

Uusiutuvan energian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset ja -riskit

Kirjallisuuskatsaus ja asiantuntija-arvio

**Pekka Leskinen, Anne Holma, Kaisa Manninen, Taija Sinkko,
Karri Pasanen, Mirja Rantala ja Laura Sokka**

Uusiutuvan energian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset ja -riskit

Kirjallisuuskatsaus ja asiantuntija-arvio

**Pekka Leskinen, Anne Holma, Kaisa Manninen, Taija Sinkko,
Karri Pasanen, Mirja Rantala ja Laura Sokka**

Helsinki 2014

YMPÄRISTÖMINISTERIÖ



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

YMPÄRISTÖMINISTERIÖN RAPORTTEJA 9 | 2014
Ympäristöministeriö
Luontoympäristöosasto

Taitto: Marianne Laune

Julkaisu on saatavana vain internetistä:
www.ym.fi/julkaisut

Helsinki 2014

ISBN 978-952-11-4294-9 (PDF)
ISSN 1796-170X (verkkokj.)

ESIPUHE

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ja ilmastonmuutoksen hillintä ovat yksi merkittävimpiä kansainvälisen ilmastopolitiikan tavoitteita. Uusiutuvan energian velvoitepaketissa 2010 linjattiin millä tavoin Suomi tulee lisäämään uusiutuvan energian tuotantoa saavuttaakseen EU:n ilmasto- ja energiapoliittisten päätösten edellyttämät tavoitteet. Suurimmat odotukset on asetettu metsäbiomassaan pohjautuvan energiantuotannon lisäämiselle, mikä on luonnollista ottaen huomioon Suomen olosuhteet ja laajat metsävarannot. Tuotannon kasvua tai ylläpitämistä tavoitellaan myös muiden uusiutuvien energiamuotojen kuten tuulivoiman ja liikenteen biopolttoaineiden, vesivoiman, biokaasun, peltobiomassojen, pellettien, lämpöpumppujen, kierrätyspolttoaineiden sekä aurinkolämpö- ja sähköjärjestelmien osalta.

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen ja ilmastonmuutoksen hillinnän lisäksi uusiutuvan energian tuotannolla on myös haitallisia ympäristövaikutuksia, joten niiden tunnistaminen mahdollisimman varhain on ensiarvoisen tärkeää. "Selvitys ja arvio uusiutuvan energian tuotannon ja käytön ympäristövaikutuksista ja riskeistä" (UUSRISKI) -hanke on tarkastellut millaisia haitallisia ympäristövaikutuksia ja riskejä sisältyy uusiutuvan energian tuotantoon ja kuinka merkittäviä riskit ovat. Selvitys perustuu laajaan kirjallisuuskatsaukseen sekä asiantuntijoiden näkemyksiin eri energiamuotojen koko elinkaaren aikaisista vaikutuksista muun muassa ilmastonmuutokseen, happamoitumiseen, rehevöitymiseen, veden kulutukseen, luonnon monimuotoisuuteen, maankäyttöön, pienhiukkasten muodostumiseen, uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöön ja otsonikatoon. Keskeisellä sijalla ovat vuoden 2020 eri uusiutuvien tuotantomäärät ja niiden vaikutukset, mutta ympäristövaikutuksia on tarkasteltu myös tuotantomuotojen yksikkövaikutusten näkökulmasta. Hankkeen tavoitteena on tukea kansallisen uusiutuvan energian toimintasuunnitelman toteuttamista. Hanketta ovat rahoittaneet Ympäristöministeriö, Maa- ja metsätalousministeriö ja Työ- ja elinkeinoministeriö. Esitetyt johtopäätökset ovat kirjoittajien omia, eivätkä ne välttämättä edusta ministeriöiden virallista kantaa.

SISÄLLYS

| | |
|---|----|
| Esipuhe | 3 |
| 1 Tausta, tavoitteet ja rajaukset | 7 |
| 2 Aineistot ja menetelmät | 10 |
| 2.1 Kirjallisuuskatsaus ja täydentävät haastattelut | 10 |
| 2.2 Laadullinen arviointi..... | 11 |
| 2.3 Työpaja..... | 12 |
| 2.4 Toimenpide-ehdotusten ja jatkotutkimusaiheiden priorisointi | 13 |
| 3 Tulokset | 14 |
| 3.1 Määrälliset arvioinnit..... | 14 |
| 3.2 Laadulliset arvioinnit..... | 22 |
| 3.3 Toimenpide-ehdotusten ja jatkotutkimusaiheiden priorisoinnin tulokset | 26 |
| 4 Johtopäätelmät | 28 |
| Metsäenergia | 28 |
| Peltoenergia | 29 |
| Biokaasu | 29 |
| Muut teknologiat..... | 30 |
| Tuulivoima | 30 |
| Vesivoima | 30 |
| Aurinkoenergia..... | 30 |
| Kierrätyspolttoaineet..... | 31 |
| Vesivoima | 31 |
| Toimenpide-ehdotukset ja jatkotutkimusaiheet | 32 |
| Lähteet | 33 |
| Liitteet | 36 |
| Liite 1: Kyselylomake toimenpide-ehdotusten ja jatkotutkimusaiheiden priorisoinnista | 36 |
| Liite 2: Asiantuntijanäkemyksiin perustuvat laadulliset arviot eri tuotantomuotojen yksikkövaikutuksille. Laadullisen arvioinnin lähtökohdat ja taustaoletukset on kuvattu luvussa 2, tulosten tulkinta luvussa 3.2., sekä johtopäätelmät luvussa 4. | 40 |
| Liite 3: Asiantuntijanäkemyksiin perustuvat laadulliset arviot eri tuotantomuotojen kokonaisvaikutuksille, kun huomioidaan vuodelle 2020 asetetut tavoitteet. Laadullisen arvioinnin lähtökohdat ja taustaoletukset on kuvattu luvussa 2, tulosten tulkinta luvussa 3.2., sekä johtopäätelmät luvussa 4. | 42 |
| Kuvailulehti | 44 |
| Presentationsblad | 45 |

1 Tausta, tavoitteet ja rajaukset

EU:n ilmasto- ja energiapoliittiset tavoitteet edellyttävät uusiutuvan energian käytön lisäämistä. Suomen tulee lisätä EU-velvoitteen (ns. RES-direktiivi 2009/28/EY) mukaisesti uusiutuvan energian osuus 28,5 prosentista 38 prosenttiin energian loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. Uusiutuvan energian velvoitepaketissa vuodelta 2010 esitetään, miten tähän tavoitteeseen päästään. Uusiutuvan energian velvoitepaketti muodosti myös perustan RES-direktiivin edellyttämällä kansalliselle toimintasuunnitelmalle, joka on toimitettu komissiolle vuonna 2010 (TEM, 30.6.2010). Tavoitteet on kirjattu myös keväällä 2013 päivitettyyn kansalliseen energia- ja ilmastostrategiaan (TEM, 20.3.2013).

Tämän hankkeen tavoitteena oli tukea kansallisen uusiutuvan energian toimintasuunnitelman kestävää toteuttamista tunnistamalla uusiutuvan energian lisääntyvän tuotannon ja käytön mahdolliset haitalliset ympäristövaikutukset ja -riskit mahdollisimman aikaisin. Tällöin mahdolliset ympäristövaikutukset ja -riskit voidaan välttää huolellisella ohjeistuksella ja suunnittelulla, sekä sovittaa yhteen energiapoliittiset tavoitteet luonnon- ja ympäristönsuojelun tavoitteiden kanssa.

Hankkeen pohjaksi laadittiin kirjallisuuskatsaus eri uusiutuvan energian tuotantomuotojen ympäristövaikutuksista ja riskeistä. Tarkastelun kohteena olivat seuraavat uusiutuvan energian tuotantomuodot:

- Metsähake CHP-laitoksessa ja lämpölaitoksessa
- Pellettituotanto
- Puun pienpoltto
- Pyrolyysiöljy
- Rypsidiesel (HVO ja RME)
- Ohra- ja vehnäetanoli
- Palmuöljydiesel
- Biokaasu
- Ruokohelpi
- Tuulivoima
- Vesivoima
- Maa- ja ilmalämpöpumput
- Kierrätyspolttoaineet
- Aurinkolämpökeräimet ja -paneelit

Palmuöljydieselin osalta tehtiin hieman suppeampi kartoitus, koska hankkeen pääasiallinen kiinnostus rajattiin kotimaisiin energianlähteisiin. Metsäpohjaisten energijakeiden osalta tässä hankkeessa keskityttiin vain niihin ympäristövaikutuksiin ja -riskeihin, joita arvioidaan syntyvän kun metsäbiomassaa (hakkuutähteet, pienpuu, kannot) käytetään sähkön ja lämmön tuotantoon tai liikenteen biopolttoaineiden, muiden bionesteiden tai biokaasun tuotantoon. Merkittävin osa puupohjaisesta energiastamme saadaan kuitenkin metsäteollisuuden sivutuotteista eli puun jatko-

jalostuksesta syntyvästä mustalipeästä, kuoresta ja purusta¹. Pääosa puuenergiasta korjataan siis käytännössä ainespuun muodossa ja sen metsään liittyvät ympäristövaikutukset ovat yhtenevät perinteisen ainespuunkorjuun vaikutuksiin. Suomen metsistä yli 90 % on ennestään metsätalouden ja ainespuunkorjuun vaikutuspiirissä. Nämä jätettiin tarkastelun ulkopuolelle pellettien tuotantoa lukuun ottamatta.

Hankkeen pääpaino oli haitallisissa ympäristövaikutuksissa. Myönteiset vaikutukset (ympäristö, työllisyys, talous, energiaomavaraisuus jne.) on rajattu tarkastelun ulkopuolelle. Tarkastellut ympäristövaikutukset olivat:

- Ilmastonmuutos
- Otsonikato
- Happamoituminen
- Alailmakehän otsonin muodostuminen
- Pienhiukkaset (vaikutukset kansanterveyteen ja lyhytaikaiset vaikutukset ilmastoon)
- Vesistöjen rehevöityminen
- Toksisuus ja ekotoksisuus
- Vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen
- Maaperän tuottokyvyn heikkeneminen (orgaaninen aines, eroosio, ravinnetase, suolaantuminen, tiivistyminen)
- Veden kulutus
- Maankäyttö (maapinta-ala resurssina)
- Uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö (metallit, mineraalit, fossiiliset polttoaineet)
- Säteily
- Kasvituholaiset ja -taudit

Ympäristövaikutusten lisäksi tarkasteltiin myös joitakin muita vaikutuksia, jotka voivat esim. vaikuttaa uusiutuvan energian yleiseen hyväksyttävyyteen. Näitä vaikutuksia olivat:

- Melu
- Haju
- Varjostus ja välkehdintä
- Maisemahaitta
- Esteettinen haitta
- Terveysvaikutukset (sisältäen työterveysvaikutukset)
- Luonnon virkistyskäyttö

Vaikutuksia arvioitiin koko elinkaaren ajalta. Vaikutusten arvioinnissa pyrittiin myös erittelemään elinkaaren vaiheet, joissa haitat ilmenevät. Tarkasteltavat elinkaaren vaiheet olivat:

- Raaka-aineen tuotanto ja hankinta
- Jalostus
- Energiantuotanto
- Teknologian tai raaka-aineen poisto käytöstä, jätteet (kierrätettävyys, loppusijoitus)

¹ Teollisuuden sivutuotevirrat ovat merkittäviä: Vuonna 2012 Metsäteollisuuden jäteliemillä tuotettiin 38 TWh energiaa (osuus puupolttoaineista 58 %) (Metsätalastiedote 15/2013). Lämpö- ja voimalaitosten polttamalla kiinteillä puupolttoaineilla tuotettiin 34 TWh energiaa, josta metsäteollisuuden sivutuotepuun (kuoren, puupurujen, lastujen, lämpö- ja voimalaitoskäyttö oli noin 17,33 TWh (9,3 miljoonaa kuutiometriä) ja metsähakkeen 15,19 TWh (7,6 milj. kuutiometriä).

Tutkimustiedossa oleviin tietoaukkoihin hankittiin täydentävää tietoa asiantuntijahaastattelujen avulla.

Hankkeen järjestämässä asiantuntijatyöpajassa arvioitiin kansallisen uusiutuvan energian toimintasuunnitelman (ks. taulukko 1) tavoitteiden vaikutuksia vuonna 2020. Työpajan tarkoituksena oli myös löytää toimenpide-ehdotuksia vaikutusten ja riskien pienentämiseksi sekä kartoittaa jatkotutkimustarpeita.

Taulukko 1. Kansallisen uusiutuvan energian toimintasuunnitelman tavoitteet vuonna 2020 (TEM, 30.6.2010) ja energian tuotantomäärät vuonna 2010.

| | Tuotantomäärä vuonna 2010 | Tavoite 2020 |
|--|---------------------------|----------------------|
| Metsähake CHP-tuotannossa ja erillisessä lämmöntuotannossa | 14 TWh | 25 TWh |
| Pelletit | 0,7 TWh | 2 TWh |
| Puun pienpoltto | 12 TWh | 12 TWh (ei muutosta) |
| Tuulivoima | 0,3 TWh | 6 TWh |
| Vesivoima | 12,7 TWh | 14 TWh |
| Biokaasu | 0,5 TWh | 0,7 TWh |
| Liikenteen biopolttoaineet | | 7 TWh |
| Peltobiomassat | yht. 0,6 TWh | Käyttöä lisätään |
| Lämpöpumput | 3,1 TWh | 8 TWh |
| Kierrätyspolttoaineet | 1,7 TWh | 2 TWh |
| Muu uusiutuva energia, ml. aurinkoenergia | 0,4 TWh | 0,4 TWh |

2 Aineistot ja menetelmät

Hankkeen ensisijaisena lähestymistapana oli koota elinkaarivaiheittainen kattava määrällinen tieto luvussa 1 mainituista tuotantomuodoista ja vaikutusluokista. Kirjallisuushakuja tehtäessä kuitenkin havaittiin, etteivät yksittäiset, tyypillisesti vain yhtä tai muutamaa tuotantomuotoa käsittelevät tutkimukset ole välttämättä keskenään vertailukelpoisia. Lisäksi kaikista tuotantomuodoista tai vaikutusluokista ei löytynyt kirjallisuudesta tietoa. Näiden ongelmien helpottamiseksi suoritettiin asiantuntijahaastatteluja.

Asiantuntijahaastattelujen jälkeen todettiin, ettei puhtaasti määrällisten tarkastelujen tekeminen kattaen kaikki tarkastelun kohteena olevat tuotantomuodot ja vaikutusluokat ole mahdollista. Tämän seurauksena päädyttiin laadulliseen tarkasteluun kattavan kuvan saamiseksi. Laadullinen arviointi toteutettiin asiantuntijatyöpajassa ja sen jälkeisessä tutkijaryhmän tekemässä iteroinnissa. Laadullinen arviointi tehtiin erikseen sekä eri tuotantomuotojen yksikkövaikutuksille, että vuoden 2020 tavoite-
tasojen mukaisille kokonaisvaikutuksille.

Laadullisten arviointien lisäksi asiantuntijatyöpajassa ja sen jälkeisissä iteroinneissa tuotettiin toimenpide-ehdotuksia ja jatkotutkimusaiheita ympäristövaikutusten ehkäisemiseksi. Tuotetut toimenpide-ehdotukset ja jatkotutkimusaiheet priorisoitiin eri hallinnonalojen edustajille suunnatun priorisointikyselyn avulla.

2.1

Kirjallisuuskatsaus ja täydentävät haastattelut

Ympäristövaikutusten ja -riskien arvioinnin pohjan muodosti kirjallisuuskatsaus, jossa pyrittiin luomaan mahdollisimman kattava katsaus kunkin tarkastellun energialähteen ympäristövaikutuksista ja -riskeistä julkaistuun kirjallisuuteen perustuen. Pääpaino kirjallisuushaussa oli elinkaariarviointia käsittelevissä julkaisuissa. Koska selvityksen tavoitteena oli kuitenkin arvioida myös muita vaikutuksia, kuten melu-, maisema- ja työterveysvaikutuksia, joita elinkaariarvioinnissa ei yleensä huomioida, hyödynnettiin selvityksessä myös muuta kirjallisuutta. Kirjallisuushaku tehtiin käyttäen aiheeseen liittyviä sopivia hakusanoja, esimerkiksi "tuuli-voima", "ympäristövaikutus", "LCA" jne. Katsaukseen pyrittiin valitsemaan vertaisarvioituja (eli ns. peer-review -menettelyn läpikäyneitä) julkaisuja, mutta koska sopivia vertaisarvioituja julkaisuja ei kaikissa tilanteissa löytynyt, käytettiin myös muita raportteja ja selvityksiä, sekä koti- että ulkomaisia. Kotimaisia julkaisuja suosittiin, sillä niiden tulokset kuvaavat paremmin Suomen olosuhteita.

Selvityksen ala oli laaja eikä tietoa kaikista ympäristövaikutuksista löydetty kirjallisuudesta. Kirjallisuuskatsausta tehdessä havaittiin myös monia muita ongelmia

erityisesti tiedon laatuun liittyen. Monien energialähteiden ympäristövaikutuksista julkaistu tieto on hajanaista eikä välttämättä keskenään vertailukelpoista johtuen mm. erilaisista lähtöoletuksista, systeemirajauksista ja allokoinneista. Havaittiin, että elinkaarivaiheittaista, keskenään vertailukelpoista tietoa löytyi hyvin rajallisesti suhteessa selvityksen kohteena oleviin tuotantomuotoihin ja vaikutusluokkiin. Suuri osa kerätystä tiedosta oli koko elinkaarta koskevaa eikä sitä ollut eritelty elinkaarivaiheittain. Lisäksi osa vaikutuksista oli selvästi yksilöitävissä vain tiettyyn elinkaarivaiheeseen, esimerkiksi tuulivoiman aiheuttamat meluvaikutukset käyttövaiheeseen tai metsäenergian aiheuttamat monimuotoisuusvaikutukset puun kasvatusvaiheeseen.

Joistakin arvioinnin kohteena olevista ympäristövaikutuksista (esim. ilmastonmuutos, happamoituminen, rehevöityminen) tietoa on melko hyvin saatavilla, kun taas eräistä muista vaikutusluokista, kuten monimuotoisuus- ja toksisuusvaikutuksista, löytyi huomattavasti vähemmän tietoa. Saatavilla oleva tieto oli osin huonosti Suomen olosuhteisiin soveltuva. Esimerkiksi lämpöpumppujen aiheuttamista ympäristövaikutuksista valtaosa aiheutuu käytetystä sähköstä. Sähkön tuotannon ympäristövaikutukset taas riippuvat kyseisen maan/alueen sähköntuotantorakenteesta ja vaihtelevat paljon eri maiden/alueiden välillä. Joissakin julkaisuissa LCA-data on myös esitetty osittain suoraan vaikutusarviointituloksina (esim. Arvesen & Hertwich 2012, Greening & Azapagic 2012). Koska eri vaikutusarviointimenetelmiä käyttävät tutkimukset eivät ole keskenään vertailukelpoisia, on tällaisten lukujen yhdistäminen muiden tutkimusten tuloksiin hankalaa.

Kirjallisuuskatsauksen tietoaukkoja täydennettiin sopivien asiantuntijoiden haastattelulla. Haastateltaviksi valittiin tarkasteltavia energialähteitä ja ennen kaikkea niihin liittyviä ympäristövaikutuksia tuntevia asiantuntijoita. Asiantuntijat valittiin ensisijaisesti tutkimusprojektissa mukana olevien tutkimuslaitosten sisältä, mutta myös muiden laitosten asiantuntijoita haastateltiin.

Kirjallisuuskatsauksen ja haastattelujen tulokset kerättiin kahteen excel-taulukoon energialähteittäin. Toiseen koottiin tieto yksityiskohtaisemmin kunkin lähteen perusteella. Toisessa, ns. kokoomataulukossa eri lähteistä koottu tieto esitetään vaihteluväleittäin.

2.2

Laadullinen arviointi

Kirjallisuuskatsauksen ja asiantuntijahaastatteluiden jälkeen todettiin, että määrällisissä tuloksissa on huomattavia puutteita ja epävarmuuksia, minkä vuoksi pelkän määrällisen aineiston perusteella ei ollut mahdollista toteuttaa tutkimuksen tavoitteeksi asetettua kattavaa tarkastelua suhteessa eri tuotantomuotoihin ja vaikutusluokkiin. Siksi eri tuotantomuotojen ja vaikutusluokkien elinkaarivaikutusten arviointi suoritettiin laadullisesti asteikolla: Ei merkittävä – Jonkin verran merkittävä – Merkittävä – Erittäin merkittävä. Jos vaikutuksia oli havaittavissa tai oletettavissa, mutta ne eivät ole suuria, vaikutusluokka merkittiin ”jonkin verran merkittäväksi”. Vaikutus on ”Merkittävä” silloin kun kyse on huomattavasta paikallisesta, alueellisesta tai globaalista vaikutuksesta. ”Erittäin merkittäviksi” arvioitiin kansanterveyden tai ympäristön kannalta huomattavat vaikutukset. ”Ei merkittäviä” ovat ne vaikutukset, joissa vaikutuksia tai päästöjä ei ole tai ne ovat huomattavan pieniä. Vaikutus voi olla tässä tarkastelussa merkittävä, vaikka se olisi hyvin paikallinen. Eri tuotantomuotojen mahdolliset positiiviset vaikutukset eivät ole mukana tarkastelussa, vaan vaikutuksilla tarkoitettiin haitallisia ympäristö- ja muita vaikutuksia.

Laadullinen arviointi tehtiin asiantuntijatyöpajassa erikseen kunkin tuotantomuodon yksikkövaikutuksille (Liite 2. Laadulliset yksikkövaikutukset -taulukko). Lisäksi arvioitiin vaikutuksia vuoden 2020 tavoitteeksi asetetuilla tuotantomäärillä (Liite 3, Laadulliset 2020 vaikutukset -taulukko). Yksikkövaikutusten osalta jokaiselle uusiutuvan energian tuotantomuodolle arvioitiin kunkin vaikutusluokan merkittävyys kyseisen tuotantoketjun sisällä Suomessa (pl. palmuöljydiesel, jota ei viljellä Suomessa). Kunkin yksittäisen tuotantoketjun eri vaikutusten merkittävyysarviot ovat ko. tuotantoketjun sisällä keskenään vertailukelpoisia, mutta eri tuotantomuotojen väliset yksikkövaikutukset eivät ole. Huomioitaessa vuoden 2020 tavoitetasot, arvioinnissa otettiin huomioon yksikkövaikutukset ja eri energiamuotojen tuotantotavoitteet. Tällöin suuri johonkin tiettyyn tuotantomuotoon kohdistuva yksikkövaikutus voi olla kokonaisuuden kannalta pieni, jos se liittyy pieneen tuotantomäärään – esimerkiksi viljaetanolin rehevöitymisvaikutus on tässä tapauksessa pieni. Vastaavasti pienikin yksikkövaikutus voi muodostua suureksi jos se liittyy suureen tuotantomäärään. Kun vuoden 2020 tuotantomäärät on huomioitu, ovat laadulliset arviot keskenään vertailukelpoisia tuotantomuotojen välillä kokonaisuudessaan liittyvien vaikutusten osalta.

2.3

Työpaja

Työpajatyöskentelyn tarkoituksena oli arvioida riskien laajuutta ja määrää asiantuntijatietämyksen perusteella. Työpajaan kutsuttiin aihealueen tutkijoita ja asiantuntijoita. Työpaja järjestettiin Suomen ympäristökeskuksen tiloissa 25.3.2013. Työpaja käynnistyi hankkeen tavoitteiden esittelyllä. Tämän jälkeen asiantuntijat jaettiin teemoittain kolmeen ryhmään: metsäenergia, peltoenergiat ja palmuöljy, sekä ”muut teknologiat”, eli lämpöpumput, vesi- ja tuulivoima ja kierrätyspolttoaineet. Ryhmätöiden aluksi tutkijat esittelivät aihealueensa kirjallisuuskatsauksen tuloksia, sekä sen ja asiantuntijahaastattelujen pohjalta tuotetun alustavan laadullisen luokittelun yksikkövaikutustaulukon. Ryhmien tehtävänä oli käydä läpi laadullinen yksikkövaikutustaulukko ja muokata sitä tarpeen mukaan. Seuraavaksi tehtävänä oli pohtia kuinka tilanne muuttuu, kun otetaan huomioon eri tuotantomuodoille asetetut tavoitemäärät vuodelle 2020. Pohjana käytettiin yksikkövaikutustaulukkoa, jonka arviointeja muokattiin huomioiden 2020 tuotantomäärät.

Työpajan tarkoituksena oli myös tuottaa keskeisimpien havaittujen ympäristövaikutusten ja -riskien osalta toimenpide-ehdotuksia niiden pienentämiseksi ja pohtia, kuinka niitä voidaan kansallisilla toimenpiteillä hallita. Samalla tuli pohtia aihealueen keskeisimpiä tietoaukkoja sekä kartoittaa jatkotutkimusaiheita. Ryhmät olivat käyttäneet arvioinneissaan hieman erilaisia tulkintoja vaikutusten arviointiasteikosta, tai vastaukset sisälsivät muutoin joitakin epäloogisuuksia. Tämän vuoksi työpajan jälkeen hankkeen tutkijaryhmä muokkasi laadullisten tulosten taulukkoa vertailukelpoisuuden ja loogisuuden parantamiseksi.

Toimenpide-ehdotusten ja jatkotutkimusaiheiden priorisointi

Hankkeen tutkijat ja ohjausryhmä muokkasivat työpajassa tuotettua toimenpide-ehdotusten ja jatkotutkimusaiheiden listaa, jotta siitä muodostuisi priorisointiin soveltuva listaus. Priorisointilistan käyttötarkoituksena on yleisellä tasolla tukea päätöksentekoa uusiutuvan energian kysymyksissä. Lista koostuu yhteensä 20 priorisoitavasta tekijästä liitteen 1 mukaisesti. Osa priorisoitavista tekijöistä on luonteeltaan yleisiä, useita tuotantomuotoja koskevia ja osa luonteeltaan joihinkin yksittäisiin tuotantomuotoihin kohdistuvia. Useimmat tekijät pitävät sisällään sekä käytännön kehittämiseen liittyviä toimenpiteitä että jatkotutkimusaiheita.

Priorisointi toteutettiin teknisesti siten että vastaaja valitsi listauksesta mielestään tärkeimmän tekijän ja antoi tälle tekijälle 100 pistettä. Tämän jälkeen vastaaja arvioi muiden 19 tekijän merkityksen suhteessa tärkeimpään tekijään. Kysymyksenasettelu käy tarkemmin ilmi liitteestä 1. Priorisointikysely kohdistettiin Ympäristöministeriön, Työ- ja elinkeinoministeriön, sekä Maa- ja metsätalousministeriön asiantuntijoille. Ministeriöistä saatiin yhteensä kolmen asiantuntijan vastaus.

3 Tulokset

3.1

Määrälliset arvioinnit

Tässä osiossa esitellään keskeisimpiä haitallisia vaikutuksia jotka nousivat kirjallisuuskatsauksessa tai asiantuntijahaastatteluissa esille. Kirjallisuuskatsauksessa kerättyyn tietoon voi tutustua osoitteessa <http://tinyurl.com/pqo75ot>.

Metsäenergia

Metsäenergian ilmastovaikutuksen laskenta

Metsäenergian ympäristövaikutusten arvioinnissa hyödynnettiin kotimaisia raportteja ja tieteellisiä artikkeleita. Lisäksi haastateltiin Tuija Sievästä, Heli Viiriä, Tuija Piriä ja Sirpa Piirasta Metlasta, sekä Timo Lankia Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksesta.

Kasvihuonekaasujen päästöjen ja hiilen sidonnan osalta metsäbiomassan kasvatus, korjuuta ja käyttöä energian ja biojalosteiden tuotannossa voidaan tarkastella eri näkökulmista. Tarkasteluita voidaan tehdä eripituisille ajanjaksoille, eri biomassasoitteille sekä esimerkiksi puustolle ja maaperälle yhdessä tai erikseen. Lisäksi tarkasteltavan alueen koko voi vaihdella kansallisesta, koko maan kattavasta taselaskennasta yksittäisen metsikön tasolle. Tarkastelunäkökulma vaikuttaa merkittävästi tuloksiin.

Sitovia päästövähennystavoitteita sisältävän Kioton pöytäkirjan tarkoituksena on vähentää ilmastolle haitallisia kasvihuonekaasupäästöjä. Pöytäkirja sisältää myös säännöt siitä miten kasvihuonekaasupäästötaseita lasketaan. Metsien hiilinielujen ja khk-päästöjen mukaan ottaminen (ns. metsänhoitotoimenpide) on pakollinen kaikissa Kioton toiseen velvoitekauteen sitoutuneissa maissa. Kioton pöytäkirjan laskentasaäntöjen mukaan metsästä pois korjattu runkopuu ja pienpuu otetaan laskelmiin mukaan välittömänä päästönä. Tämä koskee myös energiaksi korjattavaa biomassaa. Energiaksi käytetyt kannot ja hakkuutähteet otetaan huomioon maaperälaskennassa karikesyötteen osuuden pienentymisenä. Tämä laskentatapa vaikuttaa puuston ja maaperän nettonieluun/päästöön ja nettonielun/päästön koko saatavaan hyvitykseen/lisärasitteeseen. Suomessa metsämaalla kasvatettu ja bioenergiaksi käytetty puu on Kioton pöytäkirjan 2. velvoitekauden laskelmissa periaatteessa täysimääräisesti mukana. Koska Suomelle on COP17:ssa Durbanissa kuitenkin sovittu metsänhoidollisten toimien nielulle hyödyntämisen kattoarvo, joka on 3,5 % perusvuoden 1990 kokonaispäästöistä ilman LULUCF-sektoria, on metsäbioenergian energiahyödyntäminen käytännössä päästötöntä, kunhan nielu ylittää tuon sovitun kattoarvon.

Kioton pöytäkirjan mukaisen kasvihuonekaasutaseiden laskennan lisäksi khk-päästöjen tarkastelunäkökulmia voi olla erilaisia. Kun metsästä korjataan biomassaa energiakäyttöön, aiheutuu hyödyntämisestä dynaaminen hiilivaje suhteessa vertailutilanteeseen, jossa biomassaa ei käytetä energiakäyttöön (esim. Pingoud

et al. 2013). Hiilitaseen kehittymistä boreaalisissa metsissä on eri tutkimuksissa arvioitu metsämallien avulla (esim. Asikainen ym. 2012). Metsäbiomassan energiakäytön aiheuttamia ilmastovaikutuksia voidaan arvioida tarkastelemalla kahta skenaariota, joista toisessa metsä jatkaa kasvuaan ilman hakkuuta. Mikäli metsää ei uudisteta hakkuilla, se jatkaa kehittymistään, kunnes se saavuttaa sukkession loppuvaiheen. Loppuvaiheessa eli kliimaksissa metsän kasvu pysähtyy ja muutokset metsän puustossa ovat hitaita. Ilman ulkoisia häiriötekijöitä (myrskytuhot, metsäpalot ja taudit) metsä uudistuu vanhojen puiden kuollessa ja uusien kasvaessa niiltä vapautuneen tilan myötä. Tutkimusten mukaan metsien kyky varastoida hiiltä on rajallinen, hoitamattomana ja luonnontilaisena metsä toimii hiilinieluna, mutta se saavuttaa hiilen sidonnan osalta lakipisteen jonka jälkeen metsä ei enää sido hiiltä enemmän, mutta säilyy silti edelleen hiilinieluna. Jossain vaiheessa jokin ulkoinen häiriötekijä aiheuttaa suuren muutoksen metsän puustossa. Metsä saattaa kuitenkin säilyä hiilivarantona satoja vuosia. Suomen metsiin sitoutuu koko ajan huomattavasti enemmän hiiltä kuin niistä vapautuu hyödyntämisen ja luontaisten prosessien vuoksi. Suomen metsävaranto eli hiilinielu on kasvanut tasaisesti viimeisten vuosikymmenten aikana. Hakkuutähteiden, kantojen ja pienpuun korjuu ja käyttö energiaksi ei uhkaa metsien hiilinielun kasvua, mutta hidastaa hieman sen kasvunopeutta. On kuitenkin tärkeää ymmärtää, että mikäli metsäbiomassan ottoa lisätään, pienenee nielun koko suhteessa tilanteeseen, jossa metsäbiomassaa otetaan vähemmän. Näin tapahtuu siitä huolimatta, että nielu säilyisi edelleen positiivisena. Näin ollen yllä kuvattujen prosessien kautta metsäbiomassan käytöstä aiheutuu aina lämmitysvaikutus suhteessa tilanteeseen, jossa biomassaa otetaan vähemmän. Koska ilmakehän näkökulmasta hiilinielun muutokset ovat ilmiönä verrattavissa hiilidioksidipäästöissä tapahtuviin muutoksiin, nämä seikat on tärkeä huomioida myös päästöihin liittyvissä tarkasteluissa.

Hakkuutähteiden, kantojen ja pienpuun korjuun vaikutukset maaperän hiilitaseisiin on nostettu viime aikoina esille useissa tutkimuksissa (mm. Repo et al. 2011, Sorsa & Soimakallio 2013, Sorsa 2011, Kilpeläinen et al. 2011). Tutkimuksissa on otettu huomioon metsäbiomassan luontaiseen hajoamiseen liittyvät prosessit ja sen vaikutukset maaperän hiilitaseeseen. Hakkuutähteiden energiankäyttöä tarkasteltaessa biomassan hiili vapautuu ilmakehään välittömästi kun hakkuutähteet poltetaan. Metsään jäävä biomassa taas hajoaa hitaammin. Siksi hakkuutähteen energiakäytöstä syntyy tarkastelujakson aluksi noin 10–25 vuoden ilmakehää lämmittävä vaikutus, joka kompensoituu metsän kasvun kautta vasta tietyn viiveen jälkeen (Pingoud ym. 2013). Päästön suuruuteen vaikuttaa olennaisesti tarkastelun aikajänne; mitä pidemmälle tarkasteluajanjakso asetetaan, sitä enemmän metsään jätetystä biomassasta on lahonnut ja kasvihuonekaasuja vapautunut ilmakehään, ja näin ollen metsäbiomassan laskennallinen päästö pienenee. Eri biomassaositteet (latvusmassa, runkopuu, kannot) käyttäytyvät tässä suhteessa eri tavoin; latvusmassa hajoaa nopeammin kuin kannot tai runkopuu. Tyypillisen 100 vuoden kiertoajan aikana esimerkiksi oksabiomassalle voidaan laskea näin 13–35 g/MJ kasvihuonekaasupäästö (Repo et al. 2011, Sorsa & Soimakallio 2013). Hitaammin lahoavan biomassan kuten kantojen osalta laskennallinen päästö on siis suurempi.

Metsien käyttö ja metsäenergian hyödyntäminen energiantuotannossa aiheuttaa kasvihuonekaasupäästöjä myös muissa elinkaarenvaiheissa; metsän kasvatusta, puunkorjuuta, mahdolliset lisälannoitukset, hakkuutähteiden, kantojen ja pienpuun korjuu, haketus tai murskaus ja kuljetus. Näiden vaiheiden aiheuttamat päästöt ovat kuitenkin metsäbiomassan energiasisältöön nähden pieniä, noin 1–4 CO₂ g/MJ (Sorsa & Soimakallio 2013, Wihersaari 2005).

Tarkastelun aikajänne ja tarkasteltavan tuotantosysteemin rajaukset ovat siis merkittäviä laskennallisiin kasvihuonekaasupäästöihin ja niiden suuruuteen vaikuttavia tekijöitä. Metsän kasvatusta, korjuuta ja kuljetusta aiheuttavat kasvihuonekaasu-

päästöt ovat melko pieniä, mutta mikäli epäsuorat kasvihuonekaasupäästöt eli metsämaaperän hiilivarannon erotus huomioidaan laskennassa ja tarkastelussa käytetään 100 vuoden kiertoaikaa, hakkuutähteen energiakäytön kasvihuonekaasupäästöjen vaihteluväli on (CO₂-ekv.) kirjallisuuskatsauksen mukaan noin 14–56 g/MJ.

Yhdistetty lämmön ja sähkön tuotanto sekä lämmön tuotanto

Yhdistetyssä lämmön ja sähkön tuotannossa (CHP) sekä pelkän **lämmön tuotannossa** hyödynnetään nykyisin huomattavia määriä puupohjaisia polttoaineita, erityisesti metsähaketta, jonka lisäkäytölle on myös asetettu huomattavia tavoitteita. Puhtaasti puuhun pohjautuvassa CHP- ja lämmöntuotannossa kasvihuonekaasupäästöt muodostuvat edellä mainituista metsänkasvatuksen ja -hoidon sekä korjuu- ja kuljetusoperaatioiden päästöistä. Tarkastelua voidaan laajentaa huomioimalla myös muutokset maaperän hiilitaseissa.

Nykyiset keski- ja suuren kokoluokan CHP-laitokset käyttävät yleisimmin monipolttoainetekniikkaa kattilatekniikkana, jossa poltetaan samanaikaisesti erilaisia kiinteitä polttoaineita seospolttona. Metsähakkeen ohella laitoksissa käytetään mm. turvetta, polttoöljyä ja ruokohelpeä, sekä muita metsäteollisuudesta tulevia, puupohjaisia polttoaineita. Fossiilisten tai fossiiliseksi luokiteltavien raaka-aineiden käyttö vaikuttaa erityisesti CHP-laitosten energian tuotannon kasvihuonekaasupäästöön niiden käyttösuhteen mukaisesti, joten yhtä määrällistä lukuarvoa kasvihuonekaasupäästöille ei siten voida antaa.

Sekä CHP- että lämmöntuotannosta aiheutuu päästöjä myös laitoksella käytettävien koneiden ja laitteiden polttoaineen kulutuksen vuoksi sekä prosesseissa ja laitteistoissa tarvittavien aineiden (voiteluaineet yms.) käytön vuoksi, mutta näiden osuus on erittäin pieni. Muiden ympäristövaikutusten kuin kasvihuonekaasujen osalta CHP-tuotantoa arvioitiin lähinnä laadullisen arvioinnin pohjalta.

Pyrolyysiöljyn tuotanto

Pyrolyysiöljyn tuotannon kasvihuonekaasupäästöjen osalta on merkittävää, ajatellaanko tuotannon olevan itsenäinen tuotantoyksikkö vai osa CHP-integroitua tuotantoa, otetaanko huomioon metsän hiilivarannon muutokset epäsuorana päästönä, ja mikä on tarkasteltava aikajänne (Sorsa & Soimakallio 2011, Sorsa 2011). Esimerkiksi Sorsa (2011) esittää näiden oletusten osalta pyrolyysiöljyn tuotannolle vaihteluväliä 12–77 g/MJ.

Pienimmän päästön tapauksessa pyrolyysiyksikkö on ajateltu itsenäiseksi tuotantolaitokseksi, joka hyödyntää 100 % metsäbiomassaa (hakkuutähde). Suurimman päästön tapauksessa pyrolyysiprosessia tarkastellaan osana CHP-laitosta ja sille allokoidaan myös muiden polttoaineiden (turve) käytöstä aiheutuvat päästöt sekä laskennassa otetaan huomioon myös maaperän hiilivaraston muutos 20 vuoden aikajänteellä.

Pelletit

Samat systeemirajauksen lainalaisuudet pätevät kaikille metsäbiomassaa hyödyntäville tuotantoketjuille. Poikkeuksen tekee **pellettituotanto**, jossa pääraaka-aineet eli sahanpuru ja kutterinlastu, syntyvät runkopuusta metsäteollisuuden sivutuotteena. Esimerkiksi jos sahanpuruksi päätyy n. 10 % sahaukseen menevästä runkopuun biomassasta, metsän kasvatuksen, korjuun ja kuljetuksen päästöistä sahanpurulle kohdennetaan vastaavasti 10 %:n osuus aiheutetuista päästöistä. Pelletin kohdalla merkittävin kasvihuonekaasupäästöjen lähde on pellettien tuotannossa käytettävä energia, joka Suomessa tuotetaan usein CHP-laitoksissa. Näin myös käytettävän turpeen osuus vaikuttaa merkittävästi pelletin todellisiin päästöihin. Tässä tarkastelussa pelletin tuotannon kasvihuonekaasupäästöjen vaihteluväliksi arvioitiin noin 3–30 g/MJ (Hagberg 2009).

Kotitalouksien puunpoltto

Kotitalouksien polttopuun käyttömääriä takoissa, uuneissa ja kiukaissa arvioidaan Metlan kyselytutkimusten pohjalta noin 6-7 vuoden välein. Näiden mukaan polttopuuta käytetään Suomen kotitalouksissa n. 6 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Määrä on pysynyt lähes samana viimeisen vuosikymmenen aikana eikä polttopuun poltolle ole asetettu lisäystavoitteita.

Polttopuiden poltosta aiheutuvat päästöt vaikuttavat merkittävästi ilmanlaatuun, koska päästöt syntyvät asuinalueilla ja jäävät lähialueen hengitysilmaan. Puun pienpoltosta aiheutuu ilmaan huomattavia määriä pienhiukkas-, häkä-, VOC-, ja PAH-päästöjä. Päästöihin vaikuttavia muuttujia on useita, joista merkittävimpiä ovat tulisijan tai kattilan rakenne ja käyttötapa sekä polttoaineen laatu. Polttopuiden polton päästöjen suurimmat terveysriskit aiheutuvat lämmityskauden aikana ja tiheästi asutuissa taajamissa ilman pienhiukkaspitoisuudet voivat kohota lämmityskauden aikana vaarallisen suuriksi. Pienhiukkaspäästöt ovat suurimmillaan takoissa ja erityisesti kiukaissa, jopa 200–300 mg/MJ (mm. Lamberg et al. 2011, Tissari et al. 2007, Tissari (ed.) 2011) ja useita kertaluokkia suuremmat kuin esimerkiksi pellettikattiloiden tai lämpölaitosten pienhiukkaspäästöt. Modernien tulisijojen ja kattiloiden päästöt ovat pienempiä kuin vanhempien kattiloiden ja tulisijojen.

Muut metsäenergian korjuun ympäristövaikutukset

Metsäbiomassan korjuulla energiakäyttöön saattaa olla vaikutusta sekä metsien monimuotoisuuteen että metsien ravinnetilaan. Metsien monimuotoisuus- ja ravinnetasevaikutuksia on tutkittu viime vuosina runsaasti mm. Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusohjelmissa (mm. Smolander et al 2013, Kubin et al. 2013, Ilvesniemi et al. 2012, Tamminen et al. 2012, Helmisaari et al. 2011, Saarsalmi et al. 2010). Sekä harvennusten kokopuun korjuun että päätehakkuiden hakkuutähteen osalta oksien ja neulasten/lehtien mukana pois vietävien ravinteiden määrä saattaa harvennuksilla vaikuttaa nuorten metsien kasvuun ja päätehakkuiden jälkeen taimikoiden alkukehitykseen. Tutkimuksissa havaitut vaikutukset ovat kuitenkin melko pieniä, eikä niitä ole havaittu kaikissa tutkimusten koeeasetelmissa (mm. Wall 2012). Lisäksi on huomioitava, että erityisesti päätehakkuualoilla hakkuutähteestä jätetään noin kolmasosa hakkuualalle teknis-taloudellisista syistä. Viimeaikaisten tutkimusten valossa päätehakkuun jälkeen tehtävä kantojen korjuun ei ole havaittu aiheuttaneen kasvuvaiikutuksia seuraavalle puusukupolvelle (Karlsson & Tamminen 2013). Myöskään maaperän ravinnetasot eivät reagoineet kantojen korjuuseen 30 vuoden seurantajaksoilla. Harvennusten osalta energiarangan korjuu on yleistynyt viime vuosina. Runkojen karsinnan myötä metsään jää enemmän ravinnerikasta neulas- ja oksabiomassaa kuin kokopuun korjuussa (Laitila & Väättäinen 2012).

Metsäbiomassan korjuulla voi olla jonkin verran vaikutusta metsämaan tiivistymiseen ja eroosioon (Helmisaari 2008). Lisäksi metsäbiomassan korjuu saattaa vaikuttaa metsämaaperän puskurointikykyyn happamoitumista vastaan. Intensiivinen biomassan korjuu voi vähentää maaperän ravinteiden määrää, mikä voi johtaa metsämaan happamoitumiseen (de Jong ym 2013). Tulokset ovat kuitenkin ristiriitaisia ja lisätutkimusta tarvitaan. Tutkimusten valossa näyttää kaiken kaikkiaan siltä, että metsäenergian korjuulla ei heikennetä metsien ravinnetilaa tai kasvuedellytyksiä verrattuna talousmetsien hyödyntämiseen, jos korjuun suunnittelussa ja kohteiden valinnassa noudatetaan vallitsevia ohjeistuksia. On kuitenkin huomioitava, että myös tästä aihepiiristä tarvitaan vielä lisää tutkimustietoa tulevaisuudessa.

Metsien käyttö vaikuttaa aina metsäekosysteemiin ja metsälajiston monimuotoisuuteen. Lahopuun väheneminen on keskeinen metsien eliöstön monimuotoisuutta heikentävä tekijä (Siitonen, 2012). Metsähakkeen raaka-aineiden, etenkin kantojen, korjuu voi vähentää metsiin jäävän lahopuun määrää (Eräjää et al. 2010). Metsäbiomassan energiakäytön lisävaikutus talousmetsien monimuotoisuuteen on nykytie-

don valossa melko vähäinen, mutta pitkäaikaista tutkimusta tarvitaan lisää. Pienin vaikutus metsien monimuotoisuudelle aiheutuu oletettavasti nuoren metsän hoitokohteilta ja ensiharvennuksilta korjattavan pieniläpimittaisen puun energiakäytöstä. Ensiharvennuksilta korjataan sekä energiarankaa (karsittuja runkoja) että kokopuuta (runko oksineen) joko energiapuun korjuuna tai vaihtoehtoisesti integroituna metsäteollisuuden ainespuun korjuuseen. Integroidussa korjuussa teollisuuden vaatimukset täyttävä ainespuu käytetään metsäteollisuuden raaka-aineena ja muu runkopuu sekä mahdollisesti latvukset metsähakkeen raaka-aineena.

Muista mahdollisista metsäenergian korjuun vaikutuksista maisema ja esteettinen haitta voivat olla asiantuntijoiden mukaan merkittäviä.

Peltoenergia

Tarkasteltuja peltoenergiaketjuja olivat rypsidiesel, ohra- ja vehnäetanoli sekä ruokohelven poltto. Näiden lisäksi tehtiin suppeampi kartoitus palmuöljydieselistä, jotta voitiin vertailla palmuöljyn ympäristövaikutuksia muihin liikennepolttoaineisiin, vaikka palmuöljyn tuotannon vaikutukset kohdistuvat muualle kuin Suomeen. Tieteellisten artikkeleiden ja muiden tutkimusraporttien lisäksi tarkasteluun otettiin myös YVA-selvityksiä, jotka keskittyivät tuotantolaitosten toiminnasta aiheutuviin vaikutuksiin. Näistä saatiin tietoa mm. tuotantolaitoksen aiheuttamasta melusta ja maisemahaitoista. Eniten kirjallisuustietoa löytyi rypsi- ja rapsibiodieselistä. Lisäksi haastateltiin seuraavia MTT:n asiantuntijoita: Kaija Hakala, kasvintuotanto, Marja Jalli, kasvitaudit, Merja Mylly, maaperäfyysikka, Oiva Niemeläinen, nurmikasvit.

Peltoviljelystä aiheutuu aina ympäristövaikutuksia, kun viljelyyn käytetään erilaisia tuotantopanoksia (kalkki, lannoitteet, energia). Tarkastelluissa tutkimuksissa oletuksena on ollut, että bioenergian raaka-aine on viljelty bioenergian tuotantoa varten, jolloin suurin osa päästöistä on allokoitu bioenergialle. Prosessissa syntyville sivutuotteille on puolestaan allokoitu eri tutkimuksissa eri periaatteiden mukaisesti päästöjä (esim. massa, hinta, korvaa jotain toista tuotetta). Rypsi- ja rapsibiodieselin ilmastomuutosvaikutus vaihteli eri tutkimuksissa 21–166 g CO₂-ekv./MJ välillä (Hoefnagels ym. 2010, Arvidsson ym. 2011) riippuen allokoinnista, tuotantotekniikasta (HVO/RME) ja systeemirajauksista. Ohra- ja vehnäetanolin ilmastomuutosvaikutukset puolestaan vaihtelivat 28–112 g CO₂-ekv./MJ välillä (Bernesson 2004, Virtanen ym. 2009). Myös etanolin kohdalla tulosten suuri vaihtelu johtui eri tutkimusten erilaisista allokointitavoista etanolin ja rankin välillä. Palmuöljyn päästöt voivat joidenkin tutkimusten mukaan olla jopa negatiivisia, kun mukaan otetaan korvaushyötyjä esimerkiksi kuorien energiakäytöstä, tai erittäin suuria, jos mukaan lasketaan maankäytön muutoksesta aiheutuvia päästöjä (esim. Soimakallio & Koponen 2011). Ruokohelven ilmastomuutosvaikutus oli noin 16 g CO₂-ekv./MJ (Antikainen ym. 2007, Kirkinen ym. 2008). Suurin osa peltoenergian ilmastomuutosvaikutuksesta syntyy raaka-aineen viljelyvaiheesta. Sinkon ym. (2010) mukaan Suomessa biopolttoaineiden raaka-aineeksi viljeltyjen kasvien kasvihuonekaasupäästöt ovat 29–46 g CO₂-ekv./MJ (ohra- ja vehnäetanoli) ja 35–57 g CO₂-ekv./MJ (rypsi- ja rapsibiodiesel). Nämä pitävät sisällään ainoastaan viljelyvaiheen päästöt ja allokointi pää- ja sivutuotteen kesken on tehty RES-direktiivin ohjeiden mukaisesti tuotteiden alempien lämpöarvojen perusteella. Tulokset olivat korkeita verrattuna direktiivissä esitettyihin viljelyn päästöjen oletusarvoihin, joka johtuu siitä, että satotasot ovat Suomessa alhaiset. Suomessa ei myöskään viljellä etanolin tuotantoon soveltuvia vehnäajikkeita.

Myös rehevöityminen aiheutuu pääasiassa raaka-aineen viljelystä. Rypsi- ja rapsibiodieselin rehevöittävät päästöt vaihtelivat 0,04–0,42 g PO₄-ekv./MJ välillä (Bernesson 2004, Börjesson & Tufvesson 2011) ja viljaetanolin 0,03–0,30 g PO₄-ekv./MJ välillä (Bernesson 2004, Virtanen ym. 2009). Myös näissä tutkimuksissa erot johtuivat pääasiassa eri

allokointitavoista. Ruokohelven rehevöittävät päästöt olivat puolestaan 0,07-0,08 g PO₄-ekv./MJ (Virtanen ym. 2009).

Peltoenergian energiatase ei välttämättä aina ole kovin hyvä, eli energiaa voi kulua ketjussa lähes yhtä paljon kuin energiaa tuotetaan. Kirjallisuuskatsauksen perusteella rypsidieselin energiatase vaihteli 0,3-1,5 MJ/MJ välillä (Hoefnagels ym. 2010, Arvidsson et al. 2011) ja viljaetanolin 0,5-1,0 MJ/MJ välillä (Hoefnagels ym. 2010, Punter ym. 2004). Palmuöljydieselin energiatase puolestaan oli 0,24–0,32 MJ/MJ (Hoefnagels ym. 2010). Ruokohelven energiatase vaihteli 0,09-0,12 MJ/MJ välillä (Antikainen ym. 2007, Virtanen ym. 2009). Myös tässä vaikutusluokassa raaka-aineen viljely oli kuormittavin vaihe.

Peltoenergian toksisuusvaikutukset voivat aiheutua joko kasvinsuojeluaineiden käytöstä raaka-aineiden viljelyssä, prosessoinnissa käytettävistä kemikaaleista tai energian käytöstä esimerkiksi liikenteessä. Toksisuusvaikutuksista löytyi hyvin vähän tietoa kirjallisuudesta. Kirjallisuuden perusteella rypsidiesel (RME) hajoaa nopeasti maassa ja vedessä, jonka vuoksi sen ei pitäisi aiheuttaa pitkäaikaisia vaikutuksia maaperään tai veteen (Peterson & Möller). Aakko-Saksan ym. (2011) tekemän kirjallisuuskatsauksen mukaan bioetanolin NO_x-päästöt voivat olla korkeammat kuin bensiinin, ja E85-polttoaineen päästöt alhaisemmat, joka ei kuitenkaan välttämättä päde alhaisissa lämpötiloissa. Aakko-Saksan ym. (2011) tekemien testien mukaan biopolttoaineiden käytön toksisuusvaikutukset puolestaan ovat pääasiallisesti samansuuruisia tai alhaisempia kuin fossiilisten polttoaineiden. Kuitenkin E85-polttoaineen toksisuusvaikutukset olivat suuremmat kuin fossiilisten polttoaineiden, mutta laskivat samalle tasolle fossiilisten kanssa, kun etanolin osuus laskettiin 30 %:iin. Erityisesti mutageeniset PAH-päästöt olivat E85-polttoaineella suuremmat.

Peltoviljely voi vaikuttaa myös maaperän tuottokykyyn, mutta tästäkään vaikutusluokasta ei juuri löytynyt kirjallisuustietoa. Yksivuotiset kasvit aiheuttavat enemmän eroosiota kuin monivuotiset kasvit, jonka vuoksi palmuöljyn vaikutukset eroosioon ovat pienemmät kuin esimerkiksi rypsidieselin (de Vries ym. 2009). Toisaalta suo-laantumisen ei ole Suomessa ongelma, mutta öljypalmua viljelevissä maissa sitä voi esiintyä.

Biokaasu

Myös biokaasun osalta tarkasteltiin tieteellisten artikkelien ja muiden raporttien lisäksi YVA-selvityksiä (Jeppo Kraft Andelslag 2010), joiden mukaan laitokset eivät aiheuta hajuhaittoja, päinvastoin haju on vähäisempää kuin lannan normaalissa käsittelyssä. Myöskään melun ei todettu ylittävän ohjearvoja. Lisäksi näissä todettiin, että laitosten vaikutus maisemaan riippuu laitoksen sijainnista. Biokaasuun liittyen haastateltiin kahta MTT:n asiantuntijaa, jotka olivat Sari Luostarinen ja Saija Rasi.

Biokaasun käyttökohteet vaihtelivat sähkön ja lämmön tuotannosta liikennekäyttöön, ja raaka-aineet erilaisista jätteistä (lanta, biojäte) nurmibiomassaan. Biokaasun kasvihuonekaasupäästöt voivat olla negatiivisia, kun mukaan otetaan vältetyt päästöt jätteen vaihtoehtoisesta käsittelystä. Lantaa raaka-aineena käyttävän laitoksen kasvihuonekaasupäästöt vaihtelivat -85,6–15,8 g CO₂-ekv./MJ välillä (JEC 2011, BioGrace). Biojättepohjaisen biokaasun päästöt puolestaan vaihtelivat -20–22,7 g CO₂-ekv./MJ välillä (Poeschl ym. 2012, BioGrace) ja nurmipohjaisella biokaasulla -26–48 g CO₂-ekv./MJ välillä (Thamsiriroja & Murphy 2011, Poeschl ym. 2012). Biokaasun raaka-aineena ei kuitenkaan yleensä käytetä vain yhtä raaka-ainetta, vaan useamman eri raaka-aineen seosta. Suurin kirjallisuudesta löydetty arvo biokaasulle oli 126 g CO₂-ekv./MJ, kun biokaasun raaka-aineena oli lanta ja säilörehunurmi ja biokaasusta tehtiin sähköä sähköverkkoon (Rehl ym. 2012). Biokaasun energiatase oli 0,03 MJ/MJ, kun raaka-aineena on jäte (JEC 2011), ja 0,9 MJ/MJ, kun lannan lisäksi raaka-aineena käytetään myös nurmea (Ademe 2011). Asiantuntija-arvioiden mukaan biokaasun toksisuus-

vaikutukset laitokselta ovat erittäin pienet, koska laitokset ja varastot ovat tiiviitä. Määdätteen peltokäytöstä voi kuitenkin aiheutua toksisia vaikutuksia, jos biokaasun raaka-aineessa on ollut haitallisia yhdisteitä. Myöskään biokaasun liikennekäytöstä ei aiheudu toksisuusvaikutuksia. Lisäksi biokaasuautot eivät aiheuta melua eivätkä pakokaasuhajua (Lampinen 2012).

Tuulivoima

Tuulivoiman osalta lähteinä käytettiin tieteellisiä artikkeleita (Evans ym. 2009; Pehnt 2006; Arvesen & Hertwich 2009; Fthenakis & Kim 2009; Sathaye et al. 2011), kahta kotimaista raporttia (Pöyry Management Consulting Oy 2011; Weckman 2006) ja yhtä ulkomaista raporttia (Moss ym. 2011). Lisäksi haastateltiin Juha Kiviluomaa (VTT) tuulivoiman ympäristövaikutuksista.

Tuulivoiman osalta tiedot vastaavat pääasiassa 1-2 MW tuulivoimaa. Lisäksi suurin osa löydettyistä julkaisuista käsitteli maalla sijaitsevaa (ns. on-shore) tuulivoimaa. Lähdeartikkelit käsittelivät nimenomaan tuulivoimaloiden rakentamisen ja käytön aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Esimerkiksi tarvittavan sähköverkon rakentamisen ympäristövaikutuksia ei huomioitu.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella tuulivoiman tuotantoon liittyvät päästöt ovat kauttaaltaan aurinkoenergiaa pienempiä. Kasvihuonekaasupäästöt ovat noin 1-20 g/MJ, NO_x-päästöt noin 6-9 mg/MJ ja SO₂-päästöt noin 10-11 mg/MJ. Merkittävimpinä ympäristövaikutuksina voidaan pitää käyttöön liittyviä monimuotoisuus-, melu- ja maisemavaikutuksia. Lisäksi voimaloiden valmistuksessa käytetään harvinaisia mineraaleja (esimerkiksi dysprosiumia ja neodyymiä). Monimuotoisuus- ja maisemavaikutuksia voidaan arvioida lähinnä laadullisesti. Tuulivoimalat voivat aiheuttaa lintujen ja lepakoiden törmäyskuolemia. Merellä sijaitsevan tuulivoiman rakentamisvaiheessa ääniaallot voivat vaikuttaa haitallisesti merinisäkkäisiin (Sathaye et al. 2011, Pöyry Management Consulting Oy 2011, Ympäristöhallinnon ohjeita 4, 2012).

Kuten edellä todettiin, tuulivoimaloihin liittyy luonnollisesti myös tiettyjen uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöä: Moss ym. (2011) mukaan SET-suunnitelman vuoden 2030 mukaisilla tuotantomäärillä erityisen kriittisiä aineita ovat dysprosium (Dy), neodyymi (Nd) ja molybdeeni (Mo). Muiden julkaisujen mukaan myös praseodyymia (Pr), terbitiumia (Tb), kromia (Cr), nikkeliä (Ni), molybdeeniä (Mo) ja mangaania (Mn) tarvittaisiin melko paljon (Sathaye et al. 2011). Näistä dysprosiumia ja neodimumia käytetään kestopagneettigeneraattoreissa ja molybdeeniä teräseoksissa. Kromia, nikkeliä, molybdeeniä ja magnesiumia käytetään esimerkiksi osien korroosionkeston parantamiseksi.

Vesivoima

Vesivoiman tuotannon aiheuttamia ympäristövaikutuksia tarkasteltiin mm. tieteellisten artikkelien (Pehnt 2006; Evans et al. 2009; Fthenakis and Kim 2009) sekä muutamien raporttien, lopputyön ja internetsivustojen perusteella. Vesivoiman aiheuttamat ympäristövaikutukset vaihtelevat suuresti riippuen siitä onko kyseessä niin sanottu jokivoimalaitos (*run-of-river*) vai säännöstelyvoimalaitos (*reservoir*). Säännöstelyvoimalaitos-tyyppisistä vesivoimalaitoksista aiheutuu tyypillisesti suuremmat ympäristövaikutukset kuin jokivoimalaitoksista. Erityisesti maankäyttövaikutukset ovat suurempia, samoin kasvihuonekaasupäästöt voivat olla melko korkeita riippuen altaan pohjan maaperästä ja orgaanisen aineksen määrästä. Kasvihuonekaasupäästöjä varastoallastyypisissä laitoksissa aiheutuu maaperän ja kasvijätteiden hajoamisen metaanipäästöistä. Ilmastonmuutosvaikutuksia aiheutuu myös muun muassa vesivoiman energiankulutuksesta ja uusiutumattomien luonnonvarojen käytöstä rakennusmateriaalina. Biodiversiteettiä aiheuttaviin liittyen vesivoiman rakentaminen

voi estää tai vaikeuttaa vaelluskalojen nousua ja kala- ja rapukannat voivat taantua. Tekoaltaiden rakentamisella voi olla merkittäviä vaikutuksia alueen eliöstöön. Käytön aikana vesistöjen säännöstelyllä on vaikutuksia rantakasvillisuuteen ja muuhun eliöstöön, sekä kalojen kutuun. (Melin 2010)

Maa- ja ilmalämpöpumput

Maa- ja ilmalämpöpumppujen ympäristövaikutuksista on toistaiseksi melko vähän julkaistua tietoa. Tässä työssä esitettävissä tuloksissa on lähteinä käytetty kolmea tieteellistä artikkelia (Saner ym. 2010; Johnson 2011; Greening & Azapagic 2012). Lämpöpumppujen aiheuttamat ympäristövaikutukset riippuvat pääasiassa käytettävän sähköön päästöistä. Pumppujen käytössä tarvitaan sähköä, jonka tuotanto useimmissa ympäristövaikutusluokissa aiheuttaa suuremmat vaikutukset kuin lämpöpumppujen muista elinkaarivaiheista aiheutuu.

Tarkasteltujen julkaisujen perusteella maalämpöpumpun elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt noin 50 g CO₂ ekv./ MJ ja ilmalämpöpumpun 60–75 g CO₂ ekv./ MJ. Luvut eivät kuitenkaan ole suoraan sovellettavissa Suomeen, koska meillä sähköntuotannon keskimääräiset ominaispäästöt ovat pienemmät kuin näissä tutkimuksissa käytetyt luvut. Joka tapauksessa suurin osa, eli noin 80-90 %, päästöistä aiheutuu käytetystä sähköstä. Myös monet muut lämpöpumppuihin liitettävät päästöt ovat kauttaaltaan tuuli- ja aurinkoenergiaa suuremmat johtuen käytetystä sähköstä. Lämpöpumpuissa käytettävissä kiertoaineissa käytetään usein HFC-yhdisteitä, jotka ovat voimakkaita kasvihuonekaasuja. Ne ovat kuitenkin vähitellen korvautumassa muilla aineilla.

Kierrätyspolttoaineet

Kierrätyspolttoaineiden aiheuttamien ympäristövaikutusten arvioinnissa lähteinä käytettiin raporttia Myllymaa et al. (2008) sekä muutamaa tieteellistä artikkelia (mm. Cherubini et al. 2009; Khoo 2009; Fruergaard and Astrup 2011). Lisäksi haastateltiin SYKEstä kierrätyspolttoaineiden asiantuntijaa Tuuli Myllymaata. Myllymaa et al. (2008) tarkasteli teollisuuden energiajätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen polttoa jätteenpolttoa varten suunnitellussa leijupetilaitoksessa. Kotitalouksien sekajätteestä valmistetun kierrätyspolttoaineen polttoa tarkasteltiin tämän lisäksi rinnakkais- ja seospolttona voima- tai lämpövoimalaitosten leijupetikattilassa. Kierrätyspolttoaineiden aiheuttamien ympäristövaikutusten arviointia vaikeuttaa se, että kierrätyspolttoaineen laatu voi vaihdella suuresti riippuen siitä minkälaisesta jätteestä polttoaine on valmistettu. Kierrätyspolttoaineiden ympäristöhöyöjen tai -haittojen määrittelyssä keskeistä on minkälaisia hyvityksiä jätteen energiakäytölle lasketaan. Todellisuudessa saatavat hyvitykset taas ovat hyvin epävarmoja, koska ne riippuvat kulloinkin korvattavasta polttoaineesta.

Kierrätyspolttoaineiden osalta ilmastonmuutosvaikutusten lisäksi korostuivat happamoituminen, rehevöityminen, pienhiukkaset ja toksisuusvaikutukset. Kierrätyspolttoaineilla on myös riskinä itsestään syttyminen varastoissa, jolloin kertaluonteiset päästöt voivat olla huomattavia.

Aurinkoenergia

Aurinkoenergian osalta lähteenä olivat pääasiassa tieteelliset artikkelit (Ardenne 2005; Simons & Firth 2011; Pehnt 2006; Hsu ym. 2012; Fthenakis ym. 2008; Fthenakis & Kim 2009; Stoppato 2008; Kim ym. 2012; Evans ym. 2009; Sathaye ym. 2011). Lisäksi käytettiin kahta raporttia (Fromer ym. 2011; Moss ym. 2011).

Koska säteilyn määrä vaihtelee eri leveysasteilla, vaihtelee myös aurinkopaneeleilla ja -keräimillä saatavan energian määrä. Näin ollen aurinkosähköä koskevat tulokset muutettiin vastaamaan Suomen keskimääräisiä säteilyolosuhteita (1050 kWh/m²/v (Pasonen ym. 2012)). Aurinkolämpöä koskevat luvut muutettiin vastamaan Suomessa 1 m² keräimellä keskimäärin vuodessa saatavaa lämpö määrää (325 kWh/v, Motiva 2012).

Kirjallisuuskatsauksen perusteella aurinkolämmön tuotannon elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt ovat noin 3-19 g/MJ ja aurinkosähkön noin 9-22 g/MJ (vrt. maakaasun suorat päästöt 55 g/MJ) (Kim et al. 2012; Simons & Firth 2011; Ardente et al. 2005; Pehnt, M. 2006; Hsu et al. 2012; Stoppato et al. 2008; Fthenakis et al. 2008). Myös muut ilmapäästöt ovat pieniä suhteessa fossiilisiin polttoaineisiin. Joidenkin julkaisujen mukaan aurinkopaneelien valmistuksessa tarvittavien kemikaalien toksiset päästöt saattavat kuitenkin olla suuria (Evans ym. 2009).

Kirjallisuuskatsauksen perusteella keskeisin aurinkoenergiaan liittyvä ympäristövaikutus ja -riski liittyy uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöön. Monien aurinkopaneelien valmistuksessa käytettyjen metallien saatavuus voi tulevaisuudessa aiheuttaa ongelmia. Moss ym. (2011) arvioivat Euroopan strategisen energiateknologiasuunnitelman (ns. SET-suunnitelman) tavoitteiden mukaisen aurinkoenergian tuotantomäärien aiheuttamaa kriittisten raaka-aineiden kulutusta. Heidän mukaansa vuonna 2020 ja 2030 erityisen kriittisiä alkuaineita olisivat telluuri (Te), indium (In), tina (Sn), hopea (Ag) ja gallium (Ga). Muissa julkaisuissa kriittisinä raaka-aineina mainitaan myös germanium (Ge), seleeni (Se) ja rutenium (Ru) (Sathaye ym. 2011; Rosnick ym. 2011).

3.2

Laadulliset arvioinnit

Laadullisen arvioinnin taulukot sekä yksikkövaikutusten että 2020 tuotantomäärien osalta on esitetty liitteissä 2 ja 3. Seuraavassa käydään läpi laadullisen arvioinnin tuloksia.

Metsäenergia

Metsäenergian yksikkövaikutusten osalta asiantuntijat pitivät erittäin merkittävänä kotitalouksien polttopuun pienhiukkaspäästöjen vaikutuksia kansanterveyteen, sillä niillä on selvä yhteys kuolleisuuteen ja vakaviin sairauskohtauksiin. Alhaisempien polttolämpötilojen ja heikon puhdistustekniikan vuoksi myös pienten lämpölaitosten pienhiukkaspäästöt arvioitiin merkittäväksi riskiksi kansanterveydelle. Sen sijaan savukaasujen puhdistustekniikkaa käyttävien CHP- ja lämpölaitosten, pellettien tuotannon ja polton sekä pyrolyysiöljyn käytön pienhiukkaspäästöjen katsottiin olevan vain jonkin verran merkittäviä.

Pienhiukkasten lyhytaikaiset ilmastovaikutukset ovat asiantuntijoiden mukaan merkittäviä puun pienpolton osalta, sillä poltossa syntyvä noki saattaa voimistaa ilmakehän lämpenemistä. Tästä ei kuitenkaan ole juurikaan tutkimustuloksia saatavilla. Merkittävänä vaikutuksina pidettiin myös tarkasteltavien metsäenergian tuotantomuotojen ilmastovaikutuksia. Ilmastovaikutus nostettiin merkittäviksi, sillä sen määrittämiseen liittyy vielä paljon avoimia kysymyksiä (ks. luku 3.1).

Metsähakkeen raaka-aineiden, etenkin kantojen, korjuu vähentää metsiin jäävän lahoppuun määrää, minkä vuoksi monimuotoisuusvaikutukset arvioitiin merkittäviksi. Lisäksi arvioitiin, että metsien energiakäyttö lisää metsätalouden intensiivisyyttä eli metsistä korjataan enemmän biomassaa kuin ilman energiakäyttöä, millä voi olla oma

vaikutuksensa luonnon monimuotoisuuteen. Pitkän aikavälin monimuotoisuusvaikutuksia ei kuitenkaan tunneta vielä riittävän hyvin ja tarvitaan lisää tutkimustietoa.

Metsäenergian raaka-aineiden korjuun vaikutukset happamoitumiseen, alailmakehän otsoniin, vesistöjen rehevöitymiseen ja maaperäntuottokykyyn (vaikutukset orgaanisen aineksen määrään, eroosioon, ravinnetaseeseen, tiivistymiseen) sekä kasvituholaisiin ja tauteihin arvioitiin jonkin verran merkittäviksi.

Esteettinen ja maisemahaitta, sekä vaikutukset luonnon virkistyskäyttöön arvioitiin jonkin verran merkittäviksi. Työterveysvaikutukset pölyn ja tapaturmariskin vuoksi sekä puun pienpoltosta aiheutuva hajuhaitta arvioitiin myös jonkin verran merkittäviksi. Meluhaittaa puolestaan voi aiheutua jonkin verran lämpölaitoksista, CHP-voimaloista sekä pellettien ja pyrolyysiöljyn tuotannosta. CHP-voimala ja pellettituotanto arvioitiin jonkin verran merkittäviksi uusiutumattomien luonnonvarojen osalta, sillä niiden infrastruktuurin rakentaminen vaatii runsaasti luonnonvaroja. CHP-tuotanto lisää myös jonkin verran veden kulutusta.

Kun otetaan huomioon metsäenergian tuotannon 2020 tuotantotavoitteet, merkittäviä vaikutuksia asiantuntijoiden mukaan olivat lämpölaitoksien, CHP-tuotannon ja puun pienpolton ilmastovaikutukset. Puun pienpolton osalta pienhiukkasten vaikutukset kansanterveyteen arvioitiin erittäin merkittäviksi ja lyhytaikaiset ilmastovaikutukset merkittäviksi. Myös monimuotoisuusvaikutukset arvioitiin merkittäviksi kaikkien tarkasteltavien metsäenergian tuotantomuotojen osalta.

Peltoenergia

Suurin osa peltoenergian ympäristövaikutuksista liittyy viljelyvaiheeseen. Viljelyvaiheessa lannoitteiden ja työkoneiden käyttö aiheuttavat vaikutuksia monessa vaikutusluokassa. Myös jalostusvaiheen energiankulutuksesta aiheutuu jonkin verran ympäristövaikutuksia. Rypsidieselin (NExBTL, HVO, RME) sekä ohra- ja vehnäetanolin yksikkövaikutusten osalta vesistöjen rehevöityminen arvioitiin erittäin merkittäväksi ja ilmastomuutosvaikutukset merkittäviksi. Merkittävä vaikutus on myös maankäytöllä. Lisäksi rypsidieselin osalta vaikutusluokka kasvituholaiset ja taudit arvioitiin merkittäväksi, koska rypsin viljelyn merkittävä lisääminen lisää ristikkukaisten kasvintuhoojien lisääntymisen todennäköisyyttä, mutta toisaalta rypsi voi vähentää viljelykierrossa viljojen kasvintuhoojien esiintymisriskiä. Ohra- ja vehnäetanolilla tämä vaikutusluokka arvioitiin jonkin verran merkittäväksi. Peltoenergian tuotannon arvioitiin vaikuttavan myös jonkin verran merkittävästi happamoitumiseen, pienhiukkasiin, alailmakehän otsonin muodostumiseen, toksisuuteen, monimuotoisuuteen, sekä maaperän tuottokyvyn heikkenemiseen orgaanisen aineksen, ravinnetaseen ja tiivistymisen osalta. Uusiutumattomien luonnonvarojen osalta fossiilisten polttoaineiden kulutus erityisesti viljely- ja jalostusvaiheessa, sekä fossiilisten lannoitteiden käyttö, arvioitiin myös jonkin verran merkittäväksi. Työterveysvaikutusten arvioitiin olevan jonkin verran merkittäviä, koska erityisesti raaka-aineiden murskausvaiheessa on työtaturmavaara. Lisäksi raaka-aineen käsittely- ja varastointivaiheessa muodostuu pölyä, joka voi altistaa terveysvaikutuksille.

Vuoden 2020 peltobiomassojen tuotantomäärätavoitteet ovat niin pieniä, että tavoitteet voidaan saavuttaa olemassa olevilla pelloilla ja viljelemättömillä pelloilla. Siksi vuoden 2020 vaikutukset ovat pääosin pienemmät kuin yksikkövaikutukset. Vesistöjen rehevöityminen, joka johtuu pääasiassa lannoitteiden käytöstä, arvioitiin edelleen merkittäväksi vaikutukseksi. Lisäksi toksisuusvaikutukset ja vaikutukset monimuotoisuuteen sekä maaperän tuottokyvyn heikkeneminen sekä työterveysvaikutukset arvioitiin jonkin verran merkittäviksi. Ilmastomuutosvaikutus, joka yksikkövaikutusten osalta arvioitiin merkittäväksi, arvioitiin puolestaan vuoden 2020 tuotantomäärät huomioiden ei merkittäväksi, lukuun ottamatta rypsidieseliä

(NExBTL, HVO), jonka ilmastonmuutosvaikutus arvioitiin ei merkittäväksi/jonkin verran merkittäväksi.

Ruokohelven osalta arviot vaikutuksista ovat samansuuntaisia kuin muilla peltobiomassoilla, sillä myös ruokohelven viljely vaatii tuotantopanoksia (kalkki, lannoitteet, energia), joista syntyy päästöjä. Vesistöjen rehevöitymisen osalta arvioitiin, että typpi- ja fosforihuuhtoutumat ovat pienempiä kuin yksivuotisilla kasveilla. Maaperän tuottokyvyn heikkenemisen osalta ainoastaan ravinnetase arvioitiin jonkin verran merkittäväksi. Kun vuoden 2020 tuotantomäärät otetaan huomioon, kaikkien vaikutusten arvioitiin olevan enintään jonkin verran merkittäviä.

Palmuöjydieselin vaikutukset liittyvät pääosin plantaasivaiheeseen. Merkittäviä yksikkövaikutuksia ovat ilmastonmuutos, vesistöjen rehevöitymien, monimuotoisuus, sekä maaperän tuottokyvyn heikkeneminen orgaanisen aineksen, eroosion ja ravinnetaseen osalta. Vaikutukset aiheutuvat pääosin sademetsien raivauksen vuoksi. Maankäytön muutos arvioitiin myös merkittäväksi silloin, kun uusia plantaaseja perustetaan, jolloin metsää tai laidunmaata saatetaan raivata pois tieltä. Sademetsien raivaus aiheuttaa myös esteettistä ja maisemahaittaa, ja vaikuttaa luonnon virkistyskäyttöön, joten nämä vaikutukset arvioitiin jonkin verran merkittäviksi. Muuten vaikutukset arvioitiin samalla tavalla kuin edellä esitettyjen peltobiomassojen osalta. Kun vaikutuksia tarkastellaan vuoden 2020 tuotantomäärät huomioon ottaen, sademetsien raivauksen arvioitiin vaikuttavan merkittävästi monimuotoisuuteen, maaperän tuottokyvyn heikkenemiseen, sekä kasvituholaisiin ja tauteihin. Ilmastonmuutosvaikutus arvioitiin ei merkittäväksi/jonkin verran merkittäväksi.

Biokaasu

Biokaasun tuotannon osalta jonkin verran merkittäväksi/merkittäväksi tunnistettiin vesistöjen rehevöityminen. Tämä riippuu kuitenkin käytetystä raaka-aineesta (esim. viljelty nurmi aiheuttaa rehevöitymistä, kun taas jäte/tähdekasvit tai lanta eivät aiheuta). On arvioitu, että jäte/tähdekasvimassan hyödyntäminen pelloilta voi jopa vähentää rehevöitymistä, esimerkkinä luonnonhoitopellot, joille kasvimassa yleensä jätetään. Biokaasun tuotannon ilmastonmuutosvaikutukset arvioitiin ei merkittäväksi/jonkin verran merkittäväksi. Vaikutukset aiheutuvat esimerkiksi metaanipäästöistä/vuodoista biokaasun tuotanto- ja jalostusvaiheessa sekä mädätteen varastoinnista. Myös viljeltyjen kasvien käyttö raaka-aineena aiheuttaa ilmastonmuutosvaikutuksia. Biokaasun käyttövaiheesta aiheutuu jonkin verran merkittäviä vaikutuksia happamoitumiseen, pienhiukkasten sekä alailmakehän otsonin muodostumiseen. Maaperän tuottokyvyn vaikutukset arvioitiin ei merkittäväksi. Biokaasulaitos voi aiheuttaa paikallisesti hajuhaittoja, mutta toisaalta mädättäminen vähentää lannan hajua. Kasvituholaisten ja tautien vaikutukset arvioitiin ei merkittäviksi, mutta positiivisia vaikutuksia voidaan saavuttaa, koska biokaasuprosessi tuhoaa taudinaiheuttajia ja rikkaruohon siemeniä. Kun vuoden 2020 tuotantomäärät otetaan huomioon, jonkin verran merkittäviä vaikutuksia on arvioitu olevan ilmastomuutoksella, monimuotoisuusvaikutuksilla sekä maankäytöllä. Nämä vaikutukset ovat edelleen riippuvaisia käytetystä raaka-aineesta. Biokaasun vaikutusarviointia tehtäessä ongelmana pidettiin sitä, että arviointi ei huomioi lainkaan positiivisia vaikutuksia.

Tuulivoima

Tuulivoiman yksikkövaikutuksista jonkin verran merkittävien vaikutusten tunnistettiin olevan enimmäkseen paikallisia vaikutuksia, kuten tuulivoimalan rakenteesta aiheutuvia maisemahaittoja, esteettisiä haittoja ja vaikutuksia maankäyttöön ja luonnon monimuotoisuuteen. Lisäksi mm. lapojen pyörimisestä aiheutuu varjostusta ja välkehdintää sekä melua. Uusiutumattomien luonnonvarojen käytön vaikutusten

arvioitiin olevan jonkin verran merkittäviä metallien ja mineraalien käytön osalta. Päästövaikutukset liittyvät pääosin materiaalin hankintaan sekä käytöstä poistoon ja niiden arvioitiin olevan ei merkittäviä/jonkin verran merkittäviä. Kun vaikutuksia tarkastellaan vuoden 2020 tuotantomäärien näkökulmasta, jonkin verran merkittäviä vaikutuksia arvioitiin edelleen olevan paikalliset vaikutukset varjostus ja välkehäntä, maisemahaitta ja esteettinen haitta. Melun arvioitiin olevan ei merkittävää tai jonkin verran merkittävää ja uusiutumattomien luonnonvarojen käytön jonkin verran merkittävää.

Vesivoima

Vesivoiman osalta vaikutukset riippuvat paljon siitä, onko kyseessä allas- vai joki-tyyppinen voimala. Allastyypisessä voimalassa maapinta-alaa peittyy laajemmilta alueilta veden alle kuin jokityypisessä voimalassa ja siksi kasviperäisen aineksen hajoamisesta aiheutuvat metaanipäästöt voivat olla merkittäviä. Vesivoimalle jonkin verran merkittäviä tai merkittäviä yksikkövaikutuksia tunnistettiin olevan ilmastomuutoksen lisäksi vesistöjen rehevöitymisessä, monimuotoisuusvaikutuksissa, eroosiossa ja veden käytössä. Allastyypisessä laitoksessa maankäytön vaikutus voi olla myös merkittävä. Paikallisia jonkin verran merkittäviä vaikutuksia tunnistettiin olevan lisäksi melun, maisemahaitan ja luonnon virkistyskäytön osalta. Materiaalien käyttöön liittyen myös luonnonvarojen käyttö tunnistettiin jonkin verran merkittäväksi. Kun vuoden 2020 tuotantomäärät otetaan huomioon, merkittävänä pidetyt vaikutukset olivat enimmäkseen samoja kuin yksikkövaikutusten osalta.

Maa- ja ilmalämpöpumput

Maa- ja ilmalämpöpumppujen yksikkövaikutusten osalta päästövaikutusten merkittävyys riippuu käytetystä sähköstä. Lisäksi uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö tunnistettiin jonkin verran merkittäväksi. Ilmalämpöpumppujen rakenteellisten ratkaisujen vuoksi paikalliset vaikutukset, kuten melu, maisemahaitta ja esteettinen haitta arvioitiin jonkin verran merkittäviksi. Kun lämpöpumppujen vaikutuksia peilataan vuoden 2020 tavoitetuotantomääriin, päästövaikutuksista ilmastonmuutos, happamoitumis-, pienhiukkas- ja alailmakehän otsonivaikutusten arvioitiin pienevän, ja olevan edelleen ei merkittäviä/jonkin verran merkittäviä, kuten arvioitiin olevan myös uusiutumattomien luonnonvarojen osalta. Ilmalämpöpumppujen paikallisten vaikutusten, maisemahaitan ja esteettisen haitan arvioitiin olevan jonkin verran merkittäviä.

Kierrätyspolttoaineet

Kierrätyspolttoaineiden osalta vaikutuksia syntyy erityisesti polton aikana. Lisäksi huomiota tulee kiinnittää siihen, mitä polttoaineita kierrätyspolttoaineilla korvataan, koska se vaikuttaa päästöjen suuruuteen merkittävästi. Päästövaikutuksista ilmastonmuutos, happamoituminen ja pienhiukkaset tunnistettiin merkittävimiksi vaikutuksiksi toksisuusvaikutusten lisäksi. Näiden lisäksi alailmakehän otsoni, vesistöjen rehevöityminen ja vaikutukset monimuotoisuuteen arvioitiin jonkin verran merkittäviksi. Kierrätyspolttoaineiden valmistusvaiheen vaikutuksista murskauksesta aiheutuva melu ja yleisesti työterveysvaikutukset arvioitiin myös jonkin verran merkittäviksi. Kierrätyspolttoaineiden varastoinnissa riskinä on jakeen itsestään syttyminen, jolloin hetkelliset ja paikalliset ilmapäästöt voivat nousta erittäin merkittäviksi. Kun vaikutuksia peilataan vuoden 2020 tuotantomääriin, ainoastaan ilmastonmuutoksen ja pienhiukkasvaikutusten arvioitiin olevan ei merkittäviä tai jonkin verran merkittäviä.

Aurinkoenergia

Aurinkolämpökeräimien ja -paneelien osalta tunnistettiin samat merkittävät vaikutusluokat. Näiden vaikutukset liittyvät pääosin keräimien ja paneelien valmistuksessa käytettävien raaka-aineiden tuotantoon ja hankintaan, joista ilmastonmuutos, happamoituminen, pienhiukkaset, alailmakehän otsoni, vaikutukset monimuotoisuuteen ja vesijalanjälki arvioitiin ei merkittäväksi/jonkin verran merkittäväksi ja toksisuusvaikutukset jonkin verran merkittäviksi. Valmistuksessa käytetään myös harvinaisia mineraaleja ja metalleja, joten uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö arvioitiin merkittäväksi. Aurinkokeräimet ja -paneelit sijoitetaan usein näkyville paikoille, joten maisemahaitta ja esteettinen haitta arvioitiin jonkin verran merkittäviksi. Kun vuoden 2020 tuotantomäärät otetaan huomioon, minkään vaikutusluokan ei arvioitu nousevan merkittäväksi kokonaistarkastelussa.

Yhteenveto merkittäviksi arvioituista vaikutusluokista

Vuoden 2020 tavoitemäärillä erittäin merkittäviksi tai merkittäviksi ympäristövaikutusluokiksi nousivat asiantuntija-arvion mukaan puun energiakäytön aiheuttama ilmastovaikutus, puun pienpolton osalta pienhiukkasten vaikutukset kansanterveyteen ja lyhytaikaiset ilmastovaikutukset sekä monimuotoisuusvaikutukset kaikkien metsäenergian tuotantomuotojen osalta. Puun energiakäytön merkittävä tai erittäin merkittävä ilmastovaikutus liittyy paitsi suuriin tuotantomääriin, myös ilmastovaikutuksen laskennan teknisiin oletuksiin. Merkittäviksi arvioitiin myös kaikkien peltobioenergian tuotantomuotojen (paitsi biokaasun ja ruokohelven) osalta vesistöjen rehevöityminen ja palmuöljyn ympäristövaikutuksista arvioitiin merkittäviksi rehevöitymisen lisäksi vaikutukset monimuotoisuuteen, maaperän orgaaniseen ainekseen, ravinnetaseeseen ja eroosioon, sekä kasvituholaisiin ja tauteihin. Vesivoiman monimuotoisuusvaikutukset arvioitiin myös merkittäviksi.

3.3

Toimenpide-ehdotusten ja jatkotutkimusaiheiden priorisoinnin tulokset

Toimenpide-ehdotusten ja jatkotutkimusaiheiden priorisoinnin tulokset on koottu taulukkoon 2, jossa on esitetty eri hallinnonaloilta saatujen tulosten keskiarvot. Tehtävän muotoilu ja käytetty kyselylomake on esitetty luvussa 2 ja liitteessä 1. Prioriteettipisteiden tulkinta tehdään siten, että mitä suurempi pistemäärä, sitä merkittävämpänä kyseistä tekijää vastaajat ovat pitäneet.

Tulosten mukaan keskeisimpänä kehittämiskohteena pidettiin kattavan LCA-tutkimuksen toteuttamista uusiutuvan energian tuotantovaihtoehdoille (82,5 pistettä 100 mahdollisesta pisteestä). Metsähakkeen laadun parantamiseen, sekä korjuu-, kuljetus- ja logistiikkateknologian kehittämiseen liittyvät ympäristöhyödyt sijoittuivat toiseksi (66,25p) ja metsien hiilivaraston laskentaan liittyvät kysymykset sijoittuivat kolmanneksi (65p). Ilmastonmuutoksen vaikutukset metsien kasvuun ja kehitykseen, sekä metsien monimuotoisuus olivat seuraavina (62,5p molemmilla). Vähiten merkittävänä pidettiin aurinkovoimaloiden käyttöikään liittyviä kysymyksiä (23,75p), peltöenergian käyttömäärien kasvattamisen riskirajoja, sekä tuulivoimarakentamisen uusia materiaaleja (32,5). Myös puun pienpolttoon liittyviä kysymyksiä ei pidetty tässä yhteydessä kovinkaan merkittävänä (35p).

Taulukko 2. Toimenpide-ehdotusten ja jatkotutkimusaiheiden priorisoinnin tulokset eri hallinnonalojen keskiarvoina.

| Priorisoitavat tekijät | Pisteet | Priorisoitavat tekijät | Pisteet |
|---|---------|---|---------|
| 1. Uusiutuvalla energialla saavutettujen ympäristö- ja muiden hyötyjen tarkastelu suhteessa tuotannosta aiheutuneisiin haittoihin | 42,5 | 11. Maatalouden ravinteiden kierrätyksen ja suljettujen kiertojen edistäminen | 45 |
| 2. Kattavan LCA-tutkimuksen toteuttaminen uusiutuvan energian tuotantovaihtoehdoille | 82,5 | 12. Maatalouden kokonaisketjun parempi hallinta erillistarkastelujen sijaan | 40 |
| 3. Metsien ilmastovaikutuksen laskenta | 42,5 | 13. Maatalouden ekotoksisten ja toksisten vaikutusten parempi tunteminen | 35 |
| 4. Metsien hiilivarastojen laskentaan liittyvät kysymykset | 65 | 14. Maatalouden lannoitevalmisteiden N ₂ O-päästöjen määrän ja rajoittamiskeinojen selvittäminen | 35 |
| 5. Ilmastonmuutoksen vaikutukset metsien kasvuun ja kehitykseen | 62,5 | 15. Peltoenergian käyttömäärien kasvattamisen riskirajat | 30 |
| 6. Puun pienpoltto | 35 | 16. Tuulivoimalarakentamisen uudet materiaalit | 32,5 |
| 7. Metsähakkeen laadun parantamisen, sekä korjuu-, kuljetus- ja logistiikkateknologian kehittämisen ympäristöhyödyt | 66,25 | 17. Tuulivoiman meluhaittojen pienentäminen | 42,5 |
| 8. Metsien monimuotoisuus | 62,5 | 18. Vesivoiman lisärakentamisen vaikutukset | 43,75 |
| 9. Metsämaaperän laatu | 58,75 | 19. Aurinkovoimaloiden käyttöikä Suomessa | 23,75 |
| 10. Maatalouden rehevöittävien päästöjen laskentamenetelmien kehittäminen ja vaikutusten huomiointi | 38,75 | 20. Lämpöpumppujen, aurinkoenergian ja tuulivoiman laajamittaisen käytön vaikutukset muuhun energijärjestelmään | 53,75 |

4 Johtopäätelmät

Kirjallisuuskatsaus osoitti, että eri energiamuotojen ympäristövaikutuksista ei ole riittävästi tietoa, eivätkä tutkimustulokset ole välttämättä vertailukelpoisia. Selvityksessä on hyödynnetty runsaasti asiantuntijatietämystä ja tässä esitettävät johtopäätökset pohjautuvat sekä kirjallisuuskatsaukseen, että asiantuntija-arvioihin.

Metsäenergia

Metsäenergian osalta merkittävimmät kysymykset liittyvät kasvihuonekaasupäästöihin, puun pienpolton pienhiukkaspäästöihin, metsien käytön aiheuttamiin monimuotoisuusvaikutuksiin sekä metsien ravinnetilan kehitykseen.

Metsäbiomassaa käyttävien tuotantoketjujen kasvihuonekaasupäästöjen osalta on julkaistu viime vuosina runsaasti uutta tietoa, mitä voidaan hyödyntää erilaisten energiantuotantovaihtoehtojen vertailussa. Ongelmana on kuitenkin tuotantoketjujen vertailtavuus, systeemirajaus ja tarkasteltavan aikajänteen pituuden valinta vaikutuksia arvioitaessa. Erilaisilla laskentatavoilla saadaan hyvin erilaisia tuloksia metsäbiomassan hyödyntämisen kasvihuonekaasupäästöistä. Metsäbiomassan käytön ilmastovaikutus riippuu muun muassa siitä, millaista metsäbiomassaa tarkastellaan (esim. metsätähde vai runkopuu) sekä tarkastelun aikajänteestä.

Kasvihuonekaasupäästöihin ja niiden laskentaan liittyvät näkökohdat ovat tarpeellisia, mutta toisaalta olisi myös oletettavaa että uusiutuvedelle itsessään annetaan tulevaisuudessa yhä enemmän painoarvoa vertailussa fossiilisiin polttoaineisiin. Jotta uusiutuvaan energiaan liittyvässä päätöksenteossa voitaisiin olla johdonmukaisia, sekä kansainvälisellä ja kansallisella tasolla olisi tärkeää määritellä, miten kasvihuonekaasupäästöjä tulee arvioida.

Vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen arvioitiin asiantuntijatyöpajassa merkittäväksi etenkin siksi, että kasvaviin metsäbiomassan käyttömääriin voi liittyä riskejä monimuotoisuuden kannalta. Metsien monimuotoisuus- ja ravinnetasevaikutuksia on tutkittu runsaasti viime vuosina. Merkittäviä, erityisesti metsäenergian korjuusta johtuvia, uhkia metsien monimuotoisuudelle ei ole havaittu, mutta erityisesti pitkäaikaisen toiminnan vaikutusten osalta tarvitaan edelleen lisää tutkimustietoa. Metsähakkeen tuotantomäärät ovat nousseet nopeasti, mutta vaikutustutkimustulosten valmistuminen vaatii aikaa. Tästä syystä monia pitkän aikavälin ympäristövaikutuksia ei vielä täysin tunneta. Nykyiset energiapuun korjuun ja kasvatuksen suositukset noudattavat niin sanottua varovaisuusperiaatetta sekä intensiivisyyden että korjuukohteiden valinnan osalta. Jatkossa tutkimusta tulisi suunnata erityisesti siihen millaisissa tilanteissa korjuulla on monimuotoisuuden, ravinnetalouden tai metsien hiilitaseen kannalta erityisesti haitallisia vaikutuksia, ja toisaalta missä sillä on vähiten haitallisia vaikutuksia, jotta tavoitteet voidaan saavuttaa ympäristön kannalta parhaalla mahdollisella tavalla.

Metsäpohjaisen energian käytön lisäämistavoitteet on asetettu erityisesti sähkön ja lämmöntuotantoon CHP-laitoksissa. Nykyään yli 80 % metsähakkeesta poltetaan suurissa yli 20 MW:n laitoksissa. Kotitalouksien puunpienpolton osalle ei ole asetettu kasvutavoitteita, vaan käytön on oletettu pysyvän nykytasolla. Pienpolton osalta tutkimustulokset ovat yksiselitteisiä; pienhiukkaspäästöt muodostavat suuren terveysriskin erityisesti tiheästi asutuissa taajamissa lämmityskaudella. Tutkimustulokset kuitenkin osoittavat myös, että oikealla polttotavalla ja laadukkaalla polttopuulla voidaan alentaa päästöjä merkittävästi. Tässä suhteessa oikeasta polttotekniikasta tiedottamisella ja yleisellä valistuksella on tulevaisuudessa merkittävä rooli.

Peltoenergia

Kasvien viljely aiheuttaa aina ympäristövaikutuksia, erityisesti rehevöitymistä. Myös kasvihuonekaasupäästöt voivat olla suuret, etenkin suomalaisilla peltokasveilla, joiden satotasot ovat alhaiset, tai jos uutta peltoalaa joudutaan raivaamaan raaka-aineen tuotantoa varten. Uusiutuvan energian lisäämistavoitteet maatalousbiomassojen osalta ovat kuitenkin niin pieniä, että tavoitteet voidaan saavuttaa olemassa olevilla viljelyaloilla ja viljelemättömillä lohkoilla, jolloin ei ole tarvetta raivata uutta peltopinta-alaa. Tämän vuoksi, rehevöitymistä lukuun ottamatta, ympäristövaikutukset eivät ole kovin merkittäviä. Viljelystä aiheutuvia päästöjä, erityisesti rehevöittäviä päästöjä, pyritään hallitsemaan jo nyt ympäristötuen tukiehtojen avulla. Ympäristötuen hakeminen ei ole pakollista tiloille, jolloin tukiehtoja ei tarvitse noudattaa, mutta ympäristötuella on niin suuri taloudellinen merkitys viljelijälle, että suurin osa hakee tukea ja siten noudattaa tukiehtoja. Myös toksisuus- ja ekotoksisuusvaikutuksia pyritään jo nyt hallitsemaan lainsäädännön kautta, sillä kasvinsuojeluaineet pääsevät markkinoille vain riskinarvioinnin kautta, jolla pyritään minimoimaan haitalliset vaikutukset. Ilmastonmuutoksen myötä Suomeen voi tulla uusia kasvituholaisia ja -tauteja, jonka seurauksena voidaan joutua käyttämään enemmän kasvinsuojeluaineita, joka puolestaan voi aiheuttaa toksisuus- ja ekotoksisuusvaikutuksia. Toisaalta ilmastonmuutos voi myös vähentää kasvinsuojeluaineiden tarvetta, jos nykyiset kasvitaudit ja -tuholaiset eivät viihdy muuttuneessa ilmastossa. Ilmastonmuutos voi myös muuttaa viljelyolosuhteita parempaan suuntaan, jolloin Suomessa voitaisiin viljellä satoisampia lajikkeita tai nykyisten lajikkeiden satotasot voivat kasvaa, jolloin päästöt tuotettua energiayksikköä kohden laskisivat.

Biokaasu

Biokaasun tuotannon ympäristövaikutukset riippuvat käytetystä raaka-aineesta, sillä jättepohjaisten raaka-aineiden ympäristövaikutukset ovat pienet, mutta viljellyt raaka-aineet aiheuttavat mm. rehevöitymistä. Toisaalta viljelykasveista nurmi on yksi biokaasun potentiaalisimmista raaka-aineista, jonka viljely aiheuttaa huomattavasti pienempiä ympäristövaikutuksia yksivuotisiin kasveihin verrattuna. Jättepohjaisilla raaka-aineilla tuotetun biokaasun päästöt voivat olla myös negatiivisia, jos biokaasulle lasketaan korvaushyödyksi jätteiden tai lannan vaihtoehtoisesta käsittelystä vältyttyt päästöt. Biokaasun osalta pidettiin ongelmallisena pelkkien haittojen tarkastelua, koska biokaasun tuotannolla on myös hyötynäkökohtia, esimerkiksi lannan ravinteet muuttuvat biokaasuprosessissa kasveille paremmin käyttökelpoiseen muotoon, joka voi vähentää typpihuuhtoumia vesistöihin. Tällä hetkellä rehevöittävien päästöjen laskentamenetelmät ovat kuitenkin puutteellisia, jonka vuoksi tämän huomioonottaminen päästölaskennassa on vaikeaa. Tarvitaankin uutta tutkimusta ja mittaustuloksia eri tekijöiden vaikutuksista rehevöittäviin päästöihin.

Muut teknologiat

Tuulivoima

Merkittävimmät tuulivoimaan liittyvät ympäristövaikutukset ovat maisema-, melu- ja monimuotoisuusvaikutukset. Ne ovat kaikki paikallisia vaikutuksia, joihin voidaan vaikuttaa laitosten sijoittelulla. Tulevaisuudessa on odotettavissa, että tuulivoimaloiden koko entisestään kasvaa. Voimaloiden koon kasvaessa myös haitat kasvavat/lisääntyvät. Olisikin tärkeää löytää keinoja melu- ja maisemahaittojen ja haitallisten monimuotoisuusvaikutuksien pienentämiseksi.

Tuulivoimaloiden valmistamiseen ja rakentamiseen liittyvät ympäristövaikutukset ovat pääosin melko vähäisiä. Yksi merkittävimmistä vaikutuksista muodostuu voimaloiden valmistuksessa käytettävistä materiaaleista. Osa tuulivoimaloissa tarvittavista materiaaleista on harvinaisia tai niiden tuotantomäärät ovat muista syistä pieniä. Tuotannon turvaamiseksi myös suuremmilla tuotantomäärillä tai noiden materiaalien saatavuuden ehtyessä tulisikin rakentamiseen löytää lisää uusia ympäristöä vähän kuormittavia materiaaleja. Lisäksi tuulivoiman käyttöön liittyy erityisesti maisema- ja meluvaikutuksia. Tuulivoimarakentamisessa huomioitavia seikkoja käsitellään YM:n julkaisemassa ohjeessa vuodelta 2012 (YM 2012).

Vesivoima

Vesivoiman aiheuttamat ympäristövaikutukset riippuvat paljon siitä tehostetaanko nykyisiä voimalaitoksia, vai rakennetaanko kokonaan uusia voimaloita. Nykylaitosten tehostamisen vaikutukset ovat pääasiassa melko pieniä. Vesivoimalat saattavat aiheuttaa vähäisiä paikallisia rehevöitymisvaikutuksia. Monimuotoisuusvaikutukset voivat voimalasta riippuen olla jopa huomattavia. Vesivoimalat myös voimistavat eroosiota paikallisesti. Uudet voimalat aiheuttavat merkittäviä ilmastomuutos- ja maankäyttövaikutuksia. Ilmastomuutosvaikutusten suuruus riippuu siitä minkälainen maaperä jää tekoaltaan alle.

Aurinkoenergia

Aurinkopaneelien ja -keräimien valmistuksen aiheuttamat ympäristövaikutukset ovat yleisesti ottaen pieniä. Toisaalta vaikutukset ovat Suomessa suhteessa suurempia kuin eteläisemmällä alueella johtuen Suomen alhaisemmasta vuotuisen säteilyn määrästä. Jatkotutkimuksissa olisi kuitenkin hyvä tarkastella laitteiden käyttöikä: onko Suomen ja muiden maiden välillä olosuhteista (lämpötila, säteily määrä yms.) aiheutuvia eroja aurinkovoimaloiden käyttöikässä. Yhtenä merkittävimmistä tulevaisuuden ympäristövaikutuksista tai -riskeistä voidaan tämän selvityksen perusteella pitää aurinkopaneelien- ja -keräimien valmistuksessa tarvittavien harvinaisten alkuaineiden riittävyyttä. Aurinkopaneelissa tarvitaan tiettyjä metalleja, joiden saatavuus voi tulevaisuudessa aiheuttaa ongelmia. Osa näistä metalleista on muiden tuotteiden sivutuotteita ja niitä syntyy vain vähän suhteessa päätuotteeseen. Tällöin niiden hinnan huomattavakaan nousu tulevaisuudessa ei kannustaisi lisäämään tuotantoa. "Päämetallien" tuottajilla on myös vain vähän kannusteita panostaa näiden sivutuotteina syntyvien metallien tehokkaampaan hyödyntämiseen. Aurinkoenergiateknologioissa käytettävillä raaka-aineilla on myös toistaiseksi vähän korvaavia metalleja, jolloin tietyn metallin saatavuuden ehtyminen voi lopettaa kyseisen teknologian valmistuksen kokonaan.

Monet uusiutuvan energian tuotantomuodot, erityisesti aurinko- ja tuulivoima sekä lämpöpumput edustavat vaihtelevaa tuotantoa, joka vaatii tuekseen säästövoimaa. Yleensä näillä energialähteillä saatava tuotanto on pienimmillään silloin kun

energian kysyntä on suurimmillaan (esim. talvella). Olisikin tärkeää selvittää miten energiajärjestelmän toimivuus turvataan tuotannon vaihdellessa ja mitkä ovat toisaalta näiden tuotantomuotojen ympäristövaikutukset kun säätövoimasta aiheutuvat hetkelliset vaikutukset huomioidaan.

Kierrätyspolttoaineet

Kierrätyspolttoaineiden osuuden vuonna 2020 arvioidaan olevan ainoastaan vajaa 3 % uusiutuvista energiantuotantomuodoista, jolloin kokonaisvaikutukset ovat melko pieniä. Kuitenkin, kun tarkastellaan merkittäviä yksikkövaikutuksia, polton aikana syntyvät ilmastomuutos-, happamoitumis- ja pienhiukkasvaikutukset nousevat esiin. Lisäksi paikallisia vaikutuksia voi syntyä jonkin verran murskauksesta aiheutuvasta melusta. Kierrätyspolttoaineiden ympäristövaikutuksia on kuitenkin vaikea arvioida, koska niiden laatu ja koostumus voivat vaihdella suuresti riippuen siitä, mistä jätteestä polttoaine on valmistettu. Käytännössä kierrätyspolttoaineita valmistetaan lähinnä kaupan ja teollisuuden erilliskerätyistä energijätteistä, kuten puhtaista ja tasalaatuisista pakkausjätteistä ja puujätteestä (REF).

Kierrätyspolttoaineiden osalta yksi tärkeimmistä tekijöistä on se, mitä polttoainetta korvataan. Jos verrataan tuotettuun energiamäärään, kierrätyspolttoaineilla on pienempi energia-arvo kuin fossiililla polttoaineilla, jolloin energiasisältöön suhteutetut kokonaisympäristövaikutukset saattavat olla suuremmat. Todellisuudessa kierrätyspolttoaineilla korvattavaa polttoainetta voi olla vaikea arvioida ja siitä saatavat hyödyt ovat näin ollen hyvin epävarmoja. Kysymys nousee myös siinä, mille sektorille kierrätyspolttoaineiden poltosta syntyvät päästöt kirjataan, koska toisaalta kyseessä on energian tuotanto mutta toisaalta taas jätehuolto.

Vesivoima

Vesivoiman vaikutukset ovat erityisesti paikallisia vaikutuksia ja ne vaihtelevat suuresti riippuen siitä onko kyseessä säännöstely- vai jokityyppinen voimala. Säännöstelyvoimalaitos-tyyppisessä voimalassa maapinta-alaa peittyy laajemmilta alueilta veden alle kuin jokityyppisessä voimalassa ja sen takia kasviperäisen aineksen hajoamisesta aiheutuvat metaanipäästöt vaikuttavat ilmastomuutos- ja maankäyttövaikutuksiin.

Suomessa voidaan lisätä jonkin verran vesivoiman tuotantoa puuttumatta jo toteutettuun ympäristönsuojeluun (esim. koskiensuojelulait). Tällä hetkellä toteutettavaa vesivoimapotentiaalia on 175 MW vuoteen 2010 mennessä, lisäksi 235 MW vuoteen 2015 mennessä ja vielä yli 20 MW vuoteen 2020 mennessä. Taloudellisten ja ympäristöllisten syiden vuoksi yli 100 MW potentiaalista jäänee kuitenkin toteuttamatta. Sääntöön soveltuvaa vesivoimaa voidaan lisätä lähinnä konetehoja nostamalla vuoteen 2030 mennessä noin 200 MW, joka vasta noin 10 % nykyisestä tuotannosta. Vesivoiman säätökapasiteettia voidaan myös kasvattaa merkittävästi rakentamalla varastoaltaat Kemi- ja Iijoelle. (Ilmasto-opas, viitattu 5.10.2013)

Vesivoiman tehon korottamisen vaihtoehtoja ovat tehonnostot rakennetuissa vesistöissä, lisäkoneistot, perkaukset, yläaltaan veden nostot, tulvajuoksutuskoneistojen rakentamiset ja säännöstelykapasiteetin lisäämistä. Lisäksi uutta vesivoimaa voidaan rakentaa suojelemattomiin vesistöihin. (Energiateollisuus ry, 2005) Perkaukset voivat kuitenkin aiheuttaa eroosiota, joka tunnistettiin vesivoiman osalta jonkin verran merkittäväksi vaikutukseksi. Yläaltaan veden nostolla ja säännöstelykapasiteetin lisäämisellä vaikutetaan puolestaan maankäyttöön ja voidaan lisätä ilmastomuutosvaikutuksia, kun uutta maapintaa jää veden alle.

Toimenpide-ehdotukset ja jatkotutkimusaiheet

Toimenpide-ehdotusten ja jatkotutkimusaiheiden tuottamisen ja priorisoinnin tavoitteena oli antaa tietoa siitä, mitkä ovat keskeisimmät tietoaukot ja kehittämistoimenpiteet uusiutuvan energian toimintasuunnitelman toteuttamisessa ja haitallisten ympäristövaikutusten minimoimisessa Suomessa. Useimmat tuotetuista tekijöistä pitivät sisällään sekä käytännön kehittämiseen liittyviä toimenpiteitä että jatkotutkimusaiheita. Priorisoinnin tavoitteena oli esittää arvio yleisellä tasolla siitä, kuinka paljon päätöksenteossa tulisi resursoida eri toimenpiteitä tulevaisuudessa. Priorisointi ei sellaisenaan sovellu esim. yksittäisen hallinnonalan resursointitarkasteluihin kysymyksenasettelun yleisen muotoilun vuoksi.

Priorisoinnin tärkeimmäksi tekijäksi nousi kattavan LCA-tutkimuksen toteuttaminen uusiutuvan energian tuotantovaihtoehdoille. Tämä johtopäätelmä saa tukea myös tämän tutkimusraportin muista osista, koska havaittiin, että lähtökohdaksi otettu määrällinen tarkastelu ei ole laajassa mittakaavassa mahdollista tietopuutteiden ja eri tietolähteistä koottujen tietojen vertailukelpoisuuteen liittyvien ongelmien takia. Kattavaa LCA-tutkimusta tuskin kuitenkaan kannattaa tehdä koskien kaikkia tässä tutkimuksessa esitetyjä tuotantomuotoja ja vaikutusluokkia. Jonkinasteinen rajattu mutta silti laaja tarkastelu, joka ottaisi huomioon myös energiajärjestelmiin liittyvät eri tuotantomuotojen väliset riippuvuussuhteet, olisi kuitenkin perusteltua tehdä.

Monet metsiin liittyvät kysymykset nousivat myös esille priorisoinnissa. Syynä tähän lienee metsiin asetetut tavoitteet uusiutuvan energian tuotannossa, jolloin suurten tuotantomäärien seurauksena vaikutukset voivat myös kasvaa merkittäviksi. Puun pienpolttoon liittyvät vaikutukset eivät kuitenkaan kohonneet merkittäviksi priorisointikyselyssä toisin kuten muissa tämän tutkimuksen tarkasteluissa. Peltoenergiaan liittyvien vaikutuksien merkitys sijoittui priorisoinnissa keskitasolle, mikä on selitettävissä sillä että toisaalta yksikkövaikutukset ovat joissain tapauksissa suuria mutta taas toisaalta tuotantomäärien katsottiin olevan kokonaisuutena varsin maltillisia. Vesivoiman lisärakentamisen vaikutukset sijoittuivat priorisoinnissa maatalouden tekijöiden kanssa keskitasolle. Aurinko- ja tuulivoimaan liittyviä kysymyksiä ei pidetty priorisoinnissa merkittävänä lukuun ottamatta tuulivoiman meluhaittojen pienentämistä.

Tämän tutkimuksen määrällisten aineistojen läpikäyntiin ja laadullisiin arviointeihin perustuvia johtopäätelmiä voidaan pitää keskenään varsin johdonmukaisina verrattuna eri toimenpiteistä tehtyihin priorisointeihin. Molemmat lähestymistavat korostavat määrällisten tarkastelujen tarpeellisuutta, jolloin myös tulosten luotettavuus paranee. Tutkimuksessa sovelletun laadullisen lähestymistavan tuloksia voidaan pitää suuntaa-antavina, mutta kykenevinä nostamaan esille joukon keskeisiä kysymyksiä liittyen esimerkiksi metsäenergian ilmasto- ja monimuotoisuusvaikutuksiin ja peltoenergian vesistöjä rehevöittäviin vaikutuksiin perustuen parhaaseen käytettävissä olevaan tietoon. Toisaalta tutkimus osoitti myös että suurinta osaa eri tuotantomuotojen ja vaikutusluokkien yhdistelmästä voitiin pitää kokonaisuuden kannalta merkitykseltään vähäisinä. Uusiutuvan energian tuotannon vaikutusten arviointiin liittyvä jatkotutkimus ja käytännön kehittämistoimenpiteet voidaan kohdentaa esille nousseisiin keskeisiin kysymyksiin ja tietoaukkoihin, jolloin suuri osa vaikutusluokkien ja tuotantomuotojen yhdistelmästä voidaan rajata pois jatkotarkasteluista niiden vähäisen merkityksen vuoksi. Erityisesti on tarvetta tehdä kohdennettuja määrällisiä elinkaaritarkasteluja, joissa huomiota on kiinnitetty eri tuotantomuotojen tuottamien vaikutusten vertailukelpoisuuteen.

LÄHTEET

- Aakko-Saksa, P., Koponen, P., Kihlman, J., Reinikainen, M., Skyttä, E., Rantanen-Kolehmainen, L., Engman, A. 2011. Biogasoline options for conventional spark-ignition cars. VTT Working Papers 187.
- Ademe, 2011. Life cycle analysis of the biogas originating from energy crops. Recovered as vehicle and boiler fuel, after injection into the natural gas grid. Final definitive report. March 2011.
- Antikainen, R., Tenhunen, J., Ilomäki, M., Mickwitz, P., Punttila, P., Puustinen, M., Seppälä, J., Kauppi, L. 2007. Bioenergian uudet haasteet Suomessa ja niiden ympäristönäkökohdat. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 11/2007.
- Ardente, F., Beccali, G., Cellura, M., Lo Brano, V. 2005. Life cycle assessment of a solar thermal collector. *Renewable Energy* 30, 1031-1054.
- Arvesen, A., Hertwich, E. 2012, Assessing the life cycle environmental impacts of wind power: A review of present knowledge and research needs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 5994-6006.
- Arvidsson, R., Persson, S., Fröling, M., Svanström, M. 2011. Life cycle assessment of hydrotreated vegetable oil (HVO) from rape, oil palm and Jatropha. *Journal of Cleaner Production* 19, 129–137.
- Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E. & Muhonen, T. (toim.). 2012. Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Metlan työraportteja 240. 211 s. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp240.htm>
- Bernesson, S. 2004. Life Cycle Assessment of Rapeseed Oil, Rape Methyl Ester (RME) and Ethanol as Fuels- a comparison between large- and small scale production. SLU. Miljö, teknik och lantbruk Rapport 2004:01.
- BioGrace. Harmonised calculations of biofuel greenhouse gas emissions in Europe. Version 3. Saatavissa: www.biograce.net
- Börjesson, P., Tufvesson, L. 2011. Agricultural crop-based biofuels - resource efficiency and environmental performance including direct land use change. *Journal of Cleaner Production* 19, 108-120.
- Cherubini, F., Bargigli, S., Ulgiati, S. 2009. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy* 34 (12), 2116-2123.
- de Jong, J., Akselsson, C., Berglund, H., Egnell, G., Gerhardt, K., Lönnberg, L., Olsson, B., von Stedingk, H. 2013. Consequences of an increased extraction of forest biofuel in Sweden – A synthesis from the biofuel research programme 2007-2011, supported by Swedish Energy Agency. Summary of the synthesis report. Swedish Energy Agency, Eskilstuna.
- de Vries, S.C., van de Ven, G.V.J., van Ittersum, M.K., Giller, K.E. 2010. Resource use efficiency and environmental performance of nine major biofuel crops, processed by first generation conversion techniques. *Biomass and Bioenergy* 34, 588-601.
- Energiateollisuus ry. 2005. Vesivoimatuotannon määrä ja lisäämismahdollisuudet Suomessa. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto. [ET Vesivoimamaraportti lopullinen_090305.pdf](#)
- Evans, A., Strezov, V., Evans, T. J. 2009. Assessment of sustainability indicators for renewable energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13(5), 1082-1088.
- Eräjää, S., Halme, P., Kotiaho, J. S., Markkanen, A., Toivanen, T. 2010. The volume and composition of dead wood on traditional and forest fuel harvested clear-cuts. *Silva Fennica* 44 2 article id 150.
- Fromer, N., R. G. Eggert, J., Lifton 2011. Critical materials for sustainable energy Applications. The Resnick Institute Report. Resnick Institute.
- Fruergaard, T., Astrup, T. 2011. Optimal utilization of waste-to-energy in an LCA perspective. *Waste Management* 31(3), 572-582.
- Fthenakis, V.M., Kim, H.C., Alsema, E. 2008. Emissions from Photovoltaic Life Cycles. *Environmental Science & Technology* 2008 42 (6), 2168-2174
- Fthenakis, V., Kim, H. C. 2009. Land use and electricity generation: A life-cycle analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (6–7), 1465-1474.
- Greening, B., Azapagic, A. 2012. Domestic heat pumps: Life cycle environmental impacts and potential implications for the UK. *Energy* 39, 205-217.
- Hagberg, L., Särnholm, E., Gode, J., Ekvall, T., Rydberg, T., 2009. LCA calculations on Swedish wood pellet production chains – according to the Renewable Energy Directive. IVL Report B1873, Swedish Environmental Research Institute, 46 pp.
- Helmisaari, H.-S., Hanssen, K., Jacobson, S., Kukkola, M., Luro, J., Saarsalmi, A., Tamminen, P. & Tveite, B. 2011. Logging residue removal after thinning in Nordic boreal forests: Long-term impact on tree growth. *Forest Ecology and Management* 261: 1919-1927.
- Helmisaari, H.-S., Finér, L., Kukkola, M., Lindroos, A.-J., Luro, J., Piirainen, S., Saarsalmi, A., Smolander A., Tamminen, P. (Kuusinen, M., Ilvesniemi, H. (toim.). 2008. [Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset](#), tutkimusraportti. Tapion ja Metlan julkaisuja. 74 s
- Hoefnagels, R., Smeets, E., Faaij, A. 2010. Greenhouse gas footprints of different biofuel production systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 1661–1694

- Hsu, D. D., O'Donoghue, P., Fthenakis, V., Heath, G. A., Kim, H. C., Sawyer, P., Choi, J.-K., Damon E., Turney, D.E. 2012. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Crystalline Silicon Photovoltaic Electricity Generation. *Journal of Industrial Ecology* 16 (S1): 122-135.
- Ilmasto-opas, viitattu 5.10.2013. Vesivoima on ilmastoystävällistä säättövoimaa. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/41d49038-4b1e-4e86-b4cb-625010eff7f/vesivoiman-tuotanto.html>
- Ilvesniemi, H., Hartman, M., Hytönen, J., Laurén, A., Kaila, A., Kantola, M., Kiikkilä, O., Kremsa, J., Kubin, E., Lindgren, M., Lindroos, A.-J., Moilanen, M., Murto, T., Nieminen, M., Nieminen, T.M., Penttilä, T., Piispanen, J., Saarsalmi, A., Smolander, A., Tamminen, P. & Ukonmaanaho, L. 2012. Energiapuun korjuun vaikutukset metsiin ja vesistöihin. Julkaisussa: Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E. & Muhonen, T. (toim.). Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 240: 53-82. ISBN 978-951-40-2378-1
- JEC. 2011. Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context. Version 3c.
- Jeppo Kraft Andelslag 2010. Biokaasulaitos, YVA-selostus. Saatavissa: http://www.ely-keskus.fi/fi/ELYkeskukset/EtelaPohjanmaanELY/Ymparistonsuojelu/YVA/paattyneet/jatehuolto/Documents/Biokaasulaitoksen%20rakennushanke,%20Uusikaarlepyy/YVA_selostus_FI.pdf
- Johnson, E.P. 2011. Air-source heat pump carbon footprints: HFC impacts and comparison to other heat sources. *Energy Policy* 39, 1369-1381.
- Kansallinen energia- ja ilmastostrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 20. päivänä maaliskuuta 2013. VNS 2/2013 vp. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto. 8/2013. 53 s. [Verkkodokumentti] Saatavissa: http://www.tem.fi/files/36266/Energia_ja_ilmastostrategia_nettijulkaisu_SUOMENKIELINEN.pdf
- Khoo, H. H. 2009. Life cycle impact assessment of various waste conversion technologies. *Waste Management* 29 (6), 1892-1900.
- Kilpeläinen, A., Alam, A., Strandman, H., Kellomäki S. 2011. Life cycle assessment tool for estimating net CO2 exchange of forest production. *Global Change Biology Bioenergy*, 3 (6), 461-471.
- Kim, H.C., Fthenakis, V., Choi, J.-K. Turney, D.J. 2012. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Thin-film Photovoltaic Electricity Generation *Journal of Industrial Ecology* 16 (S1), S110-S119.
- Kirkinen, J., Palosuo, T., Holmgren, K. Savolainen I. 2008. Greenhouse impact due to the use of combustible fuels: life cycle viewpoint and relative radiative forcing commitment. *Environmental Management* 42, 458-469.
- Kubin, E., Hartman, M., Ilvesniemi, H., Lingren, M., Kokko, A., Murto, T., Pasanen, J., Piispanen, J., Pohjola, S., Seppänen, R., Tarvainen, O., Tillman- Sutela, E. & Tolvanen, A. 2013. Kantojen noston ja hakkuutähteiden keruun ekologiset ja metsänhoidolliset vaikutukset (3475). Koe-kenttien perustaminen ja tuloksia. Metlan työraportteja/Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 252. 45 s.
- Laitila, J., Väätäinen, K. 2012. Truck transportation and chipping productivity of whole trees and delimbed energy wood in Finland. *Croatian Journal of Forest Engineering* 33 (2), 199-210. [pdf]
- Lamberg, H., Nuutinen, K., Tissari, J., Ruusunen, J., Yli-Pirilä, P. Sippula, O., Tapanainen, M., Jalava, P., Makkonen, U., Teinilä, K., Saarnio, K., Hillamo, R., Hirvonen, M-R., Jokiniemi, J. 2011. Physicochemical characterization of fine particles from small-scale wood combustion. *Atmospheric Environment* 45, 7635-7643.
- Lampinen, A. 2012. Tiekartta uusiutuvaan metaanitalouteen. Sektoriraportti liikenne- ja viestintäministeriön työryhmälle Tulevaisuuden käyttövoimat liikenteessä. Pohjois-Karjalan liikennebiokaasuverkoston kehityshankkeen julkaisuja 1/2012.
- Melin, L. 2010. Potentially conflicting interests between Hydropower and the European Unions Water Framework Directive A Master Thesis. Division of Water Resources Engineering Department of Building and Environmental Technology Lund University. <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=1680111&fileId=1680115>
- Moss, R. L., Tzimas, E., Kara, H., Willis, P., Kooroshy, J. 2011. Critical Metals in Strategic Energy Technologies. JRC-scientific and strategic reports, European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Motiva 2012. Auringosta lämpöä ja sähköä. Lämmitys / sähköjärjestelmät aurinkoenergia. http://www.motiva.fi/julkaisut/uusiutuva_energia/auringosta_lampoa_ja_sahkoa.1027.shtml
- Myllymaa, T., Moliis, K., Tohka, A., Rantanen, P., Ollikainen, M., Dahlbo, H. 2008. Jätteiden kierrätyksen ja polton käsittelyketjujen ympäristökuormitus ja kustannukset. Inventaarioraportti.
- Nabuurs, G.-J., Lindner, M., Verkerk, P. J., Gunia, K., Dedea, P., Michalak, R., Grassi, G. First signs of carbon sink saturation in European forest biomass. *Nature Climate Change* 3, 792-796.
- Pasonen, R., Mäki, K., Alanen, R., Sipilä, Kari 2012. Arctic solar energy solutions. VTT Technology: 15 VTT, Espoo. (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
- Pehnt, M. 2006. Dynamic life cycle assessment (LCA) of renewable energy technologies. *Renewable Energy* 31 (1), 55-71.
- Peterson, C.L., Möller, G. Biodegradability, BOD5, COD and toxicity of biodiesel fuels. University of Idaho. <http://www.uiweb.uidaho.edu/bioenergy/BiodieselEd/publication/04.pdf>
- Pingoud, K., Savolainen, S., Seppälä, J., Kanninen, M. & Kilpeläinen, A. 2013. Metsien käytön ja metsäbioenergian ilmastovaikutukset. Raportti 2/2013. Suomen Ilmastopaneeli, Helsinki

- Poeschl, M., Ward, S., Owende, P. 2012. Environmental impacts of biogas deployment – Part II: life cycle assessment of multiple production and utilization pathways. *Journal of Cleaner Production* 24, 184-201.
- Punter, G., Rickeard, D., Larive, J-F, Edwards, R, Mortimer, N., Horne, R., Bauen, A. Woods, J. 2004. Well-to-Wheel Evaluation for Production of Ethanol from Wheat. A report by the Low-CVP Fuels Working Group, WTW Sub-Group.
- Pöyry Management Consulting Oy 2011. Tuulivoima ja linnusto - kokemukset ja käytännöt Suomesta ja lähialueilta. Raportti nro 52A15507. http://energia.fi/sites/default/files/et_tuulivoima_linnusto_final.pdf
- Rehl, T., Lanche, J. Muller, J. 2012. Life cycle assessment of energy generation from biogas- Attributional vs. consequential approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 3766-3775.
- Repo, A., Tuomi, M., Liski, J. 2011. Indirect carbon dioxide emissions from producing bioenergy from forest harvest residues. *Global Change Biology Bioenergy* 3, 107–115.
- Saarsalmi, A., Tamminen, P., Kukkola, M. & Hautajärvi, R. 2010. Whole-tree harvesting at clear-felling: impact on soil chemistry, needle nutrient concentrations and growth of Scots pine. *Scandinavian Journal of Forest Research* 25(2): 148-156.
- Saner, D., Juraske, R., Kübert, M., Blum, P., Hellweg, S., Bayer, P. 2010. Is it only CO₂ that matters? A life cycle perspective on shallow geothermal systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14(7), 1798-1813.
- Sathaye, J., Lucon, O., Rahman, A., Christensen, J., Denton, F., Fujino, J., Shmakin, A. 2011. Renewable energy in the context of sustainable development. Teoksessa: Edenhofer ym. (toim.) *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change*, luku 9. Geneva, Switzerland, Intergovernmental Panel on Climate Change, <http://srren.ipcc-wg3.de/report>.
- Siitonen, J. (Asikainen, A., Ilvesniemi, H., Sievänen, R., Vapaavuori, E., Muhonen, T. toim.). 2012. Bioenergia, ilmastonmuutos ja Suomen metsät. Metlan työraportteja 240. 211 s. ISBN 978-951-40-2378-1 (PDF). Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp240.htm>.
- Simons, A., Firth, S.K. 2011. Life-cycle assessment of a 100% solar fraction thermal supply to a European apartment building using water-based sensible heat storage. *Energy and Buildings*, 43 (6), 1231-1240.
- Sinkko, T., Hakala, K., Thun. R. 2010. Biopolttoaineiden raaka-aineeksi viljeltävien kasvien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt Suomessa. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/28/EY mukainen laskenta. MTT Raportti 9.
- Smolander, A., Kitunen, V., Kukkola, M. & Tamminen, P. 2013. Response of soil organic matter characteristics to logging residues in three Scots pine thinning stands. *Soil Biology & Biochemistry* 66: 51-59.
- Soimakallio, S., Koponen, K. 2011. How to ensure greenhouse gas emission reductions by increasing the use of biofuels? – Suitability of the European Union sustainability criteria. *Biomass & Bioenergy* 35, 3504-3513.
- Sorsa, R., Soimakallio, S. 2013. Does bio-oil derived from logging residues in Finland meet the European Union greenhouse gas performance criteria? *Energy Policy* 53, 257–266.
- Sorsa, R. 2011. Hakuutähteestä valmistetun pyrolyysiöljyn elinkaaren kasvihuonekaasupäästöt. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 109 s.
- Stoppato, A. 2008. Life cycle assessment of photovoltaic electricity generation, *Energy* 33 (2), 224-232.
- Tamminen, P., Saarsalmi, A., Smolander, A., Kukkola, M. & Helmisaari, H.-S. 2012. Effects of logging residue harvest in thinnings on amounts of soil carbon and nutrients in Scots pine and Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management* 269(1): 31-38.
- Thamsiriroj, T., Murphy, J.D. 2011. A critical review of the applicability of biodiesel and grass biogas as biofuels to satisfy both biofuel targets and sustainability criteria. *Applied Energy* 88, 1008-1019.
- Tissari, J., Hytönen, K., Lyyränen, J., Jokiniemi, J. 2007. A novel field measurement method for determining fine particle and gas emissions from residential wood combustion. *Atmospheric Environment* 41, 8330–8344.
- Tissari (ed.), 2011. Physicochemical and toxic properties of particulate emissions from different small-scale wood combustion appliances. TEKES Project 40296/07, Final Report. Itä-Suomen yliopiston ympäristötieteen laitoksen julkaisusarja 2/2011. ISSN 1799-1676.
- Tilastokeskus 2013. Polttoaineluokitus 2013. http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus.html
- Virtanen, Y., Usva, K., Silvenius, F., Sinkko, T., Nurmi, P., Kauppinen, T. & Nousiainen, J. 2009. Peltöenergian tuotantojärjestelmien ympäristövaikutukset. Saatavissa: http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/uuutjulkaisut/5x1eXiwMy/Peltobioenergia_update_2011.pdf
- Wall, A. 2012. Risk analysis of effects of whole-tree harvesting on site productivity. *Forest Ecology and Management* 282, 175-184.
- Weckman, E. 2006. Tuulivoimalat ja maisema. Suomen ympäristö 5/2006. Helsinki: Suomen ympäristökeskus.
- Wiheraari, M. 2005. Aspects on Bioenergy as a Technical Measure to Reduce Energy Related Greenhouse Gas Emissions. Thesis. Espoo 2005. VTT Publications 564. 93 p.+app. 71 p.
- Ympäristöministeriö, (YM) 2012. Tuulivoimarakentamisen suunnittelu. Ympäristöhallinnon ohjeita 4/2012. Helsinki: ympäristöministeriö.

Liite I

Kyselylomake toimenpide-ehdotusten ja jatkotutkimusaiheiden priorisoinnista

UURISKI-hanke /
Toimenpide-ehdotusten ja jatkotutkimusaiheiden priorisointi

Tehtävä:

UUSRISKI-hanke on tuottanut listan tekijöistä joilla voidaan pienentää uusiutuvan energiantuotannon haitallisia vaikutuksia ja kehittää niihin liittyvää menetelmäpohjaa vaikutusten arvioimiseksi. Lista koostuu yht. 20 tekijästä alla olevan kuvauksen mukaisesti. Osa tekijöistä on luonteeltaan yleisiä, useita tuotantomuotoja koskevia ja osa luonteeltaan joihinkin yksittäisiin tuotantomuotoihin kohdistuvia. Useimmat tekijät pitävät sisällään sekä käytännön kehittämiseen liittyviä toimenpiteitä että jatkotutkimusaiheita. Lista perustuu laadullisesti arvioituihin eri tuotantomuotojen kokonaisvaikutuksiin, jossa on huomioitu sekä eri tuotantomuotojen yksikkövaikutukset että vuodelle 2020 asetetut tuotannon tavoitemäärät.

Tämän kyselyn tarkoituksena on priorisoida 20 tekijästä koostuva lista kokonaisuutena. **Priorisoinnin tavoitteena on esittää arvio siitä, kuinka paljon yhteiskunnan tulisi resursoida eri toimenpiteitä tulevaisuudessa.** Arvio voi perustua esim. eri tuotantomuotojen määriin, mutta yhtä lailla se voi koostua esim. poliittisista tavoitteista ja yhteiskunnan arvoista. Priorisointia ei suoriteta erikseen käytännön toimenpiteille ja jatkotutkimusaiheille vaan niitä käsitellään kokonaisuutena.

Priorisointi suoritetaan valitsemalla ensin tekijöiden listasta merkittävin tekijä ja kirjoittamalla sitä vastaavaan kohtaan 100 pistettä. Tämän jälkeen jokainen tekijä priorisoidaan suhteessa valittuun tärkeimpään tekijään. Jos vastaajan mielestä jostain toista tekijää tulisi resursoida puolet tärkeimpään tekijään verrattuna, annetaan vastaukseksi 50 pistettä. Jos jostain tekijää pidetään tarpeettomana, annetaan sille 0 pistettä. Useammalle tekijälle voidaan antaa sama pistemäärä, esim. kahdelle eri tekijälle 100 pistettä.

Esimerkki: Veijo Virkamies pitää kattavan LCA-tutkimuksen toteuttamista keskeisimpänä tekijänä ja antaa sille 100 pistettä. Muut Veijon vastaukset käyvät ilmi ao. taulukosta.

| Priorisoitavat tekijät | Pisteet |
|---|---------|
| 1. Uusiutuvalla energialla saavutettujen ympäristö- ja muiden hyötyjen tarkastelu suhteessa tuotannosta aiheutuneisiin haittoihin | 35 |
| 2. Kattavan LCA-tutkimuksen toteuttaminen uusiutuvan energian tuotantovaihtoehdoille | 100 |
| 3. Metsien ilmastovaikutuksen laskenta | 0 |
| Jne. | Jne. |

| Priorisoitavat tekijät | Pisteet |
|--|---------|
| <p>1. Uusiutuvalla energialla saavutettujen ympäristö- ja muiden hyötyjen tarkastelu suhteessa tuotannosta aiheutuneisiin haittoihin</p> <ul style="list-style-type: none"> • Uusiutuvan energian osalta puhutaan pääasiassa niiden aiheuttamista haitoista. • Uusiutuvan energian tuotantovaihtoehtoihin liittyy myös positiivisia, niin ympäristö – kuin muitakin yhteiskunnallisia hyötyjä (esim. myönteiset työllisyysvaikutukset), joita olisi syytä tarkastella kokonaisuutena. | |
| <p>2. Kattavan LCA-tutkimuksen toteuttaminen uusiutuvan energian tuotantovaihtoehtoille</p> <ul style="list-style-type: none"> • Suomen olosuhteissa ei ole toistaiseksi tehty kattavaa LCA-tutkimusta uusiutuvan energian tuotantovaihtoehtoista kokonaisuutena. • Panostaminen tarkempaan tutkimustietoon. | |
| <p>3. Metsien ilmastovaikutuksen laskenta</p> <ul style="list-style-type: none"> • Miten ilmastovaikutus pitäisi määrittää? Ilmastovaikutuksen näkökulmasta keskeistä on että energiantuotannon päästöjä ja kasvihuonekaasujen nieluja tarkastellaan ilmakehän näkökulmasta ja ilmastovaikutuksia ilmaston muuttumisen näkökulmasta. Ilmastovaikutuksen mittarina käytetään yleisesti kumulatiivista säteilypakotetta (CRF), joka on integrointiajan funktio; eripituisilla tarkasteluajanjaksoilla saadaan erilaisia tuloksia ilmastovaikutuksista. • Tieteellisesti ei voida määrittää yhtä oikeaa tarkasteluajanjaksoa, vaan ajanjaksojen valinta heijastelee arvovalintaa vallitsevasta ilmastopolitiikasta. Vaikutuksia tulee tarkastella eripituisilla ajanjaksoilla. Ilmastovaikutusten määrittämiseksi tarvitaan myös vertailuskenaario, joka edustaa tilannetta ilman tarkasteltavia toimenpiteitä. • CRF:n määrittämisessä tarvitaan luotettavaa tietoa sekä energiantuotannon päästöistä että nieluista. Metsäenergian osalta laskentaan liittyy epävarmuuksia kuten metsien kehitys ja kasvu nyt ja tulevaisuudessa, ilmastomuutoksen vaikutus metsien kehittymiseen, metsänhoitotoimenpiteiden vaikutukset metsien kehitykseen, kuolleiden biomassaositteiden (kannot, hakkuutähteet yms.) lahoamisfunktiot, puunkäytön skenaarit jne. | |
| <p>4. Metsien hiilivarastojen laskentaan liittyvät kysymykset</p> <ul style="list-style-type: none"> • Metsien tehokkaamman käytön myötä hiilinielujen kasvu pienenee, mutta kuinka paljon? Voidaanko metsänhoidolla vaikuttaa hiilinielujen kasvuun esimerkiksi metsän kehityksen alkuvaiheessa? Oikeuttaisivatko energiantuotannon vuoksi tehtävät metsänhoidon tehostamistoimenpiteet hyödyntämään tehostamisen ansiosta kasvanutta hiilinielua pienemmillä päästökerroimilla kuin ilman tehostamista? • Metlan kansalliset arviot: miten hiilivarasto tulee leikkautumaan erilaisissa puunkäyttöskenaarioissa? Vaikutukset riippuvat siitä käytetäänkö raaka-aineena runkopuuta vai hakkuutähteitä. • Ravinnetaseiden vaikutukset metsien kasvuun ja kehitykseen. | |
| <p>5. Ilmastomuutoksen vaikutukset metsien kasvuun ja kehitykseen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kuinka metsien kasvu ja kehitys muuttuu ilmaston muuttuessa? Entä miten puulajit reagoivat muutokseen? Onko muutoksen myötä odotettavissa uusia sieni- ja hyönteistuholaisia tai muita laajasti metsien terveyttä uhkaavia ilmiöitä? | |
| <p>6. Puun pienpoltto</p> <ul style="list-style-type: none"> • Puun pienpoltto on yksi merkittävimmistä terveydelle haitallisten pienhiukkasten päästölähteistä. Arviolta pienpoltto aiheuttaa 250 ennenaikaista kuolemaa vuodessa. Voidaanko polttotekniikalla, puun laadulla yms. keinoilla vaikuttaa kuolemantapauksia vähentävästi? • Pienpoltolle tulisi tehdä paljon, että se saataisiin päästöjen näkökulmasta yhteiskunnallisesti hyväksyttävälle tasolle; tulisi huomioida suunnitteilla olevat EU:n päästöraajat ja tehokkuusvaatimukset kattiloille ja takoilte. • Kansallisella lainsäädännöllä voisi myös edistää vanhan tulisijakannan uusimista. • Varaavien tulisijojen muutos ei olisi kovin hyödyllistä, saunan kiukaiden uusiminen ehkä tärkeämpi ja kevyempi tapa vaikuttaa pienhiukkaspäästöihin. Myös valistusta tarvitaan oikeanlaisen polttopuun valinnassa ja käytössä. | |
| <p>7. Metsähakkeen laadun parantamisen, sekä korjuu-, kuljetus- ja logistiikkateknologian kehittämisen ympäristöhyödyt</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kuljetuksiin ja logistiikkaan liittyvät haasteet ovat keskeisellä sijalla, kun uusiutuvan energian tavoitteita pyritään täyttämään. Volyymit ja etäisyydet tulevat kasvamaan. Tehostamalla toimintaa, parantamalla logistisia ratkaisuja ja metsähakkeen laatua alennetaan kustannuksia, mutta sillä on myös huomattava vaikutus kuljetuksista aiheutuneisiin päästöihin, kun saman energiamäärän saavuttamiseksi tarvitaan vähemmän kuljetussuoritteita. Varastointiteknologian kehittämällä pienennetään myös hakevarastoista aiheutuvia päästöjä. | |
| <p>8. Metsien monimuotoisuus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Metsien käyttö vaikuttaa metsien monimuotoisuuteen ja uhanalaisten eliöiden yksilömäärät vähenevät; miten käy lajistolle? Mihin muutosta tulisi verrata: ainespuuhakkuu vai luonnontila? Mitkä ovat energiapuun korjuuseen sopivien korjuukohteiden valintakriteerit monimuotoisuuden näkökulmasta? • Tärkeintä on päättää mihin ositteisiin korjuuta ohjataan: ensiharvennuksen runkopuu vs. kannot. Valintoihin liittyvät vaikutukset tulisi selvittää eri näkökulmista. | |

| | |
|---|--|
| <p>9. Metsämaaperän laatu</p> <ul style="list-style-type: none"> Metsäenergian korjuun (hakkuutähteet ja kannot) myötä orgaanisen aineksen määrä maaperässä vähenee. Vähennyksellä on vaikutuksia esimerkiksi maaperäeliöstöön ja siten myös maaperän ravinteiden mineralisaatioon. Palauttavien toimenpiteiden, kuten typpi- ja tuhkanan noituksen, pitkäaikaiset vaikutukset maaperän tuottokykyyn tulisi selvittää. | |
| <p>10. Maatalouden rehevöittävien päästöjen laskentamenetelmien kehittäminen ja vaikutusten huomiointi</p> <ul style="list-style-type: none"> Maatalouden rehevöittävien päästöjen laskentamenetelmät ovat puutteellisia, koska ei ole riittävästi mitattua tutkimusdataa eri tekijöiden vaikutuksista rehevöittäviin päästöihin, esimerkiksi mädätysjäännöksen tai muiden lannoitevalmisteiden käyttämisestä lannoitteena. Mittaustulosten perusteella olisi mahdollista tarkentaa lannoitus suosituksia, sekä laatia uusia ympäristötukiehtoja, jos esim. mädätysjäännöksellä olisi pienemmät rehevöittävät päästöt kuin lannalla. | |
| <p>11. Maatalouden ravinteiden kierrätyksen ja suljettujen kiertojen edistäminen</p> <ul style="list-style-type: none"> Ravinteiden kierrätyksellä voidaan saavuttaa monia etuja, esim. vähentyneet viljelyn päästöt, kun ravinteet käytetään mahdollisimman tehokkaasti hyödyksi. Ravinteiden kierrätyksen keinoja ovat mm. ravinteiden käytön optimointi, lannan prosessointitekniikoiden kehittäminen ja lannan käsittely biokaasulaitoksella. | |
| <p>12. Maatalouden kokonaisketjun parempi hallinta erillistarkastelujen sijaan</p> <ul style="list-style-type: none"> Tähän asti ympäristövaikutustarkasteluja on tehty yksittäisille energiaketjuille, vaikka pitäisi keskittyä myös isompiin kokonaisuuksiin. Eli pitäisi tarkastella millaisia ympäristövaikutuksia syntyy erilaisilla kokonaisratkaisuilla. Myös positiiviset vaikutukset ja sivutuotteiden hyötykäyttö tulisi ottaa huomioon. | |
| <p>13. Maatalouden ekotoksisten ja toksisten vaikutusten parempi tunteminen</p> <ul style="list-style-type: none"> Näitä vaikutuksia aiheuttavat tuotantoketjun eri vaiheissa käytettävät kemikaalit. Eli millaisen potentiaalisen haitan tuotantovaiheen eri vaiheissa käytetty aine aiheuttaa ihmisille (lopputuotteen käyttäjä) tai ympäristölle (kemikaalin käyttöpaikan eliöstö). Mittausten menetelmien kehittäminen jotta saataisiin parempaa tietoa tuotantoketjujen eri vaiheiden, sekä koko ketjun ekotoksisuudesta ja toksisuudesta. Lisäksi tarvitaan haitta-aineiden ekotoksisuuden ja toksisuuden perustutkimusta, erityisesti aineiden ja ympäristötekijöiden yhteisvaikutuksista sekä ravintoverkkokokertymävaikutuksista. | |
| <p>14. Maatalouden lannoitevalmisteiden N₂O-päästöjen määrän ja rajoittamiskeinojen selvittäminen</p> <ul style="list-style-type: none"> Suurin osa viljelyn kasvihuonekaasupäästöistä aiheutuu typpilannoitteiden käytöstä. Pitäisi tuottaa mittaustuloksia erilaisten lannoitevalmisteiden käytön N₂O-päästöistä ja selvittää keinoja päästöjen rajoittamiseksi. Mittaustulosten perusteella olisi mahdollista tarkentaa lannoitus suosituksia, sekä laatia uusia ympäristötukiehtoja, jotka suosivat lannoitevalmisteiden käyttöä, mikäli niillä voidaan saavuttaa ympäristöhyötyjä. | |
| <p>15. Peltoenergian käyttömäärien kasvattamisen riskirajat</p> <ul style="list-style-type: none"> Peltoenergian kohdalla on esitetty tuotantomäärien olevan niin pieniä, että mitkään ympäristövaikutukset ja -riskit eivät ole kovin merkittäviä. Tämän vuoksi pitäisi selvittää, kuinka paljon tuotantoa voidaan lisätä ennen kuin syntyy merkittäviä ympäristövaikutuksia ja -riskejä. | |
| <p>16. Tuulivoimarakentamisen uudet materiaalit</p> <ul style="list-style-type: none"> Osa tuulivoimaloissa tarvittavista materiaaleista on harvinaisia tai niiden tuotantomäärät ovat muista syistä pieniä. Tuotannon turvaamiseksi myös suuremmilla tuotantomäärillä tai niiden materiaalien saataavuuden ehtyessä tulisi rakentamiseen löytää lisää uusia materiaaleja. | |
| <p>17. Tuulivoiman meluhaittojen pienentäminen</p> <ul style="list-style-type: none"> Yksi keskeisimmistä tuulivoimaan liitettävistä ympäristövaikutuksista on melu. Tuulivoimaloiden koon kasvaessa kasvavat myös meluhaitat ja siksi olisi tärkeää löytää keinoja meluhaittojen pienentämiseksi. | |
| <p>18. Vesivoiman lisärakentamisen vaikutukset</p> <ul style="list-style-type: none"> Vesivoiman tehostamisen ympäristövaikutukset ovat todennäköisesti pieniä, mutta uudet tekoaltaat saattavat aiheuttaa huomattaviakin vaikutuksia. | |
| <p>19. Aurinkovoimaloiden käyttöikä Suomessa</p> <ul style="list-style-type: none"> Tuotantoteho on Suomessa alhaisempi kuin etelämpänä sijaitsevissa maissa. Vaikuttaako tämä laitteiden käyttöikä pidentävästi? | |
| <p>20. Lämpöpumppujen, aurinkoenergian ja tuulivoiman laajamittaisen käytön vaikutukset muuhun energiajärjestelmään</p> <ul style="list-style-type: none"> Aurinko- ja tuulivoima sekä ilmalämpöpumput edustavat vaihtelevaa tuotantoa, joka vaatii tuokseen säätövoimaa. Yleensä näillä energialähteillä saatava tuotanto on pienimmillään silloin kun energiankulutus on suurimmillaan (esim. talvella). Miten energiajärjestelmän toimivuus turvataan tuotannon vaihdella ja mitkä ovat toisaalta näiden tuotantomuotojen ympäristövaikutukset kun säätövoimasta aiheutuvat hetkelliset vaikutukset huomioidaan. | |

Tila kyselyyn tai tutkimushankkeeseen liittyville yleisille kommentteille:

4/1

| |
|--|
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |
| |

Lisätietoja:
Pekka Leskinen
0407488545
pekka.leskinen@ymparisto.fi

Asiantuntijankemyksiin perustuvat laadulliset arviot eri tuotantomuotojen yksikkövaikutuksille. Laadullisen arvioinnin lähtökohdat ja taustaoletukset on kuvattu luvussa 2, tulosten tulkinta luvussa 3.2., sekä johtopäätelmät luvussa 4.

| | Ilmastonmuutos (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, F-kaasut) | Otsonikato (stratوسف.) (ODP-aineet, F-kaasut) | Happamoituminen (NO _x , SO ₂ , NH ₃) | Pienhiukkaset (vaikutukset kansanterveyteen) | Pienhiukkasten lyhytaikaiset vaikutukset ilmastoon | Alailmakehän otsoni (NO ₂ , NH ₃ , VOC, NMVOC, terveys, kasvillisuus) | Vesistöjen rehevöityminen | Toksisuusvaikutukset (ml. Ekotox) | Vaikutukset monimuotoisuuteen | Orgaaninen aines | Erosio | Ravinnetase |
|--|---|---|--|--|--|---|---------------------------------------|---------------------------------------|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Lämpöaitos + metsähake | merkittävä | ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | merkittävä | jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| CHP + metsähake (+ turve) | merkittävä | ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| Pellettituotanto: metsäbiomassa + poltto | merkittävä | ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| Puun pienpoltto | merkittävä | ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | erittäin merkittävä | merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| Pyrolyysiöljy + metsähake, CHP-integroitu tuotanto | merkittävä | ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| Rypysdiesel (NExBTL, HVO) | Merkittävä | ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Erittäin merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| Rypysdiesel (RME) | Merkittävä | ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Erittäin merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| Palmuöljy diesel | Merkittävä | ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Merkittävä | Merkittävä | Merkittävä | Merkittävä |
| Ohra- ja vehnäetanoli | Merkittävä | ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Erittäin merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| Biokaasu | Ei merkittävä / jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä / Merkittävä | Ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä |
| Ruokohelpi | Merkittävä | ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| Tuulivoima | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä |
| Vesivoima | Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | merkittävä | Ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä |
| Maalämpöpumppu | jonkin verran merkittävä / merkittävä | Ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä / jonkun verran | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä |
| Ilmalämpöpumppu | Jonkin verran merkittävä / merkittävä | Ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä / merkittävä | Jonkin verran merkittävä / merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä / merkittävä | Ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä / merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä |
| Kierrätyspoltoaineet | merkittävä | Ei merkittävä | merkittävä | merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | Merkittävä | jonkin verran / Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä |
| Aurinkolämpöpökeräimet | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä / jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä |
| Aurinkopaneelit | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä / jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä |

| Suolaantumien | Tiivistyminen | Veden kulutus, vesijalanjälki | Maankäyttö (maapinta-ala resurssina) | Uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö (metallit, mineraalit, fossiiliset polttoaineet) | Säteily | Kasvituholaiset ja taudit | Melu | Haju | Varjostus ja välkehdintä | Maisemahaitta | Esteettinen haitta | Terveysvaikutukset (sis. työterveys) | Luonnon virkistyskäyttö |
|--------------------------|--------------------------|--|--------------------------------------|---|---------------|--|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|
| ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä paikallisesti | ei merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä paikallisesti | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä |
| ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä |
| jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä |
| ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä |
| ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä |
| ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä |
| Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä / jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Merkittävä | Merkittävä | Jonkin verran merkittävä / merkittävä | Ei merkittävä / jonkin verran merkittävä (joitain) | Jonkin verran merkittävä / merkittävä |
| Ei merkittävä | Ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Merkittävä | jonkin verran merkittävä / ei merkittävä / jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | jonkin verran merkittävä / merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä |
| Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä |
| Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä / jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä |
| Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä / jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä |

Asiantuntijänäkemyksiin perustuvat laadulliset arviot eri tuotantomuotojen kokonaisvaikutuksille, kun huomioidaan vuodelle 2020 asetetut tavoitteet. Laadullisen arvioinnin lähtökohdat ja taustaoletukset on kuvattu luvussa 2, tulosten tulkinta luvussa 3.2., sekä johtopäätelmät luvussa 4.

| | Ilmastonmuutos (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, F-kaasut) | Otsonikato (stratosf.) (ODP-aineet, F-kaasut) | Happamoituminen (NO _x , SO ₂ , NH ₃) | Pienhiukkaset (vaikutukset kansanterveyteen) | Pienhiukkasten lyhytaikaiset vaikutukset ilmastoon | Alailmakehän otsoni (NO ₂ , NH ₃ , VOC, NMVOC, terveys, kasvillisuus) | Vesistöjen rehevöityminen | Toksisuus- ja ekotoksisuusvaikutukset | Vaikutukset monimuotoisuuden | Org. Aines | eroosio |
|--|---|---|--|--|--|---|---------------------------|---------------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Lämpölaitos + metsähake | Merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | Merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| CHP + metsähake (+ turve) | Merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | Merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| Pellettituotanto: metsäbiomassa + poltto | Jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | Ei merkittävä | Merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| Puun pienpolto | merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | erittäin merkittävä | merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | Merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| Pyrolyysiöljy + metsähake, CHP-integroitu tuotanto | Jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | Merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| Rypsidiesel (NExBTL, HVO) | ei merkittävä / jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | Merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä |
| Rypsidiesel (RME) | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | Merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä |
| Palmuöljy diesel | ei merkittävä / jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | Merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Merkittävä | Merkittävä | Merkittävä |
| Ohra- ja vehnäetanoli | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | Merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä |
| Biokaasu | ei merkittävä / jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä |
| Ruokohelpi | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | Jonkin verran merkittävä | Jonkin verran merkittävä | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä |
| Tuulivoima | Ei merkittävä | Ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä |
| Vesivoima | jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | merkittävä | ei merkittävä | jonkin verran merkittävä |
| Maalämpöpumppu | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä |
| Ilmalämpöpumppu | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä |
| Kierrätyspolttoaineet | Ei merkittävä / Jonkin verran merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä |
| Aurinkolämpökeräimet | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä |
| Aurinkopaneelit | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä | Ei merkittävä |

KUVAILEHTI

| | | | |
|--|--|-------------------------------|--------------------------------|
| Julkaisija | Ympäristöministeriö Luontoympäristöosasto | Julkaisu-aika | Maaliskuu 2014 |
| Tekijä(t) | Pekka Leskinen, Anne Holma, Kaisa Manninen, Taija Sinkko, Karri Pasanen, Mirja Rantala ja Laura Sokka | | |
| Julkaisun nimi | Uusiutuvan energian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset ja -riskit. Kirjallisuuskatsaus ja asiantuntija-arvio | | |
| Julkaisusarjan nimi ja numero | Ympäristöministeriön raportteja 9/2014 | | |
| Julkaisun teema | | | |
| Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut | | | |
| Tiivistelmä | <p>Tässä työssä tarkasteltiin uusiutuvan energian tuotantoon liittyviä haitallisia ympäristövaikutuksia ja riskejä. Selvitys on toteutettu laajana kirjallisuuskatsauksena ja laadullisena asiantuntija-arviona.</p> <p>Selvityksessä on koottu tietoa energiamuotojen koko elinkaaren aikaisista vaikutuksista muun muassa ilmastonmuutokseen, happamoitumiseen, rehevöitymiseen, veden kulutukseen, luonnon monimuotoisuuteen, maankäyttöön, pienhiukkasten muodostumiseen, uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöön ja otsonikatoon. Ympäristövaikutuksia on tarkasteltu sekä yksikkövaikutuksittain, että vuoden 2020 uusiutuvien energialähteiden tuotantotavoitteet huomioiden. Lisäksi laadittiin toimenpide-ehdotuksia ja jatkotutkimusaiheita sisältävä priorisoitu lista keskeisimmistä tietoaukoista ja kehittämistoimenpiteistä uusiutuvan energian toimintasuunnitelman toteuttamisessa ja haitallisten ympäristövaikutusten minimoimisessa Suomessa.</p> <p>Kirjallisuuskatsaus osoitti, että eri energiamuotojen ympäristövaikutuksista ei ole riittävästi määrällistä ja keskenään vertailukelpoista tietoa. Tästä syystä arvio ympäristövaikutuksista tehtiin laadullisena asiantuntija-arviona. Tutkimuksessa sovelletun laadullisen lähestymistavan tuloksia voidaan pitää suuntaa-antavina, mutta kykenevinä nostamaan esille joukon keskeisiä kysymyksiä liittyen esimerkiksi metsäenergian ilmasto- ja monimuotoisuusvaikutuksiin ja peltoenergian vesistöjä rehevöittäviin vaikutuksiin. Tärkeimmäksi jatkotutkimusaiheeksi nousi kattavan ja vertailukelpoisen LCA-tutkimuksen toteuttaminen uusiutuvan energian tuotantovaihtoehdoille.</p> | | |
| Asiasanat | uusiutuva energia, ympäristövaikutus, elinkaariarviointi | | |
| Rahoittaja/ toimeksiantaja | Ympäristöministeriö | | |
| | ISBN 978-952-11-4294-9 (PDF) | ISSN 1796-170X (verkkokj.) | |
| | Sivuja 45 | Kieli suomi | Luottamuksellisuus julkinen |
| Julkaisun myynti/ jakaja | Julkaisu on saatavana vain internetistä: www.ym.fi/julkaisut | | |
| Julkaisun kustantaja | Ympäristöministeriö | | |
| Painopaikka ja -aika | Helsinki 2014 | | |

PRESENTATIONSBLAD

| | | |
|--|---|----------------------------|
| Utgivare | Miljöministeriet Naturmiljöavdelningen | Datum Mars 2014 |
| Författare | Pekka Leskinen, Anne Holma, Kaisa Manninen, Taija Sinkko, Karri Pasanen, Mirja Rantala och Laura Sokka | |
| Publikationens titel | Uusiutuvan energian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset ja -riskit. Kirjallisuuskatsaus ja asiantuntija-arvio (Miljökonsekvenser och miljörisker förknippade med produktion och användning av förnybar energi. En litteraturöversikt och sakkunnigbedömning) | |
| Publikationsserie och nummer | Miljöministeriets rapporter 9/2014 | |
| Publikationens tema | | |
| Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt | | |
| Sammandrag | <p>Inom ramen för detta arbete granskades de skadliga miljökonsekvenser och miljörisker som är förknippade med produktionen av förnybar energi. Utredningen har gjorts i form av en omfattande litteraturöversikt och en kvalitativ sakkunnigbedömning.</p> <p>Utredningen innehåller information om energiformernas konsekvenser under hela livscykeln bl.a. avseende klimatförändringen, försurningen, övergödningen, vattenförbrukningen, den biologiska mångfalden, markanvändningen, uppkomsten av småpartiklar, användningen av icke-förnybara naturresurser och ozonuttunningen. Miljökonsekvenserna har granskats både separat för enskilda enheter och med beaktande av produktionsmålen för de förnybara energikällorna 2020. Det har dessutom tagits fram åtgärdsförslag och en lista över prioriterad fortsatt forskning som täcker centrala kunskapsluckor och utvecklingsåtgärder när det gäller att genomföra handlingsplanen för förnybar energi och minimera de skadliga miljökonsekvenserna i Finland.</p> <p>Litteraturöversikten visade att det inte finns tillräckligt med kvantitativa och sinsemellan jämförbara data om de olika energiformernas miljökonsekvenser. Av den orsaken utfördes bedömningen av miljökonsekvenserna som en kvalitativ sakkunnigbedömning. Resultaten av det kvalitativa tillvägagångssätt som tillämpades i studien kan anses vara riktgivande, men de lyfter fram en grupp centrala frågor kring t.ex. skogsenergis inverkan på klimatet och den biologiska mångfalden och åkerenergis övergödningseffekter på vattendragen. Det visade sig att det viktigaste ämnet för fortsatt forskning är att genomföra en täckande och jämförbar LCA-studie av de olika alternativa sätten att producera förnybar energi.</p> | |
| Nyckelord | förnybar energi, klimatförändring, miljökonsekvens, livscykelanalys | |
| Finansiär/ uppdragsgivare | Miljöministeriet | |
| | ISBN 978-952-11-4294-9 (PDF) | ISSN 1796-170X (online) |
| | Sidantal 45 | Språk Finska |
| | | Offentlighet Offentlig |
| Beställningar/ distribution | Publikationen finns tillgänglig endast på internet: www.ym.fi/julkaisut | |
| Förläggare | Miljöministeriet | |
| Tryckeri/tryckningsort och -år | Helsingfors 2014 | |

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ja ilmastonmuutoksen hillintä ovat yksi merkittävimpiä globaaleja haasteita. Suomi tulee lisäämään uusiutuvan energian tuotantoa saavuttaakseen EU:n ilmasto- ja energiapoliittisten päätösten edellyttämät tavoitteet. Uusiutuvan energian osuus tulee lisätä 38 prosenttiin energian loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen ja ilmastonmuutoksen hillinnän lisäksi uusiutuvan energian tuotannolla on myös haitallisia ympäristövaikutuksia, joiden tunnistaminen mahdollisimman varhain on tärkeää. Tämä selvityksen tavoitteena on arvioida millaisia haitallisia ympäristövaikutuksia ja riskejä sisältyy uusiutuvan energian tuotantoon ja kuinka merkittäviä riskit ovat. Selvitys perustuu laajaan kirjallisuuskatsaukseen sekä asiantuntijoiden näkemyksiin eri energiamuotojen koko elinkaaren aikaisista haitallisista ympäristövaikutuksista. Keskeisellä sijalla ovat vuoden 2020 eri uusiutuvien tuotantomäärät ja niistä aiheutuvat vaikutukset.



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

ISBN 978-952-11-4294-9 (PDF)
ISSN 1796-170X (verkkoj.)