. Voimalaitoksen kivihiilen lentotuhka hyödynnetään betonin valmistuksessa. Voimalaitoksen kipsi puolestaan syntyy savukaasujen rikin puhdistuksen yhteydessä, jossa rikki sidotaan kalkilla synnyttäen teollisuuskipsiä. Kipsilevytehdas hyödyntää tämän valmiiksi jauhetun kipsin omassa tuotannossaan säästäen neitseellistä kipsiä sekä omaa työtään. (Kalundborg Symbiose 2021)

#### 4.1.2 Styria

Toinen vuosikymmeniä orgaanisesti kehittynyt ekoteollisuuspuisto on Itävallassa, Styriassa. Sen kehittymisen ajavana tekijänä ovat olleet taloudelliset syyt, sillä yritykset ovat säästäneet käyttämällä sivutuotteita raaka-aineinaan tai vastaavasti saaneet omista

sivutuotteistaan tuottoa. Lisäksi säästöjä on saatu kaatopaikkakustannuksien vähenemisestä. Styrian symbioosit ovat monipuolisia, sillä yrityksiä aloja ovat mm. muovi-, tekstiili-, paperi-, energia, elintarvike- ja metalliteollisuutta, maataloutta, rakennusmateriaalien valmistusta sekä jätealaa. (Saikku 2006)

Tiedettävästi Styrian symbiooseilla ei ollut hallintoa vuoteen 2005 asti, jolloin Styriaan perustettiin vihreiden innovaatioiden klusteri, Green Tech Cluster Styria. Klusteriin kuuluu nykyään noin 180 yritystä ja tutkimuslaitosta ja sen tavoitteena on kehittää ympäristötekniikkaa ja sen markkinoita. Klusterin ydinosaa-alueita ovat energianhallinta ja älykkäät verkot. (Euroopan Unioni 2021) Klusterin omistus on jakautunut kunnalliseen ja alueen yrityksiä omistukseen. Klusterilla on erikseen oma hallinto ja strategiatimi. Hallinto on julkisen hallinnon ja yrityksiä yhteishallinto, joka koostuu alueen yrityksistä sekä Grazin kaupungin ja Styrian läänin edustajista. Strategiatimi koostuu alueen yrityksiä ja tutkimuskeskusten edustajista sekä klusterin hallinnosta. (Green Tech Cluster GmbH 2020)

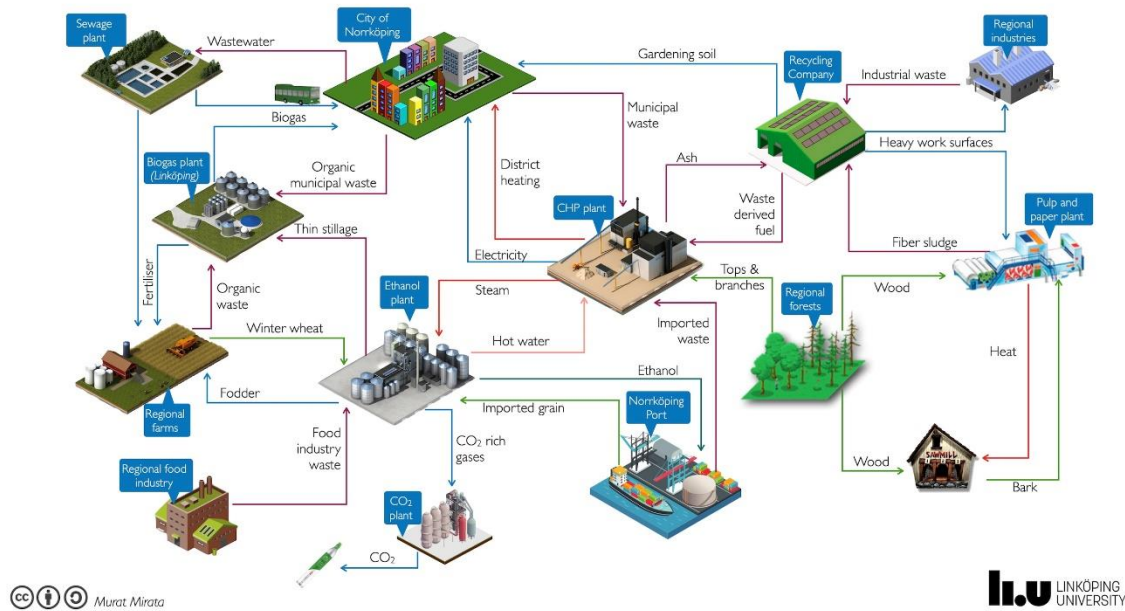
Styrian symbioosien ekoteollisuuspuistotyyppi on todennäköisesti ekoverkosto, sillä kehitys on järjestäytyntä ja organisoitua klusterin kautta ja symbioosit ovat monipuolisia. Puiston tehtaat todennäköisesti sijaitsevat Styrian alueella, esim. isoimmat yritykset ovat noin tunnin ajomatkan päässä toisistaan. (Euroopan Unioni 2021) Originaaliluokittelulla ekoteollisuuspuistotyyppi on luultavasti tyyppiä 5, sillä klusterin alue sisältää koko Styrian läänin.

Voimalaitoksien teollisista symbiooseista vuoden 2006 tietojen mukaan puistossa on kaksi voimalaitosta, joiden polttoaine ei ole tiedossa. Voimalaitoksien hyödynnettyjä tuotteita ovat kaukolämpö, kipsi sekä lento- ja pohjatuhka. Kaukolämmöllä lämmitetään Voitsbergin ja Grazin kaupunkeja. Alueella on kuusi sementtitehdasta, joista kolmessa käytetään voimalaitoksien kipsiä. Voimalaitos 1:n lento- ja pohjatuhkat toimitetaan kaivosyhtiölle ja voimalaitos 2:n lentotuhkat kolmelle sementtitehtaalle. (Saikku 2006)

### 4.1.3 Händelö

Händelön teollisuusalue Norrköpingissä on orgaanisesti syntynyt, biotuotteisiin nojaava puisto. Päätoimijana alueella on voimalaitos, etanolin tuotantolaitos ja biokaasulaitos, sekä lisäksi symbiooseihin liittyy sellun ja paperin tuotantoa, maataloutta ja

kemikaaliteollisuutta. Voimalaitos perustettiin vuonna 1982, mutta teollinen symbioosi etanolitehtaan kanssa alkoi sen tuotannon alussa 2000-luvulla. (Linköpingin yliopisto 2021a) Puiston symbioosit on esitetty kuvassa Kuva 4.



Kuva 4. Händelön ekoteollisuuspuiston symbioosit (Lähde: Murat 2021)

Vuodesta 2002 alkaen maakunnan alueen vihreää teollista kasvua on yritetty ohjata paikallisten ohjaajien avulla, mutta jostain syystä ulkopuolinen tuki kuntien, eri järjestöjen tai muiden mahdollisten pyörittäjien/mentorien osalta on ollut katkonaista eikä kehitystä ole ajettu vahvasti eteenpäin. Se on näkynyt myös alueen ekoteollisuuspuistojen hitaana kehityksenä. (Johnsen et al. 2015) Ajan myötä Händelön olemassa olevia symbiooseja on kuitenkin haluttu kehittää järjestelmällisesti. Vuonna 2019 symbioosien vahvistamiseksi on aloitettu hanke, jota vetää kaksi ulkopuolista toimijaa. Kehitystyö toteutetaan projektimuotoisesti. (HEIP 2021; Linköpingin yliopisto 2021b) Arviolta puiston tyyppi pyörittäjien olemassa ollessa on ekoverkosto.

Puiston voimalaitos on CHP-laitos, joka käyttää polttoaineenaan kotitalouksien ja teollisuuden jätteitä, sekä metsäteollisuuden jätteitä. Muut metsäteollisuuden biomassat ovat sahojen sekä sellun ja paperin teon raaka-ainetta. CHP-laitos tuottaa sähköä ja kaukolämpöä Norrköpingin kaupungille, sekä höyryä etanolitehtaan. Etanolitehtaan hiilidioksidivirta hyödynnetään hiilihappotuotteina. (Linköpingin yliopisto 2021b)

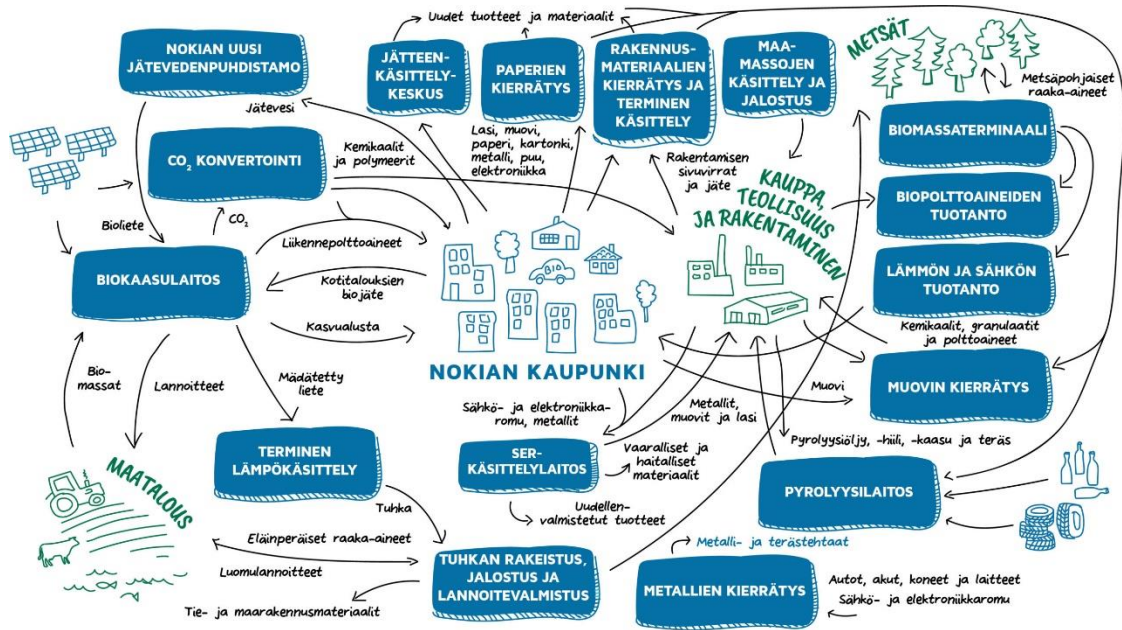
## 4.2 Suomalaiset ekoteollisuuspuistot

Suomalaisista ekoteollisuuspuistoista tässä työssä esitellään Nokialainen ECO3, Forssalainen Envitech ja Jyväskylässä olleet teolliset symbioosit. ECO3 valikoitui mukaan sen vuoksi, että sen liiketoimintamalli on laaja, sillä kehittämisessä on mukana kaupunki, alueen oma kehitysyhtiö sekä tutkimuslaitoksia. Alueella on myös lämmön- ja sähköntuotantoa metsäraaka-aineista, joka koskettaa myös tämän diplomityön case-alueetta. Envitech on mukana sen monimuotoisuutensa, pitkän historiansa sekä ravinteiden kierron ansiosta. Ravinteet kiertävät symbiooseissa alkutuotannon kautta takaisin laitoksiin. Jyväskylän symbioosit ovat näistä esimerkeistä ainoat, joita ei ole enää olemassa. Se on esimerkkinä siitä, että symbioosit voivat loppua yhden toimijan lähtiessä yhteistoiminasta pois. Jyväskylän CHP-laitos on myös hyvä verrokki case-alueen CHP-laitokselle.

### 4.2.1 ECO3

ECO3-kiertotalousalue on bio- ja kiertotalouteen tähtäävä 120 ha kokoinen teollisuuskeskittymä Nokialla. Alue toimii samalla pilot- ja demonstraatioalustana uusille kiertotalouteen liittyville liikeideoille ja teknologioille. Kiertotalouspuistoalueen tontit myy Nokian kaupunki ja puiston pyörittämisestä vastaa Nokian kaupungin kehitysyhtiö Verte Oy. (ECO3 2019)

Mukana on myös tutkimuslaitoksia (Tampereen yliopisto, Luke, VTT), jotka tekevät yhteistyötä yritysten kanssa kehittämällä samalla alueen toimintaa. Verte Oy koordinoi aluetta, sekä vastaa yritysten yhteistyön kehittämisestä ja sijoittumisesta arvoketjussa. Lisäksi se houkuttelee uusia liiketoimintoja puistoon. Tavoitteena on luoda alueelle globaalisti mielenkiintoisia bio- ja kiertotalouden ratkaisuja. (Digipolis 2020a) Kuvassa Kuva 5 on ECO3-yritysalueen ja Nokian kaupungin tekemä kuvaus ekopuistoalueen yritysten välisistä symbiooseista.



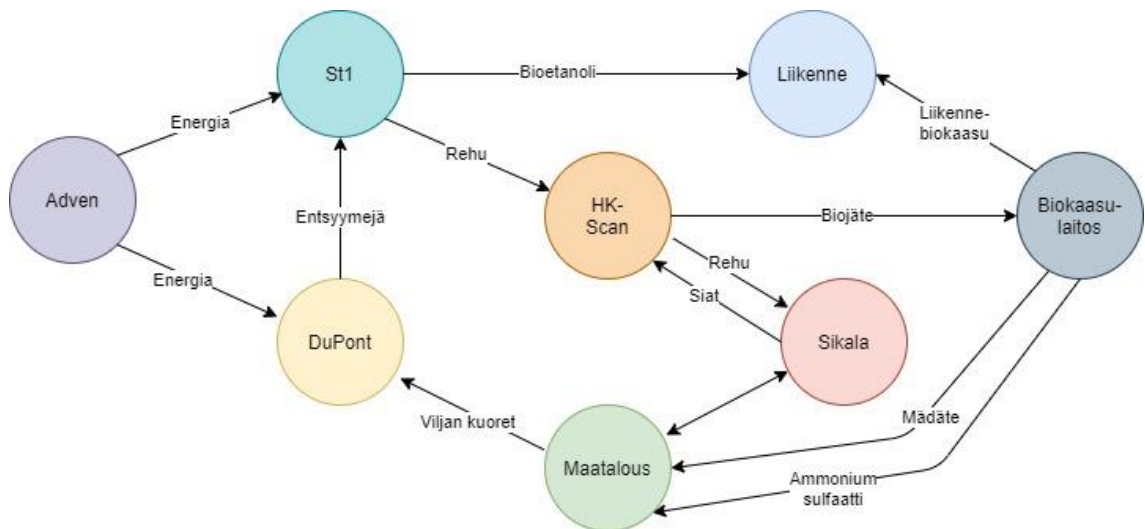
Kuva 5. ECO3-konsepti kuvana. (Lähde: ECO3/Nokian kaupunki 2019)

Siinä lämmön ja sähköntuotanto yhdistyy biomassaterminaalien ja metsäpohjaisten raaka-aineiden kautta tuhka- ja eläinperäisten lannoitteiden valmistuksesta maatalouteen, jätevesien puhdistukseen ja biokaasulaitokseen. Lämmön ja sähköntuotannon raaka-aine, metsäbiomassa, lannoitetaan biokaasulaitoksen lämpökäsitellyn lietteen jalostetulla tuhalla, mikä liittyy metsäbiomassan tuotannon mukaan isompaan symbioottiseen verkostoon. (ECO3/Nokian kaupunki 2019; Ecolan 2021)

#### 4.2.2 Envitech

Envitech-alue on Forssassa sijaitseva 255 hehtaarin kokoinen ekoteollisuuspuisto. Alun perin Suomen lasin ja jääkaappien kierrätys oli keskittynyt kyseiselle alueelle, josta se lähti kehittymään kohti kiertotalouspuistoa. Alueen tavoitteena on kehittyä hiilineutraaliksi. Tällä hetkellä alueella on yrityksiä, jotka tekevät uusiolasia, -lasivillaa ja -betonia, sekä EnvorGroupin biokaasulaitoksia. Kuvassa Kuva 6 on esitelty Envitechin alueeseen liittyvät symbioosit.





Kuva 6. Envitech-alueeseen liittyvä bionaloussystemi. Esitellyistä toiminnoista vain biokaasulaitos sijaitsee ekopuistoalueella. (Mukaillen: Fykki 2021)

Alueen symbioosit ovat laajentuneet alueen ulkopuolisten yritysten kanssa. Esimerkiksi, yhdessä maatalouden, St1:n bioetanolin valmistuksen, Dupontin entsyymivalmistuksen ja HK:n lihanjalostamoiden kanssa biokaasulaitos mahdollistaa biomassojen ja ravinteiden kierron. Näistä Envitechin ekoteollisuusalueella sijaitsee vain biokaasulaitos. Puiston biokaasulaitos tuottaa energiaa alueen teollisuudelle ja biokaasua polttoaineeksi autoille. (Fykki 2021)

Alueen pyörittämisestä vastaa Forssan Yrityskehitys Oy, Fykki. Ekoteollisuuspuistossa kiertävät materiaalin ja energian lisäksi tieto, (Fykki 2021) joten NaHEK-mallin mukaan puiston tyyppi saattaa olla ekoverkosto. Pyörittäjän ja alueen yritysten välisestä suhteesta ei ole varmuutta. Originaalijaottelun mukaan puisto saattaa olla tyyppiä 4, sillä sen symbioosit ulottuvat laajemmalle alueelle kuin itse Forssassa sijaitsevaan teollisuuspuistoalueeseen.

#### 4.2.3 Jyväskylä

Jyväskylässä materiaali- ja energiavaihtoja kehittyi orgaanisesti kunnallisen Rauhalahden CHP-laitoksen ja Säynätsalon vaneritehtaan välille. Lisäksi yhteistoimintaa tekivät Kankaan paperitehdas ja Vihderlandian kasvihuoneet. Symbioosien kehittyminen alkoi 1960-luvulta lähtien. CHP-laitos tuotti sähköä ja lämpöä kaupungin tarpeisiin, sekä höyryä läheisen paperitehtaan toimintoihin. Vaneritehtaan puujätteet hyödynnettiin CHP-laitoksessa polttamalla ja siitä syntyvä lämpö lähialueen talojen lämmityksessä.

Paperitehtaan lämpimillä vesillä puolestaan lämmitettiin läheisiä kasvihuoneita. (Saikku 2006) Alueen toiminta ei ole enää tämänkaltainen, sillä paperitehdas suljettiin vuonna 2010 ja vaneritehdas kesällä 2020. (Yle Uutiset 2020; Kansan Uutiset 2017) Alue kuitenkin toimii hyvänä esimerkkinä kunnallisen CHP-laitoksen ja yksityisen sektorin teollisuuden symbiooseista.

Alueen hyötyjä olivat päästöjen pienentyminen ja taloudelliset säästöt. Ulkopuolisten polttoaineiden käyttöä yhteistoiminnalla voitiin vähentää noin 40 %. Alueen ankkuritoimijana on ollut kunnallinen CHP-laitos, mutta erillistä hallintoa alueella ei ollut. (Saikku 2006) Alueen ekoteollisuuspuistotyyppi on tyyppi 4, eli toimijat sijaitsivat muutamien kymmenien kilometrien päässä toisistaan. NaHEK-mallin mukaan puiston tyyppi on arviolta naapurivaihtojen ja hyötyketjujen välillä. Nykyään Kankaan entisestä teollisuusalueesta kehitetään ekologista ja älykästä kaupungin osaa asumiselle, työlle ja opiskelulle (Jyväskylän Kangas 2021).

## **5 TEOLLISTEN SYMBIOOSIEN ONNISTUMISEN EDELLYTYKSET**

Ekoteollisuuspuistoilla voi olla erilaisia toimintatapoja, mutta tiettyjä onnistumisen edellytyksiä on havaittu seuraamalla toimivia ekoteollisuuspuistoja. Seuraavana on esitetty näitä hyviä käytänteitä alueen verkostolle. Vaikka jotkin neuvot ovat enemmän ekoteollisuuspuistojen toimintaan sopivia, niitä voidaan soveltaa myös yksinkertaisten teollisten symbioosien toimintaan. Ekoteollisuuspuistojen toteuttamisen onnistumisen edellytykset voidaan jakaa karkeasti teknis-taloudellisiin ja sosiaalisiin ominaisuuksiin. Kirjallisuuteen tutustuessa löytyi neljä ominaisuutta, joita ekoteollisuuspuistohankkeissa täytyisi olla. Teknis-taloudellisia ominaisuuksia olivat järkevä taloudellisuus ja tieto teollisista symbiooseista (esim. materiaalitekkinen tieto). Sosiaalisia olivat yhteistyö ja tiedonkulku.

Tieto symbioosien rakentamisesta ja toiminnasta lisää symbioosien onnistumisen mahdollisuutta ja valmistumisnopeutta. Vanhojen orgaanisesti kehittyneiden puistojen muodostumiseen on kulunut monia vuosikymmeniä, mutta kun tiedetään hyvät käytänteet symbioosien rakentamiseen, voidaan käyttöönottoa todennäköisesti nopeuttaa. Onnistumisen edellytyksistä voidaan ottaa mallia niin teollisten symbioosien kuin kokonaisten ekoteollisuuspuistojen rakentamiseen.

### **5.1 Yleiset teollisten symbioosien onnistumisen edellytykset**

Symbiooseihin tutustuessa selvisi neljä kriittistä osa-aluetta, joiden täytyy olla hallinnassa puiston/symbioosien rakentamisen ja toimimisen kannalta. Nämä ovat yhteistyö, tieto, taloudellisuus ja tiedonkulku. Osa-alueiden alle voidaan jakaa asioita, jotka on huomattu toistuvan onnistuneissa teollisissa symbiooseissa. Lisäksi muut-osiossa on sellaisia onnistumisen edellytyksiä, jotka ei täysin pysty lokeroimaan muiden osioiden alle. Onnistumisen edellytykset on esitetty tiivistetysti taulukossa Taulukko 4.

Taulukko 4. Asioita, joiden on huomattu olevan onnistumisen edellytyksiä ekoteollisuuspuistoissa.

Yhteistyö	Sitoutuneet, aktiiviset ja yhteistyöhalukkaat yritykset
	Olemassa olevat verkostot hyvänä pohjana
	Yhteiset arvot (esim. ympäristömyönteisyys)
	Tasapainoiset riippuvuus/valtasuhteet toimijoiden välillä
	Luottamus
	Viralliset ja epäviralliset sopimukset
Tieto	Symbioosiyritysten lyhyet fyysiset välimatkat
	Materiaali- ja energiavirtojen yhteensopivuus, jatkuvuus ja riittävyys
	Ymmärrys teollisista symbiooseista
Taloudellisuus	Jokaisesta symbioosista/projektista sovitaan erikseen
	Pienet taloudelliset riskit
	Taloudellisten hyötyjen jakautuminen tasaisesti
	Taloudelliset hyödyt osoitetaan selkästi jokaiselle yritykselle
	Yritysten monimuotoisuus vähentää kilpailutilanteita
Tiedonkulku	Yritysten reaalit odotukset omasta ja muiden toiminnasta pitää olla tiedossa
	Luo selkeää visiota tulevasta ja tavoitteista
Muuta	Ekoteollisuuspuistoissa/ekoverkostoissa koordinaattorin olemassaolo
	Ankkuri- tai veturiyrityksen olemassaolo
	Poliittinen ja lainsäädännöllinen tuki

### 5.1.1 Yhteistyö

Hyvä yhteistyö on tärkeää tehokkaiden symbioosien aikaansaamiseksi. Yleensä isoissa symbioosihankkeissa on mukana monia osapuolia, jotka muodostavat verkoston. Niissä voi olla mukana yksityisiä yrityksiä, julkinen hallinto ja tutkimuslaitoksia. Verkostoja voi olla laajempia ja pienempiä ja niitä molempia kannattaa hyödyntää. Laajojen verkostojen kautta on mahdollista saada yleistä tietoa symbiooseista sekä löytää potentiaalisia yhteistyökumppaneita, kun taas pienet verkostot voivat keskittyä tietyn alueen symbioosien kehittämiseen. Verkoston sisällä on vallittava avoimuus, jotta se voisi mm.

jakaa tietoja materiaalivirroistaan, joka on symbioosin aloittamiseksi tarvittavaa tietoa. (Unido 2017; Moodie et al. 2019; Mangan & Olivetti 2010)

Nordregio loi suosituksensa teollisten symbioosien käyttöönotolle vuonna 2019. Kuvassa Kuva 7 on esitetty näiden pohjalta verkoston kolmen osapuolen vastuut, silloin kun verkostossa on mukana julkinen, yksityinen ja tutkimussektori. Toimintatavat kussakin teollisessa ekosysteemissä voivat olla erilaiset tilanteesta riippuen, joten vastualueetkin muuttuvat tapauskohtaisesti. Tässä mallissa julkinen sektori on se taho, joka kerää yritykset ja tutkimuslaitokset/asiantuntijat yhteen ja toimii liimana, joka rakentaa luottamusta verkoston osapuolien välille. Tutkimuslaitokset/asiantuntijat voivat ottaa vastuun julkisen ja yksityisen sektorin kouluttamisesta teollisiin symbiooseihin ja osallistua teknisten ongelmien ratkaisemiseen. Unidon (2017) mukaan teollisten symbioosien tietoisuuden levittäminen on huomattu olevan helpompaa ja uskottavampaa, jos sen tekee riippumaton yksikkö, esim. korkeakoulu (Unido 2017). Yksityinen sektori puolestaan voi ottaa verkoston rakentamisen jälkeen vetovastuun verkoston ja teollisten symbioosien kehittämisestä. Käytännössä tämä voi olla symbioosien jatkuva kehittäminen, symbioosihyötyjen mittaamista ja niiden tulosten esittämistä. Materiaalivirtojen ja mahdollisten symbioosiyritysten kartoittaminen on kaikkien kolmen osapuolen tehtävä. (Moodie et al. 2019)



Kuva 7. Verkoston osapuolien vastuut. Vastuut voivat olla jokaisessa symbioosissa erilaiset, mutta tämä on yksi malli, joka on huomattu toimivaksi. (Lähde: Moodie et al. 2019)

Yhteistyöhön liittyvänä onnistumisen edellytyksenä on myös yritysten aktiivinen osallistuminen symbioosien kehittämiseen ja luottamus toisiinsa. Pitkäjänteiseen aktiivisuuteen täytyy olla jokin motiivi, joka voi olla esimerkiksi kiinnostus kestävään kehitykseen tai talouskasvu. Yhteistoimintaa on tärkeää pitää yrityksessä esillä, jotta siitä tulee vakiintunut muoto. Käytännössä tätä voi tehdä ohjaamalla yrityksessä taloudellisia resursseja sekä henkilöstöresursseja yhteistoiminnan kehittämiseen. Aluksi yritysten sitoutumista ja yhteistyötä voivat helpottaa lyhyen aikavälin hankkeet, mutta motivaation säilymiseksi myös pitkän aikavälin symbioositavoitteet ovat tärkeitä. (Saikku 2006) Lyhyet hankkeet voivat olla esim. pieniä tutkimushankkeita ja pitkän aikavälin tavoitteet sivuvirtojen hyötykäytön toteuttaminen.

Yhteistyötä voidaan myös tarvittaessa vahvistaa sopimuksilla, jotka ovat tae siitä, että sovitut symbioosien vähimmäistavoitteet täytetään. Sopimus voidaan sitoa verkoston eri yhteistöille ja materiaalivaihdoille. Sopimukset materiaalivaihdoista voivat koskea esimerkiksi määriä, aikatauluja ja laatua. Toisaalta myös epävirallisia sopimuksia voidaan käyttää ylimääräisten liiketoimintakustannusten välttämiseksi, kunhan luottamus pohja on kunnossa. (Saikku 2006)

### 5.1.2 Tieto

Symbioosien rakentamiseen tarvitaan tietoa alueen mahdollisista symbiooseista ja symbioosit toteuttavasta tekniikasta. Mahdolliset materiaali- ja energiavirrat sekä alueelliset vahvuudet symbioosien kannalta on helpointa kartoittaa jo alueen olemassa olevilta teollisuuksilta. Kartoitus voidaan toteuttaa esim. työpajojen tai haastattelujen avulla. (Moodie et al. 2019) Kun tiedetään alueelliset symbioosimahdollisuudet, voidaan laajentaa hakukenttää tarvittaessa alueen ulkopuolelle.

Asiantuntemus symbiooseista, materiaaleista ja niiden käsittelystä ovat tärkeitä onnistumisen tekijöitä. Yritysten tuottamat ja vastaanottamat materiaali- ja energiavirrat täytyvät sopia prosessien kanssa yhteen, sekä niiden on oltava riittäviä ja jatkuvia teollisen kokoluokan toiminnalle. Tätä varten on selvitettävä virtojen kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet sekä energiapotentiaali. Joissakin tapauksissa materiaali- ja energiavirtoja tai käytettyjä prosesseja täytyy muokata, jotta virtojen hyödyntäminen on mahdollista. (Unido 2017; Saikku 2006; Mangan & Olivetti 2010) Kuljetusta varten on selvitettävä, millä tavalla materiaali- tai energiavirta voidaan kuljettaa yritykseltä toiselle,

sekä tarvitseeko virta käsittelyä (esim. nesteytystä), jotta sitä voidaan kuljettaa (Mangan & Olivetti 2010). Yritysten lyhyt fyysinen lähimatka lisää symbioosin onnistumisen edellytystä ja on samalla taloudellista. Materiaali- ja energiavirrat vaativat myös testausta ennen käyttöönottoa teollisessa mittakaavassa. Tiedon perusteella luodaan realistiset tavoitteet yrityksille ja heidän välisille symbiooseille. (Saikku 2006)

### 5.1.3 Taloudellisuus

Symbioosien toteuttamisen kaikki eri vaiheet on oltava taloudellisesti kannattavia ja jokaisesta eri kehitysprojektista on hyvä sopia erikseen. On myös otettava huomioon se, että symbiooseissa toiminnan painopiste muuttuu päätuotteesta sivutuotteiden suuntaan, eli toiminnan ydinosaaminen ei ole enää puhtaasti päätuotteessa. Tämä saattaa poiketa normaalista yritysmaailman todellisuudesta, joten jokaiselle osapuolelle on tutkittava ja tehtävä selväksi symbiooseista saatavat taloudelliset hyödyt sekä niiden jakautuminen tasaisesti. (Saikku 2006).

Alkuinvestointien lisäksi puiston hallintaan kuluu rahaa (varsinkin mikäli puistossa tehdään jatkuvaa kehitystä), joten alkurahoituksen lisäksi taloudellisia asioita on mietittävä myös symbioosien/puiston käyttöönoton jälkeen. Hallintaan menevät kulut voidaan kustantaa esimerkiksi kuukausimaksuilla puiston yrityksiltä. Tässä tapauksessa yritysten on tärkeää kokea saavansa jotain takaisin. (Unido 2017) Alkuinvestointeihin yritykset voivat mahdollisesti saada hankkeesta riippuen kiertotalouden kehitys- ja investointiavustusta (TEM 2020). Yritysten sitouttamiseen voidaan hyödyntää taloudellisia myönnytyksiä. Esimerkiksi yhteistoiminnassa mukana olevat yritykset voivat maksaa pienempää vuokraa kuin alueella olevat yritykset, jotka eivät osallistu symbiooseihin. (Saikku 2006)

Kilpailutilanteeseen liittyen yhtenä onnistumisen edellytyksenä on huomattu olevan ekoteollisuuspuistojen monimuotoisuus (Saikku 2006). Tämä tarkoittaa sitä, että yrityksillä on eri markkinat, joten he eivät joudu kilpailemaan tuotteidensa tai palveluidensa myynnistä toistensa kanssa.

### 5.1.4 Tiedonkulku

Tiedonkulku solmii kaikki edellä esitellyt onnistumisten edellytykset yhdeksi kokonaisuudeksi. Jos tieto ei kulje, ei verkosto todennäköisesti toimi. Yhteistyötä tehdessä tehokas keskinäinen viestintä vie asioita eteenpäin. Kussakin puistossa viestintä voidaan toteuttaa tavoin, joka on juuri sille puistolle tehokas. Tämä voi olla isoissa verkostoissa yksi kaikkia yhdistävä taho, joka viestii, kun taas puolestaan pienissä verkostoissa kaikki voivat viestiä kaikille. Yksi tiedonvaihdon muoto on myös yhteiskoulutukset tai muut tapahtumat, jossa yhdessä tilaisuudessa verkostoidutaan ja vaihdetaan tietoa. (Unido 2017; Moodie et al. 2019; Saikku 2006).

Verkoston toiminnan kannalta on hyvä asia, että hyväksi havaitut toimintatavat viestitään kaikille. Teollisissa symbiooseissa käytännön tieto yleisesti symbiooseihin liittyen on teollisuuspuistoissa toimintaa helpottava tekijä. Myös viestiminen ulkopuolelle verkostoa (sekä Suomeen että kansainvälisesti) voi luoda uusia liiketoiminta- ja symbioosimahdollisuuksia, sekä nostaa alueen kiinnostavuutta muiden silmissä. Kun puistoon tulee uusia sidosryhmiä ja työntekijöitä, tulee tietoa siirtää heille toiminnan jatkuvuuden kannalta (Unido 2017; Moodie et al. 2019)

Tiedonkulun ansiosta yhteisten visioiden ja tavoitteiden hahmottaminen sekä niiden asettaminen on mahdollista. Mikäli yrityksillä on liikesalaisuuksia, voi niiden paljastamisessa olla riskejä, varsinkin jos yhteistyötä kehitetään kilpailevan yrityksen kanssa. Tässä tapauksessa ulkopuolisen koordinaattorin hyödyntäminen tiedon yhdistämisessä voi olla toimiva vaihtoehto. (Saikku 2006)

### 5.1.5 Muita onnistumisen edellytyksiä

Muita ekoteollisuuspuistojen onnistumisen edellytyksiä ovat koordinaattorin olemassa olo, ankkuri- tai veturiyrityksen olemassa olo, sekä poliittisen ja lainsäädännön tuki.

Koordinaattorin tehtävänä on ylläpitää ja avustaa symbioosien eri osapuolien kanssakäymistä ja symbioosien toimintaa. Koordinaattori voi olla niin ulkopuolinen yritys, tutkimuslaitos tai alueen yritys, mutta tärkeää on että koordinaattorilla on resursseja kehittää ja ylläpitää verkoston symbioosien toimintaa. Koordinaattorin tehtävät voivat vaihdella riippuen verkostosta, mutta esimerkiksi se voi ylläpitää yritysten



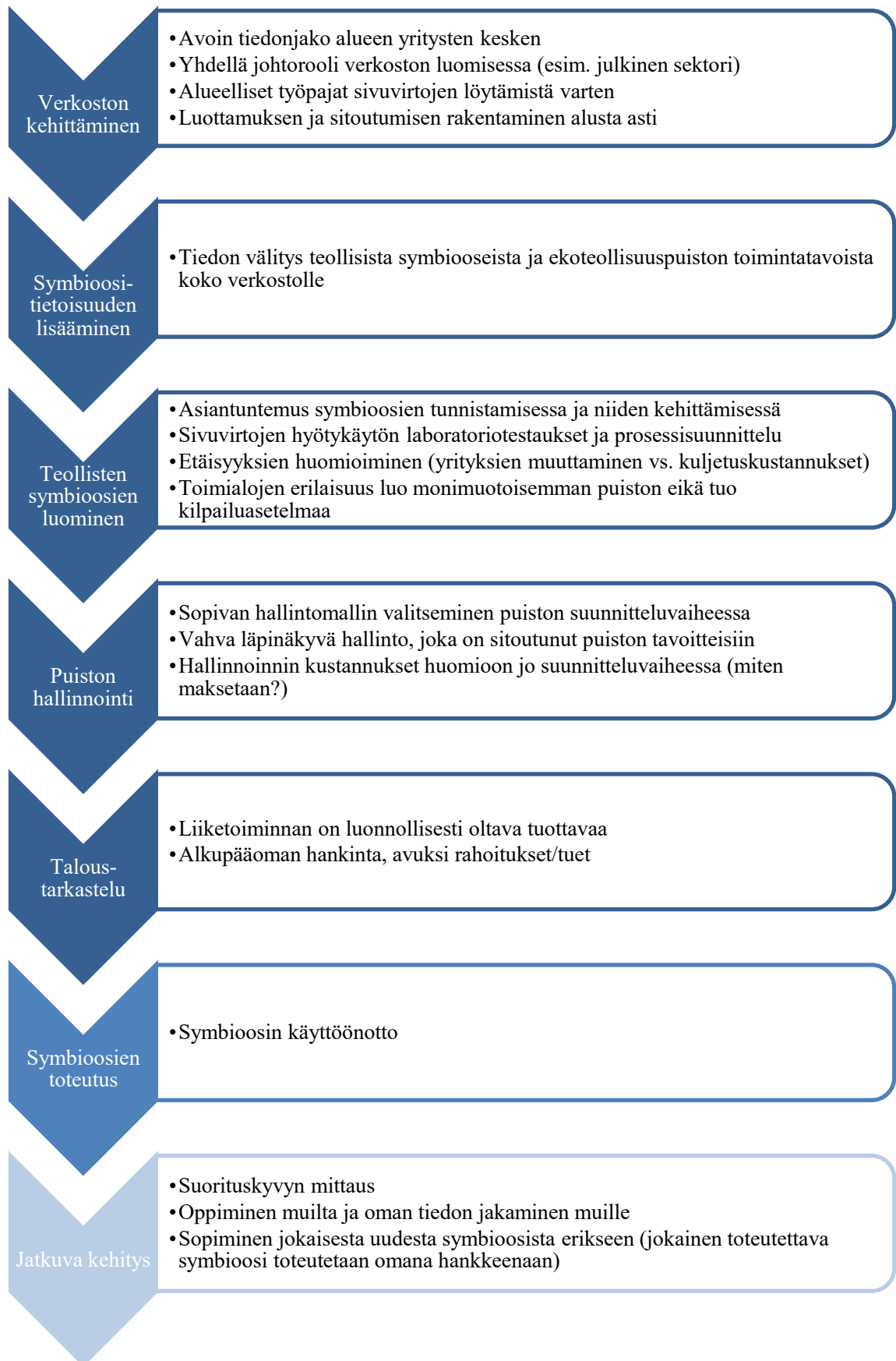
yhteistoimintaa, kouluttaa ja tiedottaa verkostoa, sekä kerätä tietoa yrityksistä ja yhdistää potentiaaliset symbioosiyrietykset yhteen. (Saikku 2006)

Ankkuri- tai veturiyritys on yleensä puiston isoin yritys tai muu aktiivinen symbioottista toimintaa edesauttava yritys. Ankkuri- tai veturiyrietyksillä on yleensä alueella vaikutusvaltaa, jolla he voivat motivoida alueen muita yrityksiä lähtemään yhteistoimintaan mukaan. Ankkuriyrietykset yleensä turvaavat riittävien materiaali- ja/tai energiavirtojen, sekä taloudellisten resurssien olemassa olon. (Saikku 2006)

Poliittisella ja lainsäädännöllisellä tuella luodaan olosuhteet, joissa symbioosit pystyvät rakentumaan. Kunnallisella ja valtiollisella politiikalla pystytään kehittämään alueellista yhteistyötä yritysten sekä tutkimuslaitosten kanssa. (Saikku 2006) Lainsäädännöllisellä tuella voidaan puolestaan auttaa ylittämään esimerkiksi teknisiä ongelmia (lisää kappaleessa 5.2). (Valtioneuvosto 2021)

#### **5.1.6 Teollisten symbioosien perustamisen prosessi**

Teollisten symbioosien perustamisen eteneminen on esitetty kuvassa Kuva 8 onnistumisen edellytyksineen, kun toteutetaan ekoteollisuuspuisto-hanketta. Neuvoja voidaan myös hyödyntää yksinkertaisten teollisten symbioosien luomiseen.



Kuva 8. Aikajänteinen kaavio symbioosien/ekoteollisuuspuistojen luomiseen sekä niiden hyviä käytänteitä kussakin vaiheessa. (Lähde: Unido 2017)

## 5.2 Yleiset teollisten symbioosien haasteet

Teollisten symbioosien kehittämisessä on huomattavissa ainakin viisi haastetta. Nämä ovat teknilliset haasteet, taloudelliset haasteet, tiedonkulun ongelmat, organisaation hallinnan ongelmat ja lainsäädännölliset ongelmat. (Heeres et al. 2004) Haasteet voivat estää teollisten symbioosien tai muiden kiertotalousratkaisujen kasvua ja rahoituksen saantia. Lisäksi kiertotalousinnovaatiot vaikuttavat yleensä isoon kokonaisuuteen, joka vaatii varsinkin neljän alussa mainitun haasteen; teknisen, taloudellisen, tiedonkulun ja organisaation hallinnan; ylittämistä. (Valtioneuvosto 2021)

Tekniset haasteet johtuvat yleensä siitä, että käsiteltävät virrat eivät välttämättä sovi käsiteltäväksi tavanomaisella tekniikalla. Tämä johtaa uuden tekniikan kehittämiseen ja/tai uusien laitteistojen investointeihin (Heeres et al. 2004). Uusi tekniikka tarvitsee yleensä vielä kehittämistä, mikä voi näkyä prosessien sujuvuudessa esimerkiksi katkoksina (Tukes 2018).

Taloudelliset haasteet puolestaan voivat tulla tarvittavista muutoksista prosessissa. Muutokset taloudellisissa prosesseissa ovat yleensä aina taloudellisia riskejä, joita täytyy punnita. Tällainen prosessin muutos voi olla esimerkiksi neitseellisen raaka-aineen vaihto kierrätysraaka-aineeksi. (Heeres et al. 2004) Taloudellisiin haasteisiin voisivat auttaa kiertotaloutta tukevat taloudelliset kannusteet. Tällaisia voivat olla esimerkiksi valtion asettamat sanktiot aiheutetuista päästöistä. (Valtioneuvosto 2021)

Kolmas merkittävä riski symbioosien onnistumisessa on puutteellinen tiedonkulku. Tiedonkulku yrityksen sisällä ja yritysten välillä on ensisijaista teollisten symbioosien onnistumisen kannalta. Symbioosien kehittämisen kannalta on riski, jos oikeat henkilöt eivät tiedä tarvittavaa tietoa oikeaan aikaan (Heeres et al. 2004). Tiedonkulkua voi estää yrityksen sisäinen viestintä, jos vastuualueita on eritelty ja organisaatorakenne on hyvin hierarkkinen.

Neljäntenä riskinä on organisaation hallinnan ongelmat. Haasteena teollisille symbiooseille on organisaation toteuttamistahdon puuttuminen. Yhteishallintomallissa osa yrityksen päätöksistä siirtyy yhteishallinnolle, mikä voi vähentää yrityksen omaa joustavuutta. Teollisten symbioosien verkostossa voi olla myös riskinä se, että jonkin yrityksen valta kasvaa niin suureksi ja vallankäyttö painottuu yhdelle yritykselle,

esimerkiksi sen saavuttaman monopoli-aseman myötä. Tässä tilanteessa vaarana voi olla se, että yritys ohjaa verkostoa omalta kannalta hyvään mutta kokonaisuutena yksipuoliseen suuntaan (esim. korostaa yhdenlaisen sivuvirran käyttöä), vaikka monipuolisemmat verkostot on huomattu olevan menestyneempiä. Tätä voidaan ennaltaehkäistä sopimuksilla, joissa sovitaan pelisäännöt yhteiselle päättämiseksi. (Saikku 2006).

On huomattu, että lainsäädäntöä täytyy muuttaa kiertotaloutta mahdollistavaksi. Tällä hetkellä lainsäädäntö kannustaa pitkälti toteuttamaan lineaarista talouden mallia kiertotalouden sijaan. Lainsäädännöllisesti ei siis ole houkuttimia kiertotalouden eikä teollisten symbioosien toteuttamiseen. Esimerkiksi raaka-aineiden ja jätteiden jaottelu on nykyisellään tiukkaa, mikä hankaloittaa jäteperäisten materiaalien tuotteistamista sekä huolta-aiheuttavien materiaalien jäljittämistä materiaalikierrossa. Nykyisellään jätteiden ammattimainen hyödyntäminen vaatii ympäristöluvan, mikä joissain tapauksissa vaikeuttaa jätteen hyödyntämistä. Muutosta on kuitenkin luvassa, sillä jätelakia ollaan uudistamassa ja ympäristölupaprosesseihin on mahdollisia nopeampia toimintatapoja, kuten koetoimintailmoituksia. (Valtioneuvosto 2021) Koetoimintailmoitus voidaan tehdä sellaista toimintaa varten, joka on lyhytaikaista, mutta tarvitsisi ympäristöluvan. Tällainen toiminta symbiooseihin liittyen voi olla kun testataan jätteiden hyödyntämistä raaka-aineena tai uutta tekniikkaa. (SYKE 2020)

## **6 TUTKIMUSKOHDE: LAANILAN TEOLLISUUSALUE JA OULUN ENERGIAN BIOVOIMALAITOS**

Tämän työn tavoitteena on luoda hahmotelma teollisten symbioosien käyttöönotolle Laanilan teollisuusalueella. Tähän liittyen tässä kappaleessa tutustutaan Laanilan teollisuusalueeseen, sekä erityisesti Oulun Energian biovoimalaitokseen, jonka sivuvirtojen ympärille on mahdollista rakentaa teollisia symbiooseja. Tämän jälkeen diplomityössä tutustutaan havaittujen sivuvirtojen hyödyntämisen mahdollisuuksiin sekä siihen, miten symbiooseja kannattaisi alueelle alkaa rakentamaan.

### **6.1 Laanilan teollisuusalue**

Laanilan teollisuusalueen ydin koostuu kolmesta kemiantehtaasta ja kahdesta energiantuotannonlaitoksesta. Kemiantehtaot ovat Eastman Chemical Companyn muurahais- ja rikkihappotehdas, Kemiran vetyperoksiditehdas ja Air Liquide Finlandin ilmakaasutehdas. Alueen kaksi energiantuotantolaitosta ovat Oulun Energian Laanilan ekovoimalaitos ja Oulun Energian syksyllä 2020 kaupalliseen käyttöön valmistunut Laanilan biovoimalaitos. Lisäksi alueella toimi vuoteen 2021 asti Laanilan Voima Oy:n voimalaitos. Oulun Energia on Oulun kaupungin omistama emokonserni, joka tarjoaa monipuolisesti erilaisia energiapalveluita (Oulun Energia 2021b).

Teollisuutta Laanilan alueella on ollut 1950-luvulta lähtien ja alueen merkittävimmät prosessiteollisuuden tehtaot ovat peräisin Kemira Oy:n toiminnasta. Sittemmin tehtaiden omistukset ovat jakaantuneet, mutta tehtaot toimivat edelleen integroidusti. Tehtaiden ja Laanilan Voiman voimalaitoksen välillä oli synergioita, joissa tehtaiden käyttämä sähkö ja energia tulivat voimalaitokselta, kun taas kyseinen voimalaitos käytti Eastman Chemical Companyn prosessikaasuja yhtenä polttoaineenaan. Laanilan Voiman voimalaitos tullaan purkamaan ja jatkossa ekovoimalaitos (päätoimittaja) ja biovoimalaitos (osatoimittaja) toimittavat höyryn alueen teollisuudelle. Prosessikaasujen syntyminen tulee vähenemään tai päätymään, kun Eastman Chemical Company muuttaa prosessinsa LNG-pohjaiseksi vuonna 2021. Eastman Chemical Company ja Kemira käyttävät prosesseissaan Air Liquide Finlandin valmistamaa happea. Lisäksi Kemira hyödyntää Eastman Chemical Companyn muurahaishappotehtaan synteetikaasujen vedyn omassa tuotannossaan. (Oulun kaupunki 2021)

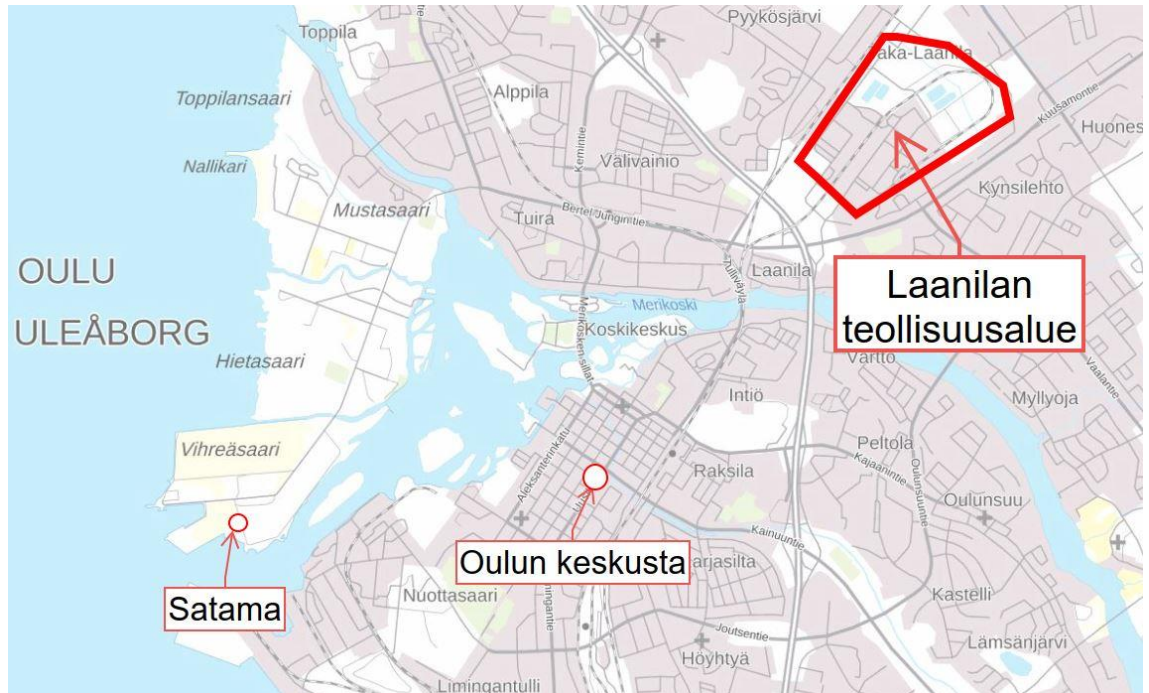
Laanilan ekovoimalaitos on vuonna 2012 valmistunut jätteenpolttolaitos. Laitos käyttää polttoaineenaan syntypaikkalajiteltua yhdyskuntajätettä Pohjois-Suomesta, sekä Oulun Energian Ruskon lajittelulaitokselta kierrätykseen kelpaamatonta teollisuuden, rakentamisen ja kaupan jätettä, jota ei voida hyödyntää energiana Laanilan biovoimalaitoksella. Ekovoimalaitos tuottaa höyryä ja kaukolämpöä ja sen polttoaineteho on 53 MW. (Oulun Energia 2021c)

Uusin CHP-voimalaitos, Laanilan biovoimalaitos, valmistui kaupalliseen käyttöön vuoden 2020 syksyn aikana. Biovoimalaitoksen polttoaineena käytetään 70 % puuta, noin 15 % kierrätyslaitokselta saatavaa kierrätyspolttoainetta (SRF), sekä 15 % turvetta huoltovarmuuden varmistajana. Tavoitteena on, että biovoimalaitos käyttäisi tulevaisuudessa polttoaineenaan vain uusiutuvaa puuta ja SRF:ää, turpeen käytön loppuessa kokonaan. Valmistuessaan biovoimalaitos korvasi tuotannosta poistuneen Oulun Energian Toppila voimalaitoksen ykkösyksikön. Voimalaitos tuottaa kaukolämpöä, sähköä ja höyryä kaupungin ja teollisuuden tarpeisiin. Polttoaineteholtaan se on 215 MW. (Oulun Energia 2021b) Biovoimalaitoksen osalta suunnittelussa on otettu huomioon voimalan toiminnassa syntyvien höyryjen mahdollinen integroiminen toisen laitoksen käyttöön. (Oulun Energia 2021d)

Laanilan alueen kehittäminen tulee jatkumaan yhä, sillä Oulun Energia ja Gasum Oy suunnittelevat ekovoimalaitoksen viereen biokaasulaitosta, joka käyttäisi raaka-aineenaan yhdyskuntajätteen mukana olevaa biohajoavaa jätettä. (Oulun Energia 2021b) Yhdyskuntajätteen esikäsittelyssä jäte eroteltaisiin biohajoavaksi jakeeksi, metalleiksi ja polttokelpoiseksi jätteeksi. Yhdyskuntajäte sisältää keskimäärin 35-40 % biojätettä, joka voidaan esikäsittelyn avulla erotella (arvioitu eroteltu massa: 45 000 t) ja prosessoida biokaasuksi, joka puolestaan jalostettaisiin liikennebiokaasuksi. Biokaasulaitoksen mädäte voidaan tuottaa sähköksi ja lämmöksi ekovoimalaitoksella. (Gasum Oy 2019)

Yhteenvetona, Laanilan alueella on jo synergiassa toimivia kemian- ja energiantuotantolaitoksia, joiden lisäkehittäminen symbioosien saralla on tutkittavan arvoinen aihe. Syitä tähän on jo olemassa oleva yhteistyö eri laitosten kesken ja laitosten suuri koko, joka saattaa mahdollistaa riittävän sivuvirtamäärän symbioosien toteutumiseksi. Laanilan alueen kehittämisen etuina on lisäksi sen hyvä sijainti lähellä

Oulun keskustaa ja satamaa. Laanilan teollisuusalueen sijainti on esitetty kuvassa Kuva 9.



Kuva 9. Laanilan teollisuusalueen sijainti Oulussa (Mukaillen: Maanmittauslaitos 2021)

2010-luvun aikana Oulun Energia on kehittänyt Laanilan toimintaa rakentamalla ekovoimalaitoksen ja biovoimalaitoksen. Ekovoimalaitos on tukenut alueella ennestään olleen Laanilan Voiman voimalaitoksen toimintaa. Uusi Oulun Energian biovoimalaitos on askel hiilineutraalimpaan energiantuotantoon, sekä lisäksi se on suunniteltu siten, että se voisi tukea jotain alueelle tulevaa teollisuuslaitosta esim. höyryn integroinnilla. Muita mahdollisia biovoimalaitoksen toiminnallaan tarjoavia sivuvirtoja höyryn lisäksi on yhteishankittu energiapuu ja savukaasujen hiilidioksidi. Seuraavaksi tässä työssä tutkitaan näiden kolmen sivuvirran mahdollisuuksia uusien symbioosien rakentajina.

## 6.2 Hyödynnettävät materiaali- ja energiavirrat biovoimalaitoksen toiminnasta

Laanilan biovoimalaitoksen merkittävimmät hyödynnettävät materiaali- ja energiavirrat ovat pieniläpimittainen energiapuu, höyry sekä hiilidioksidi. Tässä kappaleessa on käyty läpi näiden virtojen ominaisuuksia, mahdollisia hyötykäyttökohteita sekä rajoituksia ja/tai ohjauksia käytölle. Työssä tutkitut hyötykäyttötavat on esitelty taulukossa Taulukko

5 ja niiden hyödyntämistavan valinta on riippunut tutkittavasta virrasta. Puun hyödyntämistavan valintaan vaikutti kaskadiperiaate, jonka tavoitteena on käyttää materiaalit resurssiviisaasti. Sen perusteella neitseellisestä materiaalista tehtäisiin ensisijaisesti korkea-arvoisia tuotteita, eli kemikaaleja tai materiaaleja. Höyryn kohdalla esiteltiin kaikki potentiaaliset vaihtoehdot. Hiilidioksidin hyötykäyttöä ja varastointia on tutkittu laajemmalla skaalalla, sillä tapoja ja mahdollisuuksia on paljon, mutta kaupallisia vaihtoehtoja on vähän.

Taulukko 5. Kappaleessa käsitellyt materiaali- ja energiavirrat sekä niiden hyötykäyttötavat.

<b>Materiaali- tai energiavirta</b>	<b>Hyötykäyttötapa</b>
Energiapuu (pieniläpimittainen runkopuu)	- Pyrolysointi - Uuttaminen
Höyry	- Höyrynä uusissa käyttökohteissa - Lämpöpumpun kautta lämpönä/kylmänä - ORC-laitteistolla sähköksi
Hiilidioksidi	- Hiilidioksidin talteenotto ja hyötykäyttö - Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi

### 6.2.1 Energiapuu

Oulun Energialla on useita metsähakkeen ja puupolttoaineen toimittajia, joiden kautta voidaan lisätä puuraaka-aineen hankintaa. Puuraaka-ainetta käyttävälle yritykselle tarjoutuu Laanilassa mahdollisuus hankkia raaka-aineet Oulun Energian hankintakanavien kautta, joiden avulla hankitaan puuenergiaa biovoimalaitokselle. Pohjois-Suomen metsävarat mahdollistavat kestävästi noin miljoonan kiintokuutiometrin lisähankinnan pieniläpimittaista energiapuuta vuosittain. Lisäksi Oulun Energian hankintakanavien kautta sahateollisuuden puruja ja hakkeita on käytettävissä teollisen prosessin raaka-aineeksi noin 200 000 – 300 000 kiintokuutiometriä vuosittain. Mikäli Laanilan alueelle tulee uusi teollinen toimija, sen toiminnasta syntyvät sivuvirrat voitaisiin mahdollisesti käyttää biovoimalaitoksen polttoaineena.

Hankittava energiapuu on pääasiassa havupuuta, eli solutasoltaan se sisältää paljon pitkiä soluja, joita myös sanotaan pitkiksi kuiduiksi. Energiapuuksi kutsutaan alle 6 cm



halkaisijaltaan olevia puita. Silmällä nähtäviä osia havupuissa ovat kuori, runko, kanto, latva, oksat ja neulaset, joiden lisäksi maan alla sijaitsevat juuret. (Piesala 2011; Alén 2000) Teolliselle toimijalle hankittava energiapuu on runkokuu, joka on pieniläpimittaista. Oulun Energia käyttää biovoimalaitoksella muut metsässä karsitut ja kerätyt osat.

Energiapuu käytetään pääasiassa polttoaineena, sillä puupolttoaineiden käytölle on kasvava kysyntä. Puupolttoaineita saadaan sivuvirtana metsänhoidon yhteydessä, teollisuuden sivutuotteina tai jalostettuina puupolttoaineina. Se on hiilineutraalia polttoainetta, sillä kasvaessaan puu sitoo hiiltä varastoon, kunnes palaessaan vapauttaa sen takaisin ilmakehään. (Piesala 2011) Puun kemialliset pääkomponentit ovat selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini. Näiden lisäksi puut sisältävät erilaisia uuteaineita, epäorgaanisia aineita ja proteiineja. Esimerkiksi metsämänty (*Pinus sylvestris*) sisältää kuivapuuna 40 % selluloosaa, 25-30 % hemiselluloosaa, 25-30 % ligniiniä ja alle 5 % muita tuotteita (pääasiassa uuteaineita). (Piesala 2011; Alén 2000)

Biotuotteiden raaka-aineena käytetään niin metsäteollisuuden sivuvirtoja kuin neitseellistä puuta. Uusien biotuotteiden kehitystä on tällä hetkellä paljon, mutta julkisia niistä ovat isojen yritysten osalta jo markkinoilla olevat sekä tutkimuslaitosten ja yliopistojen kehittämillä olevat tuotteet. Kaupallisia tuotteita Suomessa ovat mm. biodiesel, teollisuusbenssiini, etanoli, furfuraali, puusiirappi, pyrolyysiöljy, biohiili, paperikangas, pakkaukset ja esineet biopohjaisesta muovista ja puukuidusta, sekä mikro- ja nanofibrilliseluloosatuotteita. Näiden lisäksi on useita pilot- tai demolaitoksia. Kaikki yritykset eivät välttämättä tavoittele omaa tuotantoa vaan onnistuneista keksinnöistä voidaan myydä lisenssejä. (Dahl 2020)

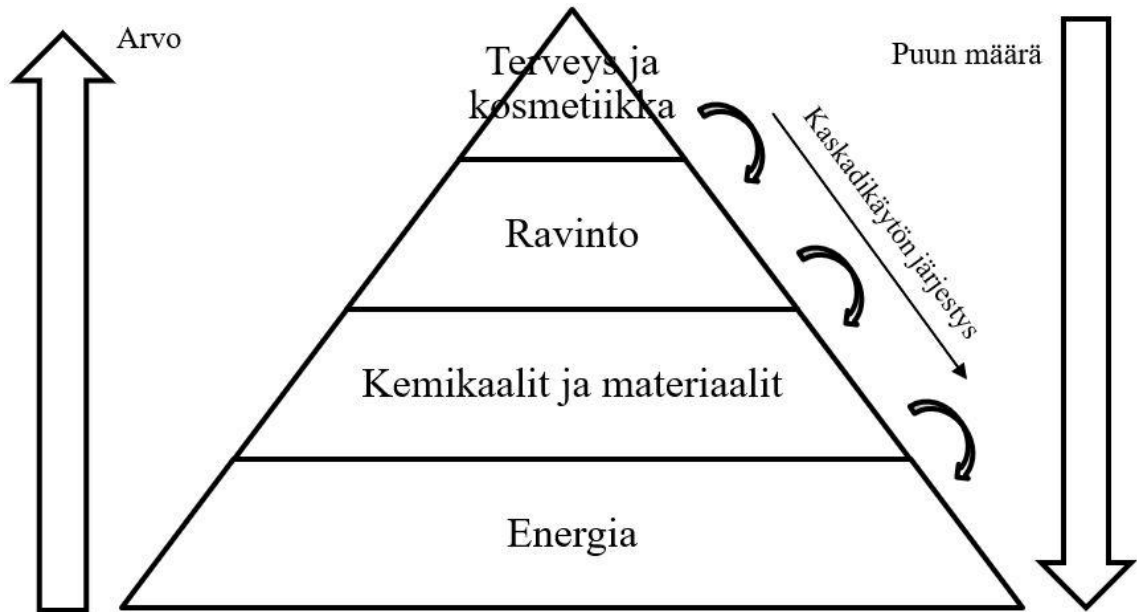
### 6.2.2 Rajoitukset ja ohjaukset puun hyötykäytölle

Puun käytön ohjauksia on valtio ja EU asettanut erilaisten tavoitteiden kautta. Lisäksi pinnalla on ollut resurssitehokas luonnonvarojen käyttö, jota edustaa esimerkiksi kaskadiperiaate, joka on selitetty tässä kappaleessa. Tätä tapaa ei kuitenkaan ole lähdetty edistämään lakien tai muiden valtiollisten tavoitteiden avulla, sen tapauskohtaisten ristiriitojensa vuoksi (esim. resurssitehokkuuden hyötyjä ei saadakaan materiaalin kontaminaation vuoksi).

Uusiutuvan energian tavoitteet ovat 2020-luvulla yli 50 %. Vuonna 2019 uusiutuvan energian osuus oli 37 % energian kokonaiskulutuksesta, josta bioenergian osuus 82 %. Samana vuonna energian kokonaiskulutuksesta puupolttoaineiden osuus Suomessa oli 28 %. (Maa- ja metsätalousministeriö 2021) Valtion linjauksena on, että energiaksi käytetään ensisijaisesti metsähaketta ja metsäteollisuuden sivuvirtoja. (Huttunen 2017) Biotuotteiden osalta Suomen biotalousstrategiassa (2014) nimettiin tavoitteeksi korkean jalostusarvon biotalouden lisääminen. Lisäksi siinä kannustettiin uusiin innovaatioihin biotalouden saralla, sillä Suomella tähän on vahvaa osaamista. (TEM 2014)

Viime vuosina biomassojen resurssitehokas käyttö on noussut pinnalle. Euroopan komissiosta asti on otettu esille resurssitehokkuuden edistäminen. Resurssitehokkuutta voidaan nostaa kaskadiperiaatteen mukaisesti, eli lisäämällä luonnonvarojen kertautuvaa käyttöä, tuottamalla niistä mahdollisimman arvokkaita tuotteita ja lykkäämällä luonnonvarojen energiakäyttöä. (Raitanen et al. 2017) Kaskadiperiaatteen toteuttamista ei ole velvoitettu lakien avulla, mutta se on yrityksille hyvä ajattelunaihe puun resurssiviisaaseen käyttöön sekä mahdollisesti tapa saavuttaa hyötyä ilmastolle. Materiaalien käyttökertojen maksimoiminen ei kuitenkaan saa olla suunnittelun lähtökohdana, sillä kaskadikäytön edut riippuvat tehdystä tuotteesta ja käytetyistä prosesseista sekä materiaaleista. Enemmin on tähdättävä kokonaisvaltaiseen resurssiviisauteen. (Carus & Dammer 2018)

Kaskadiperiaatteella voidaan korostaa mm. niin materiaalin pitkää elinkaarta, arvon nostoa ja optimaalista käyttöä, mikä toisaalta on tuottanut keskustelua siitä, mitä kaskadikäyttö oikeasti on. (Olsson et al. 2016) *Kaskadiperiaate pitkän elinkaaren suhteen* korostaa käyttöön otetun materiaalin uudelleen käyttöä mahdollisimman monta kertaa ennen energiakäyttöä. Käytännössä se voi tarkoittaa puun materiaalikäyttöä sahatavarana ja siitä eteenpäin pienempänä sahatavarana. *Kaskadiperiaate arvon noston suhteen* puolestaan korostaa sitä, että raaka-aineesta tehdään ensisijaisesti korkea-arvoinen tuote, kuten terveys- tai kosmetiikkatuote, ja sen jälkeen ravintoa, kemikaaleja, materiaaleja, joiden jälkeen vasta se hyödynnetään energiana (kuva Kuva 10). *Kaskadiperiaate toiminnon suhteen* puolestaan on kahden edellä esitetyn välimuoto, jossa tuotteen käyttö optimoidaan esimerkiksi puun osion ominaisuuksien mukaan siten, miten niitä on tehokkainta käyttää. Esimerkiksi puun runkoa voidaan hyödyntää sahatavaran valmistuksessa, kun taas oksia on järkevämpää hyödyntää energiana. (Olsson et al. 2016)



Kuva 10. Kaskadiperiaate arvon noston suhteen. (Mukaiillen: Olsson et al. 2016; Sokka et al. 2015)

Kaskadikäytön ilmastohyödyt saadaan aikaan sillä, että tuotteen hiili sidotaan pidemmäksi aikaa tuotteeseen. Kun tuote kierrätetään ja tehdään uudeksi tuotteeksi, ollaan korvattu neitseellisten materiaalien käyttöä. Elinkaarensa päässä tuote hyödynnetään energiana. (Raitanen et al. 2017) Elinkaaren pidentämisellä ei välttämättä kuitenkaan saada ilmanpäästöjä pienemmäksi, koska samalla elinkaaren aikaiset prosessoinnit lisääntyvät. On tärkeää, että hiilen sitomisen hyödyt voidaan varmentaa esimerkiksi elinkaarilaskennalla. Näin voidaan varmistaa ettei kaskadikäyttö tuota enemmän kasvihuonekaasupäästöjä kuin neitseellisen materiaalin käyttäminen. Hyötyjä saadaan vain silloin, jos kierrätetyn tuotteen kierrättämisen ja prosessoimisen päästöt ovat pienemmät kuin neitseellisen tuotteen raaka-aineiden hankinta ja prosessointi. (Carus & Dammer 2018)

Kaskadikäytön huonona puolena on vaara haitallisten aineiden kertymisestä kiertoihin. Haitalliset kemikaalit voivat esimerkiksi estää uudelleen kierrätyksen tai pahimmassa tapauksessa energiakäytön. Tämän vuoksi aiemmin mainittu kokonaisvaltainen resurssiviisaus, johon sisältyisi materiaalin koko elinkaaren suunnittelu, on tärkeää. (Carus & Dammer 2018) Lisäksi kaskadiperiaatteessa jalostettujen liikennebiopolttoaineiden, kuten biodieselin, arvotus voi olla ristiriitaista. Ne ovat

yhtäläillä energiakäyttöä kuin esim. puun suora energiapoltto, mutta niillä voidaan korvata laajasti käytettyjä fossiilisia liikennepolttoaineita. (Sokka et al. 2015)

### 6.2.3 Ehdotuksia energiapuun hyötykäytölle

Laanilan yhteishankinnassa olevat pieniläpimittaiset runkopuut voisi olla järkevää jalostaa korkea-arvoiseksi tuotteiksi tekniikoilla, joilla jo nykyisellään jalostetaan metsäteollisuuden sivuvirtoja tuotteiksi. Tässä työssä tutkittaviksi tekniikoiksi valikoituivat pyrolysointi ja uuttaminen. Pienen läpimittansa vuoksi energiapuu on vaikeammin käsiteltävä kuin esimerkiksi isompi kuitupuu, mutta mikäli kustannukset eivät kasva liian korkeiksi, niin myös pieniläpimittaisen runkopuun jalostamista tuotteeksi sopivilla hyötykäyttötavoilla on syytä tarkastella. Lopulliseen hyötykäytönvalintaan vaikuttavat tuotteelle löytyvät markkinat. Koska mahdollinen raaka-aine on neitseellistä, se on puhdasta ja soveltuu täten sellaisten tuotteiden valmistukseen, joiden puhtausvaatimukset ovat korkeita. Puhtaalla raaka-aineella on paremmat mahdollisuudet tuottaa myös korkeampi-arvoisia tuotteita.

#### Puun pyrolysointi

Biomassan pyrolysoinnissa, eli kuivatislauksessa, tuotetaan puusta kolmea tuotetta: biohiiltä, bioöljyä ja kaasua. Puu on hyvä pyrolyysin raaka-aine, sillä se on homogeenistä ja sisältää vähemmän tuhkaa kuin monet muut biologiset raaka-aineet. Hiiltä puu sisältää keskimääräisesti noin 50 % painostaan. Yleisesti pyrolyysin raaka-aineeksi sopii laajalla skaalalla hiiltä sisältäviä materiaaleja puusta pähkinän kuoriin. (Nachenius et al. 2013)

Pyrolyysin tarkoituksena on lämmittää raaka-ainetta niin, että se vapauttaa kaasuja, joita voidaan kondensoida nesteeksi. Samalla syntyy kuivaa hiiltä. Kaasut, jotka eivät kondensoidu (lähinnä metaani, häkä ja vety), voidaan käyttää energiana. Pyrolyysin tuotteiden osuudet määräytyvät pyrolyysin olosuhteiden mukaan. Tuotantotapoja on kaksi, joista nopealla pyrolyysillä maksimoidaan bioöljyn tuotantoa ja hitaalla pyrolyysillä maksimoidaan biohiilen tuotantoa. Lämpötilan lisäksi tuotteiden saantoon vaikuttavat raaka-ainesyötteen koostumus, olomuoto, kuumennusnopeus ja reaktioaika. Nopealla pyrolyysillä bioöljyä tuotetaan n. 75 % ja hiiltä n. 12 % ja siinä lämpötila on 450-550 °C. Hitaalla pyrolyysillä tuotetaan bioöljyä n. 50 % ja hiiltä n. 35 % ja siinä

lämpötila voi olla 300-700 °C. Veden osuus bioöljystä nopealla pyrolyysillä on 25 % ja hitaalla pyrolyysillä 50 %. (Bridgwater et al. 2007; Nachenius et al. 2013)

Bioöljyä voidaan hyödyntää lämmön- ja energianlähteenä, liikennepolttoaineena ja kemikaaleina. Nykyisellään bioöljyä käytetään vain lämmöntuotannossa, mutta lähitulevaisuudessa se voi korvata polttoaineista esim. dieseliä ja öljyä. Bioöljyn hyödyntäminen kemian-, materiaali- ja kosmetiikkateollisuudessa vaatii vielä kuitenkin tutkimusta. Rajoittavana tekijänä bioöljyn käytössä on sen happamuus yhdistettynä veteen, jolloin mikä tahansa materiaali ei ole käyttökelpoinen ollessaan kosketuksessa bioöljyn kanssa. Käsittely vaatii siis haponkestäviä materiaaleja, kuten tietynlaatuisia ruostumattomia teräksiä, muoveja tai kuparia. Korkea happamuus vaatii varastoinnissa ja energiahyödyntämisessä hapon kestäviä materiaaleja. (Green Fuel Energy 2014)

Biohiiltä puolestaan voidaan hyödyntää monipuolisesti mm. maanparannusaineena, rakentamisessa tai aktiivihiilenä. Biohiili toimii hiilensitojana, sillä hiilenä ollessaan se ei vapauta sitä ilmakehään, koska se ei maadu eikä hapetu (Lehmann et al. 2006). Ominaisuuksiltaan biohiili on suuri pinta-alaista, pieni lämmönjohtavuudeltaan sekä hyvin vettä sitovaa (Downie et al. 2009). Kasvien viljelyssä maanparannusaineena biohiili sitoo itseensä vettä ja ravinteita sekä kuohkeuttaa maata, muodostaen hyvän kasvuolosuhteen mikrobeille ja kasveille (Lehmann et al. 2006). Biohiili toimii myös kompostoinnin apuaineena kuohkeuttamalla multaa ja sitomalla kompostoitavista aineista vapautuvia ravinteita (Ogawa & Okimori 2010). Biohiiltä käytetään myös karjataloudessa rehussa ruoan maittavuuden ja karjan terveyden lisäämiseksi (Schmidt et al. 2019). Lisäksi puupohjaista biohiiltä on testattu SSAB:n Raahen terästehtaalla korvaamaan fossiilista injektiohiiltä ja testien perusteella ainakin 10 % korvaaminen olisi mahdollista, mikäli biohiiltä olisi riittävästi saatavilla. Määrä vähentäisi 100 000 tonnia fossiilisia hiilidioksidipäästöjä vuodessa. Toisaalta, SSAB on vaihtamassa 2040-luvulla valmistustekniikkansa, jonka jälkeen hiiltä ei enää käytetä, joten puupohjaiselle biohiilelle ei sen jälkeen ole siellä kysyntää. (SSAB 2019)

Aktiivihiili on materiaalia, joka on tehokas puhdistamaan kaasua ja nesteitä niin epäorgaanisista kuin orgaanisista epäpuhtauksista. Sitä käytetäänkin veden puhdistamiseen mm. elintarvike-, lääke- ja paperiteollisuudessa. Eri teollisuuden alojen lisäksi käyttökohteita on myös yhdyskuntien jätevesien puhdistuksessa tai ilman

saasteiden suodatuksessa. Aktiivihiili toimii veden tai ilman puhdistuksessa adsorbenttina, joka tarkoittaa sitä, että se pidättää pinnalleen läpi kulkevat epäpuhtaudet. Näin ohi tai läpi kulkeva vesi puhdistuu. Puhdistuksen tehokkuus perustuu aktiivihiilen suureen pinnan pinta-alaan, joka johtuu sen pinnalla olevista eri kokoisista tasaisesti jakautuneista huokosista. Lisäksi sen pinnalla sijaitsee erityyppisiä aktiivisia aineita, jotka adsorboivat laajasti erilaisia epäpuhtauksia. (Danish & Ahmad 2018) Aktiivihiili tehdään samaan tapaan kuin biohiili, eli pääasiassa hitaalla pyrolyysillä. Optimi raaka-aine aktiivihiilelle on ominaisuuksiltaan sellainen, jossa on vähän tai ei yhtään tuhkaa, epäorgaanisia aineita tai polymeerejä. (Nachenius et al. 2013) Neitseellinen puuraaka-aine täyttää nämä kriteerit melko hyvin.

Pyrolyysituotteilla on siis monia mahdollisuuksia ja jalostus korkea-arvoisiksi tuotteiksi on hyvä. Biohiilen kysynnän odotetaan kasvavan noin 14 % vuosien 2020-2028 aikana, sillä sen tuottama hiilensidonta, veden puhdistuskyky ja maaperän parantaminen ovat ominaisuuksia, jotka auttavat nykyisten ympäristöongelmien ratkaisussa. (Market Research 2020; Grand View Research 2019)

Kustannuksia arvioitaessa voidaan verrata Laanilan mahdollista tuotantoa Lieksassa 2020 vuoden lopussa toimintansa aloittaneen Green Fuel Nordicin bioöljytehtaaseen. Heidän raaka-aineensa on karsittua rankaa, ensiharvennuksen hakkuujäte, sekä metsäteollisuuden sivuvirrat. Puu käytetään hakkeena ja sen käyttö tulee olemaan aluksi 90 000 k-m<sup>3</sup> vuodessa, josta bioöljyä jalostetaan 24 000 tonnia vuodessa. (Green Fuel Nordic 2014; Green Fuel Nordic 2021) Investoinnin arvo on noin 25 miljoonaa euroa. (Lieksa 2019)

Suomessa biohiiltä puusta tuottavia tehtaita on ainakin Hirvensalmella ja Tampereella (demotehdas). Noireco Oy:n tehtaalla Hirvensalmella biohiiltä tuotetaan noin 4000 tonnia vuodessa ja sen investointi on ollut 3,4 miljoonaa euroa. Sen tuotanto käynnistyi vuonna 2018. (Leppänen 2021). Carbofexin Tampereen demotehdas puolestaan käyttää noin 3000 tonnia biomassaa vuodessa, mistä se tuottaa biohiiltä noin 700-1000 tonnia vuodessa ja bioöljyä 600 tonnia. Laitos lisäksi tuottaa 1 MW kaukolämpöä. Demotehtaan tuotanto käynnistyi vuonna 2017. Carbofex suunnittelee rakentavansa toistaiseksi maailman isoimman pyrolyysilaitoksen Tampereelle. Sen investointiarvio on 20 miljoonaa euroa ja se tuottaisi ensimmäisessä vaiheessaan 60 000 m<sup>3</sup> biohiiltä. Se olisi

myös kiinni kaukolämpöverkossa tuottaen kaukolämpöä noin 30 MW. (Tukiainen 2019; Palomaa 2019)

Mikäli pyrolyysitehdas tulisi Laanilaan, on päätettävä onko tuotantosuunta enemmän bioöljyn vai biohiilen puolella. Molempia syntyy joka tapauksessa lopputuotteena, mutta prosessiolosuhteilla voidaan vaikuttaa tuotteen saantoon ja laatuun. Esimerkiksi Green Fuel Nordicin pyrolyysilaitoksen päätuote on bioöljy ja sivutuotteena on biohiilituhka. Biohiili on tuhkana sen vuoksi, että sitä poltetaan lämmön ylläpitämiseksi prosessissa. Eroteltu biohiilituhka voidaan rakeistaa ja käyttää maanparannusaineena ja metsälannoitteena. (Green Fuel Nordic 2014) Pyrolyysitehtaan biopohjaiset sivuvirrat pystyttäisiin todennäköisesti hyödyntämään joko pyrolyysitehtaan lämmöntuotannossa tai biovoimalaitoksen polttoaineena.

### **Puun uuttaminen**

Puun uuttamisella voidaan saada puusta irti pieniä, mutta arvokkaita ja hyvin erilaisia ominaisuuksia sisältäviä kemikaaleja. Eri orgaanisia yhdisteitä on esitelty taulukossa Taulukko 6. Puun eläessä eri uuteaineet ylläpitävät puiden toimintaa ja suojaavat puita haitallisilta eliöiltä. (Nascimento et al. 2013) Yksi yleisin puusta saatava pienten uuteaineiden seos on sellun tuotannon yhteydessä tuotettava mäntyöljy. (Molinder & Almqvist 2018)

Taulukko 6. Puiden orgaaniset uuteaineet jaoteltuna (Lähde: Alén 2000)

<b>Alifaattiset ja alisykliset yhdisteet</b>	<b>Fenoliyhdisteet</b>	<b>Muut yhdisteet</b>
Terpeenit ja terpenoidit	Yksinkertaiset fenolit	Sokerit
Rasvahappojen esterit	Stilbeenit	Syklitolit
Rasvahapot ja alkoholit	Lignaanit	Tropolonit
Alkaanit	Isoflavonit	Aminohapot
	Tiivistyneet tanniinit	Alkaloidit
	Flavonoidit	Kumariinit
	Hydrolysoituva tanniini	Kinonit

Uuteaineet saadaan puista irti yleensä liuottimen avulla, joka voi olla neutraali orgaaninen liuotin (mm. metanoli, eetteri, aseton) tai vesi (Alén 2000). Uuteaineiden määrä puussa vaihtelee 1-30 % riippuen puun osan sijainnista. Puun osat voidaan jakaa runkopuuhun, oksapuuhun, kanton, juuriin, kuoreen ja neulasiin. Puun kuoreessa on esimerkiksi pitoisuudeltaan enemmän uuteaineita kuin runkopuussa. (Routa et al. 2017)

Puun uuteainemäärään vaikuttavat uutetun puuosan lisäksi puun ikä (nuoremmassa puussa on vähemmän uuteaineita), korjuuajankohta, geneettinen alkuperä sekä kasvupaikka. Eniten näistä määrään vaikuttavat puun osa ja yksittäisten metsiköiden erot. (Routa et al. 2017) Puun korjuu ja käsittely vaikuttavat myös uuteaineiden pitoisuuteen, mikä kannattaa ottaa huomioon jos puuta aiotaan uuttaa. Uuteaineiden pitoisuudet alkavat laskemaan välittömästi puun kaadosta, joten puu kannattaa käyttää uuttoon mahdollisimman tuoreena. (Alén 2000)

Puun varastointi ja kuljetus kannattaa miettiä päätuotteen tuotannon kannalta. Vesiliukoisia tai hydrolyysille alttiit uuteaineet voivat liueta veden mukana pois, (Routa et al. 2020) joten puut kannattaa suojata vedeltä kuljetuksen ja varastoinnin ajaksi. Kuorta hyödyntäessä vesivavusteista rangan kuorintaa tulee välttää (Hedmark and Scholz 2008). Jotkut uuteaineet säilyvät paremmin kuivassa säilytyksessä, joka toisaalta altistaa puut vesivarastointia enemmän mm. sienille. Myös puun olomuoto vaikuttaa uuteaineiden pitoisuuteen, sillä hakkeessa on huomattavasti isompi reaktiivisuus verrattuna kokonaiseen rankaan ja siten myös uuteaineiden haihtuminen on paljon nopeampaa. Täten puu kannattaa säilyttää mahdollisimman pitkään isossa partikkelikoossa. (Alén 2000)

Uuteaineita voidaan käyttää uuteaineesta riippuen mm. elintarvike-, lääke- ja kosmetiikkateollisuudessa. Mm. fenolisista yhdisteitä (männyn kuoresta) ja stilbeenejä (kuusen kuoresta) voidaan käyttää terveystuotteissa, esim. suojaamaan sydän- ja verisuonisairauksilta sekä syövältä. (Routa et al. 2017) Tanniineilla (kuusen ja männyn kuorista) on puolestaan mm. antimikrobisia ominaisuuksia, joita voidaan hyödyntää bakteeritulehdusten hoidossa (Rauha 2001).

Puun uuteaineiden erotus ja hyödyntäminen on vaikeaa ainoana prosessina, sillä uuteaineiden osuus koko puusta on pieni. Uuteaineet kulkevat nykyisellään sellun ja sahojen arvoketjuissa, joissa ne sisältyvät sivutuotteisiin, jotka ovat mäntyöljy ja tärpätti.



Sellutehtaiden markkinat ovat erilaisia verrattuna uuteaineiden markkinoihin, joten jalostaminen vaatii siihen erikoistuneen osaston tai toisen yrityksen. Jotta nämä uuteaineet saataisiin erotettua ja hyödynnettyä paremmin, pitäisi uuteaineita hyödyntävien teollisuuksien (esim. elintarviketeollisuuden) ja sellu- ja sahateollisuuden tehdä yhteistyötä asian parissa. (Routa et al. 2017) Resurssitehokkuuden kannalta yhtenä vaihtoehtona on yleisten uutteen, kuten mäntyöljyn, jatkojalostaminen pienemmiksi uuteaineiksi. (Molinder & Almqvist 2018)

Laanilan tapauksessa raaka-aineina voitaisiin käyttää energiapuuta tai välitettävissä olevia sahateollisuuden puruja ja hakkeita. Uuteaineen valmistus voisi sopia myös toisen puuta hyödyntävän tehtaan viereen, jonka sivuvirtoja voitaisiin käyttää uuteainetehtaan raaka-aineena. Pieniläpimittaisen energiapuun käsiteltävyys on työlästä, joten välttämättä puun eri osia ei voida erottaa uuttoon varten. Kriteerinä raaka-aineille on niiden tuoreus, sillä pienessä partikkelikoossa uuteaineet haihtuvat helposti. Koska nuoren puun uuteaineista ei löytynyt tutkimusta, energiapuun käyttöä harkitessa olisi tarpeellista selvittää sen mahdollisesti sisältämät uuteaineet ja niiden määrät. Uuttamisesta syntyvät sivuvirrat, joille ei ole hyötykäyttöä, voidaan ohjata energiakäyttöön biovoimalaitokselle.

#### 6.2.4 Höyry

Biovoimalaitoksesta saatavaa lämpöä ja höyryä pystyttäisiin hyödyntämään muiden alueella sijaitsevien teollisuusyritysten hyväksi. Potentiaalinen myytävä höyryteho on n. 60 MW höyrynpaineissa 8-9 bar ja 2,5-3,5 bar. Toimitettavan höyryn lämpötila 8-9 barin paineessa on noin 210-220 °C ja 2,5-3,5 barin paineessa noin 130-150 °C. Biovoimalaitoksella prosessihöyryä voidaan toimittaa höyryverkkoon turbiinin välitoista tai reduktiolla tuorehöyrystä. Höyryä toimitetaan jo nyt höyryverkolla Laanilan alueen kemian tehtaille, mutta lisäpotentiaalia höyryn tekemiseen löytyy uusillekin asiakkaille. Turbiinin läpivirranut höyry ohjataan kaukolämmönvaihtimille ja sitä kautta Oulun kaupunkiin kaukolämmöksi. (Kantola 2021)

### 6.2.5 Rajoitukset tai ohjaukset höyryn hyötykäytölle

Siirrettäessä lämpöä höyrynä, matalapainehöyryjen paine ja lämpötila on niin vähäistä, että hukan riskin takia ne pitäisi käyttää mahdollisimman lähellä joko naapurilaitoksessa tai laitoksessa, jossa ne syntyvät. Oulun Energian omassa toiminnassa ei ole huomattu kohteita, joissa höyryä voitaisiin hyödyntää (Kantola 2021).

Lainsäädännöllistä ohjausta hukkalämmön hyötykäytölle antaa esimerkiksi energiatehokkuuslaki, joka edellyttää suuria yrityksiä (työntekijämäärä yli 250 tai liikevaihto yli 50M€ ja tase yli 43M€) tekemään energiakatselmusraportin neljän vuoden välein. Pienemmille yrityksille energiakatselmuksien tekeminen on vapaaehtoista, mutta niiden tekemiseen annetaan tukea. (Energiavirasto 2021) Teollisuuslaitosten ylijäämälämmön hyödyntämistä velvoitetaan energiatehokkuuslaissa siten, että suunniteltaessa samalle alueelle uutta/uudistettaessa polttoaineteholtaan 20 MW:n energiantuotantolaitosta, toiminnanharjoittajan on tehtävä kustannus-hyötyanalyysi teollisuuden ylijäämälämmön hyödyntämiseksi. (Energiatehokkuuslaki 2014/1429 27 §) Lain puolesta hukkalämmön hyödyntämiseen siis velvoitetaan ja kannustetaan.

### 6.2.6 Ehdotuksia höyryn hyötykäytölle

Biovoimalaitoksessa syntyvät hukkahöyryt voidaan käyttää naapurilaitoksissa. Vaihtoehtoja höyryn hyödyntämiseksi on lähikiinteistöjen lämmittäminen ja hyödyntäminen prosesseissa lämpöpumpulla tai ilman. Lisäksi, mikäli höyryä jää jostain syystä yli, voi vaihtoehtona olla sen tekeminen sähköksi ORC (Organic Ranking Cycle)-laitteistoilla. Lähikiinteistöjen lämmittäminen onnistuu lämpöpumppujen avulla, esimerkiksi yhdistämällä ne rakennusten ilmanvaihdon lämmitykseen (Calefa Oy 2018).

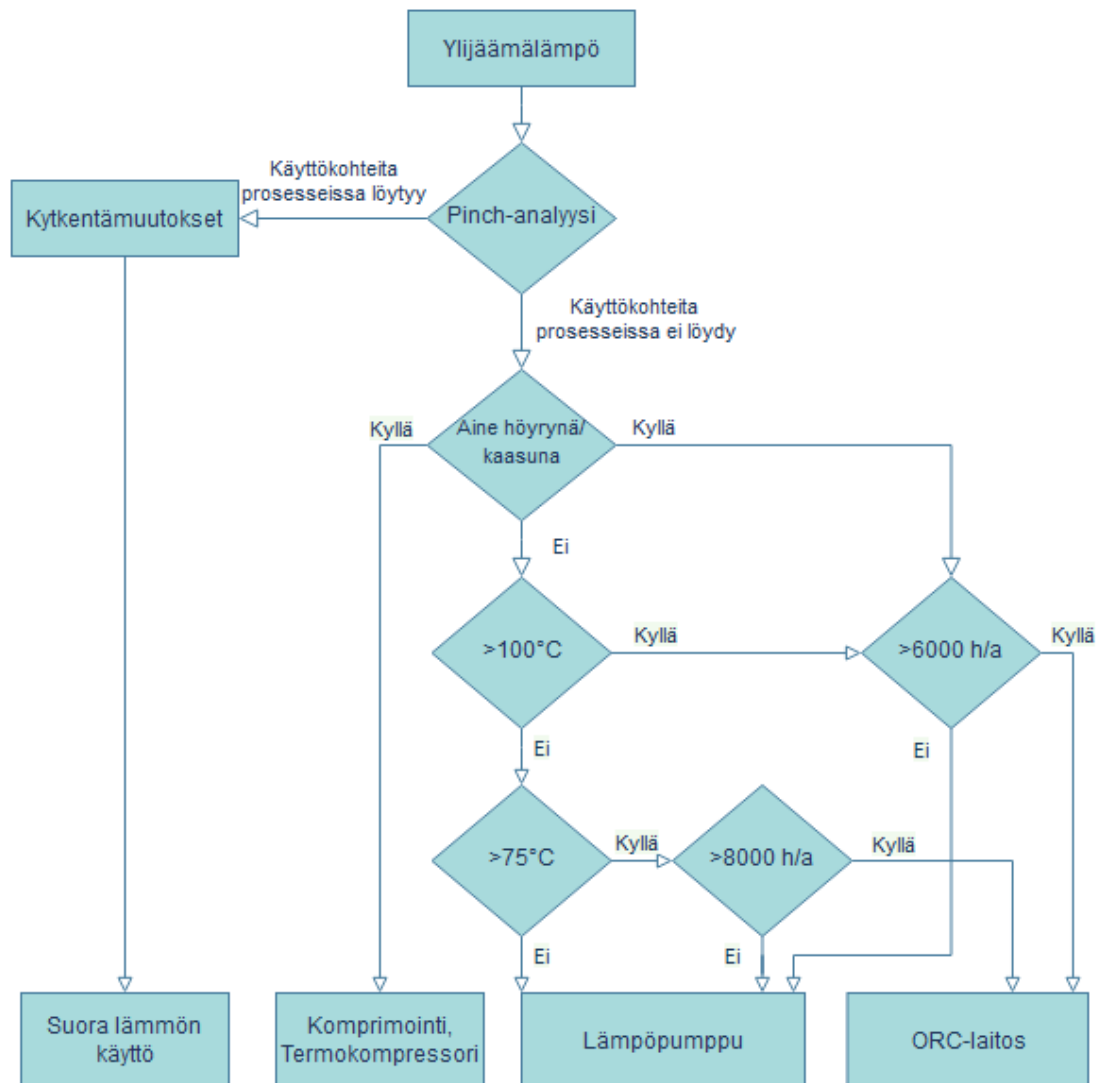
Matalapainehöyryä voidaan hyödyntää teollisuuden omissa prosesseissa joko lämpöpumpulla tai ilman. Teollisuudessa tyypillisiä hyötykäyttökohteita on käyttö lämpönä, esim. pesu-, haihdutus-, kuivaus-, tai tislauksproesseissa. Mikäli höyryn ominaisuuksia tarvitsee muuttaa, erilaisten lämpöpumppujen avulla voidaan nostaa höyryn lämpötilaa tai painetta. Vastaavasti, jos tavoitteena on saada tuotettua kylmää, höyryn lämpötilaa voidaan myös alentaa. Lämpöpumpun investointia varten kannattaa verrata korvattavan lämmön ja lämpöpumpun käyttöenergia hintaero, sillä se käytännössä määrittelee hankinnan kannattavuuden. (Maaskola & Kataikko 2014)

Biovoimalaitoksella tai ekovoimalaitoksella höyryä saattaisi olla mahdollista käyttää esimerkiksi polttoaineen kuivaamiseen tai palamisilman esilämmityksessä. Mikäli alueelle tulee yritys, joka jalostaa energiapuusta tuotteita tai kemikaaleja, se saattaa tarvita raaka-aineelleen lämpöä kuivaukseen, haihdutukseen, uuttamiseen tai tislaukseen riippuen käytettävistä prosessointitavoista. Sopiva höyryn hyötykäyttö teollisuuden prosesseissa pitää suunnitella prosessikohtaisesti. Mikäli höyry ei ominaisuuksiltaan käy sellaisenaan prosessissa, on sen ominaisuuksia (paine ja lämpötila) mahdollista muokata fysikaalisin rajoin lämpöpumppujen avulla.

Esimerkkinä matalapainehöyryn käytöstä teollisuudessa on VTT:n tutkimus matalapainehöyryn käytöstä sahatavaran kuivauksessa alkulämmityksessä ja lopputasaannutuksessa. Höyryn käyttö tässä tapauksessa on laadukas tapa kuivata tuote. Yleisenä tapana kuivauksessa on ollut lämpöpattereilla lämmitys, jossa kosteutta on lisätty vesisumulla. Tällä tavalla kuivatettaessa sahatavara pyrkii kuivumaan hallitsemattomasti ja lämmitysilman kosteuden puutos aiheuttaa pinnan mikrohalkeilua. Kun käytetään höyryä, voidaan alkulämmityksessä välttää puolestaan tuotteen mikrohalkeilua, mikä parantaa tuotteen arvoa; nopeuttaa kuivausta; sekä vähentää käytettävien lämpöpattereiden korroosiota, koska vesisumua ei käytetä. Lopputasaannutuksen etuna on nopea ja tehokas kosteuden poisto. (Hukka & Tarvainen 1997)

Viimeisenä esiteltävänä vaihtoehtona on lisätä ORC-moduuli voimalaitoksen yhteyteen. ORC muodostuu sanoista Organic Ranking Cycle ja ORC-moduulin avulla voidaan tuottaa matalalämpöisestä (ja siten matalapaineisesta) höyrystä sähköä omassa kierrossaan. Yleisesti energian tuotannon kierroissa, kun tehdään turbiinilla sähköä, kiertoaineena on vesi. ORC-tekniikassa kiertoaineena käytetään sen sijaan orgaanista-ainetta (esim. pentaania), jolla on pienempi höyrystymislämpö kuin vedellä. (Maaskola & Kataikko 2014)

Mikä on sitten ensisijainen vaihtoehto ylijäämähöyryn hyötykäytölle? Hyvänä ohjenuorana on kuvan Kuva 11 kaavio.



Kuva 11. Ylijäämähöyryn hyödyntämistapojen arviointi (Lähde: Maaskola & Kataikko 2014)

Ohjeen mukaisesti ensimmäisenä tehdään pinch-analyysi, jossa tutkitaan voidaanko höyryllä lämmittää suoraan jotain prosessin kohdetta. Pinch-analyysissä prosessin lämmitettävät ja jäädytettävät virrat analysoidaan ja tiedolla saadaan laskettua teoreettiset kohdat virtojen lämmön yhdistämiselle ja siten hukkaenergian hyödyntämiskohteet. Teollisissa symbiooseissa prosessit voivat myös olla lähellä sijaitsevien yhteistyöyrityksien prosessit. Prosessin ja höyryn uudelleenkytkennällä höyry saataisiin hyötykäyttöön. (Maaskola & Kataikko 2014; Heikkilä & Kiuru 2014)

Mikäli höyrylle ei löydy sellaisenaan hyötykäyttökohteita, sitä voidaan käsitellä halutunlaiseksi. Komprimoinnilla höyryä voidaan paineistaa ja siten nostaa höyryn

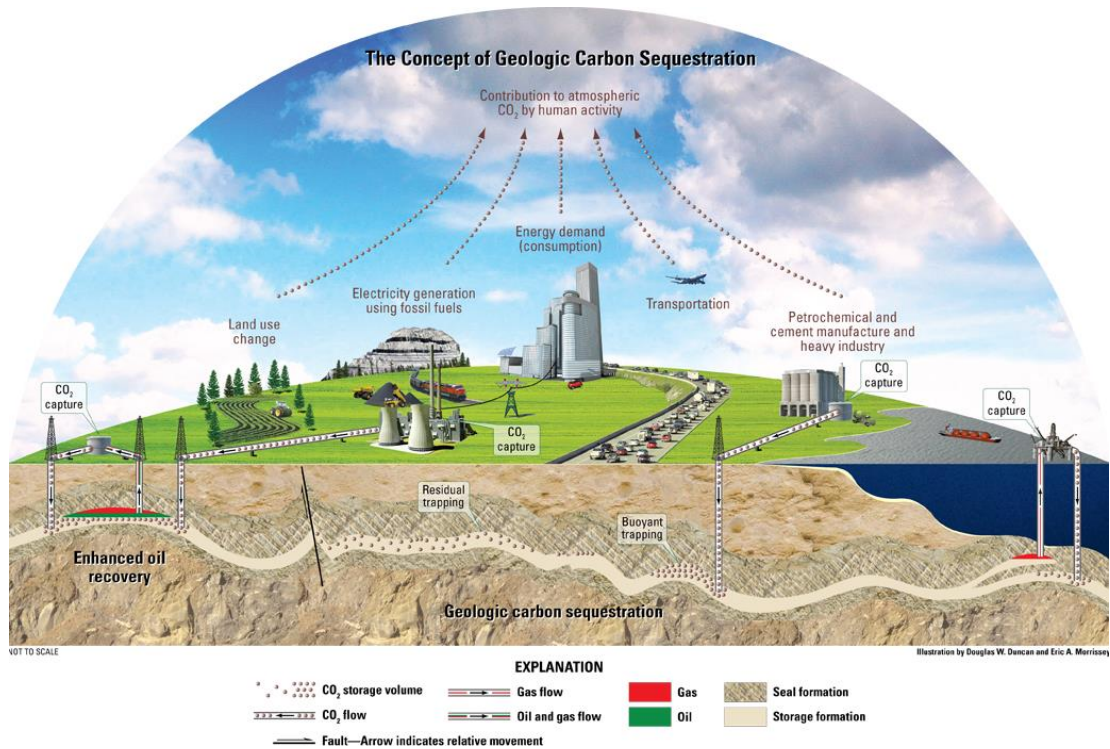
lämpötilaa alkuperäistä korkeammaksi. Termokompressorilla höyryä voidaan paineistaa prosessissa syntyneellä suurempi paineisella höyryllä. Prosessiin menevää höyryä siis lämmitetään sen omalla prosessista tulevalla lämmöllä. Edellä mainittuja tapoja käytetään mm. kemian teollisuudessa. Kuvan Kuva 11:n mukaisesti höyryä voidaan hyödyntää myös lämpöpumpulla tai ORC-laitteistolla. ORC-laitteiston käyttöä suositellaan mikäli höyryä syntyy vuoden aikana yli 6000 tuntia. (Maaskola & Kataikko 2014)

Mikäli yläjäähälämpö ei olekaan höyryä, sen hyötykäyttötapaan vaikuttavat vahvasti syntyvä määrä ja lämpötila. Mitä enemmän lämmintä ainetta syntyy vuodessa ja mitä lämpimämpää se on, suositellaan hyötykäyttötavaksi muuttaminen sähköksi ORC-laitteiston avulla. Jos lämpötila lähentelee 75 °C ja lämpöä syntyy alle 8000 tuntia vuodessa, lämpö kannattaa hyödyntää lämpöpumpun kautta. Karkeasti sanottuna, ORC-laitteistojen lämpötila-alue voidaan laskea 100 – 350 °C asteeseen ja lämpöpumppujen 0 – 100 °C asteeseen. (Maaskola & Kataikko 2014)

### 6.2.7 Hiilidioksidi ja CCU/S

Hiilidioksidia syntyy biovoimalaitoksella polttoprosessissa sekä Laanilan teollisuusalueella prosessiteollisuuden toiminnassa. Hiilidioksidin talteenoton kehittämällä voitaisiin tukea esimerkiksi biojalostamon kokonaisuutta, mutta sen talteenottotekniikoita ei ole vielä yleisessä käytössä korkeiden kustannuksien ja vaadittavan energian tarpeen vuoksi.

Hiilidioksidin talteenoton jälkeiselle hyödyntämiselle on kaksi mahdollisuutta: hiilen varastointi (CCS) ja hiilen hyötykäyttö (CCU). Molemmat tavat vähentävät hiilidioksidin määrää ilmakehässä, vaikkakin eri tavoin. Molemmassa tavoissa hiili otetaan talteen, mutta CCS:ssä se palautetaan takaisin maaperään (esim. tiiviiseen luolaan), kun taas CCU:ssa hiilidioksidista tehdään tuotetta, kuten polttoainetta tai kemikaaleja, joilla voidaan korvata toisen fossiilisen polttoaineen tai kemikaalin käytön. CCS siis poistaa ilmakehästä hiilidioksidia sitä sinne palauttamatta. CCS kuitenkin omaa ongelmia sopivien varastointipaikkojen kestävyuden kanssa, sillä hiilidioksidi tulnaisiin varastoimaan pysyvästi, joten varastointipaikat täytyy tutkia tarkasti ennen hiilidioksidin varastoimista (Carus et al. 2019). Hiilidioksidin varastoimista maaperään on havainnollistettu kuvassa Kuva 12.



Kuva 12. Havainnekuva hiilidioksidin varastoimisesta maaperään (CCS) (Lähde: Duncan & Morrissey 2011)

CCU puolestaan palauttaa polttoaineeksi jalostettaessa hiilidioksidin takaisin ilmakehään, mutta antaa samalla mahdollisuuden korvata fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja sitä kautta välttää enemmän hiilidioksidin vapautumisen ilmakehään. Kemikaaliksi jalostettaessa se sitoo hiiltä itseensä kemikaalin tuotteena olon ajan, ennen kuin kemikaali vapauttaa hiilidioksidin esim. palaessaan. Hiilidioksidia voidaan talteen ottaa niin savukaasuista kuin suoraan ilmakehästä. (Carus et al. 2019)

CCU:lla voidaan korvata monien fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Näistä polttoaineista esimerkkinä mm. diesel, maakaasu, metanoli ja kerosiini. Jos hiilidioksidin talteenotto tapahtuu fossiilisen polttoaineen poltosta ja sen tuotteistamisella ja käytöllä korvataan fossiilista polttoainetta, saadaan hiilijalanjälkeä pienennettyä kokonaisuudesta 50 % (alkuperäinen fossiilisen polttoaineen käyttö + kierrätetyn hiilidioksidin käyttö). Jos talteenotto tapahtuu biomassan poltosta syntyneistä savukaasuista ja hiilidioksidilla korvataan fossiilista polttoainetta, saadaan hiilijalanjälkeä pienennettyä kokonaisuudesta 100 %, verrattuna jos oltaisiin käytetty vain fossiilisia polttoaineita (hiilineutraalin polttoaineen käyttö + kierrätetyn hiilidioksidin käyttö). (Carus et al. 2019) Talteen ottamalla bioenergian polttamisesta syntyvää hiilidioksidia (myöhemmin bio-CCS tai

bio-CCU), voidaan korvata hiilidioksidipäästöjä sellaisista lähteistä, joiden syntymistä ei olemassa olevalla tekniikalla voida estää (IEA 2020). Edellä mainituissa tapauksissa hiilidioksidin talteenoton ja käsittelyn energia on tuotettu uusiutuvalla energialla, joka ei itsessään synnytä lisäpäästöjä. (Carus et al. 2019)

Orgaaninen kemianteollisuus on nojannut pitkään fossiilisiin luonnonvaroihin. Orgaanisen kemian teollisuus tulee kuitenkin olemaan kestävää vain silloin, kun se käyttää raaka-aineenaan uusiutuvaa hiiltä. Uusiutuva hiili on hiiltä, joka on kierrätettyä, tehty biomassasta tai se on talteen otettua savukaasusta tai ilmakehästä. (Carus et al. 2019) Orgaanisen kemian teollisuuden käytössä CCU-hiilidioksidi voidaan sitoa kemikaaleihin ja sitä kautta tuotteisiin pidemmäksi aikaa. Hiili on sidottuna tuotteeseen niin kauan kunnes se poltetaan tai se lahoaa, jolloin hiilidioksidi vapautuu takaisin ilmakehään. CCU-hiilidioksidilla kuitenkin voidaan välttää fossiilisten luonnonvarojen käyttöä ja siten estää maaperässä olevaa hiilidioksidia vapautumasta ilmakehään.

CCU-hiilidioksidi pystyy myös jalostettuna toimimaan uusiutuvan energian varastona, mm. silloin kun uusiutuvaa energiaa tuotetaan enemmän kuin sitä sillä hetkellä käytetään. Tällainen tilanne voi tulla esimerkiksi kesäisin, kun auringon valon määrä kasvaa mutta energian kulutus on hetkellisesti pienempää kuin tuotetun energian määrä. (Carus et al. 2019)

### **6.2.8 Hiilidioksidin talteenoton tekniikat**

Lämpö- ja voimalaitoksista hiilidioksidin erotusmenetelmät voidaan jakaa kolmeen luokkaan. Ne ovat erotus polton jälkeen, erotus ennen polttoa tai happipoltto. Polton jälkeisessä menetelmässä savukaasut puhdistetaan muista epäpuhtauksista, jonka jälkeen hiilidioksidi erotetaan. Erotuksessa ennen polttoa, hiilidioksidi erotetaan polttoaineesta jo ennen polttamista. Ennen erotusta polttoaine on kaasutettu tai reformoitu ilmalla, hapella tai vesihöyryllä. Happipoltossa puolestaan erotus tapahtuu myös polton jälkeen, mutta erona ensimmäiseen menetelmään, poltto on tapahtunut ilman sijaan puhtaalla hapella, joka tuottaa lähes vain hiilidioksidia ja vesihöyryä sisältävää savukaasua. Polton jälkeen hiilidioksidi on helppo erottaa vesihöyrystä. (CCSP 2015) Lähellä happipolttoa on myös superkriittisen hiilidioksidi kierron hyödyntäminen. Siinä ylläpidetään energian tuotannossa superkriittistä olotilaa, jossa lämpötila ja paine pidetään hiilidioksidin

kriittisen lämpötilan ja paineen yllä. Ilman sijasta poltossa käytetään puhdasta happea, jolloin savukaasut sisältävät vain hiilidioksidia ja vesihöyryä. (IEA 2020)

Hiilidioksidin erotustekniikoita on monia. Yleisimmät ja kehittyneimmät niistä ovat kemiallinen absorptio ja fysikaalinen erotus (physical separation). Muita menetelmiä ovat membraanitekniikat sekä kierrot, kuten kemialliset kierrot tai kalsiumkierrot.

Kemiallista absorptiota on käytetty monissa pienissä ja suurissa energian tuotannon CCUS-projekteissa. Siinä hiilidioksidi ja kemiallinen liuotin (yleisesti amiini-pohjainen) saatetaan reagoimaan keskenään. Usein erotus tapahtuu kahdessa kolonnissa, joista ensimmäisessä tapahtuu yhdisteiden absorptio ja toisessa kolonnissa korkeammassa lämpötilassa erotetaan puhdas CO<sub>2</sub> ja regeneroidaan liuotin uutta käyttöä varten. (IEA 2020)

Fysikaalisessa erotuksessa hyödynnetään adsorptiota, absorptiota, kylmäerotusta, kuivausta tai painetta. Tavasta riippuen erotusaineena käytetään joko kiinteää tai nestemäistä ainetta. Kiinteät aineet voivat olla esim. aktiivihiili tai metallioksidit, joita käytettäessä puhutaan fysikaalisesta adsorptiosta ja esim. nestemäisiä liuottimia käytettäessä puhutaan fysikaalisesta absorptiosta. Erotusaineet nappaavat hiilidioksidin kiinni, joka sen jälkeen erotetaan fysikaalisesti korkean lämpötilan, paineen tai alipaineen avulla erotusaineesta. Nykyisellään fysikaalista erotusta käytetään pääasiassa polttoaineiden, kuten maakaasun, metanolin, etanolin tai vedyn valmistuksessa. (IEA 2020)

Happipolton hyödyntäminen vaatii tekniikkaa hapen erotukselle ilmasta sekä hiilidioksidin erotukselle vesihöyrystä. Hiilidioksidin erottaminen on suhteellisen helppoa kuivattamalla, josta lopputuloksena saadaan hyvin puhdasta hiilidioksidia. Hapen erotus ilmasta puolestaan syö paljon energiaa, joten kehittämällä energiatehokkaampia menetelmiä hapen erotukselle, saadaan myös vähennettyä menetelmän kustannuksia. Hiilidioksidin talteenottoa happipolton kautta hiilivoimalassa on demonstroitu ainakin Australiassa ja Espanjassa. (IEA 2020)

Membranierotuksessa hiilidioksidi erotetaan selektiivisellä membraanilla, joka suodattaa hiilidioksidin itsensä läpi kun taas jättää muun kaasun suodattamatta. Kaupallisesti saatavia membraaneja on saatavilla sellaisia, jotka erottavat hiilidioksidia



synteettisestä kaasusta ja biokaasusta. Membraaneja, joilla voidaan erottaa hiilidioksidia savukaasuista, ovat vielä kehitteillä. (IEA 2020)

Kalsiumkierroissa käytetään kahta reaktoria, joissa ensimmäisessä hiilidioksidi sitoutetaan kalkkiin muodostaen kalsiumkarbonaattia ( $\text{CaCO}_3$ ) ja toisessa kalkki ja hiilidioksidi erotetaan toisistaan. Kalkki kierrätetään uudelleen käytettäväksi ensimmäisessä reaktorissa. Kalsiumkiertoista hiilidioksidin erotusta on käytetty pilot-laitoksissa hiilen leijupetipoltossa, sementin valmistuksessa ja teräksen valmistuksessa. (IEA 2020)

Erotuksen jälkeen hiilidioksidi käsitellään sen varastoimistavan ja kuljetuksen vaatimusten mukaan. Pääasiassa hiilidioksidi kuivataan ja paineistetaan nesteeksi siten, että saadaan säädettyä hiilidioksidille haluttu paine, lämpötila ja kosteus. Kuljetus on tyypillisesti laiva- tai putkikuljetus, mikäli hyötykäyttö tai varastoimispaikka ei sijaitse talteenoton kanssa samalla alueella. (Teir et al. 2011)

### **6.2.9 Rajoitukset tai ohjaukset hiilidioksidin hyötykäytölle**

Pariisin sopimuksen tavoitteena on vuosien 2050-2100 aikana saavuttaa tasapaino ihmisten aiheuttamien päästölähteiden ja hiilinielujen välillä, joka tarkoittaa käytännössä hiilineutraaliutta. Lisäksi eri valtiolla ja yrityksillä on tavoitteenaan saavuttaa hiilineutraalius kyseistä ajankohtaa aiemmin. Carbon Capture and Storage Program - tutkimusohjelman (CCSP) ja Kansainvälisen energijärjestön (IEA) mukaan hiilidioksidin talteenotto yhdessä muiden hiilidioksidipäästöjen vähennyskeinojen kanssa on välttämätön keino hiilineutraaliuden saavuttamiseksi. (CCSP 2015; IEA 2020)

Hiilineutraaliuteen liittyen Suomen tavoitteena on saavuttaa hiilineutraali energijärjestelmä vuonna 2050, jonka yhtenä toteuttamisen osana on tarkasteltu 100 %:sta siirtymistä uusiutuviin energianlähteisiin. Tarkasteluissa uusiutuvan energian lisäksi on ollut mukana hiilidioksidin talteenotto- ja varastointiteknologioiden käyttö poltettaessa fossiilisia polttoaineita. (TEM 2017)

CCSP:n viisivuotisessa suomalaisessa tutkimusohjelmassa (2011-2016) kehitettiin ja tutkittiin hiilidioksidin talteenottomenetelmiä ja niiden soveltamista erilaisissa kohteissa. CCSP teki arvioinnin hiilidioksidin talteenoton kustannustehokkuudesta eri skenaarioilla.

Jotta Suomen kustannustehokkuuden kannalta kannattaisi yleisesti siirtyä hiilidioksidin talteenottoon, EU:n päästökaupan pitäisi hyväksyä bio-CCS/U-hiilidioksidi (biopohjaisesta polttoaineesta aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen talteenotto) negatiivisiksi päästöiksi, jolla voidaan hyvittää syntyneitä päästöjä ja siten maksaa vähemmän päästöoikeuksia. (CCSP 2015) Vielä vuoden 2020 syksyllä negatiivisia päästöjä ei otettu huomioon päästökaupassa (Rickels et al. 2020). Panostamista bio-CCS/U-menetelmään fossiilisen hiilidioksidin sijaan puoltaa se, että Suomen valtion tavoitteena on tuottaa energia tulevaisuudessa biopohjaisilla ja fossiilittomilla energiantuotantotavoilla, jolloin hiilidioksidin kerääminen biomassan poltosta tulevista savukaasuista on järkevä kehitettävä vaihtoehto. Toisaalta ei sovi unohtaa fossiilisen hiilidioksidin CCU/S-menetelmiä, sillä ne ovat tapoja kerätä hiilidioksidi sieltä, missä sen muodostumista ei ole pystytty välttämään.

CCS:n hyödyntämistä Suomessa rajoittaa se, ettei täällä ole sopivaa maanalaista geologista muodostumaa, johon hiilidioksidin voisi kerätä turvallisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että Suomessa kerätty hiilidioksidi pitäisi kuljettaa ulkomaille varastoitavaksi. Tämä nostaa Suomessa CCS:n hyödyntämisen kustannuksia 10-20 %. Tällä hetkellä lähimmät mahdolliset hiilidioksidin varastointipaikat ovat Pohjanmerellä ja Barentsinmerellä. Näiden lisäksi CCSP on havainnut mahdollisen sijoituspaikan myös Itämeren kallioperässä. (CCSP 2015) Kansainvälisen energiajärjestön IEA:n mukaan tarvitaan hiilidioksidin varastoimiseen ja hyötykäyttöön erikoistuvia alueellisia keskuksia, jotta CCS- ja CCU-tekniikat voitaisiin ottaa laajasti käyttöön. (IEA 2020)

CCU-tekniikoiden kehitys ei ole yhtä pitkällä kuin CCS-tekniikoiden, mutta ne ovat nostaneet alan kiinnostavuutta hallitusten, yritysten ja investoijien silmissä. CCU-tekniikoilla voidaan tehdä hiilidioksidista esimerkiksi polttoaineita ja rakennusmateriaaleja, jotka voivat korvata fossiilisia materiaaleja. CCU-tekniikoiden kehittämisen kannustimiksi on järjestetty maailmalla kilpailuja, sekä esimerkiksi Japanissa on julkaistu hiilidioksidin kierrätyksen -tiekartta hiilidioksidin hyötykäyttöteknologioiden kasvattamiseksi. Japanin hiilidioksidin kierrätyksen tiekartan tavoitteet on jaettu nopean ja pitkän aikavälin tavoitteisiin. Lyhyen aikavälin tavoitteet (mm. sellaisten CCU-hiilidioksidin ja sen johdannaisten kaupallinen tuottaminen, mitkä voivat korvata suoraan nykyisiä tuotteita) ovat vuodelle 2030, ja pitkän aikavälin

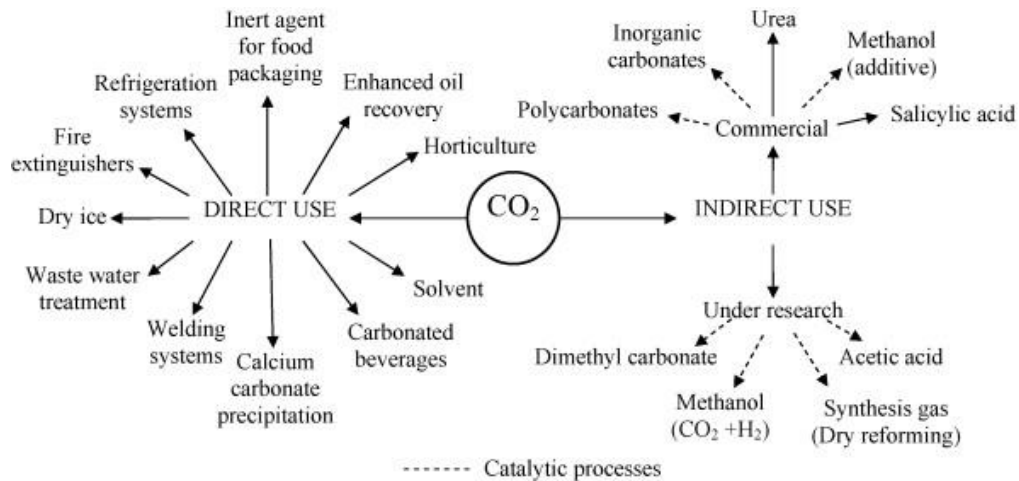
tavoitteet (mm. suuria määriä hiilidioksidia hyödyntävien teknologioiden kaupallistaminen) ovat asetettu vuodelle 2050. (IEA 2020; METI 2019)

Tällä hetkellä hiilidioksidin talteenotto ja hyötykäyttö on kalliimpaa kuin fossiilisen hiilen käyttö. Hintaan vaikuttaa moni asia, joista suurimpana on vedyn tuotanto, jota käytetään hiilidioksidin jatkojalostuksessa esim. polttoaineeksi. (Carus et al. 2019) IEA:n arvion mukaan hiilidioksidin talteenotto energian tuotannossa (vuonna 2019) maksaa 34-68 euroa per kerätty tCO<sub>2</sub>. (IEA 2021) Nova-instituutin arvion mukaan CCU-biopolttoaineiden tuotannon arvo tulee saman arvoiseksi kuin fossiilinen polttoaineen tuotanto, kun sähköhinta on 3-4 eurosenttiä per kilowattitunti. Tässä arvioissa biopolttoaine on metaania tai metanolia. (Carus et al. 2019)

Valtion ja teollisuuden ohjausta ja tavoitteita tarvitaan, jotta hiilidioksidin talteenoton tekniikoita kehitetään ja otetaan käyttöön ensin testilaitoksissa ja sitten suuressa mittakaavassa. Mitä aiemmin tekniikkaa lähdetään kehittämään, sitä aiemmin ilmastotavoitteet voidaan saavuttaa ja sen lisäksi testilaitoksien avulla kertynyttä osaamista voidaan myös myydä muualle.

#### **6.2.10 Ehdotuksia hiilidioksidin hyötykäytölle (CCU)**

Mahdollisia polttoaineita tai kemikaaleja, joita CCU:n avulla kerätystä hiilidioksidista voidaan tuottaa, on hyvin monia prosessointitavasta riippuen. Hiilidioksidia voidaan myös käyttää suoraan esimerkiksi jäähdytysjärjestelmissä (kuva Kuva 13). (Raudaskoski et al. 2009) Prosessointitavat voidaan jakaa kemiallisiin ja bioteknisiin käsittelytapoihin, joista kemiallisiin kuuluu tavanomaisia katalyyttisiä prosesseja ja bioteknisiin mm. erilaisia mikrobi- tai fermentointiprosesseja. (Carus et al. 2019)



Kuva 13. Hiilidioksidin erilaisia suoria ja epäsuoria hyötykäyttötapoja (Lähde: Raudaskoski et al. 2009)

Tekniikkaa, jolla voidaan talteenottaa hiilidioksidia biomassan poltosta, ei ole vielä laajasti kaupallisessa käytössä, mutta tekniikka on todettu toimivaksi. (IAE 2020) Vuonna 2020 syksyllä julkaistiin Toshiba aloittaneen suuren kokoluokan hiilidioksidin talteenoton Mikawan biopolttolaitoksella (kapasiteetti 50 MW). Kyseessä on ensimmäinen (vuoden 2020 tiedon mukaan) biopolttolaitos, jossa CCS-teknologiaa käytetään. Talteenoton kapasiteetti on 500 tonnia hiilidioksidia päivässä, joka on yli 50 % voimalaitoksen päivittäisistä hiilidioksidipäästöistä. Hiilidioksidi erotetaan savukaasuista polton jälkeen kemiallisesti amiiniliuottimella, joka kierrätetään uudelleen käyttöön. (Toshiba 2020)

Käytössä olevilla kaupallisilla kemiallisilla prosesseilla tuotetaan polttoaineista metanolia ja muista kemikaaleista polykarbonaatteja, polyoleja, polyuretaania ja polyhydroksialkanoaatteja. Edellä mainittujen tuotteiden tuotannot sijaitsevat Islannissa, Taiwanissa, Saksassa ja USA:ssa, sekä rakenteilla on kaupallinen polttoaineen tuotantolaitos Norjaan. Käytössä olevilla kaupallisilla bioteknisillä käsittelytavoilla puolestaan tuotetaan polttoaineiksi etanolia, n-butanolia ja kerosiinia, sekä kemikaaleiksi väriaineita, bakteereiksi spirulinaa sekä proteiineja. Nämä käytössä olevat tuotantolaitokset sijaitsevat Kiinassa ja USA:ssa, jonka lisäksi rakenteilla olevia kaupallisia tuotantolaitoksia on tulossa Belgiaan, Intiaan, Etelä-Afrikkaan ja lisää USA:han. (Carus et al. 2019) Edellä esitettyjen kaupallisten sovellusten käytetystä hiilidioksidista ei tiedetä, onko se peräisin fossiilisesta vai biogeenisestä polttoaineesta.

CCU:ta on myös mahdollista käyttää aurinko- ja tuulienergian varastointiin, silloin kun käytettävissä on hiilidioksidilähde (savukaasut tai ilmakehän hiilidioksidi) ja aurinko- tai tuulienergiaa ylimäärin. Ylimääräisellä energialla voidaan ottaa talteen savukaasujen hiilidioksidi, joka prosessoidaan varastoitavaksi metanoliksi. Tällöin esim. kesällä tuotettu ylimääräinen aurinkoenergia voidaan käyttää energiana talvella. (Carus et al. 2019).

VTT:n BECCU-hanke tutkii voiko bioenergian sisältämän hiilidioksidin ja vedyn muuttaa polyuretaaniksi kannattavasti. Bioenergiana on esitetty hankkeen kuvauksessa esimerkkinä maatalouden biomassat. Biomassan CHP-poltosta saadaan energiaa ja savukaasuja. Tuotettua energiaa hyödynnetään elektrolyysissä tuottaen vedestä vetyä ja happea. Savukaasut puolestaan puhdistetaan ja siitä erotetaan hiilidioksidi. Näistä kolmesta aineesta (vedystä, hapesta ja hiilidioksidista) valmistetaan käänteisellä vesikaasun siirtoreaktiolla (reverse water-gas shift) ja Fischer-Tropsch -reaktiolla olefiineja. Olefiinit hapetetaan ja polymerisoidaan, jonka lopputuloksena saadaan aikaan polyoleja, jotka ovat polyuretaanin pääraaka-aineita. (BECCU 2021) Jos hanke onnistuu, seuraavana etappina on tutkia tekniikan viemistä teollisuuden tuotantoon (Lane 2020)

### **6.2.11 Hiilidioksidin talteenoton hyödyntäminen biovoimalaitoksella**

Laanilan biopolttolaitoksen tapauksessa energia tuotetaan pääasiassa hiilineutraaleilla polttoaineilla, jolloin sieltä talteenotettu hiilidioksidi ja sen tuotteistaminen voisi parhaimmassa tapauksessa korvata hiilidioksidipäästöjä muualta. Mikäli alueella aletaan talteenottamaan hiilidioksidia, se voisi houkuttaa alueelle hiilidioksidia jalostavan yrityksen. Vaihtoehtona on myös varastoida hiilidioksidi yhteisesti ja myydä se muualle. Hiilidioksidin laskennallinen osuus biovoimalan savukaasujen tilavuudesta on 10-15 %. Yleensä tällaisista savukaasuista hiilidioksidi on erotettu kemiallisella absorptiolla (Teir et al. 2009).

Laskennallisesti hiilidioksidia biovoimalaitokselta vapautuu noin 610 100 tCO<sub>2</sub> vuodessa, joka on noin 1670 tCO<sub>2</sub> päivässä (polttoainetehon ollessa 215 MW/a). Biopolttoaineista vapautuvan hiilidioksidin osuus, joka määritellään hiilineutraaliksi, on noin 499 200 tCO<sub>2</sub>/a (80 % kaikesta hiilidioksidista) ja fossiilinen osuus 110 900 tCO<sub>2</sub>/a. Polttoaineina laskennassa käytettiin 70 % energiapuuta, 15 % kierrätyspolttoainetta ja 15 % turvetta. Kierrätyspolttoaineen bio-osuus on Tilastokeskuksen (2021) arvion mukaan

60 %. Jos turvetta ei käytettäisi ja se korvattaisiin kierrätyspolttoaineella, vuosittaiset hiilidioksidipäästöt olisivat kaikkiaan 516 800 tCO<sub>2</sub>/a, joka on 1480 tCO<sub>2</sub>/d. Tässä tapauksessa laskennassa on käytetty 70 % puuta ja 30 % kierrätyspolttoainetta. Laskennoissa ei otettu huomioon muuta kuin polttoaineiden palamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt.

Käytettäessä vertailuna Mikawan biopolttolaitosta, jossa hiilidioksidin talteenotto oli 500 t/d, voidaan arvioida samanlaista tekniikkaa käytettäessä hiilidioksidin talteenoton osuudeksi Laanilan biopolttolaitoksella olevan noin 30 % kaikista hiilidioksidipäästöistä kun polttoaineena on turvetta. Talteenotto olisi sama 500 tCO<sub>2</sub>/d, eli 182 500 tCO<sub>2</sub>/a. Turpeen käytön poistuessa biopolttolaitoksen hiilidioksidin talteenoton määrä on sama kuin turvetta käyttäessäkin. Hiilidioksidilaskennan tulokset on esitetty taulukossa Taulukko 7 ja laskennat löytyvät liitteinä 1 (nykytila) ja 2 (tulevaisuuden tavoite).

Taulukko 7. Tuotetun hiilidioksidin määrä biovoimalaitoksella polttoainetehon ollessa 215 MW/a.

	<b>CO<sub>2</sub> turpeen kanssa (nykytilanne)</b>	<b>CO<sub>2</sub> ilman turvetta (tulevaisuuden tavoite)</b>
<b>Syntyneen hiilidioksidin määrä</b>	<b>610 100 tCO<sub>2</sub>/a</b>	<b>516 800 tCO<sub>2</sub>/a</b>
	Fossiilinen hiilidioksidi: 110 900 tCO <sub>2</sub> /a (20%)	Fossiilinen hiilidioksidi: 23 400 tCO <sub>2</sub> /a (4 %)
	Biogeeninen hiilidioksidi: 499 200 tCO <sub>2</sub> /a (80%)	Biogeeninen hiilidioksidi: 516 700 tCO <sub>2</sub> /a (96 %)
<b>Kaupallisella tekniikalla talteenotetun hiilidioksidin laskennallinen arvio</b>	<b>182 500 tCO<sub>2</sub>/a</b>	<b>182 500 tCO<sub>2</sub>/a</b>

Hiilidioksidin hyödyntämisen ensimmäisenä vaihtoehtona olisi hyvä selvittää, voiko talteenotettua hiilidioksidia käyttää jo sellaisenaan Laanilan teollisuuksien toiminnoissa tai muualla Oulun alueella. Jos tämä ei ole mahdollista, toisena vaihtoehtona voi olla hiilidioksidituotteiden jalostus. Talteenotettu hiilidioksidi voidaan myydä kauemmas tai parhaimmassa tapauksessa se voisi olla raaka-aineena alueen muulle toiminnalle, jolloin esimerkiksi varastoinnin ja kuljetuksen kustannukset pienenevät. Hiilidioksidista voidaan tehdä laajalla skaalalla monenlaisia tuotteita, joten hiilidioksidin talteenoton mahdollisuus voi houkuttaa alueelle yrityksiä tekniikan kaupallistuessa.

Koko Laanilan teollisuusaluetta katsottaessa, isolla teollisuusalueella hiilidioksidin talteenoton etuna on se, että hiilidioksidia tuottavat yksiköt ovat lähekkäin, jolloin saattaisi olla mahdollisuus järjestää yhteinen hiilidioksidin varastointi alueen kaikille savukaasuille tai hiilidioksidille. Tämä voi kuitenkin tuottaa lisäkustannuksia, sillä teollisuusalueella on useampi päästölähde, mikä tarkoittaa useamman CCU/S-moduulin hankintaa (ellei yhdistäminen ole mahdollista). Alueen teollisuuden hiilidioksidipäästöt soveltuvat todennäköisesti hyvin hiilidioksidin erotukseen, sillä kemian teollisuuden prosessikaasuissa on yleensä korkea hiilidioksidipitoisuus, joka helpottaa hiilidioksidin erotusta. (Teir et al. 2009) Erotuksen kannattavuutta varten olisi hyvä selvittää syntyvän hiilidioksidin määrä ja laatu Laanilan kemiantehtailta.

## **7 BIOVOIMALAITOKSEN TEOLLISTEN SYMBIOOSIEN MAHDOLLISUUDET**

Tämän diplomityön tutkimuksen tavoitteena on tehdä suunnitelma sille, miten Laanilassa voitaisiin toteuttaa tulevaisuudessa teollisia symbiooseja. Suunnittelussa lähtökohtana on rakentaa ensimmäiset symbioosit Oulun Energian biovoimalaitoksen ympärille, mutta myös alueen muun teollisuuden mahdolliset synergiat otetaan huomioon. On muistettava, että menestyneet ekoteollisuuspuistot ovat kehittyneet useamman vuosikymmenien aikana hiljalleen rakentuen. Ensimmäinen askel symbioosien kehittämiseksi on tiedonhaku itse symbiooseista ja mahdollisista symbioosikumppaneista. (Heeres et al. 2004)

### **7.1 Yhteistyön rakentaminen yritysten kanssa ja verkostoituminen**

Vaihtoehtoja yhteistyöyritysten, eli symbioosiyritysten, löytämiseksi on yritysten suora kontaktointi tai verkostot. Teollisten symbioosien onnistumisen edellytyksenä oli, että symbioosiyrityksillä on hyvä keskinäinen luottamus. Jo yhteistyöyrityksiä etsiessä kannattaa siis olla mahdollisimman avoin ja rakentaa luottamusta tulevaisuutta varten.

Yhteistyön rakentamiseksi yritysten kanssa, voidaan hyödyntää suoraa kontaktointia. Yksi mahdollinen lähestymistapa on kyselyn lähettäminen sellaisille yrityksille, joiden kanssa uskotaan löytyvän potentiaalisia symbioosimahdollisuuksia. Kysely voidaan lähettää sähköpostilla usealle yritykselle, joiden vastausten perusteella jatketaan keskustelua potentiaalisten yritysten kanssa. Jo kyselyn saatteesta asti on hyödyllistä olla avoin hankkeesta, sillä jatkoa varten avoimuudella voi rakentaa luottamusta. Heeres ym. (2004) suosittelivat kyselyn tai haastattelun sisältävän kysymykset yrityksen perustiedoista, tuotteista, markkinoista, työntekijöistä, raaka-aineista, tuottamista jätteistä, energiasta, ympäristöasioista, tuotantoverkostosta (alihankkijat jne.) ja yrityksen tulevaisuuden suunnitelmista. Jos pohjatietojen mukaan symbioosi on vielä mahdollinen ja molemmat yritykset ovat kiinnostuneita selvittämään yhteistyön mahdollisuutta, voivat he jatkaa keskinäisiä neuvotteluja.

Kyselyn etuina ovat, että samalla kyselyllä voidaan tavoitella useampaa yritystä, sekä se, että kyselyn vastaukset antavat symbioosien suunnittelua varten kattavat pohjatiedot.



Kyselyn heikkoutena voi olla vastaajien rajallinen aika, joten vastaajia on hyvä muistuttaa kyselystä. Kyselyn saateviestin on myös annettava vastaajalle tarvittavat tiedot siihen, miksi asiaa kysytään sekä luoda asiallinen ja luotettava kuva, jotta kyselyyn halutaan vastata. Lisäksi kyselyn onnistumisen mahdollisuutta voidaan parantaa kohdentamalla saatekirjettä/yhteydenottoa juuri kyseiselle yritykselle.

Suoran kontaktoinnin lisäksi mahdollisuutena on verkostoihin liittyminen. Yhteistyökumppaneita voi etsiä sellaisista verkostoista, joihin yritys jo kuuluu, jolloin luottamuksen pohjaa on jo voitu rakentaa, tai sitten liittymällä uusiin, esimerkiksi symbioosi-aiheen ympärille rakentuneisiin verkostoihin. Verkostoja löytyy niin Suomesta kuin ulkomailta.

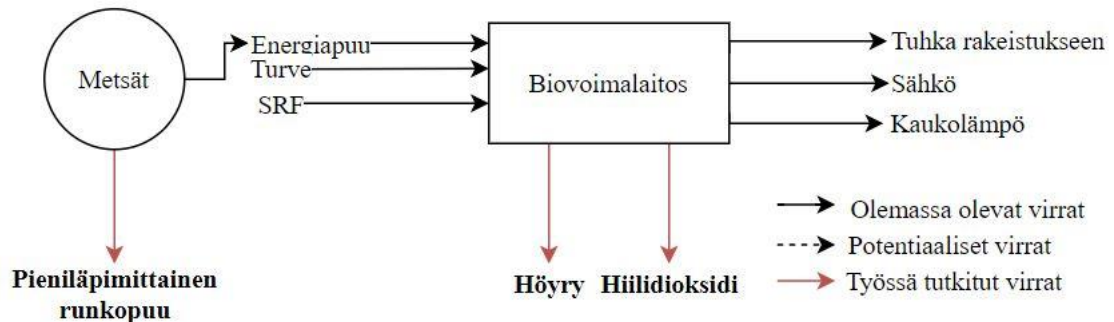
Motivan organisoima Teolliset symbioosit Suomessa -verkosto (FISS) auttaa teollisten symbioosien edistämässä yhdistämällä sivuvirtojen tarjoajat ja tarvitsijat. Verkosto järjestää työpajoja synergioiden löytämiselle ja tunnistamiselle, sekä tekevät edistämistyötä synergioiden toimeenpanemiseksi. Jos symbiooseja ei heti synny, verkosto kerää tietokantaa sivuvirroista tulevaisuuden mahdollisia symbioositunnistamisia varten. (Motiva Oy 2021) Digipoloksen johtama verkosto on Suomen laajuinen kierto- ja biotalouskeskusten verkosto, jonka yhteisen oppimis- ja kehittämisprosessin pohjalta on tehty ohjeistukset, joita muut ekoteollisuuspuistoista kiinnostuneet voivat käyttää hyödykseen. Verkosto toimii työpajoin, jossa vertaistoiminnan avulla käydään läpi puistojen toimintaan liittyviä onnistumisen edellytyksiä, haasteita ja esteitä. (Digipolis 2020a ja 2020b)

Yleisesti symbioosi-asioita käsittelevien verkostojen lisäksi on spesifeihin aihealueisiin erikoistuneita verkostoja. Euroopan laajuisesti hiilidioksidin talteenottoon, varastointiin ja hyötykäyttöön erikoistunut verkosto on CCUS Project network, jonka jäseneksi pystyy hakemaan yritykset, joilla on olemassa olevia tai uusia CCUS-projekteja. Verkoston tavoitteena on oppia muilta sekä jakaa omaa tietoa muille. Verkosto on Euroopan komission tukema. (CCUS Network 2021) Biotuotteisiin on erikoistunut puolestaan Fortumin ja Metsä Groupin perustama ExpandFibre-verkosto. Sen tavoitteena on tukea puun kuitujen, hemiselluloosan ja ligniinin jalostamisen tutkimusta ja kehitystä yhdistämällä alan toimijoita. Verkoston jäsenet voivat löytää esimerkiksi kehityskumppaneita ja tietoa aiheestaan verkoston kautta. Verkostoon voivat liittyä

yrietykset tai yksityishenkilöt, joilla on olemassa oleva tai tuleva tutkimus ja kehityshanke aiheeseen liittyen. (Fortum & Metsä Group 2020a & 2020b)

## 7.2 Mitä symbiooseja Oulun Energian biovoimalaitoksen toimintojen ympärille voisi rakentua?

Biovoimalaitokseen liittyvät hyödynnettävät materiaali- ja energiavirrat ovat energiapuu, höyry ja hiilidioksidi. Vuosittainen kestävästi hankittavan pieniläpimittaisen energiapuun määrä on 1 miljoonaa  $\text{k-m}^3$ , höyryn määrä 60 MW ja syntyvän hiilidioksidin määrä olisi laskennalliselta arviolta nykytilanteessa 610 100  $\text{tCO}_2$ . Biovoimalaitoksen materiaali- ja energiavirtojen lähtötilanne on esitelty kuvassa Kuva 14.

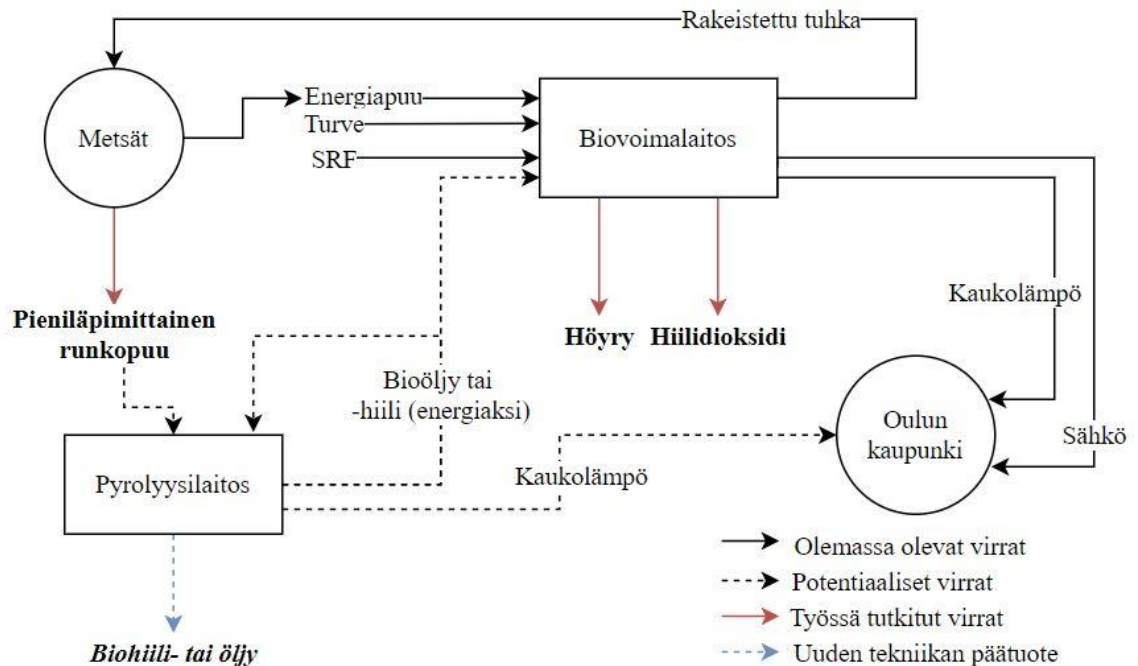


Kuva 14. Biovoimalaitoksen materiaali- ja energiavirtojen lähtötilanne.

Muita jo olemassa olevia alueen symbiooseja ovat hapen, vedyn ja höyryn vaihdot alueen kemian tehtaiden ja voimalaitosten kesken. Eastman Chemical Company ja Kemira käyttävät prosesseissaan Air Liquide Finlandin valmistamaa happea, ja Kemira hyödyntää Eastman Chemical Companyn muurahaishappotehtaan synteesikaasujen vetyä omassa tuotannossaan. Nämä kaikki kolme tehdasta hyödyntävät ekovoimalaitoksen ja biovoimalaitoksen höyryä.

Kuvassa Kuva 15 on esitelty materiaali- ja energiavirtojen kulkeutuminen, jos alueelle tulisi pyrolyysilaitos. Pyrolyysilaitos käyttäisi yhteispuunhankinnasta ostettua pieniläpimittaista runkopuuta ensisijaisena raaka-aineenaan. Erään biohiiltä tuottavan yrityksen suunnitelmissa on tuottaa 3000 tonnista biomassaa noin 700 - 1000 tonnia biohiiltä vuodessa (Tukiainen 2019), joten mikäli Laanilan alueella on käytettävissä arviolta noin 800 000 tonnia pieniläpimittaista runkopuuta, voisi se karkeasti arvioituna

tuottaa samalla tekniikalla noin 187 000 – 267 000 tonnia biohiiltä vuodessa. Toiminnassa olevan bioöljytehtaan puun käyttö on noin 90 000 k-m<sup>3</sup>, josta bioöljyä jalostetaan 24 000 tonnia vuodessa (Green Fuel Nordic 2014). Vastaavasti, jos Laanilassa pyrolyysilaitos keskittyisi bioöljyn tuotantoon, voisi käytössä olevalla runkopuumäärällä tuottaa arviolta noin 267 000 tonnia bioöljyä vuodessa. Koska saatavilla olevan puun määrä on suuri, voidaan arvioida raaka-ainevirran olevan riittävä pyrolyysilaitokselle.

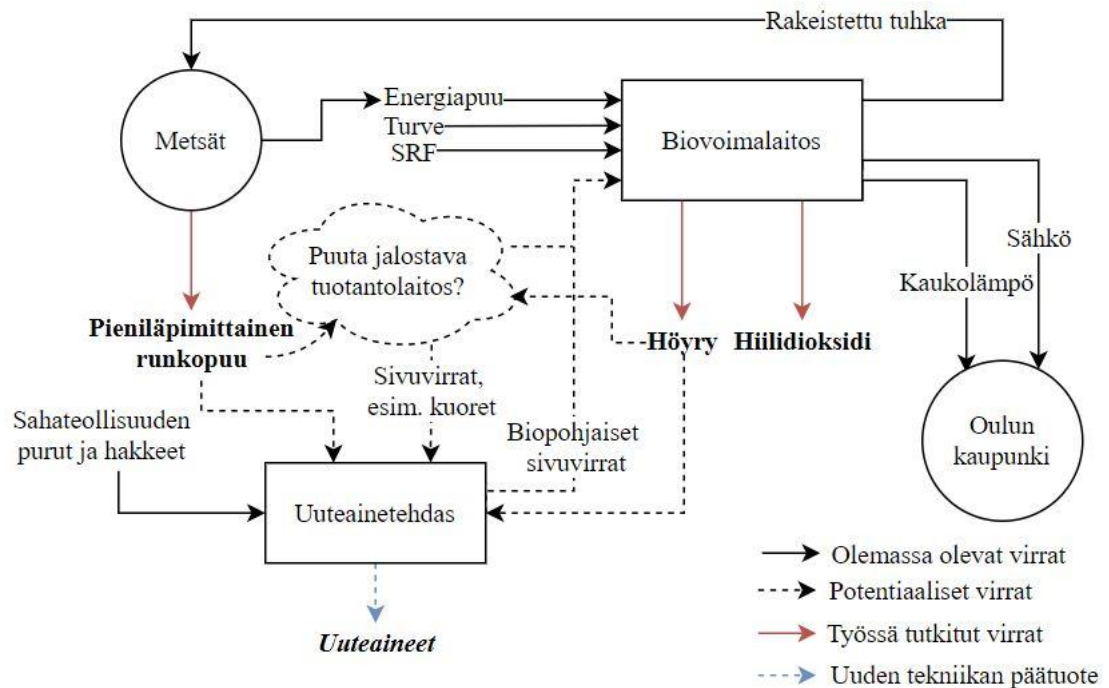


Kuva 15. Idea biovoimalaitoksen ja pyrolyysilaitoksen materiaali- ja energiavirroista.

Pyrolyysilaitoksen sivuvirtaa voidaan polttaa pyrolyysiprosessin lämmöksi. Symbioosi tässä tilanteessa syntyy pyrolyysilaitoksen ja biovoimalaitoksen välillä, jos sivutuotteena syntyvää biohiiltä tai -öljyä, tai muuta sivutuotevirtaa syntyy ylimäärin ja se toimitetaan biovoimalaitokselle. Oulun Energia voi toimia raaka-aineen toimittajana pyrolyysilaitokselle. Pyrolyysilaitos voi yhdistää prosessissa syntyvän ylijäämälämpönsä Oulun Energian kaukolämpöverkkoon.

Kuvassa Kuva 16 on esitelty materiaali- ja energiavirtojen kulkeutumisreitit, mikäli alueelle tulisi uuteainetehdas. Uuteaineiden määrä puussa on matala, esim. metsämännyn rakenteessa sen osuus on vajaa 5 %. Uuteaineiden saannon ja laadun kannalta parhainta on tehdä uutto mahdollisimman tuoreesta puusta. (Alén 2000) Energiapuu voidaan hyödyntää suoraan uuteainetehtaalla. Vaihtoehtona on myös se, että pieniläpimittaisen

runkopuun muita rakenneosia hyödynnettäisiin jossain muussa tuotantolaitoksessa, jonka tuoreita sivuvirtoja (esimerkiksi kuori, sahanpuru, oksat) voitaisiin hyödyntää uuteaineiden raaka-aineena. Toisaalta, pieniläpimittaisen runkopuun käsiteltävyys voi käytännössä olla vaikeaa, jolloin puun osia ei kannata erottaa uuttoon varten. Energiapuun lisäksi, Oulun Energian välittämää sahteollisuuden purua ja haketta voitaisiin hyödyntää uuteaineiden valmistuksessa.

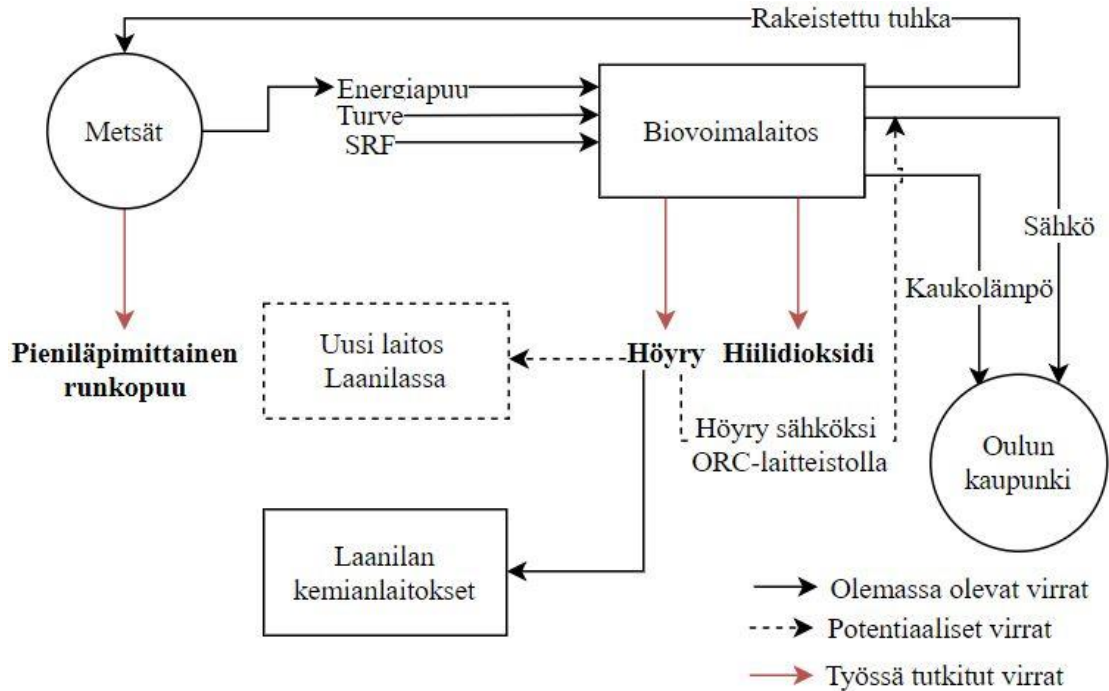


Kuva 16. Idea biovoimalaitoksen ja uuteainetehtaan materiaali- ja energiavirroista.

Teolliset symbioosit syntyisivät alueelle silloin, kun uuteainetehtaan ja muun tuotantolaitoksen muut biopohjaiset sivuvirrat pystyttäisiin hyödyntämään energiana biopolttolaitoksella. Vastaavasti biovoimalaitoksen höyryä voitaisiin hyödyntää puuta ja sen sivuvirtoja hyödyntävien laitosten prosesseissa. Pieniläpimittaista runkopuuta jalostava tuotantolaitos voisi esimerkiksi olla aiemmin esitelty pyrolyysilaitos, jossa käytettäisiin raaka-aineena kuorittua haketta. Runkopuun kuori ja sahteollisuuden puru toimitettaisiin uuteainetehtaalte. Verkostossa Oulun Energia voisi toimia raaka-aineen toimittajana.

Kuvassa Kuva 17 käydään läpi biovoimalaitoksen höyryn hyödyntäminen alueella. Sähköä tehdessä höyryä syntyy aina sivutuotteena, mutta sitä tehdään myös tarkoituksella Laanilan kemianlaitoksille. Mikäli biovoimalaitoksen höyryä jää ylijäämäksi,

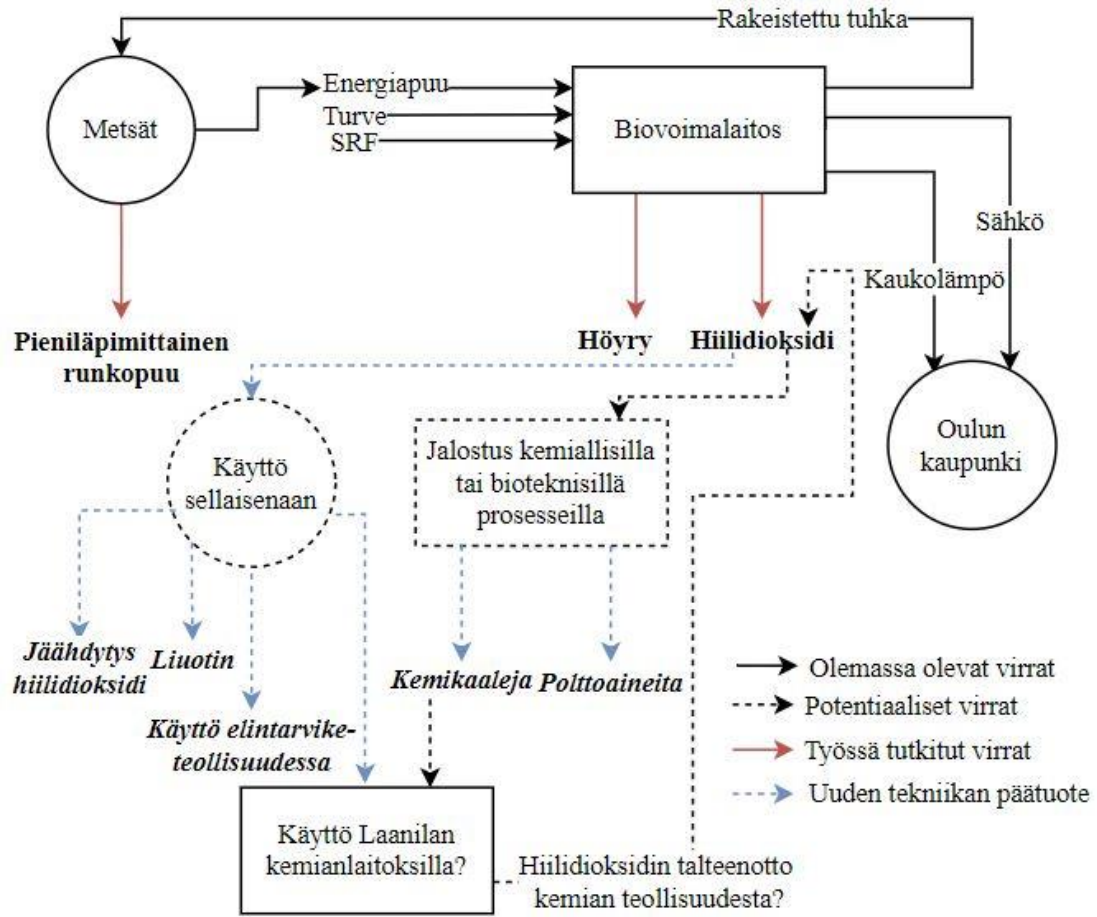
vaihtoehtona on hyödyntää se lämpönä rakennusten lämmittämiseen tai ORC-laitteistolla sähköksi. Jos Laanilaan tulee uutta teollista toimintaa, höyryn tuotantoa voidaan nostaa.



Kuva 17. Idea höyryn hyödyntämiseksi.

Höyryn tapauksessa teollinen symbioosi löytyy jo alueelta, sillä alueen voimalaitokset tuottavat höyryä kemianlaitoksille. Biovoimalaitoksen höyryllä voidaan tukea alueelle tulevaa uutta teollista toimintaa ja se täyttää myös symbioosin tunnusmerkit.

Kuvassa Kuva 18 on esitelty hiilidioksidin talteenoton ja jalostuksen mahdollisuudet alueella. Esitys on hyvin hypoteettinen, sillä hiilidioksidin talteenotto on vielä harvinaista ja sen kaupallistuminen on vasta alussa. Hiilidioksidi otettaisiin talteen biovoimalaitokselta ja voitaisiin käyttää joko sellaisenaan (puhdistettuna) tai jalostaa kemikaaleiksi tai polttoaineiksi. Vertaillen Japanissa toimivaan biovoimalaitoksen hiilidioksidin talteenottoon, kyseisellä tekniikalla Laanilan biovoimalaitokselta voitaisiin kerätä arviolta 182 500 tonnia hiilidioksidia vuodessa.



Kuva 18. Idea hiilidioksidin hyödyntämiseksi.

Hiilidioksidin käytölle sellaisenaan on monia vaihtoehtoja, joita on esitelty enemmän kappaleessa 6.2.10. Vaihtoehtoja ovat esimerkiksi hiilidioksidin käyttö kylmäaineena, liuottimena tai elintarviketeollisuudessa. Hiilidioksidin käyttökohteita saattaisi myös löytyä Laanilan kemianlaitoksilta. Hiilidioksidi voidaan myös jalostaa monenlaisiksi kemikaaleiksi tai polttoaineiksi, kuten polyuretaaniksi, etanoliksi tai metanoliksi. Hiilidioksidin tuottaminen polttoaineeksi on myös keino varastoida ylituotettua fossiilitonta sähköä (esim. aurinko-, tuuli- tai vesisähköä), eli sillä voidaan tasata energiapiikkejä (Carus et al. 2019). Tuotettuja kemikaaleja tai polttoaineita voitaisiin käyttää Laanilan alueella (mikäli sille on sopiva käyttökohde) tai myydä ulos.

Biovoimalaitoksella syntyvää höyryä voi teoreettisesti käyttää hiilidioksidin erotuksessa, tarkemmin absorptio-aineen regeneroinnissa. Tämän hyötykäytön onnistuminen on kuitenkin epävarmaa ja riippuu suuresti integroinnissa syntyvästä hukkan määrästä sekä

käytettävän absorptio-aineen ominaisuuksista (esim. lämmön kestosta). (Allam et al. 2005)

Teolliset symbioosit syntyisivät, jos hiilidioksidia jalostetaan alueella olevassa yrityksessä tai käytetään suoraan toisessa teollisuudessa. Laanilan kemianlaitoksien hiilidioksidipäästöt kannattaisi selvittää, sillä kemian teollisuuden prosessikaasuissa on yleensä korkea hiilidioksidipitoisuus, mikä helpottaa sen talteenottoa muista kaasuista (Teir et al. 2009). Mikäli niiden tuottaman hiilidioksidin määrä ja siten kerääminen on kannattavaa, voitaisiin alueella kerätä ja käsitellä hiilidioksidivirrat yhdessä.

Ekoteollisuuspuistokriteerit täyttyvät mikäli vähintään kolme laitosta vaihtavat vähintään kahta erilaista materiaali- tai energiavirtaa keskenään. Nämä kriteerit täyttyvät Laanilassa jo nykytilassaan, sillä siellä on jo neljä yritystä (Eastman Chemical Company, Kemira, Air Liquide Finland ja Oulun Energia) jotka vaihtavat kolmea eri materiaali- tai energiavirtaa (happea, vetyä ja höyryä). Uudet symbioosit täydentäisivät ekoteollisuuspuiston symbiooseja kattavamiksi. Puun hyötykäyttäjän tullessa Laanilaan, symbiooseihin osallistuisivat 5-6 yritystä, jotka vaihtaisivat neljää materiaali- tai energiavirtaa (happea, vetyä, höyryä ja biopohjaisia sivuvirtoja). Höyryn tapauksessa yrityksiä voi tulla puistoon lisää, mutta vaihdettavien materiaali- ja energiavirtojen määrää riippuu uusien yritysten toiminnasta. Jos uusi yritys hyödyntää vain höyryä, materiaali- ja energiavirtojen määrä ei muutu. Hiilidioksidin tapauksessa alueelle voisi tulla hiilidioksidia jalostava yritys, jolloin yritysten määrä puistossa olisi viisi. Silloin hyödynnettävien materiaali- ja energiavirtojen määrä olisi neljä (happi, vety, höyry ja hiilidioksidi).

Ekoteollisuuspuistotyyppi alueella on tyyppi 3, mikä tarkoittaa yrityksen sijaitsevan saman teollisuusalueen sisällä. NaHEK-mallin mukaisella jaottelulla puisto on tyyppiltään hyötyketju, jossa symbioottisena vaihtokauppana toimii materiaali ja energia. Jos puistossa nimettäisiin puiston hallinnoija, joka tekisi aktiivista symbioosien kehittämistyötä sekä symbiooseissa vaihdettaisiin materiaalin lisäksi tietoa, voisi puiston luokitella ekoverkostoksi.

## 7.3 Laanilan teollisten symbioosien toteutustavan hahmottaminen

Toteutustavan hahmottamisessa auttavat sopivan hallintomallin löytäminen, sekä tieto hyvistä käytänteistä, joita voi käyttää ohjenuorana teollisia symbiooseja rakentaessa. Laanilassa jo olevat teolliset symbioosit ovat alkaneet todennäköisesti naapurivaihdolla, jolloin yrityksillä on olleet keskinäiset sopimuksensa kustakin materiaali- tai energiavaihdosta. Niiden onnistumisen edellytyksenä ovat voineet olla fyysinen lyhyt välimatka ja taloudelliset säästöt. Jos puistoa halutaan kehittää jatkossa enemmän, voi siinä auttaa hallinnon järjestäytyminen ja aktiivinen kehittäminen yhdessä.

### 7.3.1 Laanilan hallintomallin arviointi

Nykytilassa Laanilassa toimii kolme kemian tehdasta ja kaksi energian tuotantolaitosta, joilla on yhteistoimintaa: kemianlaitosten välillä siirtyy kahta eri materiaalivirtaa ja energialaitokset tuottavat näihin höyryä. Alueen symbioosit vaikuttavat siltä, että kukin osapuoli on toiminut alueella yhtäläillä julkilausumattomana pyörittäjänä. Tulevaisuuden tavoitteena on, että alueen sivuvirtojen hyötykäyttö kasvaa, sekä uuden teollisen toiminnan saaminen alueelle. Hallinnon tehtävänä on olla verkoston arkkitehti, johtava toimija ja huolenpitäjä (Zaoual & Lecocq 2018). Tavoitteiden pohjalta voidaan lähteä rakentamaan hallintomallia alueelle.

Mikäli edellä mainittu tavoite uuden yrityksen löytämisestä alueelle halutaan toteuttaa, se voi olla alueen yrityksille yksinään vaikeaa oman ydintoiminnan pyöriessä samaan aikaan. Sitä varten hyvä vaihtoehto voisi olla, että jokin kolmas osapuoli, jatkossa koordinoija, osallistuisi vähintään toiminnan alullepanijana ja toimisi vähintään yhtenä osapuolena puiston hallinnoinnissa. Kun tavoitteet on saavutettu, voivat puiston yritykset ja ulkopuolinen koordinoija muuttaa hallinnointitapaa tarvittaessa. Vaihtoehtona voivat olla, että puistolle asetetaan seuraavat tavoitteet (jatkuvan kehityksen mallin mukaisesti) tai vastaavasti turvata vain olemassa olevien symbioosien ylläpito.

Puiston yritysten on varauduttava hallinnon kuluihin ja kehittämiseen (esim. yhteisinfrastruktuuriin) meneviin kustannuksiin. Hallinnointia voidaan rahoittaa puiston esim. vuokrilla tai puiston kuukausimaksuilla. Erilaisten tukien mahdollisuus voi myös olla olemassa (esim. TEM:n kiertotalouden kehitys- ja investointiavustus).



Tavoitteiden perusteella hallintomallien eroja voidaan arvioida seuraavilla kriteereillä: motivaatio alueen kehittämiseen, auktoriteetti alueen yritysten silmissä, ajalliset resurssit ja taloudelliset resurssit. Hallinnon tehtävänä olisi löytää ja auttaa sitouttamaan uusi yritys alueelle, sekä aktivoida toiminta sivuvirtojen hyödyntämisen löytämiseksi.

Julkishallinnon vetämässä hallintomallissa julkinen toimija on puiston hallinnoija ja koordinoija. Julkinen toimija voi olla esimerkiksi kaupungin kehitysyhtiö. Motivaation puolesta julkinen toimija sopisi hyvin Laanilan teollisuusalueen hallinnoijaksi, sillä hyvin taloudellisesti pyörivä teollisuusalue virkistää myös kaupunkia. Hyvästä motivaatiosta alueen kehittämiseksi kertoo myös se, että kaupungilla on tahtoa löytää alueelle biojalostamo (Oulun kaupunki 2020), mikä ajaa myös toista tavoitetta, eli uuden yrityksen löytämistä Laanilan alueelle. Julkisen toimijan auktoriteetti alueen yritysten silmissä on todennäköisesti hyvä, mikäli yritykset myös osallistetaan ja koulutetaan toimintaan mukaan. Ajalliset ja taloudelliset resurssit julkisella toimijalla voivat olla rajalliset.

Yksityisen yrityksen vetämässä hallintomallissa yksi alueen yrityksistä, yleensä ankkuriyritys, alkaa puiston hallinnoijaksi. Laanilan tapauksessa yritys voi olla Oulun Energia. Sisäisen hallinnoijan motiivi voi keskittyä taloudellisiin- sekä arvotavoitteisiin, kuten symbiooseista tuleviin säästöihin, sekä Oulun Energian kohdalla sivuvirroista saataviin polttoaineisiin ja hiilineutraalisuustavoitteisiin. Sisäisen hallinnoijan auktoriteetti on todennäköisesti hyvä ja suhteet alueen yrityksiin ovat jo olemassa, minkä pohjalle on hyvä rakentaa symbioosien yhteistyötä. Yksityisen yrityksen hallintomallin yleiseksi haasteeksi on huomattu hallinnoijan halu kehittää puistoa oman etunsa kannalta, joten tämä on hyvä tiedostaa ja ennaltaehkäistä, mikäli puiston hallinnoijaksi tulee yksi alueen yrityksistä. Ajalliset ja taloudelliset resurssit puiston hallintoon saattavat olla sisäisellä hallinnoijalla tiukassa, sillä hallinnon lisäksi yrityksen on keskityttävä omaan ydinliiketoimintaansa.

Puiston yritysten yhteishallintomallissa hallinnon perustaisivat ne Laanilan yritykset, jotka haluavat olla hallinnossa mukana tai vaihtoehtoisesti alueen suurimmat yritykset. Nykytilanteessa mukana olisi maksimissaan neljä yritystä ja puiston laajentuessa hallintoon voivat tulla mukaan uudet yritykset. Tämä hallintomalli voi

olla vartenotettava vaihtoehto edellä esitettyjen tavoitteiden saavuttamisen jälkeen, mikäli yritykset haluavat ylläpitää olemassa olevia symbiooseja eivätkä niinkään aktiivisesti kehittää uusia. Motivaationa alueen kehittämiseen yrityksillä voi olla taloudelliset säästöt sekä puiston kehittymisen tuomat uudet sivuvirrat. Auktoriteettiongelmat yhteishallintomallissa ovat todennäköisesti harvassa ja yritysten tasapuolinen kohtelu tulee tässä hallintomallissa varmemmin otettua huomioon, sillä useampi yritys on itse päättämässä asioista. Ajalliset ja taloudelliset resurssit ovat rajalliset, mutta toisaalta yrityksiä on itse päätettävissä.

Julkishallinnon ja yritysten yhteishallintomallissa on paljon samaa, mitä puiston yritysten yhteishallintomallissa on sillä erotuksella, että julkishallinnon taho on myös hallinnoinnissa mukana. Tämä hallintomalli on yksi vaihtoehto aiemmin esitettyjen tavoitteiden saavuttamiseksi. Tätä puoltaa se, että yritykset pystyvät olla vaikuttamassa puiston asioista, mutta aktiivisena koordinoijana tavoitteiden edistämiseksi voisi olla julkinen hallinto. Motivaatio kaikilla osapuolilla on hyvä ja yhteispäättämisen etuna on, että kaikilla on mahdollisuus vaikuttaa päätöksiin. Vastaavasti päätöksenteko suuremmassa ryhmässä on hitaampaa, mutta toisaalta Laanilan tilanteessa päättäjien määrä voi silti pysyä kohtuullisena.

Julkishallinnon ja yritysten yhteishallinnon yksi sovellus voisi myös olla yritysten ja yhden ulkopuolisen koordinoijayrityksen yhteishallintomalli. Siinä koordinoija toimii kuten julkinen taho edellisessä mallissa. Ulkopuolisen koordinoijayrityksen motiivi on vahvasti taloudellinen, sillä puiston pyörittäminen olisi yrityksen ydinliiketoimintaa, minkä tuloista se olisi riippuvainen. Tulot yritykselle tulisivat vastineena puiston koordinoitipalveluista. Ulkopuolisen auktoriteetti riippuu siitä, miten hyvin se onnistuu luomaan suhteet alueen yrityksiin. Koordinoijayrityksen ajalliset resurssit olisivat todennäköisesti hyvät, mikä voi tuoda tehokkuutta puiston toimintaan. Taloudelliset resurssit riippuvat todennäköisesti siitä, kuinka paljon puistossa on yrityksiä, miten työ onnistuu sekä kuinka paljon yritys saa palveluistaan palkkiota.

Tiivistettynä Laanilan tavoitteiden kannalta potentiaalisin vaihtoehto voisi olla julkishallinnon/koordinoijan ja yritysten yhteishallintomalli, jossa yritykset ja julkinen taho/koordinoija päättävät asioista yhdessä. Julkisella taholla/koordinoijalla on päävastuu tavoitteiden toteuttamisen organisoimisesta. Kun tavoitteet on saavutettu, voidaan

samalla hallintomallilla jatkaa, samalla asettaen uudet tavoitteet puiston toiminnalle. Jos tarvetta aktiiviselle kehitykselle ei nähdä, voi julkinen taho/koordinoija jättäytyä puiston toiminnasta pois, jolloin jäljelle jäävät alueella toimivat yritykset. Puiston yritysten yhteishallinnon tehtäväksi jää symbioosien toiminnan turvaaminen ja niiden mahdollinen kehittäminen oman ydinliiketoimintansa ohella.

### 7.3.2 Onnistumisen edellytyksien soveltaminen Laanilaan

Yhteistyöhön liittyen ekoteollisuuspuistojen onnistumisen edellytyksinä ovat sitoutuneet yritykset, yhteiset arvot, tasapainoiset valtasuhteet ja luottamus. Myös olemassa olevat verkostot helpottavat symbioosien perustamista. Yritysten sitoutuminen lähtee jo projektin alusta, kun yritys määrittelee oman motiivinsa miksi lähteä mukaan puiston toimintaan. Tähän liittyy myös se, että jokaiselle osakkaalle osoitetaan symbioosien hyödyt. Laanilan tapauksessa hyödyt voitaisiin selvittää ja määrittää jo ennen hallinnon perustamista. Saavutettavat hyödyt voivat olla esimerkiksi taloudellisia tai ympäristökuormitusta vähentäviä. Yhteishallinnolla voitaisiin myös vaikuttaa valtasuhteiden muodostumiseen: kun kaikki puiston yritykset ovat päättämässä puiston asioista, valtasuhteet pysyvät varmemmin tasapainoisena. Yksi Laanilan etu on se, että siellä jo olemassa olevilla yrityksillä on tahto kehittää aluetta yhdessä, eli pohjaverkosto on jo olemassa. Olemassa olevassa verkostossa luottamusta on rakentunut pidemmältä ajalta, mutta sitä on hyvä vahvistaa läpinäkyvällä toiminnalla ja viestinnän edistämällä. Uuden yrityksen tullessa alueelle, luottamusta on tärkeää lähteä rakentamaan aivan alusta alkaen. Myös yhteistyö muiden kuin alueen yritysten kanssa antaa tietoutta ja laajempia verkostoja. Esimerkiksi alueen tutkimuslaitoksien roolina voisi olla muun verkoston kouluttaminen ja alueen symbioosien ja niiden mahdollisuuksien tutkiminen.

Tietoon liittyvät onnistumisen edellytykset koskevat tietoa alueen mahdollisista symbiooseista ja niitä toteuttavista tekniikoista. Yrityksien lyhyt fyysinen välimatka on yksi havaittu onnistumisen edellytys, mutta ei välttämättömyys, mikäli materiaali- tai energiavirtojen ominaisuudet sen sallivat. Laanilan tapauksessa höyryn hyödyntäminen lähellä on kuitenkin välttämätöntä hukan vuoksi. Myös hiilidioksidin kuljetuksesta aiheutuisi kuluja joko siirtoputkien rakentamisesta tai hiilidioksidin nesteyttämisestä, joten sen vuoksi lyhyt fyysinen välimatka etu. Laanilan tapauksessa materiaali- ja energiavirtojen sopivuus hyödynnettävissä prosesseissa on hyvä. Mikäli puunjalostuksen biovoimalaitokseen menevissä sivuvirroissa on epäpuhtaita aineita, on niiden vaikutus

biopolttolaitoksen tuhkissa tarkistettava, varsinkin mikäli tuhka menee lannoitteeksi. Myös hyödynnettävän hiilidioksidin puhtaus on varmistettava ja sitä voi olla tarpeen käsitellä varsinkin siinä tapauksessa jos hyötykäyttötavaksi valikoituu sen käyttäminen suoraan elintarviketeollisuudessa. Materiaali- ja energiavirtojen kausittainen laadunvaihtelu on todennäköisesti maltillista. Puussa korjuuajankohta voi vaikuttaa uuteaineiden määrään (Routa et al. 2017). Virtojen jatkuvuudessa ei pitäisi olla ongelmia, sillä höyryä tuotetaan sitä mukaa kuin sitä tarvitaan, sekä hiilidioksidin tuotannon täytyisi laskea yli 65-70 %, jotta arvioitu talteenottokapasiteetti (500 tCO<sub>2</sub>/d) alittuisi.

Taloudelliset riskit ovat suuret kun uusi yritys investoi alueelle. Omana projektinaan sen on oltava sellaisenaan kannattava, kuten myös jokainen alueella tehtävä materiaali- tai energiavirran vaihto, mikä on huomattu olevan yksi onnistumisen edellytys. Muun muassa Kalundborgissa jokainen symbioosi on sovittu omana projektinaan. Taloudelliset hyödyt kannattaa osoittaa selkeästi jokaiselle yritykselle jo hallinnon rakentamisvaiheessa. Mikäli Laanilan teollisuuspuisto tulevaisuudessa vielä laajenee, on hyvä ottaa huomioon tehtaiden monimuotoisuus, sillä eri markkinoille pyrkivät yritykset eivät ole kilpailuasetelmassa toistensa kanssa, jolloin esim. taloudellinen kasvu ja yhteistyö on helpompaa.

Tiedonkulku itsessään on tärkeä onnistumisen edellytys. Laanilan tapauksessa hallinto voisi olla luonteva taho viestimään yrityksiä koskevia asioita puistossa sekä markkinoida puiston toiminnasta myös puiston ulkopuolelle. Yrityksillä itsellään puolestaan on rooli viestiä oman yrityksensä toimintaan liittyviä asioita muulle verkostolle. Kun yritykset ja hallinto tietävät toistensa toiminnan ja mahdollisesti heidän tavoitteensa, voidaan puistolle luoda symbioosien osalta yhteisiä realistisia tavoitteita.

Muita tutkimuksissa tunnistettuja onnistumisen edellytyksiä ovat koordinaattorin, ankkuriyrityksen, sekä poliittisen ja lainsäädännön tuki. Koordinaattorin rooli on jo tullut esille hallinnon arvioinnissa. Koordinaattorilla on tärkeä rooli, sillä se saattaa olla ainoa taho, joka aktiivisesti ja konkreettisesti edistää puiston tavoitteiden saavuttamista. Laanilassa koordinaattori voisi olla esimerkiksi kaupungin kehitysyritys, täysin ulkopuolinen kehitysyritys tai vaikka jokin alueen yrityksistä, jossa on nimetty henkilö/osasto tähän tehtävään. Ankkuriyritys Laanilassa on Oulun Energia, sillä sen tuottama höyry ja energia ovat pohjana mahdollistamassa symbioosin. Ankkuriyrityksen

rooli on merkittävä siltä kannalta, että se turvaa raaka-aineiden riittävyyden alueella. Lainsäädännön tukeen ei välttämättä voida vaikuttaa, mutta paikallispolitiikan merkitys kannattaa tarpeen tullen muistaa, sille sen tuella voidaan kehittää asioita, jotka edistävät verkoston toimintaa.

## 8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä tutkittiin teollisia symbiooseja ja ekoteollisuuspuistoja, sekä niiden havaittuja onnistumisen edellytyksiä. Lisäksi tarkasteltiin Laanilan biovoimalaitoksen kolmea hyödynnettävissä olevaa sivuvirtaa (energiapuuta, höyryä ja hiilidioksidia), niiden mahdollisia rajoituksia ja ohjauksia hyötykäytölle, sekä mahdollisia hyötykäyttötapoja. Tietoa hyödynnettiin Laanilan teollisuusalueen mahdollisten teollisten symbioosien hahmottamisessa.

Työtä tehdessä havaittiin, että Laanilan teollisuusalueella on jo ekoteollisuuspuiston kriteerit täyttävää toimintaa. Symbioosit muodostuvat neljän yrityksen toiminnasta (Eastman Chemical Company, Kemira, Air Liquide Finland ja Oulun Energia), jossa vaihtuu kolmea eri materiaali- tai energiavirtaa (happea, vetyä ja höyryä). Mikäli Laanilan alueelle tulisi uutta symbioottista toimintaa, se täydentäisi olemassa olevia symbiooseja kattavammaksi.

Tässä luvussa vastaan työtä ohjanneisiin tutkimuskysymyksiin.

### **1. Minkälaisia teollisia symbiooseja on olemassa ja mitkä ovat niiden onnistumisen edellytykset?**

Teolliset symbioosit ovat teollisten yritysten vuorovaikutusta, jossa vähintään toinen osapuoli ottaa vastaan toisen yrityksen materiaali- tai energiasivuvirtaa. Teollisissa symbiooseissa vaihdetaan fyysistä sivuvirtaa, mutta niihin voi myös kuulua tiedon vaihtoa, sekä yhteisiä palveluita ja hankintoja. Symbioosien tavoitteena on vähentää syntyvää jätettä, tuottaa taloudellisia säästöjä, sekä parantaa energia- ja materiaalitehokkuutta.

Ekoteollisuuspuistot ovat teollisten symbioosien keskittymiä: kun tietyllä alueella on vähintään kolme osallistujaa ja vähintään kahden eri materiaali- tai energiavirran vaihtoa, voidaan aluetta kutsua ekoteollisuuspuistiksi. Teollisia symbiooseja ja ekoteollisuuspuistoja on olemassa hyvin erilaisia. Ekoteollisuuspuistoja voidaan jaotella maantieteelliseen sijoittumiseen perustuvalla originaalijaottelulla, sekä laadullisella NaHEK-jaottelulla. Tässä työssä esiteltiin neljä erilaista hallintomallia: julkishallinnon

vetämä hallintomalli, yksityisen yrityksen vetämä hallintomalli, puiston yritysten yhteishallintomalli, sekä julkishallinnon ja yksityisten yritysten vetämä hallintomalli. Hallinnon tehtävänä on toimia ekoteollisuuspuiston symbioosiverkoston kokoajana, johtavana toimijana sekä huolenpitäjänä.

Symbioosien ja ekoteollisuuspuistojen onnistumisen edellytykset voidaan jakaa karkeasti neljään ominaisuuteen: yhteistyöhön, tietoon, taloudellisuuteen sekä tiedonkulkuun. Näiden lisäksi tärkeät onnistumisen edellytykset ovat koordinaattorin ja ankkuriyrityksen olemassa olo ekoteollisuuspuistossa. Onnistumisten edellytyksien lisäksi työssä esiteltiin kuusi eri ekoteollisuuspuistoa. Toimivia ja aktiivisia ekoteollisuuspuistoja yhdisti se, että toiminnassa oli mukana koordinaattori, joka kehittää ja ohjaa puiston toimintaa. Olemassa olevat symbioosit voivat kyllä toimia ilman koordinaattoria, kuten Styrian ja Händelön ekoteollisuuspuistot osoittavat, mutta aktiivista kehitystä alueella ei usein silloin tapahdu. Vaikka tiettyjä tunnuspiirteitä onnistuneista ekoteollisuuspuistoista löytyy, valitettavasti täysin samaa kaavaa ei voi suoraan kopioida toiseen puistoon. Tietoa työhön etsiessä tuli vastaan monia tapauksia, jossa ekoteollisuuspuistoja oli perustettu tarkoituksella, mutta ne olivat kuihtuneet. Jokainen teollisuusalue ja toimija ovat erilaisia, joten puiston on löydettävä oma tapansa menestyäkseen.

## **2. Mitä mahdollisia symbiooseja Oulun Energian Laanilan biovoimalaitoksen toimintojen ympärille voisi rakentua?**

Laanilan biovoimalaitoksen merkittävimmät hyödynnettävissä olevat materiaali- ja energiavirrat ovat energiapuu, höyry ja hiilidioksidi. Teollisen toimijan hyödynnettävissä olisi noin miljoonan kiintokuutiometrin verran energiapuuta. Tässä työssä tarkasteltiin ensisijaisesti pieniläpimittaisen runkopuun hyödyntämistä, mutta myös otettiin huomioon sahateollisuuden purujen ja hakkeiden mahdollista hyödyntämistä. Puuraaka-ainetta voitaisiin hyödyntää kaskadiperiaatteen mukaisesti mahdollisimman korkea-arvoisissa tuotteissa. Tutkittaviksi hyödyntämistavoiksi valikoituivat pyrolyysi ja uuttaminen. Pyrolyysin tuotteina mahdollisia ovat bioöljy ja biohiili, kun puolestaan puuta uuttamalla saadaan tuotteeksi uuteaineita.

Mahdollisia symbiooseja puun hyötykäytöstä voisi rakentua, jos alueelle tulisi pyrolyysilaitos, uuteainelaitos tai jokin muu puuta jalostava tuotantolaitos. Silloin uuden tuotantolaitoksen sivuvirtoja voidaan hyödyntää biovoimalaitoksella raaka-aineena, sekä

biovoimalaitoksen höyryä uudessa tuotantolaitoksessa. Pyrolyysilaitoksen tapauksessa laitos voisi myös mahdollisesti yhdistää ylijäämälämpönsä Oulun Energia kaukolämpöverkkoon. Mahdollisuus on myös kahden puuta hyödyntävän tuotantolaitoksen symbioosi, esim. pyrolyysi- ja uuteainelaitoksen, jossa raaka-ainevirta jaettaisiin kahden laitoksen kesken. Siinä pieniläpimittainen runkopuu hyödynnettäisiin pyrolyysilaitoksella, ja mahdollinen kuori ja sahapuru uuteainelaitoksella.

Höyryä biovoimalaitoksessa syntyy sähkön tuotannon sivutuotteena. Potentiaalinen myytävä höyryteho on noin 60 MW ja sitä voidaan hyödyntää alueen teollisuusyritysten prosesseissa, esim. pesu-, haihdutus-, kuivaus-, tai tislausprosesseissa. Mikäli höyryä jää jostain syystä yli, voidaan sitä suoran käytön lisäksi hyödyntää lämpöpumppujen avulla lämmöksi tai ORC-laitoksella sähköksi. Höyryä hyödynnetään jo nykyisellään Laanilan kemianlaitoksilla, mikä muodostaakin alueelle symbioosin. Jos Laanilaan tulee uutta teollista toimintaa, höyryn tuotantoa voidaan nostaa tarpeen vaatiessa.

Hiilidioksidia syntyy biovoimalaitoksen polttoprosessissa laskennalliselta arviolta nykytilassa noin 610 100 tCO<sub>2</sub> vuodessa. Talteenotettu hiilidioksidi voidaan viedä varastoivaksi (CCS) tai hyötykäytettäväksi (CCU). Laanilan biopolttolaitoksen tapauksessa energia tuotetaan pääasiassa hiilineutraaleilla polttoaineilla, jolloin sieltä talteenotettu hiilidioksidi ja sen tuotteistaminen voisi parhaimmassa tapauksessa korvata hiilidioksidipäästöjä muualta. Mikäli alueella aletaan talteenottamaan hiilidioksidia, se voisi houkutella alueelle hiilidioksidia jalostavan yrityksen. Jos hiilidioksidin talteenotto myös muissa alueen laitoksissa on mahdollista ja kannattavaa, voitaisiin alueella kerätä ja käsitellä hiilidioksidivirrat yhdessä. Vaihtoehtona on myös välivarastoida hiilidioksidi ja myydä se muualle jalostettavaksi tai varastoitavaksi. Teolliset symbioosit syntyisivät, jos hiilidioksidia jalostetaan alueella olevassa yrityksessä tai käytetään suoraan toisessa teollisuudessa.

### **3. Millainen rakenne ja toteutustapa Laanilaan mahdollisesti sijoittuville teollisille symbiooseille sopisi?**

Tulevaisuuden tavoitteena on, että alueen sivuvirtojen hyötykäyttö kasvaa sekä uuden teollisen toiminnan saaminen alueelle. Tavoitteiden kannalta potentiaalisin vaihtoehto voisi olla julkishallinnon/koordinoijan ja yritysten yhteishallintomalli, jossa yritykset ja julkinen taho/koordinoija päättävät asioista yhdessä. Julkisella taholla/koordinoijalla on



päävastuu tavoitteiden toteuttamisen organisoimisesta. Kun tavoitteet on saavutettu, voidaan samalla hallintomallilla jatkaa, samalla asettaen uudet tavoitteet puiston toiminnalle. Jos tarvetta aktiiviselle kehitykselle ei nähdä, voi julkinen taho/koordinoija jättäytyä puiston toiminnasta pois, jolloin jäljelle jäävät alueella toimivat yritykset. Puiston yritysten yhteishallinnon tehtäväksi jää symbioosien toiminnan turvaaminen ja niiden mahdollinen kehittäminen oman ydinliiketoimintansa ohella.

Vaihtoehtoja yhteistyöyritysten, eli symbioosiyritysten, löytämiseksi on yrityksiä suora kontaktointi tai verkostot. Suorassa kontaktoinnissa yritys ottaa suoraan yhteyttä potentiaaliseen yritykseen tai vaihtoehtoisesti lähettää kyselyn sellaisille yrityksille, joiden kanssa uskotaan löytyvän potentiaalisia symbioosimahdollisuuksia. Kyselyn etuina on sen laaja tavoitavuus. Lisäksi mahdollisuutena on verkostoihin liittyminen. Yhteistyökumppaneita voi etsiä sellaisista verkostoista, joihin yritys jo kuuluu ja jolloin luottamuksen pohjaa on jo voitu rakentaa, tai sitten liittymällä uusiin, esimerkiksi symbioosi-aiheen tai muiden spesifien aihealueiden ympärille rakentuneisiin verkostoihin. Verkostoissa vaihdetaan tietoa muiden siihen kuuluvien yritysten kanssa, sekä se on mahdollisuus löytyä uusia yhteistyökumppaneita.

Laanilasta löytyy jo hyvin olemassa olevia onnistumisen edellytyksiä. Mikäli aluetta lähdetään kehittämään, on teollisten symbioosien onnistumisen edellytyksiin hyvä tutustua ja lisätä niiden käyttöä omassa toiminnassa. Olemassa olevia onnistumisen edellytyksiä ovat alueen pohjaverkosto (eli alueen yritykset), lyhyet fyysiset välimatkat, ankuriyrityksen olemassa olo, yhteistyö julkisen tahon kanssa, sekä materiaali- ja energiavirtojen jatkuvuus ja suuruus. Hyödynnettäviä onnistumisen edellytyksiä alueella voisivat olla yhteistyön ja tiedonkulun kehittäminen puistoon perustettavan hallinnon kautta, yhteistyö ulkopuolisten tahojen kanssa (esim. tutkimuslaitosten kanssa tai verkostojen kautta), symbioosien kehittäminen yksittäisten projektien kautta, sekä koordinaattorin nimittäminen alueelle.

## 9 LÄHDELUETTELO

Accenture, 2020. Kiertotalouden kestävät liiketoimintamallit kemianteollisuuden yrityksille [verkkodokumentti]. Helsinki: Kemianteollisuus ry, Business Finland ja Sitra. Saatavissa: <https://media.sitra.fi/2020/05/27105226/kiertotalouden-kestavat-liiketoimintamallit-kemianteollisuuden-yrityksille-kasikirja.pdf> [viitattu 14.4.2021]

Accenture, 2018. Circular economy business models for the manufacturing industry. Circular Economy Playbook for Finnish SMEs [verkkodokumentti]. Helsinki: Sitra, Technology Industries of Finland ja Accenture. Saatavissa: [https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/inline-files/20180919\\_Circular%20Economy%20Playbook%20for%20Manufacturing\\_v1%200.pdf](https://teknologiateollisuus.fi/sites/default/files/inline-files/20180919_Circular%20Economy%20Playbook%20for%20Manufacturing_v1%200.pdf) [viitattu 14.4.2021]

Ahola, A., Alarotu, M., Antikainen, M., Honkatukia, J., Järnefelt, V., Kapanen, J., Lantto, R., Laurikkala, M., Naumanen, M., Orko, I., Ritschkoff, A., Still, K., Sundqvist-Andberg, H., Tenhunen, A., Wiman, H., Winberg, I. ja Åkerman, M., 2020. Kiertotalouden ekosysteemit. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2020:13. 143 s.

Alén R, 2000. Structure and chemical composition of wood. Teoksessa: Stenius P. (toim.) Forest Products Chemistry. Book 3. Helsinki: Fapet Oy, 12-55 s. ISBN 952-5216-03-9.

Allam R, Bolland O, Davison J, Feron P, Goede F, Herrera A, Iijima M, Jansen D, Leites I, Mathieu P, Rubin E, Simbeck D, Warmuzinski K, Wilkinson M, Williams R, 2005. Capture of CO<sub>2</sub>. Chapter 3. Teoksessa: Metz B, Davidson O, de Coninck H, Loos M & Meyer L, (Toim.). Carbon dioxide capture and storage. UK: Cambridge University Press. 431 s.

Aluehallintovirasto (AVI), 2020. Kanteleen Voima Oy:n biojalostamon ympäristölupa sekä toiminnan aloittaminen muutoksenhausta huolimatta, Haapavesi. Lupapäätös Nro 104/2020. Dnro PSAVI/2770/2018.

BECCU, 2021. How CO<sub>2</sub> is turned into polyurethanes in the BECCU concept? [verkkodokumentti] Saatavissa: <https://www.beccu.fi/about-beccu/> [viitattu 14.4.2021]

Bridgwater A.V., Carson P., Coulson M., 2007. A comparison of fast and slow pyrolysis liquids from mallee. *International Journal of Global Energy Issues*. Vol. 27 (2), S. 204-216.

Calefa Oy, 2018. Tietämättömyys on syynä sille, ettei teollisuus hyödynnä lähes ilmaista energiaa [verkkodokumentti]. Hukkaenergia hyödyksi (blogi). Saatavissa: <https://hukkaenergiahyodyksi.com/2018/03/29/tietamattomyys-on-syyna-sille-ettei-teollisuus-hyodynna-lahes-ilmaista-energiaa/> [viitattu 14.4.2021]

Carus M & Dammer L, 2018. The "Circular Bioeconomy" – Concepts, Opportunities and Limitations. Nova paper #9 on bio-based economy 2018-01. Nova Institut, Hürth (Germany). 9 s.

Carus M., Skoczinski P., Dammer L., vom Berg C., Raschka A. ja Breitmayer E., 2019. Hitchhiker's Guide to Carbon Capture and Utilisation. Nova paper #11 on bio- and CO<sub>2</sub>-based economy 2019-02. Nova Institut, Hürth (Germany). 24 s.

Carbon Capture and Storage Program (CCSP), 2015. CCSP Carbon Capture and Storage Program. Final Report 1.1.2011-31.10.2016. 240 s.

CCUS Network, 2021. How to join [verkkodokumentti]. Saatavilla: <https://www.ccusnetwork.eu/about-network/how-join> [viitattu 14.4.2021]

Chertow M. R., 2000. Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*. 2000. 25:313-37.

Chertow M. R., 2007. "Uncovering" Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*. Vol 11 (2007). 11-30 s.

Dahl O., 2020. Kemiallisen metsäteollisuuden uudet tuotteet ja innovaatiot [verkkolehti]. *Ympäristö ja Terveys-lehti*, No. 8, 2020, 51 vsk: Ympäristökustannus Oy. 8-11 s.

Danish M. & Ahmad T., 2018. A review on utilization of wood biomass as a sustainable precursor for activated carbon production and application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 87 (2018). 1-21 s.

Desrochers P., 2002. Cities and Industrial Symbiosis. Some Historical Perspectives and Policy Implications. Massachusetts Institute of Technology and Yale University. Journal of Industrial Ecology: Volume 5, Number 4.

Digipolis, 2020a. Verkosto, ECO3 [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.digipolis.fi/teollinenkiertotalous/verkosto> [viitattu 14.4.2021]

Digipolis, 2020b. Laajempi hankekuvaus [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.digipolis.fi/teollinenkiertotalous/hankekuvaus> [viitattu 14.4.2021]

Digipolis, 2020c. Kierto- ja biotalouskeskus [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.digipolis.fi/teollinenkiertotalous> [viitattu 14.4.2021]

Downie A, Crosky A, Munroe P, 2009. Physical Properties of Biochar. Chapter 2. Teoksessa: Lehmann J, Joseph S, 2009. Biochar for environmental management: science and technology. Lontoo: Earthscan. 13-29 s. ISBN 978-1-84407-658-1

Duncan D.W. & Morrissey E.A., 2011. The concept of geologic carbon sequestration [verkkodokumentti]. Geological Survey Fact Sheet 2010-3122. 2 s. Saatavissa: <https://pubs.usgs.gov/fs/2010/3122/> [viitattu 14.4.2021]

Ecolan, 2021. Ecolan Silva® [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.ecolan.fi/ecolan-silva/> [viitattu 14.4.2021]

ECO3, 2019. Yhteystiedot [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://eco3.fi/eco3/yhteystiedot/> [viitattu 14.4.2021]

ECO3/Nokian kaupunki, 2019. ECO3-konsepti kuvana [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://eco3.fi/ravinnekierto/kiertojen-kaaviokuva/> [viitattu 14.4.2021]

Ellen MacArthur Foundation, 2013. Towards the circular economy. Economic and business rationale for an accelerated transition. Isle of Wight, United Kingdom: Ellen MacArthur Foundation. 96 s.

Energiatehokkuuslaki 2014/1429. Luku 5, 27 §. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20141429#L5P27> [viitattu 16.4.2021]

Energiavirasto, 2021. Energiakatselmukset. Energiakatselmustoiminta [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://energiavirasto.fi/energiakatselmukset> [viitattu 14.4.2021]

Erkman S, 1997. Industrial ecology: an historical view. Journal of Cleaner Production. Vol 5, Issues 1-2, 1997, 1-10 s.

Euroopan komissio, 2014. Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe [verkkodokumentti]. Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. Brussels 2.7.2014. Saatavissa: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:50edd1fd-01ec-11e4-831f-01aa75ed71a1.0001.01/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:50edd1fd-01ec-11e4-831f-01aa75ed71a1.0001.01/DOC_1&format=PDF) [viitattu 14.4.2021]

Euroopan komissio, 2020. Uusi kiertotalouden toimintasuunnitelma puhtaamman ja kilpailukykyisemmän Euroopan puolesta [verkkodokumentti]. Uusi kiertotalouden toimintasuunnitelma puhtaamman ja kilpailukykyisemmän Euroopan puolesta. COM(2020) 98 final. Bryssel 11.3.2020. Saatavissa: [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0021.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF) [viitattu 14.4.2021]

Euroopan Unioni, 2021. Green Tech Cluster Styria [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.clustercollaboration.eu/cluster-organisations/green-tech-cluster-styria> [viitattu 14.4.2021]

Finto, 2020. Teollinen ekologia [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://finto.fi/yso/fi/page/p633> [viitattu 14.4.2021]

Fortum & Metsä Group, 2020a. From wood and straw to your wardrobe [verkkodokumentti] Etusivu. Saatavilla: <https://www.expandfibre.com/> [viitattu 14.4.2021]

Fortum & Metsä Group, 2020b. Join the ecosystem [verkkodokumentti]. Saatavilla: <https://www.expandfibre.com/join> [viitattu 14.4.2021]

Frosch R. A. ja Gallopoulos N. E., 1989. Strategies for Manufacturing. Scientific American 261 (September 1989): 144-152. 8 s.

Fykki (Forssan Yrityskehitys Oy), 2021. Envitech area [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.fyk.fi/toimitilat-ja-sijoittuminen/envitech-area/> [viitattu 14.4.2021]

Gasum Oy, 2019. Biokaasua yritysten kuljetuksiin ja energian tuotantoon Oulun alueella [verkkodokumentti]. Biokaasu liikenteessä, teollisuusprosesseissa ja energiantuotannossa 16.10.2019 Oulu, Suolammi Ari. Saatavissa: <https://www.ouka.fi/documents/18161254/0/Biokaasutilaisuus+GASUM/a7712e03-4b64-4531-b57d-446787ddc72f> [viitattu 14.4.2021]

Grand View Research, 2019. Biochar Market Size Worth \$3.1 Billion By 2025. CAGR: 13.2% [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-biochar-market> [viitattu 14.4.2021]

Green Fuel Nordic Oy, 2014. Kevätniemen biojalostamo ja bioterminalihanke. Ympäristövaikutusten arviointiselostus. 24.9.2014 [verkkodokumentti]. Saatavilla: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B35825103-2B79-4F8A-A2BD-02615C0C4C70%7D/104070> [viitattu 14.4.2021]

Green Fuel Nordic Oy, 2021. Yritys [verkkodokumentti]. Saatavilla: <https://www.greenfuelnordic.fi/yritys> [viitattu 14.4.2021]

Green Tech Cluster GmbH, 2021. Über den Green Tech Cluster. Green Tech Cluster Styria GmbH [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.greentech.at/ueber-uns/> [viitattu 14.4.2021]

Hedmark Å & Scholz M, 2008. Review of environmental effects and treatment of runoff from storage and handling of wood. Bioresource Technology 99 (2008). 5997-6009 s. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.042>.

Heeres R. R., Vermeulen W. J. V., de Walle F. B., 2004. Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: first lessons. [verkkodokumentti]. Journal of Cleaner Production 12 (2004) 985-995. doi:10.1016/j.jclepro.2004.02.014. 12 s.

Heikkilä I, Kiuru T, 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen. Ylijäämälämpöenergia-analyysit. Helsinki: Motiva Oy. 57 s.

HEIP (Händelö Eco-Industrial Park), 2021. Pågående projekt [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://heip.se/pagaende-projekt/> [viitattu 14.4.2021]

Hukka A & Tarvainen V, 1997. Höyryn käyttö sahatavaran kuivauksessa. VTT Rakennustekniikka. 49 s. ISBN 951-38-4538-9

Huttunen R, 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030. Puupohjainen energia. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 4/2017. 119 s. URN:ISBN:978-952-327-190-6

IEA (International Energy Agency), 2021. Energy Technology Perspectives 2020. Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage. CCUS in clean energy transitions [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.iea.org/reports/ccus-in-clean-energy-transitions> [viitattu 14.4.2021]

IEA (International Energy Agency), 2021. Is carbon capture too expensive? [verkkodokumentti]. Pariisi: IEA. Saatavissa: <https://www.iea.org/commentaries/is-carbon-capture-too-expensive> [viitattu 14.4.2021]

International Synergies, 2021. National Industrial Symbiosis Programme [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.international-synergies.com/projects/national-industrial-symbiosis-programme/> [viitattu 14.4.2021]

Johnsen I. H. G., Berlina A, Lindberg G, Mikkola N, Olsen L. S., Teräs J, 2015. The potential of industrial symbiosis as a key driver of green growth in Nordic regions. Stockholm: Nordregio. 81 s.

Jyväskylän Kangas 2021. Kangas [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.jyvaskyla.fi/kangas/kangas> [viitattu 14.4.2021]

Kalundborg Symbiose, 2021. Kalundborg symbiosis [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.symbiosis.dk/en/> [viitattu 14.4.2021]

Kansan Uutiset, 2017. Kankaan paperitehtaan alue sykkii uutta elämää [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.kansanuutiset.fi/artikkeli/3696577-kankaan-paperitehtaan-alue-sykkii-uutta-elamaa> [viitattu 14.4.2021]

Kantola T, 2021. Oulun Energian tuotantojohtaja. Suullinen haastattelu TEAMSissä 26.2.2021.

Lane J, 2020. VTT launches two-year project with partners to develop BECCU. Biofuel Digest [verkkodokumentti]. Julkaistu: 5.3.2020. Saatavissa: <https://www.biofuelsdigest.com/bdigest/2020/03/05/vtt-launches-two-year-project-with-partners-to-develop-beccu/> [viitattu 14.4.2021]

Leppänen T, 2021. Biohiili maanparannuksessa [verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://www.lapinjarvi.fi/wp-content/uploads/files/pdf\\_tiedostot/biohiili\\_maanparannuksessa\\_leppanen\\_biocore.pdf](https://www.lapinjarvi.fi/wp-content/uploads/files/pdf_tiedostot/biohiili_maanparannuksessa_leppanen_biocore.pdf) [viitattu 14.4.2021]

Lehmann J, Gaunt J, Rondon M, 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems – A review. Mitigation and Adaption Strategies for Global Change. Vol 11. 403-427 s. DOI: 10.1007/s11027-005-9006-5.

Liekksa, 2019. Green Fuel Nordicin biojalostamon investointi Liekksaan varmistunut [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.liekksa.fi/-/green-fuel-nordicin-biojalostamon-investointi-liekksaan-varmistunut> [viitattu 14.4.2021]

Linköpingin yliopisto, 2021a. Norrköping Industrial Symbiosis Network. [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.industriellekologi.se/symbiosis/norrkoping.html> [viitattu 14.4.2021]



Linköpingin yliopisto, 2021b. Industriell och urban symbios i Norrköping [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://industrialsymbiosis.se/norrkoping.html> [viitattu 14.4.2021]

Lowe E. A., 2001. Eco-industrial Park Handbook for Asian Developing Countries. Indico Development. Publisher: Asian Development Bank. 36 s.

Luke (Luonnonvarakeskus), 2017. Luonnonvarakeskuksen määräys puutavaran mittaukseen liittyvistä yleisistä muuntoluvuista. Painon mittaukseen perustuvat menetelmät [verkkodokumentti]. Ajantasainen määräys 22.12.2017. Saatavilla: [https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2019/01/Luonnonvarakeskuksen-maarays-puutavaran-mittaukseen-liittyvista-yleisista-muuntoluvuista\\_FI\\_22122017.pdf](https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2019/01/Luonnonvarakeskuksen-maarays-puutavaran-mittaukseen-liittyvista-yleisista-muuntoluvuista_FI_22122017.pdf) [viitattu 14.4.2021]

Luke (Luonnonvarakeskus), 2018. Kuori on hyötyaineiden aarreaitta [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.luke.fi/kuori-on-hyotyaineiden-aarreaitta/> [viitattu 14.4.2021]

Maa- ja metsätalousministeriö, 2021. Bioenergia. Suomessa uusiutuvasta energiasta suurin osa on bioenergiaa [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://mmm.fi/luonto-ja-ilmasto/bioenergian-tuotanto> [viitattu 14.4.2021]

Maanmittauslaitos, 2021. Paikkatietoikkuna, Oulu, Laanila [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://kartta.paikkatietoikkuna.fi/> [viitattu 14.4.2021]

Maaskola I & Kataikko M, 2014. Ylijäämälämmön taloudellinen hyödyntäminen. Lämpöpumppu- ja ORC-sovellukset [verkkodokumentti]. Helsinki: Motiva Oy. 68 s. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/10217/Ylijaamalammon\\_taloudellinen\\_hyodyntaminen\\_Lampopumppu-ja\\_ORC-sovellukset.pdf](https://www.motiva.fi/files/10217/Ylijaamalammon_taloudellinen_hyodyntaminen_Lampopumppu-ja_ORC-sovellukset.pdf) [viitattu: 14.4.2021]

Mangan, A. & Olivetti, E. By-Product Synergy Networks: Driving Innovation through Waste Reduction and Carbon Mitigation. Chapter 6. Teoksessa: Harmsen J & Powell J. B. (toim.) Sustainable Development in the Process Industries: Cases and Impact, 2010, 81–108 s002E

Market Research, 2020. Europe Biochar Market Forecast 2020-2028 [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.marketresearch.com/Inkwood-Research-v4104/Europe-Biochar-Forecast-12861709/> [viitattu 14.4.2021]

Ministry of Economy, Trade and Industry (in Japan) (METI), 2019. Roadmap for Carbon Recycling Technologies [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.meti.go.jp/press/2019/06/20190607002/20190607002-2.pdf> [viitattu 14.4.2021]

Molinder R & Almqvist J, 2018. Extractives in the Scandinavian pulp and paper industry. Current and possible future applications [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.processum.se/images/dokument/FoU/Extractives-in-the-Scandinavian-pulp-and-paper-industry-Bioraff-Botnia.pdf> [viitattu 14.4.2021]

Motiva Oy, 2021. Mikä on FISS ja teollinen symbioosi? [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.teollisetsymbioosit.fi/mika-on-fiss-ja-teollinen-symbioosi> [viitattu 14.4.2021]

Moodie J, Salenius V, Leino J, 2019. Industrial Symbiosis in the Baltic Sea Region: Current Practices and Guidelines for New Initiatives. Stockholm: Nordregio. URN: urn:nbn:se:norden:org:diva-5464. s. 12.

Murat M, 2021. Norrköping synergies image [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://industrialsymbiosis.se/norrkoping.html> [viitattu 14.4.2021]

Nachenius R.W., Ronsse F, Venderbosch R.H., Prins W, 2013. Biomass Pyrolysis. Advances in Chemical Engineering. Vol 42. 75-139 s. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386505-2.00002-X>

Nascimento, M.S., Santana, A.L.B.D., Maranhao, C.A., Oliveira, L.S., & Bieber, L., 2013. Phenolic extractives and natural resistance of wood. Julkaistu: Biodegradation: Life of Science. Edited by Chamy, R. and Rosenkranz, F. In Tech, 378 s.

Ogawa M & Okimori Y, 2010. Pioneering works in biochar research, Japan. Australian Journal of Soil Research. 48 (7). 489-500 s. DOI: 10.1071/SR10006.

Olsson O, Bruce L, Hektor B, Roos A, Guisson R, Lamers P, Hartley D, Ponitka J, Hildebrandt J, Thrän D, 2016. Cascading of woody biomass: definitions, policies and effects on international trade. IEA Bioenergy: Task 40: April 2016. 71 s.

Oulun Energia, 2021a. Hiilineutraalius Oulun Energiassa [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/vastuullisuus/hiilineutraalius/hiilineutraalius-oulun-energiassa/> [viitattu 14.4.2021]

Oulun Energia, 2021b. Vuosikatsaus 2019 [verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://www.oulunenergia.fi/globalassets/tiedostot/oulun\\_energia\\_vuosikertomus\\_2019\\_navigaatio\\_final.pdf](https://www.oulunenergia.fi/globalassets/tiedostot/oulun_energia_vuosikertomus_2019_navigaatio_final.pdf) [viitattu 14.4.2021]

Oulun Energia, 2021c. Laanilan ekovoimalaitos [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://vanha.oulunenergia.fi/energia-ja-ymparisto/energiantuotanto/voimalaitokset/laanilan-ekovoimalaitos> [viitattu 14.4.2021]

Oulun Energia, 2021d. Voimalaitokset [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/oulun-energia/energiantuotanto/voimalaitokset/> [viitattu 14.4.2021]

Oulun kaupunki, 2021. Bioindustry Park [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://investin oulu.com/bioindustry-park/> [viitattu 14.4.2021]

Palomaa A, 2019. Tampereella tehdään biohiiltä ja kaukolämpöä ensimmäisten joukossa maailmassa – uusi laitos kymmenkertaistaisi tuotannon [verkkodokumentti]. YLE-uutiset. 11.7.2019. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-10873372> [viitattu 14.4.2021]

Piesala P, 2011. Puun monet mahdollisuudet [verkkodokumentti]. Julkaisija: Suomen Metsäyhdistys ry. ISBN: 978-952-5361-19-3. 127 s.

Pohjois-Pohjanmaan Liitto, 2018. Metsä- ja puubiotalous uudet arvoketjut – Mahdollisuudet Pohjois-Pohjanmaan alueella [verkkodokumentti]. PPBIO – Kohti kestävästä taloutta -hanke. Saatavissa: [https://www.pohjois-pohjanmaa.fi/wp-content/uploads/2020/11/uudet\\_arvoketjut.pdf](https://www.pohjois-pohjanmaa.fi/wp-content/uploads/2020/11/uudet_arvoketjut.pdf) [viitattu 14.4.2021]

Raitanen E, Antikainen R, Turunen T, Primmer E, Seppälä J, 2017. Biomassan kaskadiperiaate ja muut politiikkatoimet. Synergiat ja ristiriidat [verkkodokumentti]. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 27/2017. 45 s. ISBN 978-952-11-4870-5

Raudaskoski R, Turpeinen E, Lenkkeri R, Pongrácz E, Keiski R.L., 2009. Catalytic activation of CO<sub>2</sub>: Use of secondary CO<sub>2</sub> for the production of synthesis gas and for methanol synthesis over copper-based zirconia-containing catalysts. *Catalysis Today* (2009) 318-323. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2008.11.026>

Rauha J-P, 2001. The search for biological activity in Finnish plant extracts containing phenolic compounds. Academic Dissertation. University of Helsinki, Faculty of Science, Department of Pharmacy. 72 s.

Rickels W, Proelß A, Geden O, Burhenne J, Fridahl M, 2020. The Future of (Negative) Emissions Trading in the European Union [verkkodokumentti]. Kiel Institute for the World Economy. Working paper no. 2164. ISSN 1862-1155. 14 s. Saatavissa: [https://www.ifw-kiel.de/fileadmin/Dateiverwaltung/IfW-Publications/Wilfried\\_Rickels/The\\_Future\\_of\\_Negative\\_Emissions\\_Trading\\_in\\_the\\_European\\_Union/KWP\\_2164.pdf](https://www.ifw-kiel.de/fileadmin/Dateiverwaltung/IfW-Publications/Wilfried_Rickels/The_Future_of_Negative_Emissions_Trading_in_the_European_Union/KWP_2164.pdf) [viitattu 14.4.2021]

Routa J, Brännström H, Anttila P, Mäkinen M, Jänis J & Asikainen A, 2017. Wood extractives of Finnish pine, spruce and birch – availability and optimal sources of compounds: A literature review. *Natural resources and bioeconomy studies* 73/2017. Helsinki: Natural Resources Institute Finland. 55 s. ISBN 978-952-326-495-3.

Routa J, Brännström H, Laitila J, 2020. Effects of storage on dry matter, energy content and amount of extractives in Norway spruce bark. *Biomass and Bioenergy*. Vol 143. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105821>

Saikka L, 2006. Ekoteollisuuspuistot, Taustaraportti Rantasalmen ekoteollisuuspuistohankkeelle. Mikkeli: Etelä-Savon maakuntaliitto. ISBN 952-5093-49-2. 37 s.

Sisula H, 1997. Ekologian perusteet. 2. painos. Porvoo: WSOY, (226 s.) ISBN 951-0-09665-2

Sitra, 2019. Kiertotalouden kehitys- ja investointiavustus vahvistaa kestäväää kasvua [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/caset/kiertotalouden-kehitys-ja-investointiavustus-vahvistaa-kestavaa-kasvua/> [viitattu 14.4.2020]

Sitra, 2021. Kiertotalous. Mitä on saatu aikaan? [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/aiheet/kiertotalous/#mista-on-kyse> [viitattu 14.4.2021]

Schmidt H, Hagemann N, Draper K, Kammann C, 2019. The use of biochar in animal feeding. *PeerJ* 7:e7373. <https://doi.org/10.7717/peerj.7373>

Sokka L, Koponen K, Keränen J. T., 2015. Cascading use of wood in Finland – with comparison to selected EU countries. VTT Research Report. 25 s.

Sommer K. H., 2020. Study and portfolio review of the projects on industrial symbiosis in DG Research and Innovation: Findings and recommendations [verkkodokumentti]. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-76-11247-1. 40 s.

SSAB, 2019. SSAB:n Raahen tehtaalla testattiin onnistuneesti fossiilisen hiilen korvaamista biohiilellä [verkkodokumentti]. *Lehdistötiedote* 7.8.2019. Saatavissa: <https://mb.cision.com/Main/980/2875086/1086500.pdf> [viitattu 14.4.2021]

SYKE (Suomen ympäristökeskus), 2020. Koeluonteinen toiminta [verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi\\_luvat\\_ja\\_ymparistovaikutusten\\_arviointi/Luvat\\_ilmoitukset\\_ja\\_rekisterointi/YSLn\\_kertaluonteisen\\_toiminnan\\_ilmoitusmenettely/Koeluonteinen\\_toiminta](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/YSLn_kertaluonteisen_toiminnan_ilmoitusmenettely/Koeluonteinen_toiminta) [viitattu 14.4.2021]

Teir S, Tsupari E, Koljonen T, Pikkarainen T, Kujanpää L, Arasto A, Tourunen A, Kärki J, Nieminen M, Aatos S, 2009. Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS) VTT:n tiedotteita 2503. ISBN: 978-951-38-7325-7.

TEM (Työ- ja elinkeinoministeriö), 2014. Suomen biotalousstrategia [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/855a8e55-89f2->

4c17-b535-21ab5a9c3d94/dce9b4ad-f2f3-45dc-b889-61c9ff57d9b3/STRATEGIA\_20200710113512.pdf [viitattu 14.4.2021]

TEM (Työ- ja elinkeinoministeriö), 2017. Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030 [verkkodokumentti]. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 4/2017. ISBN: 978-952-327-190-6. 119 s.

TEM (Työ- ja elinkeinoministeriö), 2020. Valtionavustus kiertotalouden investointi- ja kehittämishankkeisiin [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.sitra.fi/caset/kiertotalouden-kehitys-ja-investointiavustus-vahvistaa-kestavaa-kasvua/> [viitattu 18.9.2020]

Tilastokeskus, 2021. Polttoaineluokitus 2020 [verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut\\_polttoaineluokitus.html](https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html) [viitattu 14.4.2021]

Toshiba, 2020. Toshiba Starts Operation of Large-Scale Carbon Capture Facility [verkkodokumentti]. Saatavissa: [https://www.toshiba-energy.com/en/info/info2020\\_1031.htm](https://www.toshiba-energy.com/en/info/info2020_1031.htm) [viitattu 14.4.2021]

Tukes (Turvallisuus- ja kemikaalivirasto), 2018. Kiertotalouslaitosten turvallisuusriskit, loppuraportti 1.11.2018 [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://tukes.fi/documents/5470659/10883829/Kiertotalouslaitosten+turvallisuusriskit+-loppuraportti/aa2de667-1851-005e-73c2-e33442a9e065/Kiertotalouslaitosten+turvallisuusriskit+-loppuraportti.pdf> [viitattu 14.4.2020]

Tukiainen S, 2019. Carbon Negative Heating and Cooling with Carbofex Pyrolysis Technology [verkkodokumentti]. Elokuu 28.8.2019. Tampere. Saatavissa: [https://circhubs.fi/wp-content/uploads/2019/08/tukiainen-sampo\\_tukiainen\\_29.8.19.tampere\\_talo.pdf](https://circhubs.fi/wp-content/uploads/2019/08/tukiainen-sampo_tukiainen_29.8.19.tampere_talo.pdf) [viitattu 14.4.2021]

Unido, 2017. Implementation handbook for eco-industrial parks [verkkodokumentti]. United Nations Industrial Development Organization & Swiss Confederation. 96 s. Saatavissa: [https://www.unido.org/sites/default/files/files/2018-05/UNIDO%20Eco-Industrial%20Park%20Handbook\\_English.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/files/2018-05/UNIDO%20Eco-Industrial%20Park%20Handbook_English.pdf) [viitattu 14.4.2021]

Unido, 2019. International guidelines for industrial parks. [verkkodokumentti]  
Saatavissa: [https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-11/International\\_Guidelines\\_for\\_Industrial\\_Parks.pdf](https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-11/International_Guidelines_for_Industrial_Parks.pdf) [viitattu 14.4.2021]

Valtioneuvosto, 2021. Uusi suunta. Ehdotus kiertotalouden strategiseksi ohjelmaksi [verkkodokumentti] Valtioneuvoston julkaisuja 2021:1. ISBN: 978-952-383-658-7. 114 s.

Yle Uutiset, 2020. UPM Plywood sulkee Jyväskylän vaneritehtaansa – 147 menettää työpaikkansa [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-11458119> [viitattu 14.4.2021]

Zaoual A-R, Lecocq X, 2018. Orchestrating Circularity within Industrial Ecosystems: Lessons from Iconic Cases in Three Different Countries. *California Management Review*, 60 (3). 133-156 s. <https://doi.org/10.1177/0008125617752693>

## Liite 1. Biovoimalaitoksen hiilidioksidipäästölaskennat nykytilan polttoaineilla

CO <sub>2</sub> -päästöt biovoimalaitoksella, nykytila							
Polttoaineteho		Arvioitu energian tuottoaika vuodessa					
215 MW		8000 h					
Osuus	Polttoaine	Päästökertoimen [tCO <sub>2</sub> /MWh]	Päästökertoimen [tCO <sub>2</sub> /MW]	Päästöt [tCO <sub>2</sub> /a]	Bio-osuus [tCO <sub>2</sub> /a]	Fossiilinen- CO <sub>2</sub> [tCO <sub>2</sub> /a]	Päästökertoimen lähde
70 % puuta		0,4	3200	481 600,00	100 %	481 600,00	[1]
15 % srf		0,1136	908,8	29 308,80	60 %	17 585,28	[2]
15 % turve		0,3843	3074,4	99 149,40	0 %	-	[3]
				610 058,20	499 185,28	110 872,92	
Vertaus Mikawaan:							
Talteenotto		500 tCO <sub>2</sub> /d					
Laanilan biovoimalaitos,							
päästöt päivässä		1671,4 tCO <sub>2</sub> /d					
Arvioitu talteenoton osuus							
Laanilassa		30 %					
Talteenoton määrä		182 500,00 tCO <sub>2</sub> /a					
Päästökertoimen lähteet:							
[1] Tilastokeskus, 2020. Polttoaineluokitus 2020. Metsäpolttoaine, puu							
[2] Tilastokeskus, 2020. Polttoaineluokitus 2020. Kierrätyspolttoaine							
[3] Tilastokeskus, 2020. Polttoaineluokitus 2020. Jyrsinturve							



## Liite 2. Biovoimalaitoksen hiilidioksidipäästölaskennat tulevaisuuden polttoaineilla

CO <sub>2</sub> -päästöt biopolttolaitoksella, tulevaisuus						
Polttoaineteho		Arvioitu energian tuottoaika vuodessa				
215 MW		8000 h				
Osuus	Polttoaine	Päästökerroin [tCO <sub>2</sub> /MWh]	Päästökerroin [tCO <sub>2</sub> /MW]	Päästöt [tCO <sub>2</sub> /a]	Bio-osuus	Päästökertoimen lähde
70 % puuta		0,4	3200	481 600,00	100 %	[1]
30 % srf		0,1136	908,8	58 617,60	60 %	[2]
0 % turve		0,3843	3074,4	-	0 %	[3]
				540 217,60	516 770,56	23 447,04
Vertaus Mikawaan:						
Talteenotto		500 tCO <sub>2</sub> /d				
Laanilan blaitos päästöt päivässä		1480,0 tCO <sub>2</sub> /d				
Arvioitu talteenoton osuus		34 %				
Talteenoton määrä Laanilassa		182 500,00 tCO <sub>2</sub> /a				
Päästökertointen lähteet:						
[1] Tilastokeskus, 2020. Polttoaineluokitus 2020. Metsäpolttoaine, puu						
[2] Tilastokeskus, 2020. Polttoaineluokitus 2020. Kierrätyspolttoaine						
[3] Tilastokeskus, 2020. Polttoaineluokitus 2020. Jyrsinturve						