

Metsäperäisen biomassan resurssitehokkuus energiantuotannossa Suomessa – uhka vai mahdollisuus?



Agrologi YAMK opinnäytetyö
Biotalousliiketoiminnan kehittäminen
hyväksymislukukausi vuosi 2022
Tuohiniitty Hannes

Koulutuksen nimi

Tiivistelmä

Tekijä Hannes Tuohiniitty

Vuosi 2022

Työn nimi Metsäperäisen biomassan resurssitehokkuus energiantuotannossa Suomessa –
uhka vai mahdollisuus?

Ohjaaja Nina Kokkonen

Biomassan käytön resurssitehokkuus on yksi kestävän bioenergian tuotannon edellytys. Resurssitehokkuus biomassan käytössä ei käsitteenä kuitenkaan ole yksiselitteinen. Termin tarkempi käsitteistäminen on edellytys biomassan energiakäytön laadulliselle mittaamiselle tai käytön hallinnoimiseksi.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää suomalaisten energiantuottajien näkemyksiä metsäperäisen biomassan resurssitehokkuudesta ja käyttöön liittyviä toimintamalleja. Lisäksi tutkittiin ministeriöiden virkahenkilöiden sekä ympäristöjärjestöjen edustajien näkemyksiä metsäperäisen biomassan käytön hallinnollisesta ohjaamisesta.

Biomassan energiakäyttöön linkittyvää resurssitehokkuuden tutkimusta on tehty verrattain vähän. Aihe liittyy kuitenkin läheisesti kiertotalouden ja kaskadikäytön termeihin, jotka esiintyvät erityisesti Euroopan Unionin, kansainvälisten organisaatioiden sekä suomalaisten organisaatioiden julkaisuissa. Tämä tutkimus rakentuu näistä syntyvään viitekehykseen.

Energiantuottajille suunnatulla kaksiosaisella delfoi-paneelikyselyllä selvitettiin biomassan resurssitehokkuuden käsityksiä ja huomioivia toimintamalleja tai menetelmiä. Paneelikysely valmisteltiin järjestöjen ja yritysten edustajista koostuneen tutkimusryhmän avulla. Paneelin jäsenet valittiin Bioenergia ry:n ja Energiateollisuus ry:n jäsenistä. Kysely toteutettiin 144 yritykselle lähetettynä verkkokyselynä, joista vastaus saatiin 30:ltä organisaatiolta.

Tutkimus paljastaa, että metsäbiomassaa käyttävät energiantuottajat rajaavat resurssitehokkuuden koskemaan polttoaineketjun tehokkuuden 'kannolta piipun päähän'. Lähes kaikki vastanneet yritykset kokivat, että he toimivat resurssitehokkaasti.

Poltossa syntyvän tuhkan hyötykäyttö, läheltä tuleva ja logistisesti tehokkaasti toimitettu polttoaine sekä energiatehokas polttoprosessi arvioitiin resurssitehokkuuden parhaina toimintamalleina. Parhaina mittareina pidettiin polttolaitoksen hyötysuhdetta, puupolttoaineen hankintaketjussa kuluneen energian ja polttoaineen lämpöarvon suhdetta sekä puupolttoaineen hankintaketjun laskennallisia ilmastopäästöjä.

Tutkimuksen haastatteluiden perusteella ministeriöiden virkahenkilöt ja ympäristöjärjestöjen edustajat jakavat tarpeen ohjata biomassan käyttöä ottamaan huomioon resurssitehokkuus. Eroja ilmeni siinä, tulisiko ohjauksen olla informaatio-ohjausta vai säädösperusteista ja tulisiko ohjausta tehdä yleisellä tasolla vai riippuen biomassan

loppukäyttökohteesta. Haastatellut pitävät polttoprosessin ja lämmöntuotannon sekä sen jakelun energiatehokkuutta osoituksena resurssitehokkuudesta.

Jatkotutkimusta kaivattaisiin energiantuottajille soveltuvista mittareista. Esille nousi esimerkiksi tarve puun kaskadikäytön mittaamisesta. Kiinnostava näkökulma resurssitehokkuuteen voisi muodostua hiilidioksidin talteenoton ja jatkokäytön tai varastoinnin (BECCUS) sekä biohiilen tuotannon yhdistämisestä energiantuotantoon.

Työn toimeksiantajana toimi Bioenergia ry.

Avainsanat bioenergia, biomassa, kiertotalous, metsäenergia, resurssitehokkuus
Sivut 67 sivua ja liitteitä 17 sivua

Name of Degree Programme

Abstract

Author Hannes Tuohiniitty

Year 2022

Subject Resource efficient use of forest based biomass for energy production in Finland
– a threath or an opportunity?

Supervisor Nina Kokkonen

Resource efficiency in the use of biomass is one of the prerequisites for sustainable bioenergy production. However, the concept of resource efficiency in the use of biomass is not unambiguous. A more precise definition of the term is a prerequisite for the qualitative measurement or management of the energy use of biomass.

The aim of the study was to find out the views of Finnish energy producers on the resource efficiency of forest based biomass and the operating models related to its use. In addition, the views of ministry officials and representatives of environmental organizations on the administrative control of the use of forest based biomass were studied.

Relatively little research has been done on resource efficiency related to the energy use of biomass. However, the topic is closely related to the terms circular economy and cascading use, which appear especially in the publications of the European Union, international organizations and Finnish organizations. This study builds on the resulting framework.

A two-part Delfoi panel survey for energy producers was used to find out about biomass's resource efficiency perceptions and taking into account operating models or methods. The panel survey was prepared with the help of a research group consisting of representatives of organizations and companies. The panel was formed from the members of the Bioenergia ry association and the Energy Industry association. The survey was conducted as an online survey sent to 144 companies, from which responses were received from 30.

The study reveals that energy producers using forest biomass limit resource efficiency to the 'from forest to chimney' of the fuel chain. Almost all responding companies considered being resource efficient.

The utilization of the ash generated in the plants, the fuel coming from close proximity and delivered efficiently, and the energy-efficient production process were assessed as the best operational models for resource efficiency. The best indicators were the efficiency of the energy plant, the ratio of energy consumed in the wood fuel supply chain versus the calorific value of the fuel, and the calculated climate emissions in the wood fuel supply chain.

Based on the interviews in the study, ministry officials and representatives of environmental organizations share the need to guide the use of biomass to take resource efficiency into account. Differences emerged in whether the guidance should be information-driven or regulatory-based and whether the guidance should be done at a general level or depending on the end use of the biomass. Respondents consider the energy efficiency of the

combustion process and heat production and its distribution to be an indication of resource efficiency.

Further research would be needed on indicators suitable for energy producers. For example, the need to quantify the cascading use of wood emerged. An interesting perspective on resource efficiency could be the combination of carbon capture and reuse or storage (BECCUS) and biochar production with energy production.

The work was commissioned by Bioenergia ry.

Keywords bioenergy, biomass, forest energy, resource efficiency,

Pages 67 pages and appendices 17 pages

Sisällys

Johdanto	1
1 Resurssitehokkuus	3
1.1 Resurssitehokkuuden määritelmistä	3
1.2 Kaskadikäyttö	4
1.3 Mittarit resurssitehokkuudelle ja kaskadikäytölle	5
1.4 Resurssitehokkuus ja kaskadisuus lainsäädännössä	6
1.5 Resurssitehokkuus biopolttoaineketjussa	8
1.5.1 Perusteet ja mahdolliset tavat lisätä biomassan käytön kaskadisuutta	9
2 Metsäbiomassan käytön ohjaus Suomessa	11
2.1 Biomassan energiakäyttöä koskeva lainsäädäntö ja tuet	11
2.2 Hallinnollinen ohjaus	12
2.3 Muut ohjauskeinot	13
2.3.1 Vapaaehtoiset markkinointimerkit	13
2.3.2 Toimialojen suositukset	14
3 Metsäbiomassan käyttö Suomessa	14
3.1 Uusiutuva energia Suomessa	15
3.2 Metsäperäinen energia	16
3.2.1 Metsäperäisen energian ketju	17
3.2.2 Metsäperäisen energian hankintatavat	20
3.2.3 Näkymiä metsäperäisen biomassaan liittyen	22
3.3 Metsäperäisen energian tuhka ja sen käyttö	24
3.3.1 Tuhkan käyttö metsissä osana kiertotaloutta	25
4 Tutkimus resurssitehokkuudesta metsäperäisen bioenergian tuotannossa	26
4.1 Tutkimuksen lähtökohdat	26
4.2 Tutkimusmenetelmä	28
4.3 Tutkimuksen toteutus	29
4.4 Aineiston käsittely	30
4.5 Tutkimuksen tulokset	30
4.5.1 Paneelikyselyn tulokset	30

4.5.2	Ulkopuolisten asiantuntijoiden haastattelu.....	35
4.5.3	Erot ja yhteneväisyydet paneelin sekä haastatteluiden välillä	40
5	Johtopäätökset ja keskustelu	40
5.1	Tutkimuksen johtopäätöksiä.....	40
5.2	Jatkotutkimus ja käytettävyys.....	46

Liitteet

Liite 1	Delfoi tutkimusryhmän kokoonpano
Liite 2	Ensimmäisen vaiheen kyselylomakkeet delfoi -paneelille
Liite 3	Toisen vaiheen kyselylomakkeet delfoi -paneelille
Liite 4	Asiantuntijahaastatteluiden kysymykset

Johdanto

Puun käyttöhierarkia, mistä puhutaan myös kaskadikäyttönä, on noussut esille puuenergian yhteydessä käytävissä keskustelussa, erityisesti 2018 jälkeen osana EU:n lainsäädännön valmistelua ja päätöksentekoa. Käyttöhierarkia ei ole käyttökelpoinen ohjaamaan toimintaa tai politiikkaa ilman tarkempaa määrittelyä. Käyttöhierarkia linkittyy osaksi vielä monitahoisempaa resurssitehokkuuden määritelmää. Tässä työssä pureuduttiin siihen, miten resurssitehokkuutta voidaan määritellä ja mitata metsäperäisen energiantuotannon yhteydessä.

Biomassaa käytetään energiantuotannossa laajasti Suomessa ja Euroopassa. Lisäkäyttöön on suunnitelmia monissa eri käyttökohteissa. Samalla varsinkin metsäperäisen biomassan lisäkäyttöön kohdistuu paljon vastakkaisia näkemyksiä. Kansainvälisten organisaatioiden, kuten maailman energiajärjestö IEA:n tai maailman uusiutuvan energianjärjestö IRENA:n skenaarioissa bioenergian arvioidaan olevan edelleen eri kasvu-uralla lähivuosikymmenet. Saman suuntainen näkymä lisääntyvästä bioenergian roolista on Euroopan komission tekemissä vaikutusarvioissa.

Biomassalle kaavaillaan kasvavaa käyttöä myös korvaamaan fossiilisperäisiä materiaaleja esimerkiksi rakennusteollisuudessa, kemian teollisuudessa sekä vähentämään ympäristövaikutuksia korvaamalla tekstiiliteollisuudessa puuvillaa. Vielä kolmantena biomassan käytön – tai oikeastaan säilyttämisen – suuntana on kasvien hiilensidonnan lisääminen ja sitä myötä luonnossa olevien hiilivarastojen kasvattaminen. Unohtamatta luontokatoon puuttumista, rajaamalla osa olemassa olevasta biomassasta aktiivisen käytön ulkopuolelle suojelualueille.

Samalla varsinkin metsäperäisen biomassan lisäkäyttöön kohdistuu paljon vastakkaisia näkemyksiä. Vaikkakin biomassaa on lähtökohtaisesti uusiutuva raaka-aine, on kyseessä lopulta rajallinen resurssi. Biomassalle asetetaan eri toimijoilta monia vaihtoehtoisia käyttötarkoituksia; joku jalostaisi siitä erilaisia tuotteita ja toinen säilyttäisi biomassan lisäämässä hiilivarastoa tai tarjoamassa muita ekosysteemipalveluita. Yhteyttämällä syntyvästä biomassasta on käynnissä lisääntyvä kilpailu eri käyttökohteiden kesken.

Henkilökohtaisella tasolla resurssien omistajien tai politiikassa tehtävät ratkaisut pohjaavat vaihteleviin arvokehikkoihin.

Suomessa biomassan energiakäyttö painottuu metsäperäiseen biomassaan. Metsien käyttöön liittyy monenlaisia – usein ristiriitaisiakin – tavoitteita. Suomessa vuosittain käytetystä puusta päätyy kuiva-aineena mitattuna polttoon yli puolet ja osuus on kasvanut noin kymmenellä prosentilla vuosituhanen alusta. (Luonnonvarakeskus, 2021) . Voiko siitä vetää johtopäätöksiä resurssitehokkuudesta? Biomassan kaskadikäyttöä arvioitaessa voi unohtua, että eri käyttötarkoituksissa biomassan laatuun kohdistuu erilaisia vaateita. Kaskadikäytön tai muun resurssitehokkuuden määrittely puuenergian tuotannon yhteydessä näyttäytyy haasteellisena, kun vaihtoehtoista käyttökohdetta ei jollekin puujakeelle välttämättä tällä hetkellä ole lainkaan tai vaihtoehtoista käyttöä rajoittaa maantieteellinen etäisyys tai muu hyödynnettävyyden rajoite.

Resurssitehokkuuteen bioenergian tuotannossa liittyy monitahoisia kysymyksiä. Aiheen parissa on tehty melko vähän tutkimusta. Tämä työ pyrkii tuomaan lisätietoa.

Valittu aihe on laaja, sillä näkökulma voi vaihdella käytettävän biomassan, loppukäyttökohteen sekä käyttöpaikan ja maantieteellisen paikan perusteella. Siksi tässä työssä katsotaan biomassan käytön resurssitehokkuutta vain yhdestä näkökulmasta, Suomessa käyttäessä metsäperäistä biomassaa lämmön- ja sähköntuotantoon.

Työtä aloitettiin tutkimussuunnitelman teolla vuoden 2019 alussa. Työn aikana kiertotalouteen liittyvät teemat – mukaan lukien resurssitehokkuus - sekä biomassan ilmastovaikutukset ovat olleet jatkuvasti esillä. Työhön on pyritty tuomaan aiheeseen liittyvää keskustelua vielä kevään 2022 osalta. Tätä kirjoittaessa on paljon politiikka-aloitteita sekä EU:ssa että kotimaassa keskustelun alla, joiden odotetaan rakentavan metsiin ja metsäbiomassaan liittyvä lainsäädäntö ja hallinnolliset käytännöt 2020-luvun loppuun asti.

1 Resurssitehokkuus

1.1 Resurssitehokkuuden määritelmistä

Resurssitehokkuuden määritelmiä on useita erilaisia. Usein resurssitehokkuutta kuvataan suhteellisella muutoksella: saada aikaan enemmän käyttämällä entistä vähemmän resursseja. (esim. Ymparisto.fi, 2013)

Euroopan komissio (2020a) lisää, että maapallon resursseja pitää käyttää kestävästi ja minimoiden ympäristöön kohdistuvat vaikutukset. Resurssitehokkuuden määritelmät siis perustuvat toiminnan tehostamiseen ja ympäristövaikutusten vähentämiseen.

Resurssiviisaus puolestaan pyrkii resurssitehokkuuden lisäksi tekemään yhteiskunnallisesti kokonaisvaltaisoin päätöksen resurssin käytöstä. Sitran (n.a) mukaan ”Resurssiviisaus on resurssitehokkuutta kokonaisvaltaisempi määritelmä. Resurssien kulutusta katsotaan siinä absoluuttisesti yhteiskunnan tasolla, jotta päästään kokonaisuuden kannalta parhaaseen lopputulokseen. Pelkkä resurssitehokkuuden lisääminen voi johtaa resurssien käytön osaoptimointiin, mikä ei useinkaan ole resurssiviisasta.”

Kiertotalous määritelmänä liittyy resurssitehokkuuteen. Kiertotalous on talousmalli, joka suoraviivaisen resurssien käytön sijaan pyrkii kierrättämään resursseja uudestaan käyttöön ja palvelumuodoilla vähentämään resurssien tarvetta tyystin. Sitra (n.a) määrittelee eron näin: ”Resurssitehokkuus ei ole kiertotalouden synonyymi, vaan osa kiertotaloutta. Resurssitehokkuus ei aina haasta tuotannon ja kulutuksen perinteistä suoraviivaista mallia.”

Tavoitteet resurssitehokkuudesta, resurssiviisaudesta ja kiertotaloudesta ovat nousseet yhdeksi politiikan ja yritystoiminnan keskeisistä tavoitteista, sillä maailman käytettävissä olevien uusiutuvien ja uusiutumattomien resurssien ennustetaan kasvavan merkittävästi väestön ja kulutustason edelleen ollessa kasvussa. Kokonaismateriaalikäyttö kasvoi vuoden 1970 tasosta 27 Gt vuoteen 2017 tasolle 89 Gt. Edelleen käytön ennustetaan nousevan jopa 167 Gt:iin vuonna 2060. Samassa ajassa biomassan käytön ennustetaan melkein

tuplaantuvan nykyisestä noin 22 Gt:sta 37 Gt:iin vuonna 2060. (OECD, 2019 s.5). 2000-luvulla globaali resurssien käyttö kasvoi tuplasti väestönkasvua nopeammin (OECD, 2021 s.13).

1.2 Kaskadikäyttö

Yksi tapa määritellä biomassan käytön resurssitehokkuutta on kaskadikäyttö eli käytön hierarkisuus.

Kaskadisuuden määrittelyyn on olemassa erilaisia menetelmiä ja laskentarajauksia. Eri menetelmille on omat parhaiten sopivat kohteensa. Tämä luo haasteita ja aiheuttaa tarpeen kulloinkin selkeästi määritellä minkälaista kaskadisuutta tavoitellaan.

Kaskadisuudessa voidaan myös tehdä rajaukset joko yhden energialaitoksen, yrityksen, alueen tai maan tasolla. Kukin rajausta voi tuoda mukanaan erilaisen tuloksen kaskadisuuden tasosta. Eri maita vertaillen kaskadisuudessa eroja aiheuttaa se onko kyseisessä maassa vienti- tai tuontiorientoitunut talous vai jalostetaanko tuotteet etupäässä kyseisessä maassa käytettäväksi. Samaten tulokseen vaikuttaa kuinka pitkälle tuotteita jalostetaan (Sokka, 2016).

Kaskadisuutta voidaan mitata ainakin kolmella eri tavalla (Olsson, 2016):

1. Kaskadisuus suhteessa aikaan tai käyttökertojen määrään. Tässä kyse on vanhemmasta teoriasta ja perustuu tavoitteeseen käyttää sama raaka-aine mahdollisimman useaan kertaan ajan kuluessa. Tämä voi esimerkiksi biomassan kyseessä ollessa merkitä, että raakapuu käytetään ensin rakennusmateriaalina, seuraavaksi uusiokäytetään toisessa rakennuskohteessa, purkamisen jälkeen osittain voidaan hyödyntää lastulevyn tuotannossa ja vielä sen käytön loputtua hyödynnetään energiantuotannossa.

2. Kaskadisuus suhteessa tuotteen arvoon. Tätä teoriaa on kehitetty viimeisten vuosien aikana. Biomassan hierarkia-pyramidiä käytetään kuvaamaan tilannetta, missä suurempi taloudellinen arvo on pienellä osalla biomassaa, jonka jälkeen samasta biomassasta voidaan valmistaa enemmän massaa pienemmällä arvonlisäyksellä.

3. Kaskadikäyttö käyttötarkoituksen mukaan on tuorein esitetty teoria. Tällöin tavoitellaan kussakin biomassan tai sen eri jakeiden käyttövaiheessa optimaalisinta käyttötarkoitusta. Tämä teoria hahmottuu erityisesti silloin, kun kyseessä on useiden yritysten muodostama biotalousklusteri tai yksittäisen suuren biojalostamon mahdollisuudet tuottaa eri tuotteita.

1.3 Mittarit resurssitehokkuudelle ja kaskadikäytölle

Kiertotalous on termi, jonka esitetyissä määritelmässä tai kuvailuissa on kirjavuutta (esim. Sitra 2020, YM 2021, MMM 2021). Yhteisesti kiertotalous nähdään talouden toimintana, missä pyritään käyttämään materiaaleja ja palveluita yhä uudestaan ja samalla hillitsemään tai jopa vähentämään uuden uusiutuvan tai uusiutumattoman neitseellisen raaka-aineen tuomista talouteen. Kiertotalouden yhteydessä puhutaan myös resurssitehokkuudesta sekä resurssiviisaudesta. Niiden osalta käytettävät mittarit eivät ole vakiintuneet.

Sitra teetti 2015 Gaia Consultingilla arvion mahdollisista Suomessa käytettävistä kiertotalouden mittareista. Johtopäätöksissä esitettiin viittä mittaria jatkokehittäviksi. Näistä biomassan käytölle voisi mahdollisesti soveltaa resurssituottavuutta, materiaalihäviötä ja materiaalikierrojen kestävyyttä kuvaavat mittarit.

Euroopan komissio (2020c) jaottelee kehittämänsä maatason mittarit kolmeen kategoriaan: kestävä resurssien hallinta, sosiaaliset toiminnot ja liiketoiminnot. Mikään näistä mittareista ei ole sellaisenaan sovellettavissa metsäperäisen biomassan käytön arviointiin tai seurantaan. Bellagio-julistuksessa (Epanet, 2020) määritellään seitsemän periaatetta, joiden avulla voi seurata kiertotalouden toteutumista. Yksi periaatteista korostaa oikein indikaattorien valintaa ja antaa niiden valintaan RACER-kriteerit: merkityksellisyys (Relevant), hyväksyttävyyys (Accepted), uskottavuus (Credible), seurattavuus (Easy to monitor) ja varmuus (Robust).

Koska kaskadikäytölle ei ole vakiintunutta määritelmää, ei ole myöskään selkeitä mittareita kaskadikäytön toteutumisen mittaamiseen (Koistinen, 2016).

Joitain mittareita on kuitenkin kehitetty. Yksi keino kaskadikäytön mittaamisessa on kaskadikerroin, joka kertoo, kuinka paljon tuotetta on voitu valmistaa raaka-aineyksikköä kohti. Uudelleenkäyttö ja raaka-aineiden kierrätys kasvattavat kerrointa. Kaskadikertoimesta ei välttämättä korreloi käytön muun kestävyiden muilta osin, esimerkiksi energiatehokkuutta tuotannossa. Kaskadikerrointa voidaan käyttää lähinnä vertailemaan erilaisten ketjujen tai maiden kaskadisuutta (Sokka, 2016).

Kaskadisuutta voidaan arvioida myös osana laajempaa laskentamallia, joita on kehitetty eri hankkeissa. Yksi esimerkki on ToSIA-laskentamalli (Tool for Sustainability Impact Assessment), jonka avulla voidaan arvioida biomassan eri käyttövaihtoehtojen kestävyyttä useilla indikaattoreilla, joista kaskadisuus on yksi (Koistinen, 2016).

1.4 Resurssitehokkuus ja kaskadisuus lainsäädännössä

Biomassan kaskadikäyttöä käsitellään useissa EU:n säädöksissä tai strategiapapereissa ja vastaavissa tahtotilaa kuvaavissa materiaaleissa. (Euroopan Komissio, 2013, 2015 & 2018) EU:ssa on yleinen käsitys tällä hetkellä, että yhteisötasoisista sitovaa lainsäädäntöä ei ole tulossa. Yksi perustelu tälle on, että biomassan käyttö eri maissa on erittäin vaihtelevaa ja yhteisötason lainsäädännöllä olisi vaikea tehdä koherenttia sääntelyä. (Euroopan Komissio, 2018).

Joissain euroopan maissa, kuten Norjassa, Belgiassa, Itävallassa ja Saksassa kaskadikäytön periaatetta on viety jollain tavoin lainsäädäntöön (Raitanen ym, 2017).

Suuntaus on näyttää olevan se, että kaskadisuutta on sisällytetty yleisenä tavoitteena muun muassa EU:n jätelainsäädännössä, EU:n biotalous-strategiassa, Kiertotalous-paketissa ja EU:n metsästrategiassa, iLUC-direktiivissä ja Uusiutuvan energian uudennetussa direktiivissä (REDII).

REDII direktiivi hyväksyttiin vuoden 2018 lopulla. Direktiivin artiklassa 3 edellytetään ottamaan jätehierarkian huomioon bioenergian tukia suunniteltaessa ja kieltämään tukien

myöntäminen, jos jätedirektiivin asettamien erilliskeräysten velvoitteita ei ole noudatettu. (Euroopan Unionin virallinen lehti, 2018, sivu 24).

Maaliskuussa 2020 Euroopan Komissio (2020b) julkisti uuden kiertotalousstrategian, joka esittää toimia kiertotalouden edistämiseksi. Tässä strategiassa suunnitellaan toimenpiteitä paljon resursseja käyttäviin toimialoihin: elektroniikka ja tieto- ja viestintäteknikka, akut ja ajoneuvot, pakkaukset, muovit, tekstiilit ja huonekalut, rakentaminen ja rakennukset sekä elintarvikkeet, vesi ja ravinteet. Näiden lisäksi merkittävimmät välituotteet, kuten teräs, sementti ja kemikaalit on erikseen huomioitu.

Heinäkuussa 2021 komissio julkaisi useita biomassakin koskevia lainsäädäntö- ja strategiaesityksiä niin sanotun Fit for 55 -ilmastopakettin osana (Euroopan komissio 2021 a & 2021 b).

Yksi esityksistä koskee uusiutuvan energian direktiivin muokattua versiota (RED3). Sivulla 30 Euroopan komissio (2021c) esittää artiklaan kolme useita muutoksia. Ensimmäinen on vaatimus, että jäsenmaan tulee varmistaa että biomassan käyttö energiantuotantoon ei sekoita biomassan markkinoita tai aiheuta haitallisia vaikutuksia monimuotoisuudella ja että sekä jätehierarkiaa että kaskadikäytön periaatetta noudatetaan.

Toinen muutos on, että jäsenmaa ei saisi tukea sähköntuotantoa biomassalla, jos tuotannossa käytetään saha- tai vaneritukkeja tai kantoja. Vielä kolmantena komissio esittää, että jäsenmaa ei saa enää antaa tukea sähköntuotannolle lauhdelaitoksissa siirtymäajan jälkeen elleivät tietyt edellytykset täyty.

Lopuksi komissio esittää itselleen delegoitua säädösvaltaa, jolla se tulisi määrittelemään miten minimoidaan laadukkaan runkopuun käyttö energiantuotannossa

Uusi EU:n metsästrategia (Euroopan komissio 2021b) ei ole sitovaa lainsäädäntöä, mutta sen voi arvioida tuovan esiin nykyisen komission poliittisen tahtotilan, mikä näkynee tulevissa lainsäädäntöesityksissä. Metsästrategiassa komissio korostaa yleisten kestävyiden rajojen varmistamista ja kun puuta käytetään niin tulee huomioida kaskadi- ja kiertotalousperiaatteet (esimerkiksi Euroopan komissio 2021b, s.3). Strategiassa myös

korostetaan, että lyhyen elinkaaren tuotteissa, kuten energiakäytössä, tulisi ensisijaisesti käyttää sellaisia biomassaeriä, jotka eivät käy pitkäikäisiin puumateriaaleihin ja puutuotteisiin.

Voidaan argumentoida, että resurssitehokkuutta tai biomassan käytön kaskadisuutta ei ainakaan toistaiseksi ole Suomessa veloitettu huomioimaan lainsäädännöllisesti, vaan toimijat ovat huomioineet sen markkinoilla sekä yritysten sisäisessä toiminnassa hinnoittelun kautta ja muulla tavoin.

Vuoden 2019 alusta Suomessa tuli kuitenkin voimaan laki järeän puun sähkön tuotantotuen rajauksesta (Energiavirasto, n.d). Tällä rajauksella pyritään estämään jalostukseen kelpaavan puun käyttö suoraan energiantuotannossa. Euroopassa on joissain maissa annettu teollisuudelle etuajo-oikeus biomassaan ja tätä varten on tehty lainsäädäntöön perustuva hallinnollinen järjestelmä (Olsson, 2016). Tämän järjestelmän voidaan katsoa olevan yksi tapa lisätä kaskadisuutta. Se myös muodostaa mallin toimijoille erilaisten biomassasierien erottelemiseksi todentamisessa. Näin lainsäädäntö muodostaa toimintamallin myös toimijoiden ohjausjärjestelmissä.

Samana tapaan ohjausta ovat esittäneet useat tahot, (esim. Suomen luonnonsuojeluliitto 2020, Koistinen 2020) esittäessään, että ns. ainespuun energiakäyttöä pitäisi verottaa ja sillä tavalla vähentää puun käyttöä energiantuotannossa tai hidastaa lisäkäyttöä. Asia on ollut esillä syksyllä 2021 Suomen hallituksen budjettiriihen yhteydessä (esim. Nurmi & Gråsten-Lahtinen, 2021)

1.5 Resurssitehokkuus biopolttoaineketjussa

Energiantuotannossa kaskadisuus voi vaikuttaa polttoaineen hankinnassa eri tavoin. Yhtenä esimerkkinä voidaan mainita Suomessa laajasti energiantuotannossa hyödynnettävän käytöstä poistetun puun käyttöä rajoittavan vaatimuksen, joka tulee EU:n jätedirektiivi ja sen toimeenpaneva valtioneuvoston asetus velvoittavat puun kierrätysasteen nostamiseen.

Tästä on aiheutunut, että osa aiemmin energiaksi käytettävästä käytöstä poistetusta puusta ei ole mahdollista enää käyttää. Epäselvää on kuitenkin, että miten tässä esimerkissä viranomaiset varmistavat, että näin kävisi.

Toisenlainen esimerkki on Sahateollisuuden esittämä huoli (Sahateollisuus ry, 2017), että sahauksessa syntyneet sivutuotteet ovat viime vuosien aikana kertyneet sahojen piholle ongelmaksi asti. Syyksi on esitetty, että metsähake on tukijärjestelmien takia liian kilpailukykyistä. Bioenergia-toimijat sen sijaan pitävät syynä yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotannon (CHP) kokonaismäärän vähentymistä ja siitä syntynyttä vähentynyttä biopolttoaineen tarvetta (Bioenergia ry, 2016).

Yksi tekijä syntyneessä muuttuneessa tilanteessa on, että aiemmin Suomessa on ollut enemmän puukuitulevytuotantoa, jolloin sivutuotteista merkittävämpi osuus on jalostettu rakennustuotteiksi. Toisaalta esimerkiksi pelletin tuotanto on kasvanut 2000-luvun alusta vuosittain (Luke, 2018a), käyttäen tällä hetkellä noin 500 000 tn sahojen sivutuotteita. Vastaavasti nestemäisten biopolttoaineiden sekä biohiilen tuotantoa puuperäisistä raaka-aineista suunnitellaan tai rakennetaan useilla paikkakunnilla (esimerkiksi Bioenergo, 2022; Nordfuel, 2022 ja Palomaa, 2019) , mikä vaikuttaisi metsäbiomassan markkinatilanteeseen merkittävästi. Bioperäisiä resursseja mahdollisesti lisäävästi vaikuttaa 2020-luvun loppuun mennessä käynnistyvät hiilidioksidin talteenottoa ja hyödyntämistä koskevat hankkeet, jotka (Rautkivi, 2022)

1.5.1 Perusteet ja mahdolliset tavat lisätä biomassan käytön kaskadisuutta

Biomassan käytön kaskadisuutta voidaan perustella useilla eri syillä. Näitä ovat muun muassa: tarve maksimoida raaka-aineesta saatava arvonlisäys, tehostaa raaka-aineen käytön tehokkuutta tai hillitä biomassan kokonaiskäyttöä eri syistä (Sokka, 2016).

Kullekin perustelulle on olemassa vahvat argumentit. Perusteluita saatetaan kuitenkin käyttää naamioimaan esimerkiksi raaka-ainemarkkinoiden kilpailutilanteeseen liittyviä intressejä.

Kaskadikäyttöä on mahdollista edistää politiikkatoimilla eri tavoilla. Investointi-, innovaatio ja muiden tuotekehitystuki hakumenettelyyn on mahdollista sisällyttää erilaisia ehtoja. Sama koskee tuotantotukia tai veroja. Edelleen vaihtoehtona on asettaa lainsäädäntöä, joka velvoittaisi kieltäisi ensi askeleen (neitseellisen) biomassan käyttöä tietyssä tarkoituksessa tai edellyttäisi käyttämään tietyn osan kierrätettyä materiaalia tuotannossa (Olsson, 2016).

Erilaiset politiikan interventiot voivat pienilläkin muutoksilla vaikuttaa markkinoihin merkittävästi. Osa tutkijoista arvioi, että raaka-aineiden hinnanmuodostus markkinoilla on paras tapa edistää kaskadisuutta (Olsson, 2016). Samalla he muistuttavat, että markkinoita ohjaavat tuki-instrumentit voivat vaikuttaa kaskadisuutta heikentävästi. Toiset tutkijat perustelevat, että kaskadisuuden edistämiseksi tulee ottaa käyttöön velvoittavaa lainsäädäntöä, jotta eri jakeet käytetään tehokkaimmin (Brunet-Navarro, 2018)

Vaikutus olisi merkittävin silloin, kun tietyllä biopohjaisella raaka-aineella on useita kilpailevia käyttötarkoituksia ja kyseistä raaka-ainetta on niukasti saatavilla kaikkiin käyttötarkoituksiin.

Velvoittava lainsäädäntö voi myös vaikuttaa biomassan tuontiin ja vientiin muuttaessaan toimintaedellytyksiä ja markkinahintoja (Olsson, 2016).

Raitanen ym. argumentoivat (2017, s.38), että kaskadiperiaatteen soveltamisella voidaan linkittää eri politiikkojen välillä keskenään ristiriitaisia tavoitteita. Suurempi kaskadivaiheiden määrä on heidän mukaansa suoraan yhteydessä ekologisiin hyötyihin, kun biomassa säilyy kaskadiportaissa pidempään ennen sen hyödyntämistä energiana. Näin se myös varastoi pidempään hiiltä ja edistää energiaintensiivisten uusiutumattomien materiaalien korvaamista biologisilla. Kirjoittajat myös esittävät kaskadikäytön vahvempaa käyttöönottoa Suomessa. Heidän mukaansa bioenergiaa ja laajemmin biotaloutta koskevissa politiikkalinjauksissa olisi syytä arvioida vaikutukset monimuotoisuuteen sekä hiilitaseeseen.

2 Metsäbiomassan käytön ohjaus Suomessa

2.1 Biomassan energiakäyttöä koskeva lainsäädäntö ja tuet

Metsälainsäädännön historia Suomessa ulottuu vuoteen 1886 asti, jolloin säädettiin ensimmäinen metsälaki estämään metsien hävitystä. (Maa- ja metsätalousministeriö, 2021c)

Suomessa on varsin kattava lainsäädäntö koskien metsätaloutta yleisesti. Lainsäädännön periaate on useimmiten, että velvoitteet eivät ota kantaa mihin käyttötarkoitukseen biomassa menee. Näinollen energiakäyttöön menevän metsäbiomassa täyttää yleistasolla samat vaatimukset, kuin sahalle tai selluntuotantoon päätyvät erät.

Suuresta osasta lainsäädännöstä vastaa Maa- ja metsätalousministeriö (MMM). Säädöksiä on koskien sekä metsien hoitoa ja käyttöä, metsiin liittyvää rahoitusta, puutavaran mittaamista, tuotteiden markkinoille saattamista sekä metsien terveyttä. (Maa- ja metsätalousministeriö, 2021b). Kestävän metsätalouden rahoitukseen myönnetään Metsäkeskuksen kautta Kemera-tukia, joissa osa tuista on spesifisesti suunnattu energiapuun tarjoannan lisäämiseen metsänhoitoa tehostamalla, kuten pienpuun korjuutuki. (Metsäkeskus, 2021)

Biomassan energiakäyttöä koskee uusiutuvan energian sektorilainsäädäntö ja yksityiskohtaisemmat lait, joita on Työ- ja elinkeinoministeriön (TEM) vastuulla. Näitä ovat esimerkiksi jakeluelvoitelainsäädäntö, biopolttoaineiden kestävyyslaki ym. Lisäksi TEM vastaa tuista energiantuotannolle, kuten sähkön tuotannon syöttötariffit sekä energialaitosten investointeihin myönnettävät tuet. Energiatukien käsittelystä vastaa Business Finland (2021). Energiatehokkuuslainsäädäntö sekä kestävä rahoituksen ehdot, kuten taksonomian kriteerit vaikuttavat epäsuorasti siihen, että minkälaiset hankkeet todennäköisemmin toteutuvat tai saavat paremmat ehdot toteutumislle.

Ely-keskus vastaa lisäksi MMM alaisista bioenergiainvestointeihin, kuten bioenergiakattiloihin, myönnettävistä tuista, joita maatilat voivat hakea maatalouden

investointituesta ja muut maaseudun yritykset maaseudun investointituesta. (Ruokavirasto 2021)

Ympäristöministeriön hallinnonalalla metsien käyttöä säätelee luonnonsuojelu- ja ympäristölainsäädäntö. Luonnonsuojelulain ja vesilain säädökset ovat esimerkkejä luonnonsuojelulainsäädännöstä. Biomassan polttolaitoksia koskevaa ympäristönsuojelulainsäädäntöä ovat pienten- ja suurten polttolaitosten päästöasetukset sekä laitosten luvitusta koskeva lainsäädäntö.

2.2 Hallinnollinen ohjaus

Biomassan käyttöä ylipäänsä ja bioenergiaksi ohjataan erilaisten strategioiden ja toimenpideohjelmien kautta. Tällaisia ovat esimerkiksi:

- Suomen Biotalousstrategia (Maa- ja metsätalousministeriö, 2021) [Biotalousstrategia - Maa- ja metsätalousministeriö \(mmm.fi\)](#)
- Maatalouden CAP-suunnitelma (Maa- ja metsätalousministeriö, 2021) [CAP27 - Maa- ja metsätalousministeriö \(mmm.fi\)](#)
- Kiertotalouden strateginen ohjelma (Ympäristöministeriö, 2021) [Kiertotalouden edistäminen - Ympäristöministeriö](#)
- Kansallinen metsästrategia [Kansallinen metsästrategia - Maa- ja metsätalousministeriö \(mmm.fi\)](#)
- Maankäyttösektorin ilmastosuunnitelma (Maa- ja metsätalousministeriö, 2021) [Maankäyttösektorin toimenpidekokonaisuus - Maa- ja metsätalousministeriö \(mmm.fi\)](#)
- Luonnon monimuotoisuuden suojelun ja kestäväen käytön strategia [Suomen biodiversiteettipolitiikka - Ympäristöministeriö](#)
- Energia- ja ilmastostrategiat (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2021) [Energia- ja ilmastostrategia - Työ- ja elinkeinoministeriön verkkopalvelu \(tem.fi\)](#)
- Keskipitkän aikavälin ilmastosuunnitelma (Ympäristöministeriö, 2021) [Keskipitkän aikavälin ilmastopolitiikan suunnitelma - Ympäristöministeriö](#)

2.3 Muut ohjauskeinot

2.3.1 Vapaaehtoiset markkinointimerkit

Yleisesti metsätuotteille on käytössä vapaaehtoiset, mutta laajasti käytössä olevat metsäsertifiointijärjestelmät, PEFC ja FSC. Molempien merkkien voimassa olevissa standardien kriteereissä viitataan myös energiakäyttöön ja niille asetetaan spesifejä kriteereitä, kuten miten paljonko tulee jättää energiakantoja voidaan enintään nostaa tai kuinka metsätähteiden korjuussa tulee huomioida metsään jäävien ravinteiden riittävyys.

Energiaksi hyödynnettäviä biomassoja myös koskee standardien yleiset kriteerit. (PEFC, 2014 ja FSC, 2012).

Vapaaehtoisia kestävyysertifiointijärjestelmiä on ollut käytössä nestemäisen ja kaasumaisen bioenergian osalta uusiutuvan energian direktiivin velvoittamana vuodesta 2009. Lisäksi kestävyysertifiointia on kehitetty osana yritysten vastuullisen osoittamista jo aiemmin, esimerkiksi ISCC ja SBP sertifikaatit. (Euroopan komissio, 2021c) Uusiutuvan energian direktiivin tuoreimman päivityksen, ns. RED2 direktiivin tultua hyväksytyksi 2018 myös kiinteän biomassan, kuten puun käyttöä ovat koskeneet direktiivin kestävyyskriteerit, jolloin niiden käyttö on EU-jäsenmaiden kansallisen toimeenpanon takarajan myötä tullut velvoittavaksi heinäkuusta 2021 alkaen (Maa- ja metsätalousministeriö, 2021d).

EKOenergia merkki on kansainvälinen ekoenergian markkinointiin tarkoitettu merkki, jota ylläpitävät ympäristöjärjestöt. EKOenergia merkin mukaista sähköä voi markkinoida tietyn ehdoin myös käyttäessä sähkön tuotannossa biomassaa. Kriteereistä resurssitehokkuuden näkökulmaa tuovat esille ainakin vaatimus yhteistuotannosta sekä 75 % vuosikeskiarvon ylittäminen. Voi myös arvioida, että 20 cm rinnanläpimitan ylittävien puiden käytön salliminen, silloin kun niille ei ole muuta teollista käyttöä johtuen juurikäävystä, on yhdenlainen käyttöhierarkian periaate. (EKOenergia, 2021)

2.3.2 Toimialojen suositukset

Tapio julkaisee ja uudistaa säännöllisesti metsänhoidon suosituksia eri toimenpiteille jaoteltuna. Energiapuun korjuu on mukana suosituksissa. Suositukset ovat nimensä mukaisesti suosituksia, mutta ne ohjaavat hankintasopimukseen kirjattuna toimenpiteitä. Suosituksissa resurssitehokkuus näyttäytyy varsinkin hakkuiden, kuljetuksen ja varastoinnin tehokkuuden optimoimisena ja hävikin minimoimisena. (Tapio, 2021)

Energiateollisuus ry ja Bioenergia ry ovat julkaisseet puupolttoaineiden hankintaa koskevan suosituksen 2021. (Energiateollisuus ry, 2021) Järjestöt suosittelevat kolmen asian huomioimista hankinnoissa, esimerkiksi hankintasopimuksien ehtoina:

1. Kestävän metsänhoidon toimien huomioimisen esimerkiksi metsänhoidon suosituksia, vapaaehtoisia sertifikaatteja ja Monimetsä-hankkeen toimintamallin käyttämisellä.
2. Lahopuiden lisäämistä metsissä lisäämällä osaamista muun muassa säästöpuiden ja kuolleiden maa- ja pystypuiden jättämisellä.
3. Biomassan alkuperän raportointi esimerkiksi yrityksen vastuullisuusraportoinnin osana tai muulla sopivalla tavalla.

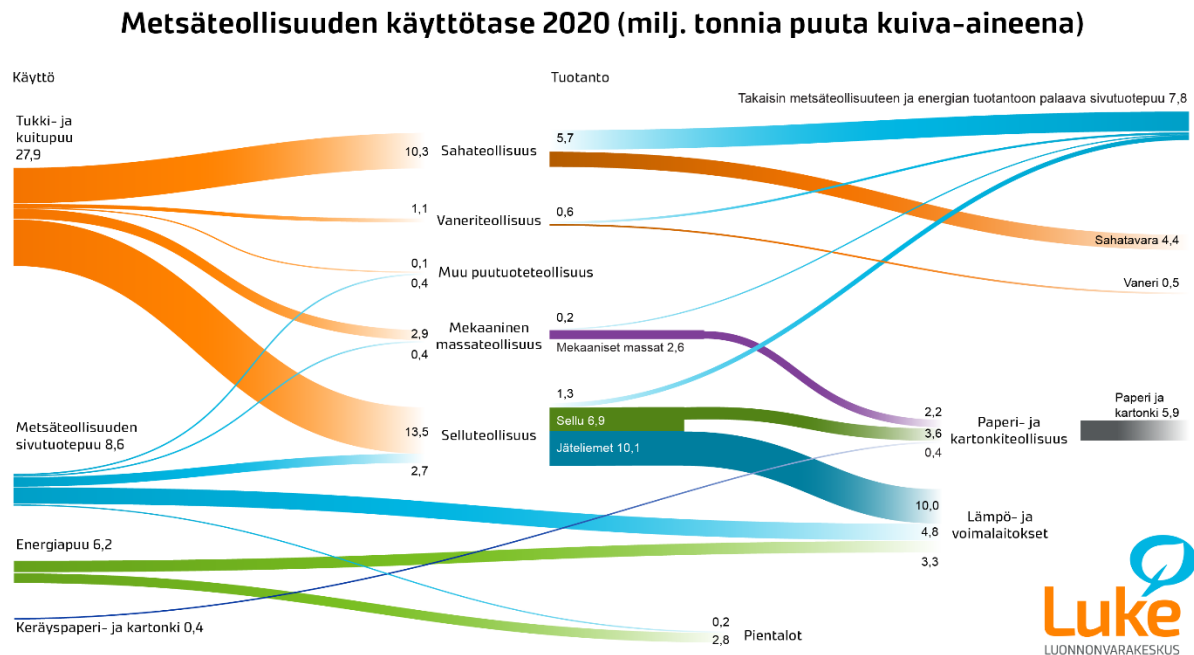
3 Metsäbiomassan käyttö Suomessa

Suomessa käytetään metsäperäistä biomassaa eli eri puujakeita vuosittain kymmeniä miljoonia kuutioita, joista yli puolet käytetään energiana (Luonnonvarakeskus, 2021b). Vuonna 2020 puun kokonaiskäyttö oli 36,8 miljoonaa kuiva-ainetonnia. Pääosa tästä on peräisin kotimaisista metsistä, mutta merkittävä osa perustuu myös tuontiin. 6,6 miljoonaa kuiva-ainetonnia on tuontiperäistä. Puuta vietiin vuonna 2020 erilaisina tuotteina 14,5 miljoonaa kuiva-ainetonnia.

Puun käyttötase-vuokaavio (kuva 1.) esittää puun liikkeitä metsästä suoraan metsäteollisuuteen ja energiakäyttöön sekä uudelleen kiertona teollisuudesta energiaksi. On tärkeä huomata, että vuokaaviossa puu on muunnettu kuiva-ainetonneiksi erittelemättä

virtoja eri jakeiksi. Energiantuotantoon päätyy monenlaatuista puuperäisiä jakeita: mekaanisesti eroteltu kuori, sahauksesta syntyneet puru ja katkontapätkät, metsätähteet ja kokopuu suoraan metsästä sekä suurimpana energiaeränä selluteollisuuden jäteliemet.

Kuva 1: Metsäteollisuuden käyttämän puun tase Suomessa 2020. Luonnonvarakeskus, 2021b.



3.1 Uusiutuva energia Suomessa

Suomen energian kokonaiskulutus vuonna 2020 oli 355 TWh, mistä uusiutuvilla energialähteillä tuotettiin 40 %. Puupolttoaineilla tuotettiin tästä eniten, 28 % kokonaiskulutuksesta. Lisäksi muut biopolttoaineet kattoivat noin 2 % (Tilastokeskus, 2021)

Suomi on edennyt uusiutuvan energian loppukulutuksesta lasketussa osuudessa EU-maista toiseksi suurimpaan osuuteen ja ylitti EU:n vuodelle 2020 asettaman uusiutuvan energian osuuden tavoitteensa, 38 prosenttia energian loppukulutuksesta vuodesta 2014 lähtien. (Maa- ja metsätalousministeriö, 2021)

3.2 Metsäperäinen energia

Tässä työssä tarkastelun kohteena valittiin määritelmäksi metsäperäinen energia. Käytetty määritelmä on osin päällekkäinen yleisemmin käytetyn metsäenergia-määritelmän kanssa. Yleisesti (esim. Metsäkeskus, StoraEnso ja UPM) puhutaan metsäenergiaan katsotaan kuuluvaksi myös metsäteollisuuden liemet, mutta ei kierrätyspuuta.

Osassa bioenergisektoria termi metsäperäinen energia on yleisesti käytössä ja ottaen huomioon tehtävän kyselyn suuntaus näille toimijoille päädyttiin sen käyttöön. Tässä työssä metsäperäinen polttoaine sisältää metsästä suoraan tai epäsuorasti metsä- ja puutuoteteollisuuden kautta tulevat kiinteät polttoaineet. Näin ollen siis pois lukien metsäteollisuuden jäteliemet, mutta sisältäen kierrätyspuun, joka polttoaineena on laajasti käytössä ja fyysisesti on usein käytössä rinnan metsäenergian kanssa.

Määritelmän rajauksessa on käytetty polttoaineluokitusta (Tilastokeskus 2021), minkä luokat 21.10, 21.20, 21.50 ja 21.60 määriteltiin kyselyssä kuuluvaksi metsäperäiseen energiaan.

Suomessa käytettiin lämpö- ja voimalaitoksissa vuonna 2019 metsäperäistä kiinteää biomassaa energiaksi yhteensä 20,5 miljoonaa kiintokuutiometriä, mikä energiasisältönä vastaa noin 39 TWh. Suurimmat erät tästä ovat metsäteollisuudessa syntyvät sivutuotteet kuori ja puru sekä energiakäyttöön erilaisista puueristä valmistettu metsähake (Luonnonvarakeskus, 2020).

Tilastossa tarkoitettuja lämpö- ja voimalaitoksia ovat noin 1300 – 1400 kiinteää biomassaa käyttävää laitosta eri puolilla Suomea. Näihin kuuluvat muun muassa kaukolämpö- ja sähköä sekä teollisuudelle energiaa tuottavat laitokset, lämpöyrittäjät, kasvihuoneet ja muut biomassaa käyttävät suuret laitokset. (Luonnonvarakeskus 2020).

Valtaosan energiaksi käytetystä metsäbiomassasta kuluttavat teholtaan suuremmat yhdistetyn sähkön- ja lämmöntuotanto (chp) laitokset ja ainoastaan lämpöä tuottavat laitokset kaukolämpöverkoissa. Näiden laitosten teholuokka on pääsääntöisesti 20 – 600 MW, joskin kaikki niissä käytettävä polttoaine ei ole bioenergiaa. (Energiateollisuus 2020).

Näiden suurempien bioenergiaa käyttävien laitosten lukumäärä Suomessa on noin 150 kpl (Työ- ja elinkeinoministeriö 2019)

Edellisiä pienempiä eli alle 20 MW lämpö- ja yhdistelmätuotannon laitoksia on määrällisesti suurempi osa bioenergiaa käyttävistä laitoksista, noin 130-150 kpl (Lindroos & Ekholm, 2014 s.28). Lisäksi Suomessa lämmitetään puulla kotitalouksissa noin 15 TWh verran käyttäen noin 7 Mm³ puuta. (Luonnonvarakeskus 2018b) Metsäteollisuus käyttää sellu- ja paperintuotannon jäteliemiä energiaksi yhteensä 46 TWh. (Luonnonvarakeskus 2020)

Käyttö vaihtelee maakunnittain suurimman käytön ollessa suurinta Keski-Suomen ja Etelä-Karjalan maakunnissa (noin 2 Mm³). Hyvin samalla tasolla käytössä ovat Uusimaa, Varsinais-Suomi, Pirkanmaa, Etelä-Savo, Satakunta, Lappi, Pohjois-Pohjanmaa, Pohjanmaa ja Kymenlaakso (noin 1,2 – 1,5 Mm³). (Luonnonvarakeskus 2020)

Energiantuotannossa käytetystä metsäbiomassasta tuontiperäistä on arvion (Bioenergia ry, 2020) mukaan noin 5,7 TWh eli reilu 14 % lämpö- ja voimalaitoksien käyttämästä.

3.2.1 Metsäperäisen energian ketju

Metsäenergiaa tuotetaan montaa kautta ja erilaisissa ketjuissa. Metsäenergian tuotantoketjuissa ja energiantuotannossa on useita satoja, mahdollisesti noin yritystä. (arvio perustuen Energiateollisuus ry, 2020; Bioenergia ry, 2021a ja 2021b sekä Koneyrittäjät, 2021) Tähän ei lasketa puuta myyviä metsänomistajia. Bioenergiaa tuottavat ensinnä metsäteollisuusyritykset oman tuotantonsa sivuvirtoina. Ne ovat myös suuria bioenergian käyttäjiä, jotka käyttävät sisäisiä virtoja yhden laitoksen tai useiden laitostensa välillä. Ylijäävät sivuvirrat metsäteollisuus myy energiayhtiöille.

Polttoaineketjussa toimii myös erityisesti metsäperäisiä raaka-aineita hankkivia yrityksiä, joilla voi olla alihankkijoita metsäpalveluyrityksissä tai puunkorjuuyrityksissä. Nämä yritykset toimivat useimmiten yrittäjävetoisesti urakoiden mm. metsäteollisuuden yrityksille, metsänhoitoyhdistyksille ja muille välittäjäyrityksille sekä suoraan biomassaa käyttäville energiayhtiöille.

Puunvälittäjäyritykset toimivat nimensä mukaisesti metsänomistajien, koneyritysten ja puuta tuotteiksi ja energiaksi jalostavien toimijoiden välimaastossa. Ne operoivat usein suurehkoja polttoaineterminalleja sekä tienvarsien polttoainetarastoja, joiden avulla pystytään varmistamaan polttoaineen toimitusvarmuus.

Suuren joukon yrityksiä muodostavat energialaitoksia omistavat ja niitä operoivat yritykset, joita on hyvin eri kokoisia. Pienimpiä ovat lämpöyrittäjävetoiset yritykset. Suurempia kunnallisesti omistetut energiayhtiöt ja valtakunnallisesti toimivat energiapalveluita tuottavat yhtiöt.

Lämpöyrittäjät ovat usein maa- ja metsätaloustaustaisten henkilöiden omistamia yhteisyrityksiä, jotka lämmittävät puu- ja turve-energialla kuntien, yritysten sekä yksityisten rakennuksia. Lämpöyrittäjien lämpölaitoksien koko vaihtelee tehona mitattuna muutamasta sadasta kilowatista enintään noin 5 MW asti. Lämpöyrittäjien polttoainehankinta perustuu monesti osakkaiden tai jäsenien omiin metsiin sekä toimintaalueen läheisiin muihin biomassalähteisiin. (Bioenergia ry, 2021b)

Kunnallisesti täysin tai merkittävin osin omistetut energiayhtiöt muodostavat suuren metsäperäisen energian käyttäjäryhmän. Näiden omistamat lämpö- ja voimalaitokset toimivat kattavasti ympäri Suomea ja ovat tehoiltaan noin 500 kW – 500 MW. (Energiateollisuus 2021a)

Energiantuotantolaitokset hankkivat metsäperäistä biomassaa erilaisilla tavoilla (Bioenergia, 2020b). Sivutuotteet, kuten puru ja kuori, tulee mekaanisesta metsäteollisuudesta. Näiden jakeiden saatavuus ja hinta riippuu metsäteollisuuden suhdanteista sekä suomeen sijoittuneen teollisuuden volyymin sekä sijainnista suhteessa energialaitukseen. Käytettyyn polttoaineeseen vaikuttaa moni asia tuo esille 90-luvulta asti bioenergialla toiminut toimialapäällikkö Tage Fredriksson. (T. Fredriksson, sähköposti 6.6.2020)

Sivutuotteiden lisäksi käytetään on eri raaka-aineista valmistettua metsähaketta (Kuva 2). Järeän runkopuun saatavuus riippuu myös osittain metsäteollisuudesta, sillä sitä syntyy hakkuiden ja varastoinnin yhteydessä laatuhyökkäysten seurauksena. Hakkuutähteiden, oksien

ja puun latvojen ja katkaisusta syntyneitä lumppien määrä riippuu tukkipuuhakkuiden määrästä Fredriksson kirjoittaa.

Fredrikssonin mukaan pienpuu puolestaan on jae, jonka määrää markkinoilla määrittelee kulloinkin tehtävien metsänhoitotoimien määrä. Taimikonhoidosta ja varsinkin ensiharvennuksista syntyy hänen mukaansa merkittävä puuenergian lisäyspotentiaali, sillä metsänhoitoa on rästissä arvioiden mukaan noin 800 000 hehtaarin alalla.

Edellisten lisäksi Suomessa käytetään energiaksi myös puiden kantoja. Kantojen energiakäytön taso Suomessa on ollut viime vuosina noin 300 000 m³, mikä vastaa noin 3 % puupolttoaineiden käytöstä. (Luonnonvarakeskus, 2020) Kannoista saadaan energiaa 120 – 200 MWh hehtaarilta. Kantoja käytetään muutamassa suuremmassa käyttökohteessa ja sen merkitys on erityisesti polttoaineen toimitusvarmuuden turvaaminen. (Bioenergia ry, 2019)

Puun loppukäyttö määräytyy riippuen monesta tekijästä Fredriksson kirjoittaa.

Metsänomistajan tehdessä puukaupan, ei myytävien puuerien loppukäyttökohteet ole täysin tiedossa. Puulajilla on merkityksensä, sillä varsinkin lehtipuilla on rajoitetusti jalostuksellista käyttöä Suomessa. Hän painottaa, että alueellinen sijainti ja kulloisen hetken markkinatilanne eri jalostuslaitoksilla, hakkuuleimikon saannot, hakkuun kiireellisyys ja moni muu asia vaikuttaa myyntipäätöksiin ja sitä kautta puun loppukäyttökohteeseen.

Puuenergiaketjun toimijoilla on erilaisia toiminnanohjausjärjestelmiä, joiden avulla voidaan välittää tietoa muun muassa biomassan alkuperästä ja muista ominaisuuksista, kuten metsäsertifionnista. (esim Metsälehti, 2021) Järjestelmässä kulkee tieto puun alkuperästä sekä tietoja hakkuualan ominaisuuksista. Näitä järjestelmiä voidaan käyttää päätöksenteon, raportoinnin sekä viranomaisvaatimusten täyttymisen osoittamiseen. Uusiutuvan energian direktiivin kestävyyskriteerien osoittaminen on yksi tarve, joihin näitä järjestelmiä tullaan hyödyntämään.

3.2.2 Metsäperäisen energian hankintatavat

Nykyään harvat energiayritykset omistavat itse metsiä, joista biomassasta tulee niiden käyttöön. Lähes kaikki energiayritysten hankkima puu tulee metsänomistajien omistamilta metsänhoitoyhdistyksiltä, metsäteollisuusyrityksiltä, Metsähallitukselta tai yksityisiltä puunhankintayhtiöiltä. (Nummelin 2014 & Fredriksson, 2020)

Polttoaineiden hankintaketjuun kuuluu metsänomistajan jälkeen ennen energialaitoksia useita toimijoita, jotka kaikki voivat olla eri yrityksiä: korjuu, haketus, kaukokuljetus, polttoaineen välittäjä ja polttoaineen myyjä. (Metla, 2014)

Metsäteollisuudessa tähteet kulkevat usein melko suoraviivaisesti niiden syntypaikasta loppukäyttäjälle. Sen sijaan raakapuun mukana syntyvät sivuvirrat, kuten matalalaatuinen ranka voi päätyä erillisen hakettajan tai muun toimijan kautta energiayhtiölle.

Metsähakkeen liiketoiminnassa voidaan määritellä ainakin neljä erilaista arvoketjua riippuen miten energiayhtiö hankkii polttoaineen: tienvarteen toimitettuna, siiloon toimitettuna, välittäjä (esim Metsänhoitoyhdistykset) organisoimalla hankintapalvelun sekä energiayhtiö ostaa pystykauppana ja organisoimalla hankinnan itse (Nummelin, 2014)

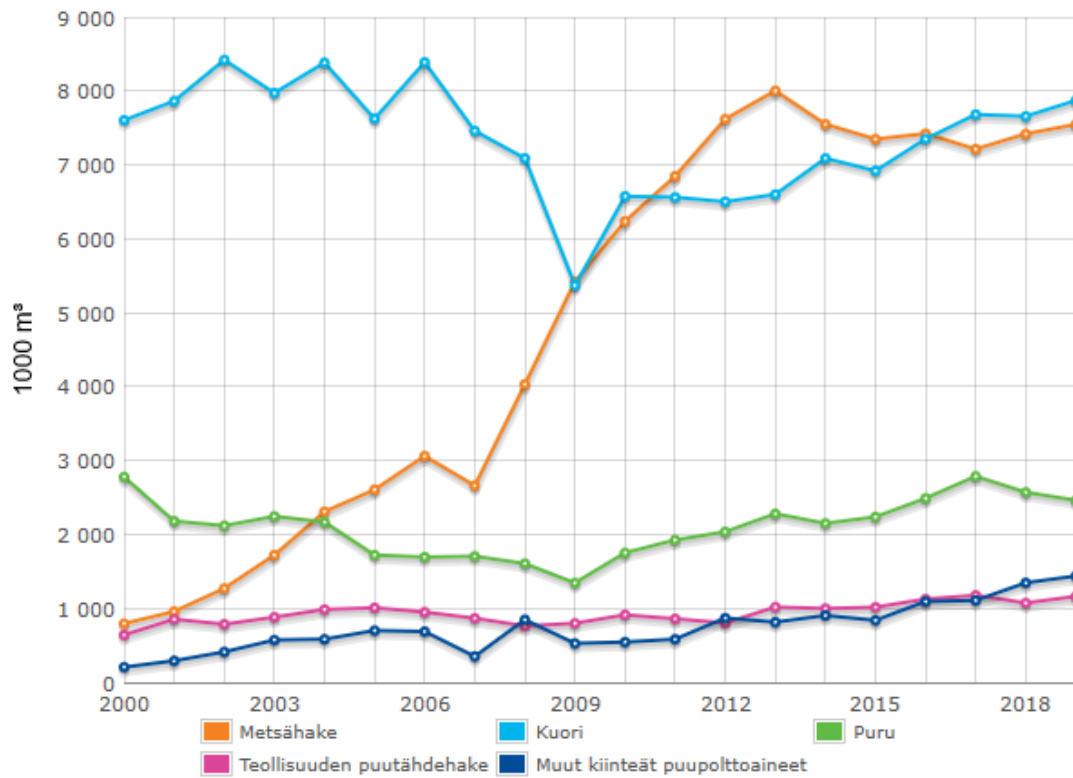
Vuonna 2012 hankinnoista noin 60 % oli suoraan hakkeena varastoon siiloon toimitettuna. Toimittajia oli alle 125 000 m³ käyttävissä yhtiöissä keskimäärin 1-2 kun sen ylittävissä 5 -8 kpl. (Nummelin, 2014). Hankinta-alue laitoksilla on yli 80 %:ssa tapauksista alle 100 km etäisyydellä laitoksesta ja yli 50 % alle 60 km (Kurki, 2012).

Hakkeen hankinnassa ollaan joissain hieman suuremmissa laitoksissa siirtymässä käyttämään myös niin sanottu tuorehaketta eli hiljattain kaadetusta rangasta valmistettua polttoainetta. Tuorehakkeen käyttö vaatii laitokselta savukaasun lämmön lauhdutusta ja lämmön talteenottoa. Tuorehakkeen hankintaketjun ajallinen kesto harvennushakkuusta käyttöön on joitain viikkoja. (Autio, 2017)

Ne energialaitokset, jotka tuottavat sähköä ja saavat sen tuotantoon tuotantotukea ovat tuottaneet ja vaatineet polttoainetoimittajia tuottamaan puun alkuperää koskevaa tietoa

2019 alusta lähtien. (Energiavirasto 2020). Tätä varten on puunhankintayhtiöt kehittäneet seuranta- ja todentamijärjestelmiä, joilla voidaan seurata massataseperiaatteella puuenergian ominaisuuksia.

Kuva 2. Kiinteiden puupolttoaineiden käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa puupolttoainelajeittain. Luonnonvarakeskus, 2020a.



Vastaava järjestelmä tarvitaan osoittamaan käytettävän kiinteän biomassan kestävyyskriteerien täyttymisen uusiutuvan energian direktiivin (REDII) mukaisesti, mikäli kyse on yli 20 MW laitoksesta. Metsäbiomassasta valmistettujen biopolttoaineiden kohdalla kokoluokkarajaa ei ole. Laitoksien tulee myös osoittaa saavuttavansa elinkaarilaskennan mukaan vähimmäisvaatimukset kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä verrattuna fossiilisiin verrokkeihin nähden. (Valtioneuvosto, 2020).

3.2.3 Näkymiä metsäperäisen biomassaan liittyen

Suomessa on noin 800 0000 hehtaaria metsiä, joissa tulisi metsänhoitosuunnitelman mukaisesti viipymättä suorittaa taimikonhoitotoimia tai ensiharvennusta, jotta puiden kasvu ja terveys pysyisi hyvällä tasolla. (Luonnonvarakeskus, 2017). Näistä harvennuksista kerätään pienen läpimitan kokopuurunkoja, joille ei ole näköpiirissä muuta jalostuskäyttöä varsinkaan lehtipuiden ollessa kyseessä.

Biomassan käytölle muuhun kuin energiatarkoitukseen on kasvavat näkymät. Tämä näkyy teollisuuden 2019-2020 tekemissä vähähiilitiekartoissa. Kolmetoista eri teollisuudenalaa tekivät niin sanottuja vähähiilisen tulevaisuuden tiekarttoja Työ- ja elinkeinoministeriön vetämässä hankkeessa. Tiekarttojen tavoitteena oli hahmotella miten teollisuudenalat osaltaan vaikuttavat Suomen hallituksen tavoitteeseen saavuttaa hiilineutraali yhteiskunta vuoteen 2035 mennessä. (Paloneva & Takamäki, 2020)

Teollisuuden alat valmistelivat tiekarttansa itsenäisesti, vaikkakin hankkeen aikana oli järjestetty yhteisiä seminaareja. Valmiissa tiekartoissa teollisuuden aloista metsä-, saha-, energia- ja kemianteollisuus kaavailevat biomassalle merkittävää kasvavaa roolia heidän raaka-aine- ja tuotepohjassaan.

Koska tiekartat tehtiin erillisinä hankkeina eikä niitä varsinaisesti yhteensovitettu, on niissä esitetty biomassan kokonaistarve korkea. BIOS-tutkimusyhteisö kritisoi (Majava & Vaden, 2020), että tiekartoissa yhteenlaskettu biomassan tarve olisi jopa puuksi laskettuna 150 Mm³, mikä ylittää reilusti Suomen vuosittaisen kasvun myös tulevana vuosinäkymän. BIOS näkee, että vaikka osa tästä tarpeesta täytettäisiin tuontibiomassalla, on kokonaiskäyttömäärä muut rajoitteet, kuten monimuotoisuuden turvaamisen ja hiilinielut huomioon ottaen kestävä.

Uuden näkymän teollisuuden raaka-ainehuoltoon piirtää lähivuosina esiin nousnut hiilidioksidin hyötykäyttö. Hiilidioksidi voidaan ottaa eri tekniikoilla käyttöön savukaasuista tai esimerkiksi biokaasulaitoksen raakakaasusta. Kun kyse on biomassasta peräisin olevasta hiilidioksidista, puhutaan biogeenisestä hiilidioksidista. Hiilidioksidia voidaan syntetisoida kemiallisesti vedyn kanssa ja saada aikaan hiilivetyjä käytettäväksi edelleen

kemianteollisuuden raaka-aineina tai esimerkiksi liikenteen polttoaineina. Jos käytetään biogeenistä hiilidioksidia ja uusiutuvalla energialla tuotettua vetyä on tuotettu hiilivety laskennallisesti lähellä nollapäästöisyyttä. Suomessa syntyy pistemäisesti ja siten verrattain kustannustehokkaasti talteenotettavaa biogeenistä hiilidioksidia noin 20 Mtn vuositason metsä- ja energiateollisuuden laitoksissa (Rosa ym, 2021). Tämä vastaa puuksi muutettuna noin 10 miljoonaa kuutiota (Puutuoteteollisuus ry, n.a). Mikäli biomassasta syntynyt hiilidioksidi otetaan talteen ja sitä käytetään uudestaan synteettisten polttoaineiden tai materiaalin raaka-aineena, syntyy hiilelle uusi käyttökerta-aste.

Samaan aikaan hiilidioksiteknologioiden esiin nousun kanssa on hiilen varastointi pysyvään muotoon jalostetun biopohjaisen hiilen eli biohiilen kautta syntymässä toimialana. Biohiiltä voi valmistaa monenlaisesta biomassasta ja sen käyttöä hyvin monenlaisissa tuotteissa tutkitaan. Tällaisia käyttötarkoituksia ovat esimerkiksi rakennustuotteet, maatalous ja vesiensuojelu (Suomen Biohiiliyhdistys ry, 2021) Biohiilen globaali potentiaali pitkäaikaisen hiilen varastoinnissa arvioidaan olevan gigatonniluokassa (Fuss ym, 2018). Euroopan biohiilimarkkinoiden arvioidaan (European Biochar Industry Consortium, 2021) kasvavan nopeasti ja voivan tuottaa teknisesti käytettävää tai varastoitavaa biohiiltä 10 Mtn vuonna 2030 ja jopa 250 Mtn vuoteen 2035 mennessä.

Biohiilen tuotannon pyrolyysissä noin puolet biomassan hiilestä sitoutuu pysyväksi hiileksi ja toinen puoli synteetikaasuiksi sekä pyrolyysiöljyiksi ja lämmöksi. Biohiili voi osaltaan vaikuttaa siihen, että varsinkin matala-arvoisempia biomassajakeita voi käyttää laajemmin ja samalla tuottaa osasta materiaalia energiaa tai raaka-aineita jatkojalostukseen.

Metsäbiomassan käytöstä ilmastovaikutuksesta käydään säännöllisesti julkista keskustelua, kun varsinkin EU:ssa valmistellaan lainsäädäntöä. 2010-luvulla tehtiin paljon kansainvälisesti ja Suomessa tutkimusta metsäperäisen bioenergian ilmastovaikutuksesta. Tutkimuksessa on nähtävissä kaksi päänäkemyistä. Toisen mukaan bioenergian vaikutusten arvioinnissa tulisi painottaa hiilivelkaa ja menetettyä hiilinielua ja siksi suurin osa bioenergiasta tulisi katsoa kestäättömäksi (EASAC, 2021). Toisen päänäkemyksen (IEA Bioenergy, 2021) edustajat puolestaan painottavat metsätalouden sekä viljellyn biomassan dynaamista vaikutusta hiilivirtoihin ja nettohiilensidonnan merkitystä.

Kansainvälinen ilmastopaneeli IPCC on maailman hallitusten välinen asiantuntijaelin, joka säännöllisten ilmastoraporttien lisäksi tuottaa kansainvälisten ilmastopöytäkirjojen raportoinnissa käytettävät laskentasäännöt. Näitä laskentasääntöjä on viimeksi päivitetty vuonna 2019, missä yhteydessä pääperiaatteita bioenergian laskentasäännöistä ei muutettu. Säännöt ovat olleet samat ensimmäisistä ohjeista vuodelta 1995 lähtien (IPCC, 2019).

EU:n uusiutuvan energian direktiivin tuoreimman päivitysesityksen yhteydessä toukokuussa 2022 Euroopan parlamentin ympäristövaliokunta hyväksyi äänestyksessä muutosesityksiä (Romano & Taylor, 2022), jotka eriyttäisivät suhtautumista metsäperäiseen bioenergiaan sen perusteella, että onko kyseessä suoraan metsästä peräisin oleva primäärinen biomassa vai metsäteollisuuden jalostuksen yhteydessä syntynyt sivuvirta. Valiokunta eväisi muutamia poikkeuksia lukuunottamatta primääriseltä biomassalta kestävyysstatuksen, mikä tarkoittaisi, että sitä osaa tuotetusta energiasta ei hyväksyttäisi lämpöteholtaan yli 7,5 MW bioenergialaitoksissa tuettavaksi eikä laskettavaksi uusiutuvan energian laskennan piiriin jäsenmaissa. Lisäksi laitoksen tulisi hankkia päästökaupan piirissä tällaisen biomassan käytöstä päästöoikeuksia.

3.3 Metsäperäisen energian tuhka ja sen käyttö

Suomessa syntyy metsätalouden- ja energiatuotannon laitoksissa yhteensä noin 600 000 tonnia turve- ja puupohjaista tuhkaa. Tuhka sisältää metsän kasvulle eduksi olevia ravinteita. Tuhkaa voidaan käyttää myös osana metsäautoteiden rakentamisen materiaaleista. Metsäyhtiö UPM on kehittänyt menetelmän tuhkan käyttämiseksi korvaamaan paperintuotannossa käytettävää kalsiumkarbonaattia (Arnkil ym, 2020).

Rakeistettuna tuhkaa voitaisiin käyttää myös jätevedenpuhdistamoissa adsorptiomateriaalina (Karvonen ym, 2012). Tuhkaa voi myös jalostaa erottelemalla eli fraktioimalla siitä arvoaineita. Tämän osalta tutkimus ja tuotekehitys on vielä vaiheessa, mutta tulokset osoittavat jo mahdollisuudet tämänsuuntaiselle kehitykselle. (Jokiniemi ym, 2019)

Energialaitoksissa tuhka kerätään talteen kuivatuhkana pienemmissä laitoksista ja savukaasun puhdistusjärjestelmistä. Valtaosassa laitoksista, varsinkin suuremmissa, tuhka otetaan märkänä talteen kattiloista. Tuhkaa on levitetty irtotavarana pienemmistä lämpöyrittäjäkokoluokan laitoksista omiin metsiin, mutta jalostamattoma tuhka on paljolti ohjautunut infrarakentamiseen tienpohjiksi ja myös kaatopaikoille läjitykseen. (Arnkil ym, 2020)

Vaikka Suomessa on 1990-luvulta lähtien ollut jo kohtuullisen paljon puu- ja turveperäisiä tuhkia on tuhkan hyötykäyttöä hidastanut tuotteistamisen puute ja erityisesti tuhkien jalostaminen helpommin käytettäväksi. (Arnkil ym, 2020)

Tuhkia voidaan rakeistaa pölyämättömiksi ja helpommin annosteltaviksi. Tuhkia voidaan sekoittaa muiden ravinnelähteiden kanssa saaden ravinteisuuden kannalta käytettävälle kasville (puulle) sopiva valmiste. Tällaisia jalostetumpia tuotteita valmistamaan on syntynyt muutamien viime vuosien aikana useita yrityksiä. Näistä voi mainita esimerkiksi Ecolan Oy, Rakeistus Oy ja BioA Oy.

3.3.1 Tuhkan käyttö metsissä osana kiertotaloutta

Tuhkan käyttö metsien lannoituksessa voidaan nähdä yhtenä kiertotalouden osana, kun tuhka palautetaan metsiin. Tuhkan käytöllä voidaan voimistaa metsän kasvua varsinkin turvepohjaisissa metsissä, missä korkea typpipitoisuus suhteessa matalaan fosforin ja kaliumin pitoisuuteen muodostaa rajoittavaksi kasvutekijäksi. Erityisesti puutuhka vaikuttaa muutamassa vuodessa voimakkaasti kasvua edistävänä ja sen kasvua lisäävä vaikutus näkyy 20 – 50 vuoden ajan. Tuhkalannoitteen kasvuvaikeus on hitaampi, kuin kemiallisesti valmistetuilla PK-lannoitteilla, mutta pidemmällä ajalla yhtä hyvä. (Huotari, 2012)

Kivennäismaapitoisemmissa kangasmetsissä tuhkan lannoittava vaikutus ei ole merkittävä, joskin tuhkalannoitus voi auttaa boorin puutostilaan. (Huotari, 2012)

Tuhkaa käytetään tällä hetkellä noin 10 000 metsähehtaarin lannoituksen osana. Kaikkiaan metsiä lannoitetaan vuosittain 45 – 60 000 ha alalla. Tuhkaa levitetään ilmasta helikopterilla

ja maasta käsin metsätraktorilla tai maatalouskalustolla. (Arnkil ym, 2020) Puuston ravinnetilasta riippuen tuhkalannoitus voidaan joutua tekemään kahteen kertaan (Huotari, 2012)

4 Tutkimus resurssitehokkuudesta metsäperäisen bioenergian tuotannossa

4.1 Tutkimuksen lähtökohdat

Tämän tutkimuksen tavoite oli selvittää onko energiantuotannossa käytettävän metsäperäisen biomassan resurssitehokkuuteen muodostunut erottuvia toimintamalleja. Lisäksi haluttiin tuoda esiin eri toimijoiden näkemyksiä, kuinka metsäperäisen biomassan käyttöä tulisi – jos tulisi -hallinnollisesti ohjata.

Kiinnostus tutkimukseen heräsi puun kaskadikäyttöä koskevasta keskustelusta eurooppalaisella tasolla. Joissain maissa on ollut aikaisemmin tai on käytössä nykyään lainsäädäntöä, jolla hallinnollisesti veloitetaan käyttämään biomassaa jossain tietyssä teollisessa kohteessa energiakäytön sijaan. Kaskadisuus on ainoastaan yksi tapa ottaa kantaa resurssitehokkuuteen ja tutkimuksen laajentaminen koskemaan laajemmin resurssitehokkuutta vaikutti kattavammalta ja mielekkäämmältä. Tällöin ei suljeta resurssitehokkuutta yhteen arviointitapaan.

On syytä todeta, että resurssitehokkuudelle ei ole yksiselitteistä määritelmää. Sitä voidaan katsoa eri lailla riippuen onko kyseinen toimija energiantuottaja tai joku muu yhteiskunnan toimija. Oletuksena oli, että tutkimalla energiantuottajien näkemyksien lisäksi hallinnon virkahenkilöiden sekä ympäristöjärjestöjen näkemyksiä saadaan erilaisia näkökulmia.

Energiantuottajat käyttävät biomassaa ja voivat sekä omalla suoralla toiminnallaan että biomassan hankintasopimuksia tekemällä ohjata polttoaineketjua ja vaikuttaa resurssien käytön eri valintoihin. Virkahenkilöt keskeisissä ministeriöissä sekä toimivat viranomaiset puolestaan ohjaavat biomassan käyttöä lainsäädännön antamissa rajoissa. Virkahenkilöt toisaalta ovat myös neuvottelemassa EU-tasolla tehtävistä päätöksistä. Heillä on virkatehtävänsä kautta muodostunut käsitys siitä, että minkälaista ohjaamista on tarpeen

tehdä politiikan tavoitteiden saavuttamiseksi. Lisäksi heillä saattaa olla näkemys käytännön ohjaustoimien toimeenpanon näkökulmasta käsitys minkälainen tapa olisi mahdollista tai tavoiteltavaa.

Ympäristöjärjestöt puolestaan tuovat esiin biomassaa koskevia ja usein energiantuottajia haastavia näkemyksiä. Ne painottavat suojelunäkemyksiä ja pyrkivät toiminnallaan vaikuttamaan kotimaiseen ja EU-päätöksentekoon.

Tutkimukselle johdettiin tutkimustavoitteen pohjalta yksityiskohtaisemmat tutkimuskysymykset:

1. Miten biomassan resurssitehokkuus käsitetään energiantuotannossa ja minkälaisia huomioivia toimintamalleja tai menetelmiä toimijoilla on olemassa tai käytettävänä?
2. Mitkä menetelmät voisivat soveltua resurssitehokkuuden mittaamiseen ja osoittamiseen hallinnossa ja operatiivisella tasolla energiantuotannossa Suomessa?
3. Miten energiantuotannon ulkopuoliset toimijat, kuten virkahenkilöt ja kansalaisjärjestöjen edustajat näkevät resurssitehokkuuden vaatimuksen bioenergian tuotannossa?

Tutkimus rajattiin koskemaan Suomea siltä osin kuin selvitetään toimijoiden näkemyksiä ja toimintamalleja. Biomassaa kuitenkin tuodaan Suomeen merkittävästi – suoraan ja sivuvirtojen kautta – käytettäväksi bioenergiana, joten siltä osin myös tutkittiin näkemyksiä ja mahdollisia eroja tuontibiomassan osalta.

Tutkimuskohteet rajattiin tässä tutkimuksessa koskemaan ensisijaisesti lämmön- ja sähköntuotantoa sekä liikenteen biopoltonesteitä metsäperäisellä biomassalla. Rajaus oli tarpeen asian moniulotteisuuden ja toimijoiden erilaisen luonteen takia.

Työ pohjautuu teoreettisesti (1) neitseellisen biomassan, sivuvirtojen ja jalosteiden käyttöön liittyvään osaamiseen sekä tutkimukseen Suomessa (2) bioenergian tuotanto- ja käyttöketjuun liittyviin käytäntöihin sekä toimijoiden omiin toiminnanohjausjärjestelmiin (3) toimijoita ohjaavaan viranomaishallinnointiin (4) valmisteilla olevaan kansalliseen sekä EU-lainsäädäntöön.

4.2 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusmenetelmäksi aiheelle, josta ei ole aiemmin vakiintuneita näkemyksiä tai halutaan saada ison joukon näkemys kutsumatta asiantuntijoita paikan päälle sopii delfoi-menetelmä. (Kuusi, 2014). Delfoi sopii hyvin yhteiskunnallisiin teemoihin, joihin liittyy yhteiskunnallista ja teknologista kehitystä ja hallinnollisten tavoitteiden muotoilua. Menetelmän etuna on vastaajien anonymiteetin turvaaminen, mikä on hyvä koska tutkimus liittyy yritysten liiketoimintaan.

Delfoi-tutkimusmenetelmä valittiin, koska yrityksissä olevista käsityksistä sekä mahdollisesti käytössä olevista resurssitehokkuuteen liittyvistä toimintamalleista ei ole aiemmin julkaistu tutkimusta. Delfoin ensimmäisellä kierroksella arvioitiin voitavan luodata esiin erilaisia tapoja ajatella resurssitehokkuudesta. Toisella kierroksella tehtävällä kyselyllä näiden näkemysten yleisyyttä voisi edelleen testata. Anonyymillä vastausmahdollisuudella arvioitiin saatavan kattavammin vastauksia.

Toisessa osan tutkimusta tehtiin virkahenkilöille ja kansalaisjärjestöjen edustajille haastattelu tehtiin puoliavoimena haastatteluna. Tutkimustapa valittiin, jotta vastaukset eivät ole sidottuja toimijoilta saatuihin käsityksiin, vaan vastaajat voivat tuoda esiin poikkeaviakin näkökohtia. Toisaalta haastatteluilla haluttiin testata virkahenkilöiden ja järjestöjen edustajien eroja ja yhteneväisyyksiä energiatuottajien esittämien näkemysten kanssa.

4.3 Tutkimuksen toteutus

Ennen asiantuntijapaneelivaihetta muodostettiin Delfoi-käsitteistön kaltainen tutkimusryhmä, joka arvioi kyselylomakkeen toimivuuden sekä paneeliin kutsuttavien yritysten kattavuuden. Ryhmään pyydettiin edustajat HAMK:sta, Energiateollisuus ry:stä, Bioenergia ry:stä, Maa- ja metsätaloustuottajien keskusliitosta ja L&T Biowatista. (Liite 1) Tutkimusryhmä arvioi elo-syyskuussa 2020 etäkokouksessa ja sähköpostilla kysymyslomakkeen luonnosta ja arvion perusteella lomakkeeseen tehtiin muutoksia.

Tutkimus toteutettiin kyselytutkimuksena lämpöä ja sähköä bioenergiana tuottaville suomalaisyrityksille puolistrukturoituna haastatteluna. Yritykset valittiin Energiateollisuus ry:n ja Bioenergia ry:n jäsenyritysten joukosta sekä edellisiin kuulumattomista kunnallisista energiayrityksistä. Paneeliin valittiin 144 yritystä maantieteellisesti koko Suomesta ja edustaen eri kokoisia yrityksiä.

Kysely toteutettiin Webropol-verkkolomakkeella. Kyselyn ensimmäisen vaiheen osassa oli yhteensä 20 kysymystä (liite 2). Lomake ohjasi vastaamaan perustietokysymysten perusteella vain osaan kysymyksistä sen mukaan, mitä polttoaineita yritys kertoi käyttävänsä.

Perustietoina vastaajilta kysyttiin ensinnä vastaajasta ja yrityksestä tietoja, joiden perusteella voitiin arvioida onko vastauksissa eroa riippuen vastaajan maantieteellisestä sijainnista (maakunnan tarkkuus) tai yrityksen koon perustella. Toisaalta perusosassa oli myös kysymyksiä polttoainehankinnasta: käytetyt polttoainejakeet, keskimääräisistä hankintaetäisyyksistä ja lähitulevaisuuden näkymistä puupolttoaineiden käytöstä yrityksessä.

Ensimmäinen paneelin kysely toteutettiin 6.-16.10.2020 Vastaajia oli 23 kpl.

Toiseen kyselyyn muotoiltiin kysymykset (liite 3) ensimmäisen kyselyn vahvimmin esiin nousseista näkemyksistä resurssitehokkuudesta ja kaskadikäytöstä. Selkeimmin esiin nousseet teemoja havainnoillistamaan syötettiin vastausten vapaasanaosiossa olleet sanat verkossa saatavilla olevaan sanageneraattoriin, joka kuvallistaa yleisimmät sanat (kuva 3).

Kysely lähetettiin samoille yrityksille, kuin ensimmäisen kierroksenkin kysely. Lomake rakennettiin niin, että vastauksista saatiin selville oliko vastaaja vastannut ensimmäisen kyselyyn. Toisen kyselyn alussa kerättiin samat perustiedot kuin ensimmäisenkin alussa, mikäli vastaaja ei ollut vastannut ensimmäiseen kyselyyn.

Toiseen kyselyyn saatiin 24 vastausta, joista 6 kpl oli uusia vastaajia. Molempiin kyselyihin vastasi siis 18 samaa vastaajaa ja näkemyksiä saatiin yhteensä 30 eri yritykseltä.

4.4 Aineiston käsittely

Paneelin vastaukset tuotiin webropolista excel-tiedostoina, molemmat kyselykierroksen kysymykset erillisinä tiedostoina. Kvantitatiivisista kyselyn kysymyksistä muodostettiin kohdassa 4.5.1 koostetut tulokset.

Avoimia tekstikenttiä sisältävistä kysymyksistä muodostettiin sanalista, missä vapaamuotoisista palautteista muodostettiin jokaiselle riville lyhyet lauseet. Mikäli usean vastaajan palautteessa oli samaa tarkoitettavia asioita, mutta hieman eri sanalla tai sanamuodolla ne yhdenmukaisestettiin samoiksi sanoiksi tai sanaketjuksi. Lisäksi poistettiin täytesanat, kuten prepositiot. Jäljelle jääneet sanat syötettiin verkkoselaimella toimivaan WordItOut-palveluun, mikä muodosti sanojen yleisyyden perusteella niistä sanapilvikuvan (kuva 4.)

4.5 Tutkimuksen tulokset

4.5.1 Paneelikyselyn tulokset

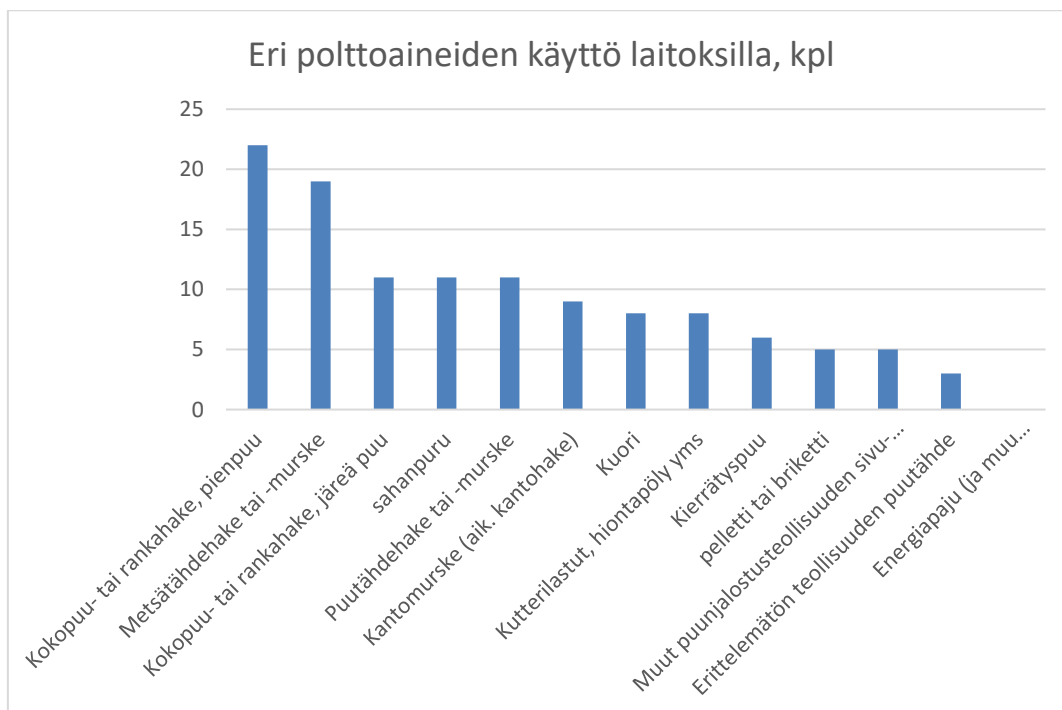
Vastaajien taustatiedot

Vastaajien yritykset toimivat lähes kaikissa Suomen maakunnissa. Puuttuvia maakunta olivat Ahvenanmaa, Etelä-Karjala, Etelä-Savo ja Päijät-Häme.

Yrityksen energiantuotannon kokonaismäärä vaihteli vastaajilla merkittävästi. 10 % vastaajista tuotti 0 – 5 GWh/a energiaa, kun taas 20 % tuotti yli 500 GWh/a. Yleisin tuotantomäärä vastaajilla oli luokassa 5 – 50 GWh, joita oli 40 % vastaajista.

Vastaajien käyttämiä biomassajakeita kysyttiin perustuen Tilastokeskuksen luokitteluun soveltuvin osin (Tilastokeskus, 2020) ja liite 2. Vastausten perusteella lähes kaikki (93 %) käyttivät pienpuusta valmistettua haketta, seuraavaksi eniten (77%) metsätähteestä valmistettua haketta tai mursketta.

Kuva 3. Käytettyjen polttoaineiden yleisyys vastanneilla laitoksilla.



Metsäpolttoaineiden yhteenlaskettu osuus vastaajilla on keskiarvona 69 % ja mediaani 75 % koko energiantuotannossa käytetyistä polttoaineista. Tuontiperäisiä biopolttoaineita käyttävät 33 % vastaajista satunnaisia eriä tai suunnitellusti vain pienen osan.

Metsäpolttoaineet hankitaan puolella yrityksistä alle 50 km etäisyydellä käyttökohteesta ja yhtä lukuunottamatta alle 150 km etäisyydellä. Metsäteollisuuden sivutuotteiden osalta 60 % tulee alle 50 km päästä ja yhtä lukuunottamatta alle 150 etäisyydeltä.

Vastaajista 62 % kokee, että jalostavan teollisuuden kanssa ei ole lainkaan tai juurikaan kilpailua polttoaineesta. 24 % vastaajista kuitenkin kokee kilpailutilanteita olevan jatkuvasti tai kasvavassa määrin. Vuoteen 2030 mennessä puupolttoaineiden käytön arvioi vastaajista 55 % yrityksessään pysyvän nykytasolla. Käytön arvioi ylipäänsä kasvavan 41 %, josta 14 % arvioi käytön yrityksessään kasvavan vähintään $\frac{3}{4}$ nykyisestä käytöstä.

Resurssitehokkuuden mittarit

Ensimmäisessä kyselyssä vastaajilta kysyttiin kokevatko he tuottavansa puuenergiaa resurssitehokkaasti. 95 % vastasi kokevansa, että he tuottavat puuenergiaa mielestään resurssitehokkaasti.

Kysyttäessä avoimen vastauksen kysymyksellä, mitkä tekijät heidän tuotannossaan ovat resurssitehokkuutta edistäviä tekijöitä, oli mainintoina laaja joukko erilaisia tekijöitä. Selkeimmin esiin toistoina nousivat tuhkan hyötykäyttö, tehokas logistiikka, läheltä lyhyellä kuljetuksella toimitettu polttoaine sekä tehokas polttoprosessi laitoksella.

Kuva 4. Kyselyn avoimista vastauksista WordItOut -palvelussa muodostettu sanapilvi.



Esimerkkinä huonosta resurssitehokkuudesta yksi vastaaja mainitsi välivarastoissa syntyvän varastohävikin.

Samaan aikaan resurssitehokkuutta ei kuitenkaan lainkaan mitata kvantitatiivisesti 68 %ssa vastaajayrityksistä. Säännöllisesti mittausta tehdään vain kahdessa (9%) vastanneessa yrityksessä ja satunnaisesti 23 % vastaajista. Vastaajat mainitsivat joitain käytettäviä mittareita, kuten: €/MWh, laitoksen hyötysuhde ja hakekuutiota kohti käytetty työaika.

Resurssitehokkuutta on parannettu 68 % vastanneiden yrityksissä ja 50 % vastanneista on suunnitellut tekevänsä parannuksia. Tehdyistä parannuksista mainitaan kuljetusten tehostaminen ja järkeistäminen, terminaalit, savukaasun lämmön talteenotto, kattilan uusiminen ja polttoaineseoitoksen optimointi kulloiselle kattilakuormalle optimaaliseksi. Suunnitelmia on muun muassa savukaasun lämmön talteenotolle, varastoinnin kehittämisessä, hakkeen kuivauksessa, alemman jalostusasteen polttoaineiden ja kierrätyspuun käytön lisäämiselle.

Kyselyn lopulla kysyttiin kirjallisuuden perusteella muodostettujen resurssitehokkuuden mittarien käyttökelpoisuutta vastaajan yrityksen kohdalla. Asteikkona kyselyssä oli kokonaisluvut 1 – 4, missä neljä osoittaa huonointa käyttökelpoisuutta.

Parhaimman arvosanan mittareista saivat: *Polttoaineen hankintaketjussa kulutetun energian suhdempolttaineen lämpöarvoon laitoksen portilla* (ka 1,8) ja *Tuhkan hyötykäytön osuus syntyneestä tuhkasta* (ka 2,0).

Huonoimmin mittariksi katsottiin sopivan: *Polttoaineen käyttökertojen määrä muussa käytössä ennen polttoa* (ka 2,6), joka käytännössä tarkoittaa raakaa-aineen kaskadikerrointa.

Vastaajille annettiin mahdollisuus esittää jotain muuta soveltuvaa mittaria. Selkeimmin mittariksi muodostettavia ehdotuksia olivat tuotettu energia laitokselle toimitetusta tonnimäärästä, polttoaineketjun EROEI (energy return on energy invested) eli tuotettua energiamäärää kohti käytetty energiamäärä ja laitoksen energiahyötysuhde; teoreettisesta energiasisällöstä käyttöön saatu energia.

Erilaisten puupolttoainejakeiden käyttöä ei pitäisi vastanneiden valtaosan (78 %) mielestä ohjata tai rajoittaa millään perusteilla. Vastaajista 9 % kuitenkin olisi valmis ohjaamaan tai rajoittamaan resurssitehokkuuden mittareilla. 13 % ei ottanut kantaa.

Kyselyn toisella kierroksella pyydettiin vastaajia asettamaan ensimmäisen kierroksen vastauksissa esille nousseita uusia mittareita sekä aiemmin esitettyjä mittareita paremmuusjärjestykseen, parhaimman vaihtoehdon saadessa arvon 1 ja huonoimman 10. Korkeimman keskiarvon vastauksista saivat:

Laitoksen kattilahuötysuhde puupolttoaineella, ml lämmöntalteenotto (4,2)

Polttoaineen hankintaketjussa kulutetun energian suhde polttoaineen lämpöarvoon laitoksen portilla (4,4) sekä kolmantena

Puupolttoaineen hankintaketjun laskennalliset päästöt(CO₂-ekvivalentteina) ennen polttoa (4,6) .

Vähiten kannatettuja olivat: *Energiatuotteen ja sen tuottamiseen kuluneen sekundaarienergian suhde primäärienergiaan eli EROEI-arvo (6,6) ja Energiaksi käytetyn puupolttoaineen kaskadisuus eli kuinka suuri osa polttoaineesta on käytetty aiemmin yhden tai useamman kerran materiaalisessa käytössä (6,4) sekä Käytetyn polttoainemäärän paino tai tilavuus suhteessa tuotettuun energiamäärään (MWh) (6,4).*

Kyselyn mukaan yritykset toteuttavat tai ovat jo päättänyt ottaa käyttöön monenlaisia resurssitehokkuutta edistäviä toimia. Useimmin (76 % kukin) mainittiin lyhyet kuljetusmatkat, tehokas polttoprosessi/korkea hyötysuhde ja tuhkan hyötykäyttö. Seuraavaksi useimmin esille tuli polttoaineen laadun optimointi kuorman mukaan (64 %).

Vastaajista 36 % kertoo ottavansa toiminnassaan huomioon ja minimoivansa kilpailun muun kuin energiatehokkuuden hankkiman raaka-aineen kanssa.

Lähivuosille vastaajilla on suunnitteilla monenlaisia resurssitehokkuutta parantavia toimia alkaen polttoainehankinnan kehittämisestä, laitosinvestointeihin, kierrätyspuun käytön lisäämiseen ja tekoälyyn pohjautuvaan tuotannon ohjausjärjestelmään.

Erikseen kysyttiin mielipiteitä miten tuhkan resurssitehokkuutta voisi parhaiten mitata. Vastaukset hajosivat paljon. Yleisimmin kuitenkin mainittiin käyttökelpoiseksi mittariksi syntyneestä tuhkasta jalostukseen hyödynnettäväksi päätyvän osuuden suhde. Muutama vastaaja painotti myös tuhkan osalta sitä, että jatkokäyttökohteen jalostusarvolla tai käyttöarvolla tulisi olla mittarissa merkitystä. Eräs vastaaja näki kaskadikäytön ja tuhkan hyötykäytön välillä ristikkäisiä vaikutuksia: Tuhka joutuu helposti laatuluokittelun takia kaatopaikalle, jos puu on jo käytetty aikaisemmin eli polttoaineena on ollut kierrätyspuu.

4.5.2 Ulkopuolisten asiantuntijoiden haastattelu

Paneelitutkimuskierrosten jälkeen tutkittiin resurssitehokkuutta ja energiantuotannon kysymyksiä olennaisesti vastaavien ministeriöiden virkamiesten sekä luonnonvarojen resurssikysymyksissä aktiivisten kansalaisjärjestöjen näkemyksiä resurssitehokkuudesta ja toimijoiden vastauksista muodostettuihin väitteisiin.

Haastattelua pyydettiin kolmesta ministeriöstä yhteensä kuudelta eri virkamieheltä. Kolmen eri ministeriön virkamiehen (tästä eteenpäin M1, M2, M3) kanssa haastattelu saatiin sopimaan. Viidelle eri ympäristöjärjestölle lähetettiin haastattelupyyntö ja haastattelu saatiin kolmelta (Y1, Y2 ja Y3). Vastaajat painottivat vastaavansa henkilökohtaisesta näkökulmastaan, eivät edustamiensa organisaatioiden suulla. Moni myös painotti, että heidän taustaorganisaationsa ei ole muodostanut kovin yksityiskohtaisia kantoja liittyen resurssitehokkuuteen tai biomassan käytön ohjaamiseen.

Haastattelut toteutettiin 4.12.2020 – 5.2.2021 välisenä aikana puolistrukturoituina etähaastatteluina puhelimitse tai verkkoyhteydellä.

Kaikilta kysyttiin kaksi avointa kysymystä :

1. Mikä on näkemyksesi, pitäisikö Suomessa ohjata hallinnon toimesta biomassan käyttöä (ylipäänsä mihin tahansa käyttötarkoitukseen) resurssitehokkuuden näkökulmasta?
2. Pitäisikö biomassan käyttöä bioenergian tuotantoon ohjata samalla lailla kuin mihin tahansa muuhun käyttöön vai eri periaatteilla?

Lisäksi haastateltavia pyydettiin vastaamaan valitsemalla suullisesti tai erillisellä webropol-kyselylomakkeella (liite 4) minkälaisilla toimenpiteillä resurssitehokkuutta voisi edistää ja minkälaiset mittarit parhaiten mittaisivat resurssitehokkuuta. Toimenpiteet ja mittarit valittiin perustuen energiantuottajille tehtyihin kyselyihin ja niistä esille nousseisiin vaihtoehtoihin.

Asiantuntijahaastattelussa voidaan löytää joitain suuntaviivoja eri sidosryhmien yhteisistä näkemyksistä ja myös näkemyseroista.

Ministeriöt

Kaikkien kolmen haastatellun ministeriöiden edustajien näkemyksenä oli, että jos biomassan käyttöä ohjataan resurssitehokkuuden näkökulmasta, sen pitäisi perustua ensisijaisesti informaatio-ohjaukseen eikä lainsäädännölliseen velvoittavuuteen. Eri ministeriöiden edustajien vastaajien välille tuli eroja siinä, pitäisikö loppukäytön mukaan tehdä ohjausta.

M1 oli sitä mieltä, että jos yhteiskunta ei ohjaa tuella tai muulla politiikkatoimella käyttöä tiettyihin käyttökohteisiin, on sen vaikea lähteä tekemään rajoitteita tai ehtoja. Samoin M1 näki ohjauksen loppukäytöstä riippumattomana. Hän korosti, että ohjauskeinojen tulisi olla riippumattomia siitä, mihin biomassaa lopulta käytetään. Esimerkiksi M1 huomautti, että energiakäytössä on paljon sääntöjä ja sertifiointia toisin, kuin esimerkiksi kemianteollisuuden raaka-ainekäyttöä koskien.

M2 puolestaan kannatti ohjauksessa erittelyä käyttötarkoituksesta riippuen. Tätä valintaa tukee hänen mukaansa se, että biomassan substituutiovaikutukset ovat erilaisia loppukäyttömuodoissa. Erityisesti tämä näkyy M2 mukaan siinä, että hiilidioksidille muodostuva arvo on erilainen eri käyttötarkoituksessa ja siksi ohjauskeinokin voi erota.

M3 oli huolissaan syvälle menevien ohjauskeinojen vaikutuksesta puukauppamarkkinoihin. M3 vastusti ajatusta, että hallinto määrittelisi mihin puu voi mennä. Erityisesti M3 koki ongelmalliseksi ajatuksen jonkinlaisesta haittaverosta ohjaamaan käyttötarkoitusta. Hän arvioi sen voivan tarkoittaa, että pidempien kuljetusmatkojen etäisyyksillä jalostuslaitoksista puu voisi jäädä kokonaan myymättä. Hän näki vapaaehtoisen informaatio-ohjauksen

kannatettavampana. Ensimmäisenä askeleena M3 piti sitä, että puun ostajayritykset edes kertoisivat myyjälle mihin käyttöön puu on menossa, sillä hänen mukaan tätäkään tietoa ei yleensä ole saatavana.

Ympäristöjärjestöt

Kaikki ympäristöjärjestöjen edustajat kannattivat yleisesti biomassan käytön ohjaamista tavalla tai toisella resurssitehokkuuden näkökulmasta. Kaksi kolmesta otti kantaa, että ohjaus pitäisi kohdistaa puun ostajan kautta. Yksimielistä näkemystä ei löytynyt siitä, miten ohjaus kannattaisi toteuttaa. Erityisesti bioenergiakäyttöön kohdistettu verotus ja hakkuiden kokonaiskatto sekä kaskadikertoimen tai korvauskertoimen (displacement factor) kautta ohjaaminen tuotiin esille.

Ympäristöjärjestöjen edustajat toivat esille sitä, että resurssitehokkuus on tavoiteltava asia. Y1 painotti resurssitehokkuuden olevan myös ilmastotoimi. Biomassan resurssitehokkuutta ei pelkästään pidetä kuitenkaan riittävänä mittarina. Esimerkiksi vastaaja Y2 tois esiin, että resurssitehokkuus on hyvä asia monessa mielessä, mutta sillä ei voida ratkaista biomassan polttoon liittyviä ongelmia, esimerkiksi päästöttömyysoletusta EU:n päästökaupassa.

Y3 toi selkeästi esille, että resurssitehokkuus on terminä epätarkka ja haastava. Hänen mielestään sitä, että Suomessa puusta käytetään kaikki osat johonkin käyttöön ei voida katsoa todisteena resurssitehokkuudesta.

Rajoitteiden kohdistaminen käyttötarkoituksen mukaan jakoi vastauksia. Y3 painotti kokonaiskäytön rajoittamista, sillä hänen mukaan hakkuiden määrää pitäisi rajoittaa kokonaisuudessaan. Y3 piti myyntilupaa tai käyttöluparajoitetta yhtenä vartenotettavana vaihtoehtona, sillä eri jakeita on hankala erotella. Toisaalta Y3 pohti olisiko aika nimenomaan bioenergiakäytön verottamiselle.

Y1 tuki erityisesti verotusperusteista ohjausta ja ensisijaisesti jakeittain. Hän ei kannattanut käyttökattoa vaan arvioi jakeohtaisen lainsäädännöllisen ohjauksen toimivammaksi. Y2 kannatti verotusta jakeohtaisesti, mutta myös muuta jakeohtaista lainsäädännöllistä ohjausta.

Yhteenveto haastateltujen asiantuntijoiden näkemyksistä

Haastatellut olivat yhtä mieltä, että biomassan käyttöä ylipäänsä tulisi jollain tavalla ohjata ottamaan huomioon resurssitehokkuus. Eroja näkemyksissä tuli erityisesti:

- a) tulisiko ohjauksen olla informaatio-ohjausta vai säädösperusteita
- b) tulisiko ohjausta tehdä yleisellä tasolla vai riippuen biomassan loppukäyttökohteesta.

Resurssitehokkuutta katsottiin edistävän parhaiten polttoprosessin ja yleisesti lämmöntuotannon ja sen jakelun tehokkuus. Samoin teollisuuden sivuvirtojen ja kierrätyspuun (esimerkiksi käytöstä poistettu puu rakentamisesta) käyttö nähdään oikeana suuntauksena. Parhaiksi arvioidut mittarit ovat pääosin johdonmukaisia paneelin valitsemien edistettävimpien toimien kanssa.

Hallinnon ja järjestöjen edustajilla on keskeinen ero siinä, että tulisiko resurssitehokkuutta velvoittaa lainsäädännöllisesti tai rajoituksilla vai vapaaehtoisuuteen perustuen.

Ministeriöissä katsotaan informaatio-ohjauksen olevan toimiva keino, kun taas järjestöissä haluttaisiin sitovaa lainsäädäntöä tai biomassan kokonaiskäytölle rajoituksia, joka kohdistuisi myös energiankäyttöön. Yhteistä näkemystä ministeriöissä ja ympäristöjärjestöillä on lähinnä siinä, että molempien edustajissa päädyttiin kohdistamaan mahdolliset ohjauskeinot puun ostajiin. Molemmissa ryhmissä yksi haastateltu ei kuitenkaan ottanut kantaa keneen ohjaus tulisi kohdistaa.

Haastatteluissa pyydettiin arvioimaan, mitkä toimet parhaiten edistäisivät resurssitehokasta puuenergian tuotantoa. Lista ehdotetuista toimista on liitteessä 4. Parhaiten edistävinä toimina pidettiin seuraavia: *Tehokas polttoprosessi, Käytössä on kierrätyspuuta, Lämpöverkon ja tuotannon kokonaisoptimointi*. Näitä kannatti 5/6 vastaajaa.

Seuraavia kannatti 4/6 haastateltua: *Raaka-aine ei kilpaile esim. kuitukäytön kanssa, Haketuksen kalusto on mitoitettu oikein polttoaineenkulutukseen nähden, Käytetään vain muun teollisuuden tai metsänhoidonsivutuotteita, Tuhka menee hyötykäyttöön, Polton hyötysuhde pidetään korkeana, Savukaasujen lämmön erillinen talteenotto*.

Kaikki mittarit kelpasivat vähintään yhdelle haastatellulle. Vähiten kannatusta esitetyistä mittareista sai mittari *Polttoaine tuotetaan lähellä käyttöpaikkaa*, jota kaksi haastateltua kuudesta piti onnistuneena mittarina.

Asiantuntijoita pyydettiin järjestämään energiantuottajien kyselyssä esiintuotuja jatuottajien kannatamia mittareita paremmuusjärjestykseen. Kaikki vaihtoehdot mittareiksi ja niiden saamat rankkaukset ovat liitteessä 4. Mitä pienempi lukuarvo mittarille on annettu, sen paremmin se katsotaan soveltuvan.

Asiantuntijat arvottivat näistä parhaiksi mittareiksi resurssitehokkuutta mittaamaan seuraavat:

- Kuinka suuri osa bioenergiasta perustuu muun liiketoiminnan sivuvirtoihin (ka 2,3 N=6)
- Laitoksen kattilahiötysuhde puupolttoaineella, ml lämmöntalteenotto (ka 3,0 N=4))
- Ketjussa, ml. varastoinnin aikana tapahtuva energiasisällön mekaaninen tai kemiallinen (mm. lahoaminen) hävikki (ka 5,3 N=4)
- Käytetyn polttoainemäärän paino tai tilavuus suhteessa tuotettuun energiamäärään (MWh) (ka 5,8 N=4),

Heikoimmin mittariksi katsottiin soveltuvan seuraavat ehdotukset:

- Tuhkan hyötykäytön osuus syntyneestä tuhkasta, (ka 10,3 N=4)
- Polttoaineen hankintaketjussa kulutetun energian suhdepolttoaineen lämpöarvoon laitoksen portilla (ka 9,0, N=4)
- Minkä laatuista puuta poltetaan (ka 7,6 , N=5)

4.5.3 Erot ja yhteneväisyydet paneelin sekä haastatteluiden välillä

Energiantuottajille tehdyn paneelitutkimuksen ja haastatteluiden välillä ei ollut yhteismitallista vertailua. Haastatteluissa kuitenkin testattiin yleisten näkemysten lisäksi arvioita resurssitehokkuuden mittaamiseen mahdollisesti soveltuvista mittareista, joita paneelissa muodostettiin. Tämän kautta voidaan arvioida näkemysten eroja ja yhteneväisyyksiä.

Selvimmät erot liittyivät tuhkan hyötykäyttöön. Asiantuntijat eivät pitäneet tuhkan hyötykäytön tasoa merkittävänä resurssitehokkuuden mittarina, kun taas paneelin energiantuottajat nostivat sen korkealle varsinkin ensimmäisen kierroksen kyselyssä. Sama selkeä ero oli mittarin osalta, joka mittaisi polttoaineketjussa kuluvaa energiaa suhteessa polttoaine-erästä tuotettuun energiamäärään. Asiantuntijahaastattelussa se arvioitiin heikoimmaksi mittariksi, toisin kuin paneelissa.

Molemmat tutkimuksen osallistujaryhmät kelpuuttivat yhteisesti mittariksi ainoastaan laitoksen hyötysuhteen, mukaan lukien laitoksen lämmön talteenotto.

5 Johtopäätökset ja keskustelu

5.1 Tutkimuksen johtopäätöksiä

Tutkimuksesta saatiin uutta tietoa eri yritysten käsityksistä resurssitehokkuudesta bioenergian tuotannon yhteydessä.

Tulokset osoittavat selvästi, että metsäbiomassaa käyttävät energiantuottajat rajaavat resurssitehokkuuden koskemaan polttoaineketjun tehokkuuden 'kannolta piipun päähän'. Tulos on odotettu, sillä energiantuottajien toimintaa on perinteisesti ohjannut polttoaineen käytön tehokkuus kustannussyistä sekä ilmapäästöille (NO_x, SO_x, PM ym) asetetut raja-arvot.

Painotus energiatehokkuudessa

Keskeinen tutkimuskysymys oli selvittää, miten biomassan resurssitehokkuus käsitetään energiantuotannossa. Näyttää selvältä, että resurssitehokkuutta katsotaan energiantuotannossa tutun energiatehokkuuden kautta. Tämä tuli esille siinä, että laitoksen hyötysuhdetta pidettiin usein hyvänä resurssitehokkuuden mittarina.

Edellisen valossa on johdonmukaista, että parhaiksi toimintamalleiksi valikoitui tuhkan hyötykäyttö, läheltä tehokkaasti toimitettu polttoaine sekä kokonaisuutena energiatehokas polttoprosessi. Näiden pohjalta parhaina mittareina pidettiin laitoksen hyötysuhdetta, hankintaketjun energiankulutusta suhteessa polttoaineen lämpöarvoon ja puupolttoaineen hankintaketjun laskennallisia ilmastopäästöjä.

On huomattava, että lähes kaikki vastanneet yritykset kokivat, että he toimivat resurssitehokkaasti. Näyttää kuitenkin vastausten perusteella, että ainakin osalla yrityksistä on valmius kehittää toimintaansa ja ottaa käyttöön mittareita laajemman resurssitehokkuuskäsityksen suuntaan. Selkeimmin tämä halu tulee esille koko polttoaineketjun kasvihuonekaasupäästöjen huomioimisessa.

Toiminnanharjoittajilla on jonkin verran käytössä tai suunnitteilla toimintamalleja tai menetelmiä, jotka edistävät resurssitehokkuutta. Tällaisia toimia ovat muun muassa tavoitteellisuus vähentää polttoaineketjussa syntyviä päästöjä, materiaalin hävikkiä koko toimitusketjussa ja tuhkan hyötykäyttö. Vastauksista syntyy kuva, että yrityksissä ei laajasti nähdä resurssitehokkuutta strategisena toimenpiteenä. Toiminnallisia tavoitteita tai mittareita resurssitehokkuuden mittaamiseksi on hyvin harvoin asetettu. Selkeiden olemassa olevien mittarien puute ja niihin liittyvä tutkimus voi olla keskeinen este tai hidaste energiantuottajille huomioida resurssitehokkuutta laajemmin.

Resurssitehokkuutta voidaan mitata monilla erilaisilla ja eri tason toiminnallisilla piirteillä tai mittareilla. Metsäenergian tuotantoon liittyvä resurssitehokkuus on näkökulma, joka on ollut varsin vähän mukana tutkimuksessa. Kymmenisen vuotta sitten tehdyssä laajassa suomalaisessa BioSuS-tutkimushankkeessa (Leskinen ym, 2012) resurssitehokkuuden näkökulma tulee esiin joiltain osin. Hankkeessa rakennettiin moniulotteinen puuenergian

kestävyyssarvoinnin kehikko. Kehikon indikaattorien listassa (ss.20-23) mainitaan esimerkiksi tuhkan käyttö, vaikutus biomassan kilpailutilanteeseen, sivutuotteiden käytön osuus sekä bioenergian tuottama arvonalisäys. Arviointikehikkoa ei sellaisenaan voi käyttää metsäenergian käytön resurssitehokkuuden arviointiin tai mittaamiseen, sillä kehikko on kehitetty kokonaisuuskestävyyden arviointiin.

Sen sijaan Antikainen ym (2013, ss.55-56) esittivät yksityiskohtaisemmin, että bioenergian resurssitehokkuutta voidaan lisätä kehittämällä hankintaketjun eri vaiheiden energiatehokkuutta muun muassa kasvattamalla kuormakokoja tai kaluston hybriditeknikalla. He myös korostavat laitosten kehittämistä enemmän integroidun tuotannon suuntaan, jolloin samassa laitoksessa tai alueella tuotetaan esimerkiksi materiaaleja, energiaa ja kemikaaleja yhteisissä biojalostamoprosesseissa.

Paneelin vastaajat valitsivat yhdeksi parhaista resurssitehokkuuden mittareista hankintaketjun energiakulutuksen suhteessa tuotettuun energiaan. Kuormakokojen merkitys mainittiin useissa avoimissa kysymyksissä. Hybriditeknikan kehittäminen ei noussut esiin, mitä selittänee vastaajien tausta ketjun loppupäässä. Sen sijaan integroitu tuotanto ei noussut paneelin vastauksissa lainkaan esille.

Mielenkiintoisen ajatuksen esittävät Kitti ym (2014), jotka kehittivät kestävän kehityksen mukaisen taloustoiminnan arviointikehikkoa tapaustutkimuksessa Sodankylässä. Biotalous on kokonaisuudessaan mukana heidän tarkastelussa. Yleisellä tasolla (s.9) he toteavat, että resurssitehokkuus ja pyrkimys suljettuun järjestelmään on kestävien (talous)systemien piirre.

Tapaustutkimuksen kohteena olevan kylän yhteenvedossa Kitti ym esittävät (s.65), että kestävän kehittämisen pullonkaulaksi ei muodostu luonnonvararesurssien määrä. He myös argumentoivat sen puolesta, että luonnonvararesurssien tuotantopotentiaali ei ole liikuteltava. Tästä johtuen heidän mukaan materiaalien käyttöhierarkian korostuessa tarvitaan erityisosaamista, mikä voitaisiin toteuttaa kestävästi vain verkostoitumalla korkean teknologian hyödyntäjien kanssa. Edelleen he johtavat tästä ajattelusta, että kyseessä ollessa suuremmat (bio)massamäärät, sitä lähempänä tuotantopaikkaa se kannattaa jalostaa. He

toteavat vielä lopuksi, että ilman näistä syntyvää tasapainoa paikkaan sidottu biotalous on pitkällä aikavälillä kestämatöntä.

Kitti ym perusteella voi argumentoida, että vain paikallisesti energiaksi hyödynnettävä ja käyttöhierarkia huomioiva biomassan käyttö on kestävää pidemmällä ajalla. Vaikka paikallisuutta ei voi määritellä yksiselitteisesti etäisyytenä, on helppo arvioida delfoipaneelin vastauksista, että paikallisuus katsotaan yhdeksi selväksi toimintamalliksi. Iso osa vastaajista perustelee sitä myös resurssitehokkuuden kautta. Eräs vastaaja kertoo heillä olevan hankinnan osalta tavoitteena saada biomassaa siltä säteeltä, mikä heidän tuotantolaitoksen piippunsa korkeus metrilukemana on vastaavana kilometrilukemana. Eli tässä tapauksessa noin 150 km säteellä.

Monen paneelivastaajan korostama biomassan poltosta syntyvän tuhkan hyötykäyttö hankinta-alueen metsissä on kiertotaloutta, tai Kitin ym mainitseman suljetun systeemin piirre. Ravinteiden kierrätys korostuu sekä resurssi- että energiatehokkuuden näkökulmasta, kun vaihtoehtoinen lannoitus voi perustua maakaasulla tuotettuun ja kaukaa tuotuun resurssiin.

Asettaako käyttöhierarkian vähäisyys edellisen valossa esteen resurssitehokkuudelle biomassan energiakäytössä? Mielestäni ei, sillä korkeamman arvon jalostuskäyttö voi kehittyä kysyntävetoisesti alueen ulkopuolelta eikä biomassaresurssien haltijoiden aktiivisuuden myötä. Toisaalta paneelivastauksissa ei tule esimerkkejä, joissa energiantuottaja olisi itse laajentamassa biomassan käyttöä korkeampaan jalostusasteeseen energiantuotannon rinnalla. Julkisuudessa tämän tapaisia biojalostamoiden suuntaan vieviä hankkeita ovat jotkin energiantuottajat esitelleet. Samaan aikaan vastaajista moni toteaa pitäytyvänsä vain sivutuotteiden käytössä eivätkä aio hankkia jalostuskelpoisia jakeita.

Kilpailu jalostavan teollisuuden kanssa jää taustalle

Kyselytutkimuksessa esille nousi vain vähän toimia tai mittareita, jotka perustuvat yrityksen liiketoimintamallin muuttamiseen tai reagointiin julkisuudessa esille nostettuihin yhteiskunnallisiin vaatimuksiin. Joissain vastauksissa mainitaan kyllä periaate, että yritys ei osta ainespuun vaatimukset täyttävää runkopuuta. Se osa biomassan käytön

resurssitehokkuutta, mikä kotimaisessa keskustelussa on ollut vahvimmin esillä eli kilpailu jalostavan teollisuuden kanssa, tulee siis esille, mutta ei korostetusti. Eurooppalaisessa resurssitehokkuuden poliittisessa keskustelussa kilpailuastelman painotus korostuu selvemmin, todennäköisesti johtuen suuremmasta käyttösuudesta verrattuna metsäbiomassavaroihin ja hakkuiden korkeammasta suhteesta vuosittaiseen kasvuun.

Ristiriitaa ei ehkä ole tähän asti ollut, mutta viimeistään Venäjän hyökkäys Ukrainaan ja sen aiheuttama lisääntyvä kysyntä biomassaan Suomessa muuttaa kilpailutilanteen. Voisi siis arvioida, että tarvetta resurssitehokkuuden lisäämiseen biomassan energiakäytössä on sekä polttoaineketjun kokonaistehokkuuden näkökulmasta että moniulotteisemmalla, jalostusarvoa ja hiilinieluja painottavalla tarkastelulla.

Resurssitehokkuus näyttäytyy toiminnan tehostamisena

Toiminnanharjoittajien keskinäinen näkemys käytännön toimintaan parhaiten sopivista toimintamalleista ja mittareista eroaa. Huomionarvoista on, että vahvimmin esille nousseet toimintamallit ja mittarit liittyvät teknisiin keinoihin. Esimerkiksi tuhkan hyötykäyttö on noussut viime vuosina esiin liittyen sekä kiertotalouden lisäämiseen että metsien kasvun lisäämiseen lannoituksen myötä. Voi toki argumentoida, että sen osalta kyse ei olisi itseisarvoisesti resurssitehokkuustoiminteesta vaan tuhkalle kehitetystä käyttökohteesta. Tuhkan hyötykäyttöön liittyy myös ristiriita kiertotalouden ja kaskadikäytön välillä: jos käytetään teollisessa kierrossa ollutta puuta, on sen mahdollisten liima-, maali- tai muiden jäämien takia siitä muodostuva tuhka käytettävä lannoittamisen sijaan maanrakennuskäytössä.

Resurssitehokkuuden voi arvioida tällä hetkellä tarkoittavan useimmille energiantuottajille toiminnan kannattavuutta edistäviä toimia. Pääosalle se ei näyttäydy toimintamallina vastata yhteiskunnalliseen kritiikkiin bioenergian kestävyysaasteista. Tämä on ymmärrettävää siitä näkökulmasta, että biomassan kestävyyskeskustelu on liitetty vahvasti uuden RED2- ja tulevan RED3 direktiivin kautta tapahtuvaan lainsäädännölliseen veloitteeseen. Resurssitehokkuus ehkä arvioidaan tulevan sitä kautta ohjatuksi tavalla tai toisella; ilman erillistä asian painottamista.

Hallinto ja ympäristöjärjestöt jakavat tarpeen ohjata biomassan resurssitehokasta käyttöä

Tehtyjen haastatteluiden perusteella ministeriöiden virkahenkilöt ja ympäristöjärjestöjen edustajat jakavat yleisellä tasolla tarpeen ohjata biomassan käyttöä resurssitehokkuus huomioiden. Jonkin asteinen yksimielisyys löytyi makrotason seurantaan soveltuvista toimista ja mittareista. Näitä käytettäisiin tavoiteltaessa tai raportoitaessa kansallisia toiminnan muutossuuntia tai tavoitteiden täyttymistä.

Tällaisia toiminnallisia yleispiirteitä olisivat (1) polttoprosessin energiatehokkuus (2) kierrätyspuun käyttöosuus (3) lämpöverkon ja energiantuotannon kokonaisoptimointi (4) teollisuuden ja metsänhoidon sivutuotteiden käyttö polttoaineena (5) tuhkan hyötykäytön osuus.

Sopivia konkreettisia mittareita näiden toiminnallisten piirteiden mittaamiseksi nousi esiin neljä: (1) bioenergialiikevaihdon osuus, joka perustuu sivuvirtoihin (2) laitoksen kattilahiötysuhde lämmön talteenoton kanssa (3) polttoaineketjun energiahävikki (4) käytetyn polttoainemäärän suhde siitä hyötykäyttöön saatuun energiamäärään.

On kuitenkin syytä todeta, että asiantuntijahaastatteluiden pieni lukumäärä (6 kpl) tarjoaa rajallisen näkemyksen. Laajempi otos voisi nostaa joitain muita toimia tai mittareita mukaan valikoimaan.

Haastatteluissa mielipiteet hajautuivat ja vain muutama toimet sekä mittarit olivat virkahenkilöiden ja ympäristöjärjestöjen yhteisesti kannattamia. Tämä voi johtua erilaisesta tavasta katsoa aihetta. Hallinnon edustajat painottavat arvioinnissa sitä, miten resurssitehokkuuden edistäminen toimeenpantaisiin sekä mikä olisi toimien vaikutus suhteessa toimien hallinnolliseen työhön ja kustannuksiin. Ympäristöjärjestöillä valinta mittarien välillä perustui todennäköisesti siihen, millä saataisiin nopein ja tehokkain vaikutus resurssien kokonaiskäyttöön sekä ilmastopäästöjen vähentämiseen.

Resurssitehokkuus nähdään enemmän mahdollisuutena

Vastauksena työn otsikkoon esitän arvion, että kyselyiden ja haastatteluiden perusteella metsäperäisen biomassan energiakäytön resurssitehokkuus nähdään enemmän mahdollisuutena kuin uhkana. Toiminnanharjoittajille resurssitehokkuus tarjoaa tapoja toiminnan kustannustehokkuuden parantamiseen, toiminnan mittaamiseen sekä yhteiskunnallisen hyväksyttävyyden varmistamiseen.

Toimialaa seuraavat hallinnon edustajat ja ympäristöjärjestöt pitävät resurssitehokkuutta edellytyksenä, koska toiminnan täytyy pyrkiä biomassan riittävyyteen mahdollisimman moneen käyttöön yhteiskunnassa – mukaan lukien luonnon monimuotoisuuden edellyttämä osa.

Resurssitehokkuus laveana käsitteenä tarjoaa monia näkökulmia, millä tavoilla biomassan energiakäytön resurssitehokkuutta voidaan edistää ja mitata. Joistain edistettävistä toimista on laaja yhteinen näkemys. Resurssitehokkuuden mittaamiseen tarvitaan useita mittareita, sillä toiminnanharjoittajat kaipaavat käytännön toiminnassa hieman erilaisia mittareita kuin taas hallinnossa käytettäisiin koko toimialan kehityksen seurantaan.

5.2 Jatkotutkimus ja käytettävyys

Tutkimuksella saatiin tietoa kuinka biomassan energiakäytön resurssitehokkuus käsitetään energiatuottajien, hallinnon virkahenkilöiden ja ympäristöjärjestöjen silmin.

Jatkotutkimukselle tunnistetaan useita eri tarpeita.

Toiminnanharjoittajien suuntaan olisi tarvetta kehittää pidemmälle resurssitehokkuuden mittareita, jotka hyödyttävät toimijoita käytännön toiminnan ohjaamisessa. Näistä konkreettisenä esimerkkinä käyvät tuhkan hyötykäytön sekä polttoaineketjun energiatehokkuuden mittarit.

Kaskadikäyttöä kuvaavia mittareita - kuten kaskadikerroin - on kehitetty pääasiassa käytettäväksi jonkin toimialan tai valtion alueen toiminnan kehityssuuntien seuraamiseen. Niiden soveltamisesta energiakäytössä ei ole Suomessa kokemusta. Toiminnanharjoittajilla

olisi käyttöä mittareille, joiden kautta he voivat tuottaa lisää tietoa oman toiminnan hyväksyttävyyden ja toiminnan pitkäaikaisten poliittisten riskien arviointiin. Yritykselle voi olla tärkeää lisätieto laitosinvestointien päätöksenteon arviointiin, jos se voi arvioida eri polttoainevaihtoehtojen resurssitehokkuusvaikutuksia.

Tutkimusvastauksissa nousi vain muutamissa vastauksissa esille bioperäisen hiilidioksidin ja biohiilen osuus resurssitehokkuudessa. Resurssitehokkuus ja kaskadikäyttömääritelmät ovat tähän asti piirtäneet järjestelmärajan biomassaan käyttöön polttoon tai pyrolyysiin asti. Bioperäisen hiilidioksidin hyödyntämisen (BECCU), pysyväisvarastoinnin (BECCS) ja biohiilen ottaminen mukaan resurssitehokkuuden määritelmiin voi tuoda uutta näkökulmaa niin yritysten kuin muiden tahojen resurssitehokkuusarviointiin, joka olisi myös syytä huomioida jatkotyössä.

Työn tuloksia voisi hyödyntää lainsäädännön ja hallinnollisen ohjauksen valmistelussa. Kaikenlaiselle resurssitehokkuudelle on korostunut tarve erityisesti nyt käsillä olevassa tilanteessa, kun venäläisen fossiilisen energian korvaamiselle on kiire ja osa Suomessa käytettävästä puusta on Venäjän kaupan pysähtymisen johdosta poistunut käytöstä. Samaan aikaan käydään myös keskustelua maankäyttösektorin (LULUCF) nielujen riittävydestä sekä miten luontokatoa voidaan välttää.

Lähteet

Alakangas, E. (2014). Käytöstä poistetun puun luokittelun soveltaminen käytäntöön. VTT tutkimusraportti. Haettu 13.1.2019:

https://energia.fi/files/847/VTT_M_01931_Kaytosta_poistetun_puun_soveltamisohje_Lokakuu2014_liitteet.pdf

Alakangas, E. ym. (2015). Classification of used wood to biomass fuel or solid recycled fuel and cascading use in Finland. Conference proceedings. Bioenergy 2015. Jyväskylä. Haettu:

https://www.researchgate.net/publication/281620183_Classification_of_used_wood_to_biomass_fuel_or_solid_recycled_fuel_and_cascading_use_in_Finland

Antikainen, R. ym. (2013). Vihreän kasvun mahdollisuudet. Valtioneuvoston kanslia. Haettu: 17.12.2021:

https://vnk.fi/documents/10616/1093242/R0413_Vihre%C3%A4n+kasvun+mahdollisuudet.pdf/c162b7f7-6783-472e-acd7-b79995e5fcab?version=1.0

Anttila, P. (2013). Metsähakkeen alueellinen korjuupotentiaali ja käyttö. Metlan työraportteja 267. Haettu 2.7.2020:

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp267.pdf>

Arnkil, N., Joensuu, S., Kauppila, M., Kontinen, K., Kotiharju, A., Lahti, E. & Tenhola, T. (2020). Tuhka osana kestävää liiketoimintaa – Opas tuhkan tuottajille ja käyttäjille. Tapion raportteja 42. Tapio Oy. ISBN 978-952-5632-93-4/ISSN 2342-804X (pdf). Haettu 5.9.2021:

<https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/08/Tuhka-osana-kestavaa-liiketoimintaa-opas-Tapio-31082020.pdf>

Autio, A. (2017). Tuoreen puun polttaminen lämpölaitoksessa. Opinnäytetyö. Seamk liiketalous. Haettu 2.7.2020:

https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/132512/Autio_Ari.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Bais-Moleman, A. L. (2018). Assessing wood use efficiency and greenhouse gas emissions of wood product cascading in the European Union. *Journal of Cleaner Production*, 172, pp. 3942-3954.

Bioenergia ry. (2016). Tiedote 21.10.2016. Suomi vaarassa menettää energiatehokasta sähkön ja lämmön yhteistuotantoa. Haettu 16.1.2019:

<http://bioenergia.fi/default.asp?item=board;1003&sivulD=29008>

Bioenergia ry. (2019). Tiedote: Energialaitoksissa käytettävästä puusta alle 2 % on järeää puuta. Haettu 5.12.2021: <https://www.bioenergia.fi/2019/02/01/energialaitoksissa-kayttavasta-puusta-alle-2-on-jareaa-puuta/>

Bioenergia ry. (2020a). Bioenergia-alan panos hiilinegatiiviseen tulevaisuuteen Suomessa Haettu 6.6.2020: <https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2020/05/Bioenergia-alan-panos-hiilinegatiiviseen-tulevaisuuteen-Suomessa-.pdf>

Bioenergia ry. (2020b). Bioenergian tuottajat -kartta. Haettu 5.12.2021:

<https://www.bioenergia.fi/wp-content/uploads/2020/12/Bioenergian-tuottajat-2020.pdf>

Bioenergia ry. (2021a). Jäsenet – verkkosivu. Haettu 5.12.2021:

<https://www.bioenergia.fi/jasenet/jasenet/>

Bioenergia ry. (2021b). Lämpöyrittäjäyys – verkkosivu. Haettu 5.12.2021:

<https://www.bioenergia.fi/tietopankki/lampoyrittajyyys/>

Bioenergy Europe. (2018). Fact sheet: Cascading use of biomass a working concept? Haettu 13.1.2019: <http://bioenergyeurope.org/wp-content/uploads/2018/06/FACTSHEET-CASCADING.pdf>

Bioenergo Oy. (2022). Bioenergo Oy verkkosivut. Haettu 17.4.2022: <https://bioenergo.fi/>

Birdlife. (2015). Cascading use of biomass: opportunities and obstacles in EU policies Policy briefing by BirdLife Europe and the European Environmental Bureau. Haettu 2.7.2020:
http://www.birdlife.org/sites/default/files/attachments/cascading_use_memo_final.pdf

Brunet-Navarro, P. (2018). Effect of cascade use on the carbon balance of the German and European wood sectors. *Journal of Cleaner Production*, 170, pp. 137-146.

Business Finland. (2021). Energiatuki. Haettu 4.10.2021:
<https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>

Dornburg, V. & Faaij, A. (2005). Cost and co2-emission reduction of biomass cascading: methodological aspects and case study of srf poplar. *Climatic change*, 71(3), pp. 373-408.

EASAC. (2021). Climate impact of woody biomass. Haettu 28.3.2022:
<https://easac.eu/media-room/press-releases/details/easac-welcomes-that-the-jrc-report-strengthens-the-case-for-shorter-payback-periods-on-woody-biomass/>

Eduskunta. (2020). Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi biopolttoaineista ja bionesteistä annetun lain muuttamisesta Haettu 6.6.2020:
https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Sivut/HE_70+2020.aspx

EKOenergia merkki. (2021). Hallintojärjestys ja kriteerit sähkölle. Haettu 3.10.2021:
<https://www.ekoenergy.org/wp-content/uploads/EKOenergy-Criteria-Governance-Finnish.pdf>

Energiateollisuus ry. (2020). Kaukolämpötilasto 2019. Haettu 12.9.2021:
https://energia.fi/files/5384/Kaukolampotilasto_2019.pdf

Energiateollisuus ry. (2021). Energiateollisuus ry ja Bioenergian ry suositus: Metsäpolttoaineiden kestävyys turvaaminen. Haettu 4.12.2021:
https://energia.fi/files/6417/Metsapolttoaineiden_kestavyys_turvaaminen_2021_FINAL.pdf

Energiavirasto. (n.d). Voimalaitosrekisteri. Haettu: 13.1.2019:

<https://www.energiavirasto.fi/voimalaitosrekisteri>

Energiavirasto.(2020). Seurantaohje: Uusiutuvilla energialähteillä tuotettavan sähkön tuotantotuen hakeminen ja seurantavelvoitteet. Haettu 6.6.2020:

<https://energiavirasto.fi/documents/11120570/12760153/Seurantaohje-tuotantotuki-FI.pdf/54ca4690-5b2f-89a4-213a-ee5ee6c1aa02/Seurantaohje-tuotantotuki-FI.pdf>

Epanet (2022). Bellagio Declaration Circular Economy Monitoring Principles. Haettu 31.5.2022: <https://epanet.eea.europa.eu/reports-letters/reports-and-letters/bellagio-declaration.pdf>

Euroopan Komissio. (2013). EU Forest Strategy. Haettu 13.1.2019:

https://ec.europa.eu/agriculture/forest/strategy_en

Euroopan Komissio. (2015). Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions closing the loop - an eu action plan for the circular economy, communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions closing the loop - an EU action plan for the circular economy. Haettu 13.1.2019: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>

Euroopan Komissio. (2016). Study on the Optimised Cascading Use of Wood. Haettu 13.1.2019: http://ec.europa.eu/growth/content/study-optimised-cascading-use-wood-0_fi

Euroopan Komissio. (2018a). Guidance on cascading use of biomass with selected good practice examples on woody biomass. Haettu 13.1.2019:

<https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/9b823034-ebad-11e8-b690-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-80148793>

Euroopan Komissio. (2018). A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment. Updated Bioeconomy Strategy.

Haettu 13.1.2019:

https://ec.europa.eu/research/bioeconomy/pdf/ec_bioeconomy_strategy_2018.pdf#view=fit&pagemode=none

Euroopan komissio. (2020a). Resource Efficiency. Verkkosivu. Haettu 6.6.2020:

https://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/

Euroopan komissio. (2020b). New Circular Economy Action Plan. Haettu 6.6.2020:

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>

Euroopan komissio. (2020c). Circular Economy indicators. Haettu 6.6.2020:

https://ec.europa.eu/environment/ecoap/indicators/circular-economy-indicators_en

Euroopan komissio. (2021a). Press release: European Green Deal: Commission proposes transformation of EU economy and society to meet climate ambitions. Haettu 8.8.2021:

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_21_3541

Euroopan komissio. (2021b). Press release: European Green Deal: Commission proposes new strategy to protect and restore EU forests. Haettu 8.8.2021:

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_21_3723

Euroopan komissio. (2021c). Voluntary Schemes. Haettu 5.12.2021:

https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/biofuels/voluntary-schemes_en

Euroopan Unionin virallinen lehti. (2018). Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (EU) 2018/2001, annettu 11 päivänä joulukuuta 2018, uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä (uudelleenlaadittu) Haettu 8.8.2021: [https://eur-](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/txt/pdf/?uri=celex:32018l2001&from=en)

[lex.europa.eu/legal-content/fi/txt/pdf/?uri=celex:32018l2001&from=en](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fi/txt/pdf/?uri=celex:32018l2001&from=en)

European Biochar Industry Consortium. (2021) European Biochar Market Report 2021/2022.

Haettu 28.3.2022: <https://www.biochar-industry.com/2022/european-biochar-market-report-2021-2022-available-now/>

Fredriksson, T. (2020). Bioenergia ry:n toimialapäällikkö Tage Fredrikssonin sähköpostihaastattelu 6.6.2020.

FSC Suomi. (2012). Suomen FSC Standardi. Haettu 3.10.2021: <https://fi.fsc.org/download-box.202.htm>

Fuss, S. ym. (2018). Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects. Environ. Res. Lett. 13 063002. Haettu 5.12.2021: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aabf9f>

Gaia Consulting Oy. (2015). Miten kiertotalouden kehitystä mitataan. Haettu 6.6.2020: https://media.sitra.fi/2017/02/27174938/Miten_kiertotalouden_kehitysta_mitataan-2.pdf

Huotari, N. (2012). Tuhkan käyttö metsälannoitteena. Metla. Haettu 6.12.2021: <http://www.metla.fi/julkaisut/isbn/978-951-40-2371-2/tuhkan-kaytto-metsalannoitteena.pdf>

Höglmeier, K. (2015). LCA-based optimization of wood utilization under special consideration of a cascading use of wood. Journal of Environmental Management, 152(C), pp. 158-170.

IEA Bioenergy (2021). Is energy from woody biomass positive for the climate? Haettu: 28.3.2022 <https://www.ieabioenergy.com/iea-publications/fag/woodybiomass/>

IPCC (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Haettu 31.5.2022: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/2_Volume2/19R_V2_2_Ch02_Stationary_Combustion.pdf

Jokiniemi, J., Lane, D., Sippula, O., Lähde, A. & Koponen, H. (2019). Arvometallien talteenotto ja hyödyntäminen sekä haitallisten komponenttien poistaminen jätteenpolton tuhkista ja kuonasta. ARVOMETALLI-hankkeen loppuraportti.. Haettu 5.9.2021: https://energia.fi/files/4649/2019_Arvometalli_Loppuraportti_julkinen03122019.pdf

Karvonen, L., Pesonen, J., Kuokkanen, V. & Kuokkanen, T. Tuhkan rakeistus Pohjois-Pohjanmaalla. (2012) Tuhkien jakeistus, niiden kemialliset ominaisuudet ja hyödyntämispotentiaali. Oulun yliopiston kemian laitoksen raporttisarja. Report no 86. Haettu 5.9.2021: <https://www oulu.fi/sites/default/files/content/Tuhkien-jakeistus.pdf>

Kitti, L., Ovaska, U. & Wuori, O. (toim). (2014). Vihreän taloudentoimintamalli – Tapaustutkimus Sodankylästä. MTT raportteja 186. MTT Taloustutkimus. ISBN 978-952-487-575-2. Haettu 5.1.2022: <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti168.pdf>

Koistinen, A. (2016). Kaskadikäyttö metsäbiotalouden kestävyden todentajana – esiselvitys, Tapion raportteja nro 4. Haettu 13.1.2019: <http://tapio.fi/wp-content/uploads/2016/01/biotalouden-kest%C3%A4vyys.pdf>

Koistinen, A. (2020). Ilmastopaneelin puheenjohtaja ehdottaa puun poltolle veroa – Isot kaupungit rynnivät kivihiilestä ja turpeesta metsäenergiaan. Yleisradion verkkosivut. Haettu 5.9.2021: <https://yle.fi/uutiset/3-11421162>

Koneyrittäjät ry. Puuenergia - verkkosivu. (n.d). Haettu 5.12.2021: <https://www.koneyrittajat.fi/pages/etusivu/koneyrittaejaet/jaesenet/puuenergia.php>

Koskivaara, A. (2018). Future pathways for the emerging bioeconomy: case of the fiber-based packaging sector in Finland. Haettu 13.1.2019: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/233316>

Kurki, P. ym (2012). Energiapuumarkkinat – käytännön kokemukset ja tilastointimahdollisuudet. Metlan työraportteja 228. Haettu 2.7.2020: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp228.pdf>

Kraska, T. (2018). Cascading use of Miscanthus as growing substrate in soilless cultivation of vegetables (tomatoes, cucumbers) and subsequent direct combustion. Scientia Horticulturae, 235, pp. 205-213.

Kuusi, O. (2014). Metodix-sivusto, verkkoartikkeli. Haettu 7.6.2020:

<https://metodix.fi/2014/05/19/kuusi-delfoi-metodi/>

Leskinen, P., Kähkönen, T., Lähtinen, K., Pasanen, K., Pitkänen, S., Sironen, S., Myllyviita, T., Sikanen, L., & Asikainen, A. (2012). Moniulotteinen kestävyuden arviointikehikko puuenergian tuotannolle. (9/2012 ed.) (Suomen ympäristö). Suomen ympäristökeskus.

Lindroos, TJ & Ekholm, T. (2014). Yhteenveto komission ehdottamasta ilmanlaatupaketista ja arvio sen vaikutuksista ilmastopolitiikkaan Suomessa. VTT Tutkimusraportti, vol. VTT-R-05840-14, VTT Technical Research Centre of Finland. Haettu 5.12.2021:

<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-R-05840-14.pdf>

Lorenzo, R., Sanchez, D. & Mazzotti, M. (2021). Assessment of carbon dioxide removal potential via BECCS in a carbon-neutral Europe. Energy Environ. Sci., 2021,14, 3086-3097.

Haettu 5.12.2021: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2021/ee/d1ee00642h>

Luonnonvarakeskus. (2017). Valtakunnan metsien inventoinnin tulostulokset 2017. Haettu 6.6.2020: <https://www.luke.fi/uutinen/valtakunnan-metsien-inventoinnin-tulostulokset-2017/>

Luonnonvarakeskus. (2018a). Puupelletit 2017. Haettu 16.1.2019:

<https://stat.luke.fi/puupelletit>

Luonnonvarakeskus. (2018b). Pientalojen polttopuun käyttö 2016/2017. Haettu 12.9.2021:

<https://stat.luke.fi/pientalojen-polttopuun-kaytto>

Luonnonvarakeskus. (2020). Puun energiakäyttö 2019. Haettu 6.6.2020:

<https://www.luke.fi/uutinen/puun-energiakaytto-jatkoi-kasvuaan-2019/>

Luonnonvarakeskus. (2021). Metsätilinpito 2020. Haettu 4.12.2021:

https://stat.luke.fi/mets%C3%A4tilinpito-2020_fi

Maa- ja metsätalousministeriö, (2021a). Verkkosivu - Bioenergia. Haettu 12.9.2021:

<https://mmm.fi/biotalous/bioenergia>

Maa- ja metsätalousministeriö. (2021b). Laeilla ja asetuksilla turvataan metsätalouden kestävyyttä. Haettu 4.10.2021: <https://mmm.fi/metsat/lainsaadanto>

Maa- ja metsätalousministeriö. (2021c). Metsälaki. Haettu 4.10.2021:

<https://mmm.fi/metsat/metsatalous/metsatalouden-kestavyys/metsalaki>

Maa- ja metsätalousministeriö. (2021d). Biomassan kestävyyskriteerit. Haettu: 5.12.2021

<https://mmm.fi/metsat/puun-kaytto/biomassojen-kestavyys>

Majava, A. & Vaden, T. (2020). Mahdolliset ja mahdottomat tulevaisuudet – Biomassojen rooli ja riskit huomioitava ilmastostrategiassa. BIOS-tutkimusyksikkö. Haettu 4.12.2021:

<https://bios.fi/tiekartoista/>

Metsäkeskus. (n.d-a). Verkkosivu - Metsäenergia. Haettu 12.9.2021:

<https://www.metsakeskus.fi/en/node/808>

Metsäkeskus. (n.d-b). Verkkosivu – Kemera-tuet. Haettu 5.10.2021:

<https://www.metsakeskus.fi/fi/metsatalouden-tuet/kemera-tuet>

Metsälehti. (2021). Yhdistyksille uusi toiminnanohjausjärjestelmä, tavoitteena parempi asiakaskokemus - Uutinen 9.11.2021. Haettu 5.12.2021:

[https://www.metsalehti.fi/uutiset/yhdistyksille-uusi-toiminnanohjausjarjestelma-tavoitteena-parempi-asiakaskokemus/ - bfa018aa](https://www.metsalehti.fi/uutiset/yhdistyksille-uusi-toiminnanohjausjarjestelma-tavoitteena-parempi-asiakaskokemus/-bfa018aa)

Nordfuel Oy. (2022). Nordfuel Oy verkkosivut. Haettu 17.4.2022:

<https://nordfuel.fi/biojalostamo/>

Nummelin, T. (2014). Metsähakkeen käyttö ja hankinta energiantuotantolaitoksissa – toimintatavat ja toiminnan ongelmat. Metlan työraportteja 292. Haettu 6.6.2020:

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp292.pdf>

Nurmi & Gråsten-Lahtinen, (2021). IL:n tiedot: Tällainen on hallituksen ilmastopaketti – täyssähköautojen verotus kevenee. Iltalehti 3.9.2021. Haettu 5.9.2021:

<https://www.iltalehti.fi/politiikka/a/0aeeb3e4-66fc-4899-85db-8f78c41099ef>

OECD. (2019). OECD Global Material Resources Outlook to 2060. Haettu 3.10.2021:

https://read.oecd-ilibrary.org/environment/global-material-resources-outlook-to-2060_9789264307452-en - page5

OECD. (2021). Policy scenarios for a transition to a more resource efficient and circular economy. OECD Environment Working Papers No. 169. Haettu 3.10.2021:

<https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/c1f3c8d0-en.pdf?expires=1633293827&id=id&accname=guest&checksum=FCE17D24CA03BEB931888C3DC8A595CC>

Olsson, O. (2016). Cascading of woody biomass: definitions, policies and effects on international trade. IEA Bioenergy Task 40.. Haettu 13.1.2019:

<http://task40.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/09/t40-cascading-2016.pdf>

Paloneva, M. & Takamäki, S. (2020). Yhteenveto toimialojen vähähiilitiekartoista. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2020:52. Haettu 5.12.2021:

<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162494>

Palomaa, A. (2019). Tampereella tehdään biohiiltä ja kaukolämpöä ensimmäisten joukossa maailmassa – uusi laitos kymmenkertaistaisi tuotannon. Haettu 17.4.2022:

<https://yle.fi/uutiset/3-10873372>

PEFC Suomi. (2014). Metsäsertifioinnin kriteerit. PEFC FI 1002:2014. Haettu 3.10.2021:

http://pefc.fi/wp-content/uploads/2016/09/PEFC_FI_1002_2014_Metsaertifioinnin_kriteerit_20141027.pdf

Puutuoteteollisuus ry. (n.d). Mitä puu on. Haettu 5.12.2021:

<https://puutuoteteollisuus.fi/tietoa-puusta-ja-tuotteista/mita-puu-on>

Raitanen, E. Biomassan kaskadiperiaate ja muut politiikkatoimet. (2017). Synergiat ja ristiriidat. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 27/2017. Haettu 13.1.2019:
https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/224563/SYKEra_27_2017.pdf

Rautkivi, M. (2022). Piipusta tankkiin – Uusiutuvien kaasupolttoaineiden mahdollisuudet ja toteutus. Matti Rautkivi, Nordic Ren-Gas Oy. Seminaariesitys 24.5.2022 Hiilensidonta 2022 - tapahtumassa.

Romano, V. & Taylor, K. (2022) Campaigners hail ‘historic breakthrough’ on revised EU biomass rules. Euractiv 20.5.2022. Haettu 31.5.2022:
<https://www.euractiv.com/section/energy/news/campaigners-hail-historic-breakthrough-on-revised-eu-biomass-rules/>

Ruokavirasto. (2021). Verkkosivu - Tuet ja rahoitus. Haettu 5.10.2021:
<https://www.ruokavirasto.fi/viljelijat/tuet-ja-rahoitus/>

Rytteri, T. & Lukkarinen. J. (2014). Puun energiakäytön yhteiskunnallinen ohjaus Suomessa.. Metsätieteen aikakauskirja 3/2014: 163–182. Haettu 13.1.2019:
<http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff14/ff143163.pdf>

Sahateollisuus ry. (2017). Sahateollisuus ry:n tiedote 2.5.2017. Haettu 13.1.2019:
<https://www.sahateollisuus.com/sahateollisuuden-tiedote-252017-sahateollisuus-ryn-kevatkokous-2017>

Santala, K. (2017). Biotalous erikoistumiskoulutuksen osaamis- ja koulutustarvekartoitus lapin metsäsektorille. Haettu 13.1.2019:
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/132378/BIOTALOUDEN%20ERIKOISTUMISKOULUTUKSEN%20OSAAMIS-%20JA%20KOULUTUSTARVEKARTOITUS%20LAPIN%20METSASEKTORILLE.pdf?sequence=1>

Sitra. (n.d). Mitä nämä käsitteet tarkoittavat? Haettu 4.10.2021.
<https://www.sitra.fi/artikkelit/mita-nama-kasitteet-tarchoittavat/>

Sokka, L. (2016). Cascading use of wood in Finland – with comparison to selected EU countries. VTT research report. Haettu 13.1.2019:

<https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2015/VTT-R-03979-15.pdf>

Stora Enso. (n.d). Metsäenergia – Mitä se on? Haettu 12.9.2021:

<https://www.storaensometsa.fi/energiapuu-mita-se/>

Suomen ympäristökeskus. (2013). Resurssitehokkuus. Verkkosivu. Haettu 6.6.2020.

https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Kulutus_ja_tuotanto/Resurssitehokkuus

Suomen Luonnonsuojeluliitto. (2017). Kestävä biotalous luonnon ja ilmaston ehdoilla.

Politiikkasuositus. Haettu 2.7.2020:

https://www.sll.fi/app/uploads/2020/04/Kestava_biotalous_luonnon_ja_ilmaston_ehdoilla_SLL_2017_WEB.pdf

Suomen Luonnonsuojeluliitto. (2020). Metsien hiilinielut ja bioenergian ilmastovaikutus.

Politiikkasuositus, lokakuu 2020. Haettu 15.12.2021:

https://www.sll.fi/app/uploads/2020/11/poliitikkasuositus_lokakuu_2020_small.pdf

Tapio Oy. (2021). Metsänhoidon suositukset. Haettu 3.10.2021:

<https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi>

Taskinen, P. (2021). Automatisoitua ja ketterää kestävyysraportointia. Pinja.com

blogikirjoitus 21.9.2021. Haettu 5.12.2021: <https://blog.pinja.com/automatisoitua-ketteraa-kestavyysraportointia>

Tilastokeskus. (2020). Polttoaineiden luokitus 2020. Haettu 25.4.2021

<https://www.stat.fi/fi/luokitukset/polttoaineet/>

Tilastokeskus. (2021a). Uusiutuva energia nousi fossiilisten ja turpeen ohi energian kokonaiskulutuksessa vuonna 2020. Haettu 12.9.2021:

https://www.stat.fi/til/ehk/2020/04/ehk_2020_04_2021-04-16_tie_001_fi.html

Työ- ja elinkeinoministeriö. (2019). Kestävyysskriteerityöryhmän väliraportti. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja – Energia - 2019:63. Haettu 12.9.2021:

https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/161926/TEM_2019_63.pdf

UPM. (n.d). Verkkosivu – Metsäenergia. Haettu 12.9.2021: <https://www.upmmetsa.fi/tietoa-ja-tapahtumia/videoartikkelit/metsaenergia/>

Veijonaho, S. (2018). Forest-based circular bioeconomy business models in Finnish SMEs. Haettu 13.1.2019. <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/236070>

Ymparisto.fi. (2013). Ympäristöhallinnon yhteinen verkkopalvelu – Resurssitehokkuus. Haettu 3.10.2021: https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kulutus_ia_tuotanto/resurssitehokkuus

Liite 1: Delfoi tutkimusryhmän kokoonpano

Tage Fredriksson, Bioenergia ry

Anssi Kainulainen, Maa- ja metsätaloustuottajien keskusliitto – MTK ry

Nina Kokkonen, HAMK

Jari Kostama, Energiateollisuus ry

Tomi Vartiamäki, L&T Biowatti Oy

Liite 2: Ensimmäisen vaiheen kyselylomake paneelille**Metsäperäisten polttoaineiden resurssitehokkuus***VASTAAJAN TAUSTAKYSYMYKSET***1. Missä asemassa olette yrityksessä? ***

- toimitusjohtaja tai vastaava
- kehityspäällikkö tai vastaava
- polttoainehankinta
- laitoksen käyttöhenkilöstö
- markkinointi
- muu

2. Missä maakunnassa/maakunnissa yritys toimii? *

- Ahvenanmaa
- Etelä-Karjala
- Etelä-Pohjanmaa
- Etelä-Savo
- Häme
- Kainuu
- Keski-Pohjanmaa
- Keski-Suomi
- Kymenlaakso
- Lappi
- Pirkanmaa
- Pohjanmaa
- Pohjois-Karjala
- Pohjois-Pohjanmaa
- Pohjois-Savo
- Päijät-Häme
- Satakunta

- Uusimaa
- Varsinais-Suomi

POLTTOAINEIDEN KÄYTTÖ

3. Mikä on vuosittainen kokonaispolttoainekäyttönne yhteensä kaikessa yrityksen energiantuotannossa (GWh) 2 *

- 0 – 5
- 5 – 50
- 50 – 100
- 100 – 500
- 500 – 1000
- yli 1000

4. Mitä puupolttoaineita teillä on ollut vuosina 2017-2019 käytössä? *

Jako perustuu Tilastokeskuksen luokitteluun.

- a. Kokopuu- tai rankahake, pienpuu
- b. Kokopuu- tai rankahake, järeä puu
- ~~c. Metsätähdehake~~ tai -murske
- d. Kantomurske (aik. kantohake)
- e. Energiapaju (ja muu lyhytkiertoviljelty puu)
- f. Kuori
- g. sahanpuru
- h. Puutähdehake tai -murske
- i. Kierrätyspuu
- j. pelletti tai briketti
- k. Kutterilastut, hiontapöly ~~ymms~~
- l. Erittelemätön teollisuuden puutähde
- m. Muut puunjalostusteollisuuden sivu- ja jätetuotteet
- n: ei mitään edellisistä

5. Mikä on metsäpolttoaineiden (edellisestä a-e) osuus noin kaikkien polttoaineiden energiasisällöstä, keskimäärin vuosina 2017-2019? *

prosenttia (kokonais-
lukuna 0-100)

METSÄPOLTTOAINEISTA

6. Miten oletteko hankkineet metsäpolttoaineita vuosina 2017-2019? (monivalinta) *

- hankitaan suoraan metsänomistajilta
- hankitaan metsänhoitoyhdistyksiltä
- hankitaan puunhankintayhtiöiltä
- hankitaan metsäteollisuudelta
- hankitaan oman yrityksen/konsernin omistamista metsistä
- oma tuonti tai tuonti agentin kautta
- muuten, miten _____

7. Käyttikö vuosina 2017-2019 muualta kuin Suomesta alkuperältään olevia metsäpolttoaineita?

*

- satunnaisesti, vain mahdollisia spot erä
- pieni osa vuositasolla suunnitellusti
- merkittävä osa (yli 1/3 puupolttoaineen tarpeesta) vuositasolla
- ei lainkaan
- ei tiedossa

8. Arvioi keskimääräinen 2017 - 2019 käyttämäne metsäperäisen polttoaineen hankintamatka metsästä (km) *

- alle 50
- 50 - alle 150
- 150 - alle 300 km
- 300 - alle 500 km

- yli 500 km
- en tiedä

Hankinta

9. Arvioi keskimääräinen 2017 - 2019 käyttämäne puuperäisen sivutuotteen hankintamatka syntypaikalta (km) *

- alle 50
- 50 - alle 150
- 150 - alle 300 km
- 300 - alle 500 km
- yli 500 km
- en tiedä

10. Onko puupolttoaineen hankinnassanne esiintynyt kilpailutilannetta muun teollisuuden kuin puuenergian käyttäjien kanssa?

- ei lainkaan
- hyvin harvoin
- kasvavassa määrin
- jatkuvasti
- en osaa sanoa

Tulevaisuuden näkymä

11. Mitä puupolttoaineiden käytölle arvionne mukaan tulee teidän yrityksessänne tapahtumaan nykytilanteeseen verrattuna vuoteen 2030 mennessä? *

- pysyy suunnilleen nykyisellä tasolla
- lisääntyy enintään kolmanneksella
- lisääntyy 50 %
- lisääntyy vähintään 75 %
- vähenee hieman
- vähenee paljon

RESURSSITEHOKKUUSKYSYMYKSET

Tässä kyselyssä puuenergian tuotannon resurssitehokkuus määritellään laajasti, koskemaan koko tuotantoa polttoaineen hankintaketjusta energialaitokselle, laitoksen prosesseihin sekä esimerkiksi tuhkan jälkikäyttöön asti. Resurssitehokkuutta ei voida määrittää yksittäisen tunnusluvun kautta ja se määrittyy myös laadullisten ominaisuuksien kautta. Voit tutustua tähän esitykseen [linkki](#), joka kokoaa yhteen joitain resurssitehokkuuden määritelmiä ja mittareita.

12. Mitkä ovat mielestänne resurssitehokkaan puuenergian tunnuspiirteitä? *

13. Koetteko, että teidän yrityksessänne puuenergiaa tuotetaan resurssitehokkaasti? *

- kyllä
- ei
- en osaa sanoa

14. perustele, miksi puuenergia tuotetaan mielestäsi yrityksessänne resurssitehokkaasti?

15. perustele, miksi puuenergiaa ei mielestäsi tuoteta yrityksessänne resurssitehokkaasti?

16. Mittaatteko yrityksessänne nykyään puuenergian resurssitehokkuutta jollain tavalla *

- satunnaisesti
- säännöllisesti
- emme mittaa

17. Kertokaa esimerkkejä minkälaisia mittareita käytätte puuenergian resurssitehokkuuden mittaamiseksi?

18.

Onko yrityksessänne tehty joitain käytännön toimia puuenergian tuotannon resurssitehokkuuden parantamiseksi?

*

- kyllä
- ei

19. Minkälaisia toimia yrityksessä on tehty puuenergian resurssitehokkuuden edistämiseksi?

20. Onko yrityksessä olemassa ajatuksia tai suunnitelmia, miten parantaisitte puuenergian tuotannon resurssitehokkuutta nykyisestä? *

- kyllä
- ei

21. Minkälaisia ajatuksia tai suunnitelmia?

22. Miten arvioitte yrityksenne näkökulmasta seuraavien mittareiden käyttökelpoisuutta kuvaamaan puuenergian tuotannon resurssitehokkuutta? *

	sopii hyvin	sopii melko hyvin	sopii melko huonosti	sopii huonosti	en osaa sanoa
polttoaineen hankintaketjussa kulutetun energian suhde polttoaineen lämpöarvoon laitoksen portilla	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
polttoaineen lämpöarvon suhde sen hankintahintaan laitoksen portilla	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
laitosprosessin energiankulutusta suhteessa tuotettuun puuenergian määrään	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
puupolttoaineen varastoinnin aikaista energiahäviötä (lähtötila vs. käyttötila)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
puupolttoaineen hankintaketjun laskennallisia päästöjä (CO ₂ -ekvivalenteina) ennen polttoa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
tuhkan hyötykäytön osuus syntyneestä tuhkasta. (ei sisällä kaatopaikkaläjitystä)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
polttoaineen käyttökertojen määrä muussa käytössä ennen polttoa (kierrätyspolttoaineet)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
puupolttoaineen jalostusarvon lisäys syntypaikalta polton kautta syntyväksi myyntituotteeksi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

23. Minkälainen mittari edellisten lisäksi tai sijaan voisi mielestäsi toimia hyvin puupolttoaineen resurssitehokkuutta kuvaavana mittarina? Voit esittää useita erilaisia mittareita.

24 tulisiko mielestänne puupolttoaineena käytettävien jakeiden käyttöä rajoittaa tai ohjata jollain perusteella? *

Kyllä, tietylle määrälliselle käyttötasolle


Kyllä, resurssitehokkuuden periaatteilla

Ei

En osaa sanoa

Liite 3: Toisen vaiheen kyselylomake paneelille

Metsäperäisten polttoaineiden resurssitehokkuus, kysely 2

 Pakolliset kysymykset merkitty tähdellä (*)

1. Vastasitko ensimmäiseen lähettämäni kyselyyn lokakuun alussa?

- KYLLÄ
- EI

VASTAAJAN TAUSTAKYSYMYKSET**2. Missä asemassa olette yrityksessä? ***

- toimitusjohtaja tai vastaava
- kehityspäällikkö tai vastaava
- polttoainehankinta
- laitoksen käyttöhenkilöstö
- markkinointi
- muu

3. Missä maakunnassa/maakunnissa yritys toimii? *

- Ahvenanmaa
- Etelä-Karjala
- Etelä-Pohjanmaa
- Etelä-Savo
- Häme
- Kainuu
- Keski-Pohjanmaa
- Keski-Suomi
- Kymenlaakso
- Lappi

- Pirkanmaa
- Pohjanmaa
- Pohjois-Karjala
- Pohjois-Pohjanmaa
- Pohjois-Savo
- Päijät-Häme
- Satakunta
- Uusimaa
- Varsinais-Suomi

POLTTOAINEIDEN KÄYTTÖ

4. Mikä on vuosittainen kokonaispolttoainekäyttönne yhteensä kaikessa yrityksen energiantuotannossa (GWh) ? *

- 0 – 5
- 5 – 50
- 50 – 100
- 100 – 500
- 500 – 1000
- yli 1000

5. Mitä puupolttoaineita teillä on ollut vuosina 2017-2019 käytössä? *

Jako perustuu Tilastokeskuksen luokitteluun.

- a. Kokopuu- tai rankahake, pienpuu
- b. Kokopuu- tai rankahake, järeä puu
- c. ~~Metsätähdehake~~ tai -murske
- d. Kantomurske (aiik. kantohake)
- e. Energiapaju (ja muu lyhytkiertoviljelty puu)
- f. Kuori
- g. sahanpuru
- h. Puutähdehake tai -murske

- i. Kierrätyspuu
- j. pelletti tai briketti
- k. Kutterilastut, hiontapöly ~~ymms~~
- l. Erittelemätön teollisuuden puutähdde
- m. Muut puunjalostusteollisuuden sivu- ja jätetuotteet
- n: ei mitään edellisistä

6. Mikä on metsäpolttoaineiden (edellisestä a-e) osuus noin kaikkien polttoaineiden energiasisällöstä, keskimäärin vuosina 2017-2019? *

prosenttia (kokonais-
lukuna 0-100)

METSÄPOLTTOAINEISTA

7. Miten oletteko hankkineet metsäpolttoaineita vuosina 2017-2019? (monivalinta) *

- hankitaan suoraan metsänomistajilta
- hankitaan metsänhoitoyhdistyksiltä
- hankitaan puunhankintayhtiöiltä
- hankitaan metsäteollisuudelta
- hankitaan oman yrityksen/konsernin omistamista metsistä
- oma tuonti tai tuonti agentin kautta
- muuten, miten _____

8. Käyttikö vuosina 2017-2019 muualta kuin Suomesta alkuperältään olevia metsäpolttoaineita? *

- satunnaisesti, vain mahdollisia ~~spot~~ eritä
- pieni osa vuositasolla suunnitellusti
- merkittävä osa (yli 1/3 puupolttoaineen tarpeesta) vuositasolla
- ei lainkaan
- ei tiedossa

9. Arvioi keskimääräinen 2017 - 2019 käyttämäne metsäperäisen polttoaineen hankintamatka metsästä (km) *

- alle 50
- 50 - alle 150
- 150 - alle 300 km
- 300 - alle 500 km
- yli 500 km
- en tiedä

Hankinta

10. Arvioi keskimääräinen 2017 - 2019 käyttämäne puuperäisen sivutuotteen hankintamatka syntypaikalta (km) *

- alle 50
- 50 - alle 150
- 150 - alle 300 km
- 300 - alle 500 km
- yli 500 km
- en tiedä

11. Onko puupolttoaineen hankinnassanne esiintynyt kilpailutilannetta muun teollisuuden kuin puuenergian käyttäjien kanssa?

- ei lainkaan
- hyvin harvoin
- kasvavassa määrin
- jatkuvasti
- en osaa sanoa

Tulevaisuuden näkymä

12. Mitä puupolttoaineiden käytölle arvionne mukaan tulee teidän yrityksessänne tapahtumaan nykytilanteeseen verrattuna vuoteen 2030 mennessä? *

- pysyy suunnilleen nykyisellä tasolla
- lisääntyy enintään kolmanneksella
- lisääntyy 50 %
- lisääntyy vähintään 75 %
- vähenee hieman
- vähenee paljon
- en osaa arvioida

RESURSSITEHOKKUUSKYSYMYKSET

Tässä kyselyssä puuenergian tuotannon resurssitehokkuus määritellään laajasti, koskemaan koko tuotantoa polttoaineen hankintaketjusta energialaitokselle, laitoksen prosesseihin sekä esimerkiksi tuhkan jälkikäyttöön asti. Resurssitehokkuutta ei voida määrittää yksittäisen tunnusluvun kautta ja se määrittyy myös laadullisten ominaisuuksien kautta.

13. Oletetaan, että Suomessa hallinto haluaisi mitata puuenergian tuotannon resurssitehokkuutta. Mihin järjestykseen asettaisit seuraavat mittarit toivottavuudeltaan yrityksenne näkökulmasta? 1. = toivottavin, 10 = vähiten toivottavin *

Polttoaineen hankintaketjussa kulutetun energian suhde polttoaineen lämpöarvoon laitoksen portilla (työkoneiden ja kuljetuksen kuluttama energia)	Valitse ▼
Puupolttaineen hankintaketjun laskennalliset päästöt (CO ₂ -ekvivalenteina) ennen polttoa	Valitse ▼
Tuhkan hyötykäytön osuus syntyneestä tuhkasta, (ei sisällä kaatopaikkaläjitystä)	Valitse ▼
Puupolttaineen jalostusarvon lisäys syntypaikalta polton kautta syntyväksi myyntituotteeksi	Valitse ▼
Laitosprosessin energiankulutus suhteessa tuotettuun puuenergian määrään	Valitse ▼
Käytetyn polttoainemäärän paino tai tilavuus suhteessa tuotettuun energiamäärään (MWh)	Valitse ▼
Laitoksen kattilahiötysuhde puupolttaineella, ml lämmöntalteenotto	Valitse ▼
Energiaksi käytetyn puupolttaineen kaskadisuus eli kuinka suuri osa polttoaineesta on käytetty aiemmin yhden tai useamman kerran materiaalisessa käytössä	Valitse ▼
Energiatuotteen ja sen tuottamiseen kuluneen sekundaarienergian suhde primäärienergiaan eli EROEI-arvo	Valitse ▼
Ketjussa, ml. varastoinnin aikana tapahtuva energiasisällön mekaaninen tai kemiallinen (mm. lahoaminen) hävikki	Valitse ▼

14. Onko jokin muu mittari, kuin edellä esitetyt, joka mielestäsi olisi yksi eniten toivottava mittaamaan bioenergian tuotannon resurssitehokkuutta?

15. Mitä seuraavista toimintatavoista yrityksenne toteuttaa tällä hetkellä tai on jo päättänyt ottaa käyttöön? *

- Lyhyet kuljetusmatkat
- Paluurahdit hyödynnetään
- Tehokas polttoprosessi
- Raaka-aine ei kilpaile esim. kuitukäytön kanssa.
- Haketuksen kalusto on mitoitettu oikein polttoaineen kulutukseen nähden
- Käytetään vain muun teollisuuden tai metsänhoidon sivutuotteita
- Tuhka menee hyötykäyttöön
- Polton hyötysuhde pidetään korkeana
- Savukaasujen lämmön erillinen talteenotto
- Kierrätyspuuta käytössä
- Mitataan polttoaineen kuljetusketjun energiankulutusta
- Polttoaine tuotetaan lähellä käyttöpaikkoja
- Polttoaineen laatu valitaan kattilan kuormitusilanteen mukaan
- Lämpöverkon ja tuotannon kokonaisoptimointi
- ei mitään edellisistä

16. Minkälaisella mittarilla tuhkan hyötykäyttöä osana resurssitehokasta bioenergian tuotantoa voisi mielestäsi parhaiten mitata?

17. Mainitse merkittävin lähivuosille suunniteltu toimenpide, joka edistää yrityksessänne bioenergian resurssitehokkuutta?

Liite 4. Asiantuntijahaastattelujen kysymysrunko saatteineen

Olen toteuttanut kaksiosaisen kyselyn biomassaa käyttäville suomalaisille energiantuottajille ja selvittänyt näkemyksiä, että mikä on heidän mielipiteensä resurssitehokkaasta biomassan käytöstä; miten he huomioivat biomassan käytön resurssitehokkuuden toiminnassaan ja mitä he näkevät tulevaisuudessa kannatettavaksi tavaksi mitata sitä.

Kyselyn lisäksi haastattelun kotimaisia virkamiehiä sekä luonnonvarakysymysten parissa työskenteleviä kansalaisjärjestöjä em. kyselyn vastauksista muodostettuihin kysymyksiin sekä yleisesti näkemyksistä aiheesta.

Tarkoitus on siis saada käsitystä aiheesta, jota ei ole aiemmin juurikaan tutkittu.

Kysyn näin alkuun yleisiä kysymyksiä

1. Mikä on näkemyksesi, pitäisikö Suomessa ohjata hallinnon toimesta biomassan käyttöä (ylipäänsä mihin tahansa käyttötarkoitukseen) resurssitehokkuuden näkökulmasta?

Jos kyllä, minkälaisilla menettelyillä? Esimerkiksi jollain seuraavista?

- a) puun ostajaa ohjaten?
 1. käyttökatolla?
 - a. Jaakohtaisesti asetetuilla rajoilla
 - b. kaikki biomassassa yhteensä käyttörajalla
 2. verotuksen avulla
 - a. kaikille jakeille
 - b. osalle jakeille (jalostuskelpoinen puu tms)
- b) puun myyjää ohjaten?
 1. asetetulla maksimi hakkuumäärällä
 2. puun myyntiverotuksella

2. Entä pitäisikö biomassan käyttöä bioenergian tuotantoon ohjata samalla lailla kuin mihin tahansa muuhun käyttöön vai eri periaatteilla?

Jos eri lailla niin miten eri lailla?

NÄIHIN KYSYMYKSIIN VASTATAAN SÄHKÖISELLÄ KYSELYLOMAKKEELLA HAASTATTELUN AIKANA

Mitkä näistä toimenpiteistä sinusta edistävät resurssitehokasta puuenergian tuotantoa?

- a) Lyhyet polttoaineen kuljetusmatkat
- b) Paluurahdit hyödynnetään
- c) Tehokas polttoprosessi
- d) Raaka-aine ei kilpaile esim. kuitukäytön kanssa.
- e) Haketuksen kalusto on mitoitettu oikein polttoaineenkulutukseen nähden
- f) Käytetään vain muun teollisuuden tai metsänhoidonsivutuotteita
- g) Tuhka menee hyötykäyttöön
- h) Polton hyötysuhde pidetään korkeana
- i) Savukaasujen lämmön erillinen talteenotto
- j) Kierrätyspuuta käytössä
- k) Mitataan polttoaineen kuljetusketjun energiankulutusta
- l) Polttoaine tuotetaan lähellä käyttöpaikkoja
- m) Polttoaineen laatu valitaan kattilan kuormitusilanteen mukaan
- n) Lämpöverkon ja tuotannon kokonaisuoptimointi

Mihin järjestykseen laittaisit nämä mittarit siinä järjestyksessä, mikä parhaiten mittaisi puuenergian resurssitehokasta tuotantoa? (1= tehokkain)

- a) Polttoaineen hankintaketjussa kulutetun energian suhdepolttoaineen lämpöarvoon laitoksen portilla (työkoneiden ja kuljetuksen kuluttama energia)
- b) Puupolttoaineen hankintaketjun laskennalliset päästöt(CO₂-ekvivalentteina) ennen polttoa
- c) Tuhkan hyötykäytön osuus syntyneestä tuhkasta, (ei sisällä kaatopaikkaläjitystä)
- d) Puupolttoaineen jalostusarvon lisäys syntypaikalta poltonkautta syntyväksi myyntituotteeksi
- e) Laitosprosessin energiankulutus suhteessa tuotettuun puuenergian määrään
- f) Käytetyn polttoainemäärän paino tai tilavuus suhteessa tuotettuun energiamäärään (MWh)
- g) Laitoksen kattilahyötysuhde puupolttoaineella, ml lämmöntalteenotto
- h) Energiaksi käytetyn puupolttoaineen kaskadisuus eli kuinka suuri osa polttoaineesta on käytetty aiemmin yhden tai
- i) useamman kerran materiaalisessa käytössä
- j) Energiatuotteen ja sen tuottamiseen kuluneensekundaarienergian suhde primäärienergiaan eli EROEI-arvo
- k) Ketjussa, ml. varastoinnin aikana tapahtuva energiasisällönmekaaninen tai kemiallinen (mm. lahoaminen) hävikki
- l) Kuinka suuri osa bioenergiasta perustuu muun liiketoiminnan sivuvirtoihin
- m) Minkäläatuista puuta poltetaan

Haluatko sanoa jotain muuta haastattelun aiheeseen liittyen?