

Nelli Putkonen

METSÄBIOENERGIA SUOMESSA

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Kandidaatintyö
Lokakuu 2019

TIIVISTELMÄ

Nelli Putkonen: Metsäbioenergia Suomessa (Forest bioenergy in Finland)
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Ympäristö- ja energiatekniikka
Lokakuu 2019

Tässä kandidaatintyössä arvioitiin kirjallisuuskatsauksena metsäpohjaisen bioenergian käyttöä lämmön ja sähkön tuotannossa Suomessa nyt ja lähitulevaisuudessa. Tarkastelussa huomiointiin käyttötieteisiä, ilmastollisia ja poliittisia näkökulmia. Tavoitteena oli luoda kokonaiskatsaus alan nykytilaan, tulevaisuudennäkymiin ja keskeisiin riippuvuuksiin.

Metsäbiopolttoaineet edustavat tällä hetkellä lähes kolmasosaa koko Suomen energiankulutuksesta, ja vielä merkittävämpää osuutta suomalaisesta sähkön ja lämmön tuotannosta. Puupolttoaineiden voimalaitoskäyttö keskittyy teollisuuden ja kaukolämmön yhdistettyyn tuotantoon (CHP) sekä pienen mittakaavan lämmön erillistuotantoon. Voimalaitoskäyttöön puupolttoaineet saadaan metsäteollisuuden sivuvirroista sekä metsänhoidon sivutuotteena. Jakeet merkittävyysjärjestyksessä ovat sellunkeitosta saatava mustalipeä; mekaanisen metsäteollisuuden sivuvirrat, kuten sahanpuru ja kuoret; sekä hakkuutähteistä ja metsänhoidosta peräisin oleva metsähake.

Voimalaitoskäytössä kiinteät puupolttoaineet ovat fossiilisia vaihtoehtoja haastavampia alhaisen energiatiheyden, korkean kosteuspitoisuuden, epähomogeenisuuden sekä likaantumis- ja korroosio-ongelmien vuoksi. Viimeksi mainittuja torjutaan tyypillisesti seospoltolla turpeen kanssa. Mustalipeä on muista puupolttoaineista poikkeava, ja sitä poltetaan soodakattilassa, jonka tehtävänä on lämmöntuotannon lisäksi epäorgaanisten kemikaalien regenerointi.

Ilmastotarkastelussa puupolttoaineet ovat fossiilisia ilmastoystävällisempiä, silloinkin kun otetaan huomioon päästöjen ajallinen jaksotus. Kuljetusmatka, varastointiaika sekä mahdollinen maankäytön muutos vaikuttavat kuitenkin ratkaisevasti kasvihuonekaasupäästöjen suuruuteen. Puupolttoaineiden keruussa on huomioitava myös metsien hiilinielun sekä luonnon monimuotoisuuden ylläpitäminen. Metsien hiilinielu on tällä hetkellä vertailutasoa alhaisempi ja hakkuut lähellä kestävää maksimiarvoa Suomen aktiivisen metsäpolitiikan vuoksi. Monimuotoisuuden ylläpitämisen on arvioitu olevan nykyisillä hakkuutasoilla mahdollista, mutta sääntely perustuu osin vapaaehtoiisiin suosituksiin.

Poliittisesti Suomi tavoittelee puupolttoaineiden käytön lisäämistä erityisesti metsähakkeen käytön lisäämisen kautta. Tavoitteena on metsähakkeen käytön lähes tuplaaminen seuraavan vuosikymmenen aikana. Skenaarioiden mukaan metsäbioenergian voimalaitoskäyttö kokonaisuutena lisääntyisi jopa 25 prosenttia vuoteen 2030 mennessä. Tavoitteen saavuttamiseksi ohjauksena käytetään puupolttoaineiden kilpailukyvyn tukemista verohelpotuksin ja tuin, voimalaitosinvestointien tukemista, valtionmetsien käytön ohjausta sekä metsänomistajien neuvontaa.

Skenaarioiden toteutumiseen liittyy myös epävarmuustekijöitä: muun muassa alueellinen saatavuus, yksityisten metsänomistajien myyntihalukkuus, metsäteollisuuden viennin näkymät ja biojalostuksen kehitys, globaali puun markkinahinta sekä muuttuva poliittinen toimintaympäristö vaikuttavat kaikki metsähakkeen lopullisiin käyttömääriin. Epävarmuuksista riippumatta näyttää selvältä, että metsien rooli energiantuotannossa pysyy lähitulevaisuudessakin merkittävänä, ja että metsät ovat avainasemassa Suomen uusiutuvien ja ilmastollisten tavoitteiden saavuttamisessa.

Avainsanat: bioenergia, metsät, puupolttoaineet, energia- ja ilmastopolitiikka

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. METSÄBIOENERGIAN KÄYTTÖ	3
2.1 Metsät osana Suomen energiahuoltoa.....	3
2.2 Tärkeimpien metsäbiopolttoaineiden valmistus ja ominaisuudet	6
2.2.1 Mustalipeä.....	7
2.2.2 Kiinteät puupolttoaineet	7
2.3 Metsäbiopolttoaineet voimalaitoskäytössä	8
2.3.1 Mustalipeä.....	9
2.3.2 Kiinteät puupolttoaineet	9
2.4 Biovoimalaitokset Suomessa	11
2.5 Puupolttoaineiden käytön taloudellinen kannattavuus	11
3. METSÄENERGIAN ILMASTO- JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	13
3.1 Metsäbioenergian ilmastopäästöt.....	13
3.2 Metsien vuotuinen hiilinielu ja kestävät hakkuumäärät	15
3.3 Metsienkäytön muut ympäristövaikutukset.....	17
4. METSÄ- JA ENERGIAPOLITIIKKA SUOMESSA.....	18
4.1 Normatiivinen säätely	18
4.2 Tavoitteet ja strategiat.....	19
4.3 Poliittinen ohjaus	20
5. METSÄBIOENERGIAN TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT	22
5.1 Metsäenergian käytön ja tuotannon skenaariot.....	22
5.2 Metsä- ja energiapolitiikan riippuvuuksien mallintaminen	23
6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	25
LÄHTEET	27

1. JOHDANTO

Suomen energiantuotannon rakenne on nopeassa murroksessa. Ilmastonmuutoksen rajoittamiseksi tehtyjen kansainvälisten ja EU-sopimusten myötä Suomi on asettanut tavoitteekseen fossiilisten polttoaineiden käytöstä luopumisen sekä hiilineutraaliuden seuraavan 15–20 vuoden aikana [1, s. 32–35]. Suomen energia- ja ilmastostrategian mukaan tavoitteena on uusiutuvan energian lisääminen nykyisestä 37 prosentista 50 prosenttiin jo 2020-luvulla [2, s. 9]. Suomen luonnonolosuhteiden ja -varojen vuoksi metsistä saatavat biopolttoaineet ja toisaalta metsien hiilinielut näyttävät kansainvälisittäin poikkeuksellisen merkittävää roolia energiantuotannossa ja hiilineutraaliudessa.

Vuonna 2018 noin 27 prosenttia Suomen koko energiakäytöstä ja 74 prosenttia uusiutuvasta energiasta perustui metsästä saataviin puupolttoaineisiin [3]. Metsäteollisuus on Suomen viennin kärkialoja [4]. Paitsi resurssi, metsät ovat myös luonnon monimuotoisuuden mahdollistaja sekä merkittävä hiilinielu, jonka koko vastasi viime vuonna 25 prosenttia Suomen vuotuisista hiilidioksidipäästöistä [5]. Poliittisena kysymyksenä metsienkäyttö on siis ristiriitaistenkin tavoitteiden yhteensovittamista: on huomioitava energiatavoitteet, kuten huoltovarmuus ja omavaraisuus, metsäteollisuus työpaikkoineen ja vienteineen, ilmasto- ja ympäristöarvot sekä teknis-taloudelliset realiteetit. Ennusteiden mukaan metsillä tulee olemaan vahva rooli Suomen tulevaisuuden energiakentässä [2, s. 46], mutta lopulta poliittinen ohjaus ratkaisee kuinka metsiä hyödynnetään.

Tämän työn tavoitteena on selvittää, millainen rooli metsäenergialla on Suomen energijärjestelmässä nyt ja tulevaisuudessa. Työssä kartoitetaan kirjallisuuskatsauksena metsien energiakäytön nykytilannetta sekä ennusteita teknisestä, ilmastollisesta, ympäristöllisestä sekä poliittisesta näkökulmasta. Työ on rajattu puupolttoaineiden voimalaitoskäyttöön, eikä puun pienkäyttöä tai metsien biopolttonesteitä käsitellä. Metsienkäytön ympäristövaikutuksia ja politiikkaa käsitellään kokonaisuutena, mutta painopiste pysyy energiakäytössä.

Työn toisessa luvussa luodaan yleiskatsaus suomalaiseen metsien energiakäyttöön ja metsästä saataviin puupolttoaineisiin voimalaitoskäytössä. Seuraavana käsitellään metsäenergian ilmasto- ja ympäristövaikutuksia. Neljännessä luvussa perehdytään metsä- ja energiapolitiikan lainsäädäntöön, tavoitteisiin ja ohjauskeinoihin. Viimeisessä luvussa

esitellään skenaarioita ja malleja metsäenergian tulevaisuudesta vuoteen 2030. Yhteen-
vetona pyritään luomaan yleiskuva siitä, mikä on metsäenergian asema nyt ja tulevai-
suudessa sekä mitkä ovat keskeiset riippuvuudet arvioitaessa metsäenergiakäytön ke-
hitystä lähivuosikymmeninä.

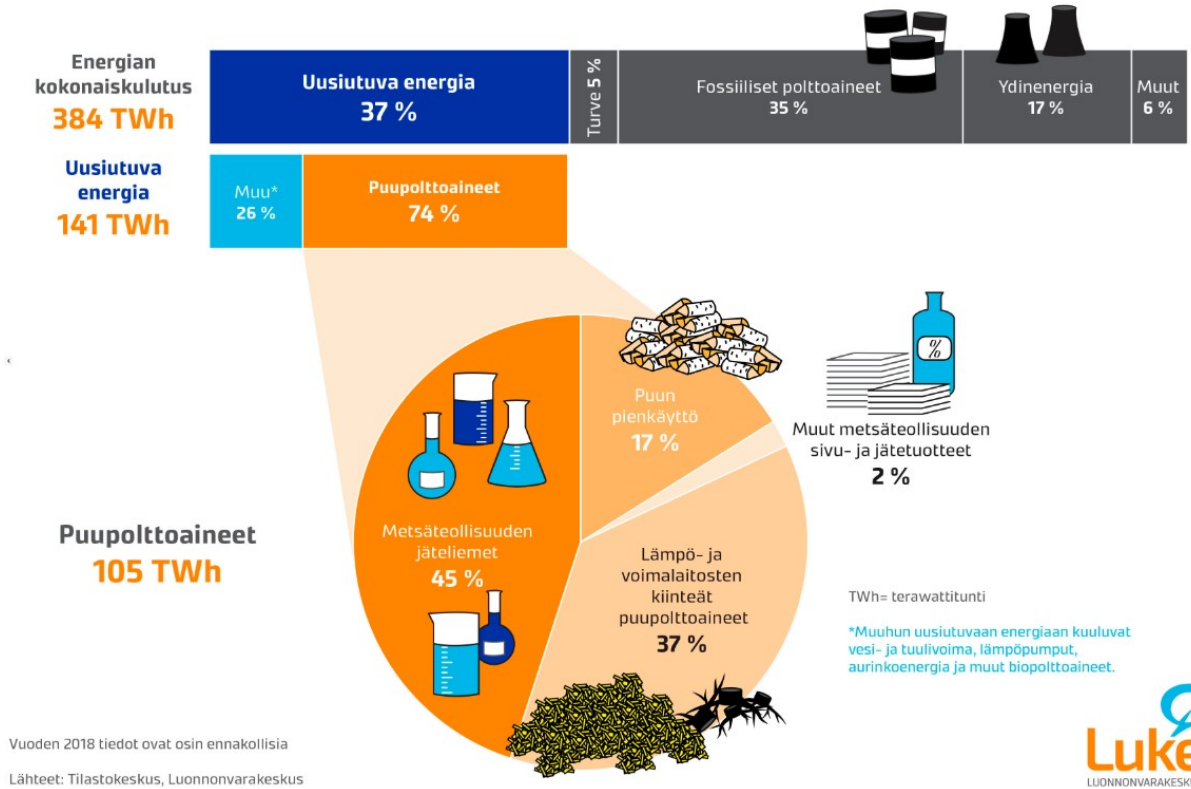
2. METSÄBIOENERGIAN KÄYTTÖ

Suomi on pinta-alaan suhteutettuna Euroopan runsasmetsäisin valtio [6, s. 65], ja metsät ovatkin taloudellisesti Suomelle merkittävä luonnonvara niin viennin kuin energiantuotannon näkökulmasta. Metsistä saatavat puupolttoaineet vastasivat 27 prosenttia Suomen kokonaisenergiankulutuksesta vuonna 2018 [3]. Puolestaan Suomen viennin arvosta metsäteollisuus edustaa noin 20 prosenttia merkittävimpinä tuotteinaan paperi ja kartonki, sellu sekä sahatavara [4]. Metsäteollisuus ja puupolttoaineet liittyvät kiinteästi yhteen, sillä polttoaineet koostuvat toisaalta jalostuksen sivutuotteista ja toisaalta puunkorjuun ja metsänhoidon seurauksena saatavasta metsähakkeesta [3]. Tässä luvussa kerrotaan paitsi puupolttoaineiden roolista Suomen energiahuollossa myös puupolttoaineiden hankinnasta ja ominaisuuksista voimalaitoskäytössä.

2.1 Metsät osana Suomen energiahuoltoa

Suomessa käytettiin ennakkotietojen mukaan vuonna 2018 yhteensä 384 TWh energiaa, josta 141 TWh eli 37 prosenttia oli peräisin uusiutuvista lähteistä. Uusiutuvan energian osuudesta valtaosa, 105 TWh, oli peräisin puupolttoaineista: metsäteollisuuden jäteliemistä 47 TWh, kiinteistä puupolttoaineista 39 TWh sekä puun pienkäytöstä 18 TWh. [3] Kuvassa 1 on havainnollistettu metsäperäisten polttoaineiden osuutta Suomen energiaikäytössä vuonna 2018.

Puupolttoaineiden merkitys on suurin teollisuuden yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa (CHP, Combined Heat and Power). Myös kaukolämmön CHP-tuotannossa sekä lämmön erillistuotannossa metsäbiopolttoaineet ovat merkittävässä roolissa. Sähkön ja lämmön tuotantoa oli Suomessa vuonna 2017 yhteensä 116 TWh. Kokonaisuutena 44 prosenttia sähköstä, 33 prosenttia kaukolämmöstä ja peräti 73 prosenttia teollisuuslämmöstä tuotettiin puupolttoaineilla vuonna 2017. Kaikesta CHP-tuotannosta puupolttoaineiden osuus oli 58 prosenttia. [7] Huomionarvoista on, että alueellinen vaihtelu puupolttoaineiden käytön osuuksissa Suomen sisällä on merkittävää [8]. Taulukkoon 1 on eritelty jäteliemien sekä muiden puupolttoaineiden osuudet koko Suomen sähkön, kaukolämmön ja teollisuuslämmön tuotannosta tuotantomuodoittain.



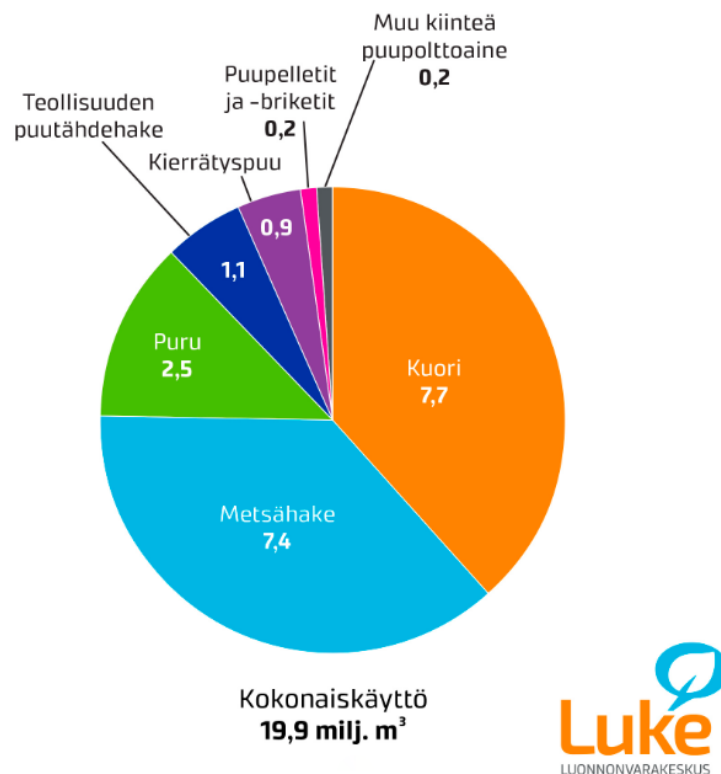
Kuva 1. Puupolttoaineiden kulutus 2018 (ennakkotieto) [3]

Taulukko 1 Puupolttoaineiden osuus Suomen sähkön ja lämmön tuotannosta tuotantomuodoittain vuonna 2017 [7]

	Sähkö (TWh)	Kaukolämpö (TWh)	Teollisuuslämpö (TWh)
Lauhdevoima yhteensä	3,3		
Jäteliemet	0,4		
Muut puupolttoaineet	0,6		
Puupolttoaineiden osuus yhteensä	30 %		
CHP yhteensä	20,7	24,7	43,8
Jäteliemet	5,3	0,2	26,7
Muut puupolttoaineet	4,3	7,2	8,2
Puupolttoaineiden osuus yhteensä	46 %	30 %	80 %
Lämmön erillistuotanto yhteensä		13,6	9,8
Jäteliemet		0	0,4
Muut puupolttoaineet		5,3	4,2
Puupolttoaineiden osuus yhteensä		39 %	47 %

Tilastoissa puupolttoaineet jaotellaan metsäteollisuuden jäteliemiin ja kiinteisiin puupolttoaineisiin. Toisaalta ne voidaan jaotella myös alkuperän mukaan ensi- ja toisasteisiin puupolttoaineisiin sekä kierrätyspuupolttoaineisiin [9, s. 64–65]. Ensiasteisia lähteitä ovat muun muassa hakkuutähteet, kuten latvat, oksat ja kannot, sekä nuori energiakäyttöön hakattu teollisuuspuu. Toisasteisia ovat metsäteollisuuden sivuvirrat, kuten mustalipeä ja kaarna, ja kierrätyspolttoaineita elämänkaarensa lopussa olevat puutuotteet. Toisasteiset ja kierrätyspolttoaineet hyödynnetään energiantuotannossa ensin ja vasta sen jälkeen hyödynnetään ensiasteisia lähteitä. [10, s. 50–67]

Metsäteollisuuden jäteliemillä tarkoitetaan käytännössä sellunjalostuksessa syntyvää mustalipeää, ja ne kuuluvat kokonaisuudessaan toisasteisiin lähteisiin. Kiinteät puupolttoaineet sen sijaan jakautuvat eri lähteiden kesken. Kaksi kolmasosaa on toisasteisia metsäjalostuksen sivutuotteita, suurimpana jakeena kaarna. Reilu kolmasosa on ensiasteista metsähaketta, josta noin puolet on pienpuuta, noin kolmannes hakkuutähteitä ja loput kantoja ja runkopuuta. [8] Kuvassa 2 on esitetty kiinteiden puupolttoaineiden käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa vuonna 2018.



Kuva 2. Kiinteiden puupolttoaineiden käyttö lämpö- ja voimalaitoksissa 2018 [11]

Puupolttoaineiden osuus energiankulutuksesta on ollut viime vuosina suurempi kuin koskaan ennen. Nykyinen kasvu perustuu metsäteollisuuden jäteliemien käytön lisääntymiseen kiinteiden puupolttoaineiden osuuden pysyessä likimain vakiona. [11] Jäteliemien osuuden kasvu on seurausta uusista selluntuotantoinvestoinneista. Sellun viennin arvo kasvoi jopa 16 prosenttia vuonna 2018 edellisvuoteen verrattuna. [12, s. 31] Vireillä olevien hankkeiden arvellaan edelleen nostavan polttokelpoisen metsähakkeen sekä jäteliemien saatavuutta. Metsähakkeen kulutus on pysynyt viime vuodet samalla tasolla. [12, s. 55–61] Kuitenkin vuonna 2018 pienpuusta tehtiin metsähaketta hieman edellisvuotta enemmän ja hakkuutähteiden käyttö lisääntyi jopa viidenneksen [8].

Koska valtaosa puupolttoaineista on teollisuuden sivuvirtoja tai hakkuutähteitä, metsäjalkeiden energiakäyttömäärien tulevaisuuteen merkittävimmin vaikuttava tekijä on massa- ja paperiteollisuuden sekä mekaanisen puutuoteteollisuuden kysyntä sekä investoinnit. Myös biovoimalaitosinvestoinnit ohjaavat puupolttoaineiden käyttömääriä. Metsäteollisuus on itsekin suuri energiankäyttäjä, jopa neljäsosa koko Suomen sähkökäytöstä, ja suuri osa puulla tuotetusta energiasta hyödynnetään teollisuuden tarpeisiin. [12, s. 55–61] Metsäteollisuuden markkinaohjauksen lisäksi poliittisella ohjauksella voidaan vaikuttaa hakkuumääriin, puupolttoaineiden taloudelliseen kannattavuuteen sekä hakkuu- ja harvennustähteiden sekä nuoren energiapuun hyödyntämisen tehokkuuteen [6].

2.2 Tärkeimpien metsäbiopolttoaineiden valmistus ja ominaisuudet

Bioenergiantuotanto perustuu yhteyttämisprosessissa syntyneiden hiiliyhdisteiden polttamiseen voimalaitoskattilassa ja vapautuvan lämpöenergian talteenottoon vesihöyryn välityksellä. Puubiomassa on koostumukseltaan glukoosimolekyylien ($C_6H_{12}O_5$) ketjuista muodostuvaa selluloosaa, erilaisten sokereiden muodostamaa hemiselluloosaa, sidosaaine ligniiniä sekä erilaisia uuteaineita. [9, s. 54] Seuraavissa alaluvuissa mainitulla kuiva-aineen tehollisella lämpöarvolla tarkoitetaan täysin kuivan polttoaineen energiämäärää olettaen, että poltossa vedystä muodostuvan veden latenttilämpöä ei saada talteen. [9, s. 196]

Energiantuotannollisesti merkittävimmät puusta saatavat polttoaineet ovat sellunvalmistuksen sivutuotteena saatava mustalipeä, kiinteistä puupolttoaineista sivuvirroista saatavat kuori ja puru sekä metsähakkeista kokopuu- ja rankahake, hakkuutähdehake sekä kannot [8].

2.2.1 Mustalipeä

Sellunvalmistuksen menetelmäksi on vakiintunut sulfaattimenetelmä, jossa selluloosa-kuituja sitova ligniini erotetaan raaka-ainepuusta voimakkaasti alkalisessa liuoksessa natriumhydroksidin (NaOH) ja natriumsulfidin (Na₂S) avulla. Näin saatua epäorgaanisten aineiden, pilkkoutuneen ligniinin sekä puun muista komponenteista reagoituneita hiili-hydraattipohjaisia karboksyylihappoja sisältävää keittolientä kutsutaan mustalipeäksi. Mustalipeää poltetaan kuiva-ainepitoisuuden nostamisen jälkeen soodakattilassa, jossa tarkoituksena on toisaalta regeneroida keittokemikaalit ja toisaalta höyryntuotanto sähköntuotantoon ja tehtaan prosessitarpeisiin. [9, s. 109–115] [13, s. 320]

Mustalipeä on muista puupolttoaineista poikkeava rakenteeltaan sekä kemialliselta koostumukseltaan, ja soodakattila eroaa vaatimuksiltaan muista voimalaitoskattiloista. Rakenteeltaan mustalipeä on hyvin viskoosi neste. Koostumukseltaan puolet mustalipeän kuiva-aineesta on tuhkaa muodostavaa epäorgaanista aineista ja noin puolet palavaa ainesta, joista pääosa on haihtuvia aineita ja noin viidesosa hiiltä. Tuhkan sulamislämpötila on poikkeuksellisen alhainen, noin 750 °C. Kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on matala, noin 12–15 MJ/kg. Kuiva-ainepitoisuus suomalaisissa sellutehtaissa on tyypillisesti 75–85 painoprosenttia. Polttoaineen vaativuutta lisää se, että kemiallinen koostumus ja ominaisuudet vaihtelevat merkittävästi riippuen muun muassa kuiva-aineosuudesta, puuraaka-aineesta sekä prosesseista. [9, s. 109–115] [13, s. 320]

2.2.2 Kiinteät puupolttoaineet

Tärkeimmät metsäteollisuuden sivuvirroista saatavat polttoaineet ovat kuori sekä sahanpuru ja kutterilastu. Kuorta otetaan talteen kuorineen kuljetetusta runkopuusta tyypillisesti sahalla tai sellutehtaalla, ja sitä käytetään yleensä metsäteollisuuslaitosten ja lämpökeskusten polttoaineena. Kuori koostuu ulkokuoresta eli kaarnasta ja tuohesta sekä sisäkuoresta eli nilasta, ja sen osuus runkopuusta on 10–20 prosenttia. Kuori on ligniinipitoisuudestaan johtuen lämpöarvoltaan hyvää, 19–32 MJ/kg, siten että lehtipuiden kuoren lämpöarvot ovat havupuista paremmat. [9, s. 81–84]

Sahanpurua muodostuu sahauksen sivutuotteena ja kutterilastua konehöyläyksessä. Metsäteollisuus- ja lämpölaitoksissa sahanpurua käytetään muiden polttoaineiden ohessa ja kutterilastua sekoitteena. Kuiva-aineen teholliset lämpöarvot ovat noin 19 MJ/kg. Sahanpurusta ja kutterilastusta voidaan myös valmistaa puristamalla pellettejä tai brikettejä. [9, s. 85]

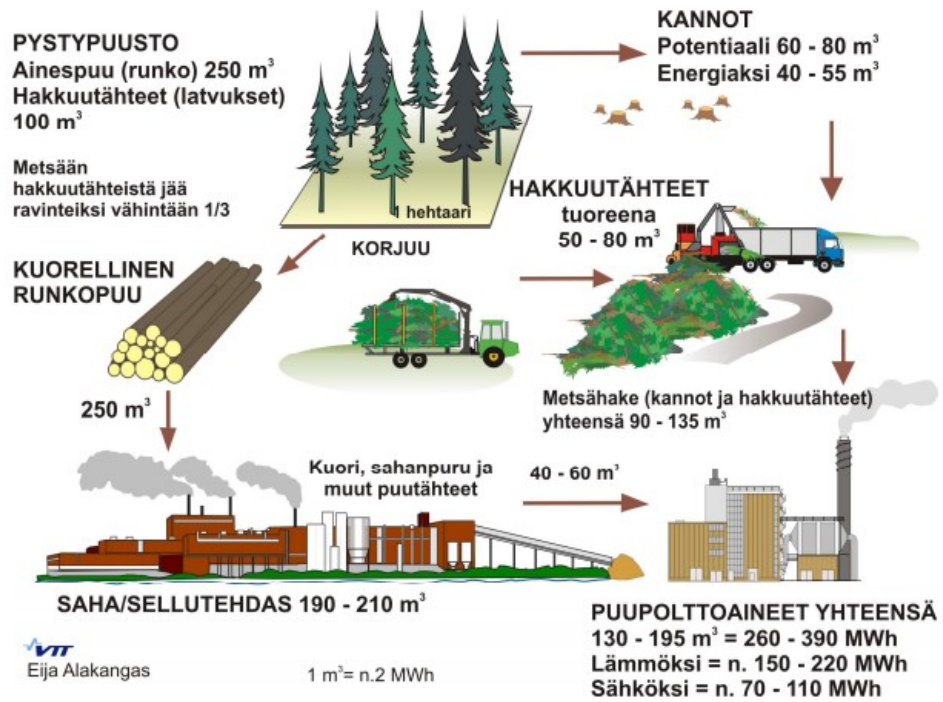
Ensiasteisista lähteistä saatava polttohake- ja murske voivat olla alkuperältään joko koko- tai runkopuuta, hakkuutähteitä tai kantoja. Hakkeen ja murskeen ero on palakoon tasaisuudessa sekä valmistustavassa: hake valmistetaan hakkurilla ja murske murskaimella. Kokopuuhake valmistetaan karsimattomasta hukkarunkopuusta tai teollisuudelle kelpaamattomasta pienpuusta, rankahake karsitusta runkopuusta. [9, s. 66–80]

Hakkuutähteiden koostumus on hakkuutyypistä riippuen alle ainespuun kokoisia latvoja, oksia, neulasia ja lehtiä sekä hylkypölkkyjä. Saatavien hakkuutähteiden määrä riippuu voimakkaasti hakkuu- ja metsätyypistä. Kuusikolla hakkuutähteen määrä on tyypillisesti noin 25–30 prosenttia runkopuun määrästä, yli kaksinkertainen verrattuna männikköön ja koivikkoon. Hakkuutähteet voidaan kerätä heti hakkuun jälkeen tai kuivuttuaan. Neulasten tai lehtien putoamisen jälkeen saanto pienenee, mutta polttoaine kuivuu, ja ravinteet jäävät metsään. Yleisimmin Suomessa annetaan tähteiden kuivua 2–6 viikkoa, jolloin suuri osa neulasista ehtii varista. [9, s. 68–74]

Kantoja voidaan korjata päätehakkuiden jälkeen energiantuotantoon, lisäksi niitä poistetaan esimerkiksi työmailta ja niitä joutuu turpeen joukkoon. Kannot yleensä murskataan, ja niiden tuhkapitoisuus voi olla korkea, jos joukkoon on joutunut maa-ainesta. [9, s. 81–84] Tärkeimmät hakkeen ja murskeen ominaisuudet ovat kosteuspitoisuus ja tiiveys, jotka vaihtelevat paitsi raaka-aineen, myös käsittelyprosessin mukaan [9, s. 66–80]. Polttohakkeen ja -murskeen kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on luokkaa 19,3–20,5 MJ/kg alkuperästä ja puulajista riippuen [9, s. 64]. Kuvassa 3 on havainnollistettu hehtaarin kokoiselta kuusen päätehakkualalta saatavien puupolttoaineiden määriä kuutioina ja energiana.

2.3 Metsäbiopolttoaineet voimalaitoskäytössä

Yleisesti verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin, biopolttoaineet ovat paitsi lämpöarvoltaan heikompia, myös sisältävät enemmän kosteutta ja ovat epähomogeenisempia. Ne ovat siis haastavampia ja heikkolaatuisempia polttoaineita. Haasteita aiheuttaa myös puupolttoaineiden kloorin ja alkalien aiheuttama likaantuminen ja korrosio. Verrattuna olkeen ja peltobiomassoihin puupolttoaineet ovat kuitenkin poltossa vähäongelmaisempia. [9, s.196–202]



Kuva 3. Kuusen päätehakkuualalta keskimäärin hehtaarilta saatava ainespuun ja energiapuun määrä [9, s. 70]

2.3.1 Mustalipeä

Mustalipeä on ominaisuuksiltaan muista polttoaineista poikkeava, lämpöarvoltaan alhainen, runsaasti epäorgaanisia yhdisteitä sisältävä ja kostea polttoaine. Soodakattilan tehtävä on lämmöntuotannon lisäksi regeneroida epäorgaaniset kemikaalit. Näistä syistä soodakattila poikkeaa monin tavoin muista voimalaitoskattiloista. [9, s. 109–115]

Soodakattilan polttokemia ja ilmiöt ovat monivaiheisia, eikä niitä käydä tässä työssä yksityiskohtaisesti läpi. Yksinkertaistettuna mustalipeä syötetään kattilaan pisaroina, jossa ensin vesi haihtuu, orgaaniset aineet pyrolysoituvat ja lopulta koksijäännös palaa. Kattilassa on kolme kerrosta, ylinä hapettava kerros, keskellä kuivumiskerros ja alinna pelkistyskerros, jossa rikkiyhdisteet pelkistyvät natriumsulfidiksi koksikeossa. [14, s. 107–108] Huomionarvoista on, että soodakattiloiden kehitys on johtanut suuriin kattilakokoihin [13, s. 320], Suomessa tyypillisesti 50–150 MW nimellistehoihin [15]. Myös tästä syystä sellutehtaiden soodakattilat ovat energiantuotannoltaan Suomessa merkittäviä.

2.3.2 Kiinteät puupolttoaineet

Kiinteiden puupolttoaineiden kuiva-aineiden teholliset lämpöarvot ovat tyypillisesti noin

10–30 prosenttia fossiilisia vaihtoehtoja kuten turvetta ja kivihiiltä pienemmät [9, s. 158]. Puun pienempi energiatiheys on seurausta sen kemiallisesta koostumuksesta, jossa on fossiilisia polttoaineita pienempi hiilen ja vedyn osuus [9, s. 197]. Lämpöarvon lisäksi kattilan mitoitukseen vaikuttaa puun suuri haihtuvien aineiden osuus, jonka vuoksi se on pitkäliekkinen polttoaine ja vaatii suuren palotilan [9, s. 54]. Alhaisempi lämpöarvo vaikuttaa kattilan lisäksi varastointi-, käsittely- ja syöttölaitteiden sekä kuljetusten mitoitukseen.

Alhaisen lämpöarvon, korkean kosteuspitoisuuden ja alhaisen tiiveyden vuoksi hakkuutähdehake voi vaatia hiileen verrattuna kuusinkertaisen varastointitilan tuotettua energiayksikköä kohden [9, s. 196]. Samasta syystä pitkät kuljetusmatkat eivät ole taloudellisesti järkeviä [10 s. 102–126]. Kustaan puun varastoinnista aiheutuu myös kuiva-ainetappioita: tutkimuksissa hakkuutähteille ja rangoille on havaittu 1–3 prosentin kuukausittaiset tappiot [9, s. 61].

Tuoreessa puussa kosteuspitoisuus vaihtelee jakeesta riippuen 30–60 prosentin välillä. Korkea kosteus heikentää polton energiatheyttä, koska osa lämmöstä sitoutuu polttoaineen kosteuden höyrystämiseen. Hyvin kostean polttoaineen, jonka kosteus on jopa 50 prosenttia, hyödyntäminen vaatii laitokselle savukaasunlauhduksen talteenottamaan savukaasujen sisältämän kosteuden lauhtumislämpö. [9, s.196–202]

Polttotavoista arina- ja pölypoltto asettavat tiukat vaatimukset polttoaineen palakoolle ja homogeenisuudelle. Näin ollen puupolttoaineet soveltuvat paremmin poltettaviksi kerosleiju- (BFB, Bubbling Fluidized Bed) ja erityisesti kiertoleijukattiloissa (CFB, Circulating Fluidized Bed). Palakoon epähomogeenisuus on huomioitava myös muussa käsittely- ja syöttölaitteistoissa. [9, s.196–202]

Seospoltolla eli yhtäaikaishalla puupolttoaineen ja turpeen tai kivihiilen poltolla voidaan torjua kloorin ja alkaalien aiheuttamia tulistimen likaantumis- ja kuumakorroosio-ongelmia. Erityisesti mikäli kattilaa ei ole suunniteltu suurille metsäpolttoaineosuuksille, juuri nämä ovat kiinteiden puupolttoaineiden suurimpia haasteita. Käytännössä kaikissa suomalaisissa biopolttoaineiden voimalaitoskokoisissa leijupetikattiloissa käytetään seospolttoa, tavallisimmin turpeen kanssa. Metsähakkeessa ei ole turpeen ja kivihiilen tavoin kloorin ja kaliumin ongelmilta suojaavia yhdisteitä, kuten rikkiä ja alumiinisilikaattia. Tällöin turve tai kivihiili toimii poltossa niin sanottuina suojapolttoaineena. Seospoltolla on havaittu muitakin etuja, kuten pienhiukkaspäästöjen ja rikkidioksidipäästöjen vähenemistä. Ongelmia voidaan torjua osittain myös saamalla havupuiden kloori- ja kaliumpi-toiset neulasen irtoamaan ennen polttoa. [9, s.196–202]

Voimalaitospolttoaineille on laadittu tarkat laatuvaatimukset. Tärkeimmät kiinteiden puupolttoaineiden vaatimukset liittyvät kosteuspitoisuuteen, joiden pitää tyypillisesti olla alle 40–60 prosenttia, sekä kloori- ja alkalipitoisuuksiin. [9, s. 204]

2.4 Biovoimalaitokset Suomessa

Puupolttoaineita käyttävät voimalaitokset ovat toisaalta suuria teollisuuden ja kaukolämmön CHP-laitoksia sekä toisaalta runsaslukuisia pieniä lämpölaitoksia. Määrällisesti valtaosa puupolttoaineiden kokonaismäärästä poltetaan teollisuuden CHP-laitoksissa ja seuraavaksi suurin osuus kaukolämmön CHP-laitoksissa, lämpökeskusten jäädessä energiantuotantomäärissä pienempään rooliin [16, s. 11–25]. Puupolttoaineita hyödyntäviä voimalaitosinvestointeja on viime vuosina valmistunut, valmistumassa ja suunnitteilla lukuisia [17].

Voimalaitosrekisterin mukaan Suomessa on noin 80 puupolttoaineita käyttävää yli 1 MW:n CHP-laitosta. Näistä noin 50:ssä puupolttoaineet ovat pääpolttoaineena, ja loppujen pääpolttoaine on useimmin turve. Kiinteitä puupolttoaineita pääpolttoaineenaan käyttävät laitokset ovat tyypillisesti nimellisteholtaan pienehköjä, 1–75 MW, turvevoimalaitokset hieman suurempia, 10–100 MW ja mustalipeän polttolaitokset suurimpia, 50–150 MW. [15]

Pienet lämpölaitokset ovat nimellisteholtaan alle 1 MW:sta 10 MW:iin, ja puupolttoaine on yleensä pääpolttoaine [15][16, s. 11–25]. Lukumäärällisesti näiden laitosten määrä on suuri: metsähaketta käyttäviä voimalaitoksia oli Suomessa vuonna 2018 vajaat 800 laitosta sekä puupellettejä tai -brikettejä käyttäviä vajaat 200 laitosta [17].

2.5 Puupolttoaineiden käytön taloudellinen kannattavuus

Merkittävä käyttömääriin vaikuttava seikka on luonnollisesti polttoainekustannukset. Metsähakkeelle hinta muodostuu toisaalta alkuperästä ja kuljetusmatkasta, toisaalta tuista ja verotuksesta riippuen. Kokopuun ja kantojen tuotantokustannukset ovat kuljetusetäisyydestä riippuen noin 15–20 €/MWh, kun latvusmassalle tuotantokustannukset jäävät 10–13 €/MWh:iin. Kokopuun ja kantojen kustannukset ovat latvusmassaa korkeammat hakkuun ja kasauksen tai kantojen noston kustannusten vuoksi. [18]

Metsähakkeen hintakehitys on pysynyt tasaisena viime vuodet [12, s. 55–61], noin 20 €/MWh. Sähköntuotannossa voimalaitospolttoaineet ovat verottomia, mistä johtuen metsähake ei ole sähkön erillistuotannossa hintakilpailukykyinen turpeen ja kivihiilen kanssa. Lämmityspolttoaineissa biopolttoaineet on vapautettu muita polttoaineita koskevista veroista, joten metsähake on kustannuksiltaan kivihiiltä edullisempaa. [19]

CHP-tuotannolle on annettu verohelpotuksia, mikä tasaa polttoaineiden hintaeroja [20]. Teollisuuden jätehiemet ja sivutuotepuu ovat kustannuksiltaan metsähaketta edullisempia [12, s. 55–61]. Taloudellisen poliittisen ohjauksen tavoitteita käsitellään tarkemmin luvussa 4.3.

3. METSÄENERGIAN ILMASTO- JA YMPÄRISTÖ-VAIKUTUKSET

Metsien muokkauksella ja hyötykäytöllä on aina myös ympäristöllisiä vaikutuksia. Energiapolitiikan kannalta keskeisimmät vaikutukset liittyvät ensinnäkin ilmastopäästöjen arviointiin, kun metsäenergiaa käytetään korvaamaan fossiilisia polttoaineita. Toisekseen tärkeää on selvittää ilmastollisesti kestävät enimmäishakkuumäärät niin energia- kuin ainespuukäyttöön. Ilmastotavoitteiden lisäksi kestävien hakkuumäärien arvioinnissa on otettava huomioon myös vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen sekä mahdolliset muut ympäristöongelmat, kuten metsätuhojen lisääntyminen. Metsienkäytön ympäristövaikutusten tarkastelu eroaa sikäli energiantuotannon, taloudellisesta ja teknisestä tarkastelusta, että vaikutuksia on syytä arvioida myös globaalilla tasolla.

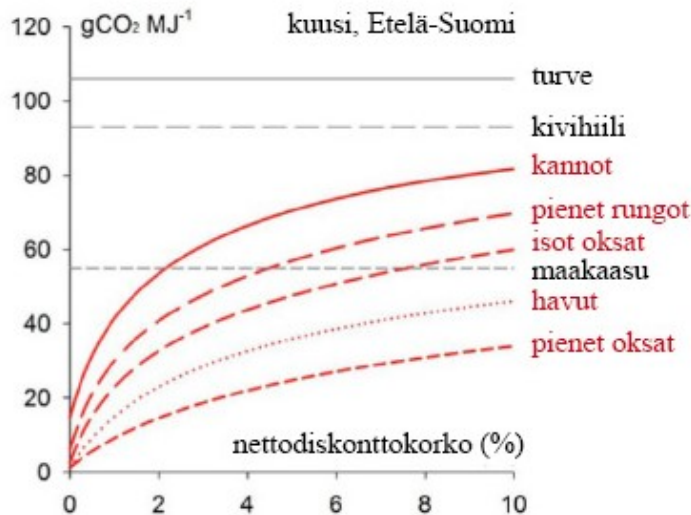
3.1 Metsäbioenergian ilmastopäästöt

Metsien energiakäytön ilmastovaikutuksia ovat maankäytön, elinkaaren ja polton aikana syntyneet hiilidioksidi-, metaani- sekä typpioksiduulipäästöt, jotka toimivat ilmakehässä kasvihuonekaasuina (GHG, Greenhouse Gases). Näiden päästöjen yhteisvaikutusta mitataan hiilidioksidiekvivalentteina (CO_2 -ekv). [21] Lisäksi puupolttoaineiden poltosta aiheutuu terveydelle ja ympäristölle haitallisia rikin ja typen oksidien sekä pienhiukkasten päästöjä. Näiden päästöjen määriä tai vaikutuksia ei käsitellä tässä työssä tarkemmin, mutta mainittakoon, että yleisesti puupolttoaineilla rikkidioksidi- (SO_2) ja typen oksidien (NO_x) päästöt ovat fossiilisia polttoaineita pienemmät [9, s. 198].

EU:n uusiutuvan energian direktiivin (EU-RED, European Union Renewable Energy Directive) mukaan kiinteän biopolttoaineen kokonaispäästöarvio lasketaan summamalla raakamateriaalin keräämisestä, prosessoinnista, kuljetuksesta ja jakelusta sekä käytöstä ja energiakonversiosta aiheutuvat GHG-päästöt. Näin ollen päästöjen suuruutta ei voi arvioida ainoastaan poltossa vapautuneiden määrien mukaan, vaan esimerkiksi hakkuutähdehakkeen käytössä keräystapa, kuljetusmatka ja varastointiaika vaikuttavat ratkaisevasti kokonaispäästöihin. Samoin direktiivin mukaan kestävyyttä arvioitaessa on otettava huomioon maankäyttö: tehdäänkö biopolttoaineita kasvattaessa heikennyksiä maan hiilensidontakykyyn esimerkiksi muuttamalla turvemaata metsäksi tai metsää pelloksi. [21][22]

EU-REDin asteittain tiukentuvana tavoitteena vuodelle 2018 on, että kestävä biotuotanto tuottaisi uusissa laitoksissa 60 prosenttia vähemmän GHG-päästöjä verrattuna fossiiliin vaihtoehtoihin [22]. Suomessa vuonna 2014 toteutetun EU-RED-laskentaan perustuvan tutkimuksen mukaan metsäbioenergialla saavutettiin perusskenaariossa CHP-tuotannolle 93–98 prosentin GHG-säästöt fossiilisiin referenssipolttoaineisiin verrattuna. Kuitenkin ottamalla huomioon välilliset päästöt, kuten varastoinnin sekä maankäytön hiilensidonnan muutokset, saavutettiin paljon pienemmät, 30–91 prosentin säästöt; lauhdetuotannossa päästöt olivat joissain tapauksissa jopa fossiilisia vertailukohteita suuremmat. Tutkimuksessa olivat mukana hakkuutähteet, kannot ja pienen halkaisijan energiapuu. [21] Metsäbioenergia voi siis olla selvästi fossiilisia vaihtoehtoja ilmastoystävällisempää, mutta vain jos tuotannolla ei tehdä muutosta hiilinielun kokoon sekä jos varastointiaika sekä kuljetusmatka pysyvät kohtuullisina.

Muun muassa Kioton sopimuksessa, EU-REDissä ja USA:n uusiutuvien polttoaineiden standardissa käytetään ilmastovaikutuksien arvioinnissa 100 vuoden aikataulukastelua [21]. Tässä perinteisessä mallissa polttoaine on yksiselitteisesti uusiutuvaa, jos se sitoo hiilen uudelleen tarkastelujakson aikana. Luonnonvarakeskuksen kehittämä *tehollinen päästökerroin* täsmentää ilmastovaikutusten arviointia huomioimalla lisäksi päästöjen tuottamisen ajallisen jakson. Malli yhdistää kolme muuttujaa: hiilen vapautumisen aikajänteen ilman polttoa, päästöjen aiheuttaman haitan arvottamisen ajan funktiona sekä diskonttokoron, joka vaikuttaa välittömästi tai pitkällä tähtäimellä aiheutuvan haitan arvostuksen painotukseen. Näin laskien energijakeet ilmastovaikutuksiltaan pienimmästä suurimpaan ovat pienet oksat, havut, isot oksat, pienet rungot ja viimeisenä kannot. Kaikkien jakeiden päästöt ovat pienemmät kuin kivihiilen ja turpeen, mutta eron suuruus riippuu voimakkaasti diskonttokoron valinnasta. Diskonttokorolla painotetaan nykyisten ja tulevien haittojen suhdetta ja se on puhtaasti valittava arvo. Pääsääntönä korkea korko johtaa lyhyen aikajänteen painotukseen, matala pidemmän. [23] Eri polttoaineiden GHG-päästöjä diskonttokoron valinnasta riippuen on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Eri metsäjakeiden kasvihuonekaasupäästöt nettodiskonttokoron funktiona tehollisen päästökertoimen mukaan [23]

3.2 Metsien vuotuinen hiilinielu ja kestävät hakkuumäärät

Valtaosa maapallon hiilestä on sitoutunut valtameriin, maaperään ja kasvillisuuteen, ja ilmakehän hiili edustaa koko hiilimäärästä vain murto-osaa. Olennaista on kuitenkin hiilen kierto eli kuinka paljon hiiltä vuosittain vapautetaan ilmakehään ja kuinka paljon siitä sitoutuu merien ja metsien hiilinieluihin. Metsien hiilinielu jakautuu puuston kasvuun sekä maaperän hiilensidontaan. [24] Yhteensä Suomen pinta-alasta metsää on 73 prosenttia, ja metsämaasta yli 90 prosenttia on metsätalouskäytössä [25, s. 107]. Suomen puuston kasvu on edellisten vuosikymmenten aikana jopa kaksinkertaistunut tehokkaamman metsänhoidon, soiden ojituksen ja myös ilmaston lämpenemisen seurauksena [25, s. 28]. Hiilinielujen ja hakkuumäärien arvioinnissa käytetään mittayksikkönä sekä vuotuisesti sidottua hiilidioksidiekvivalenttitonnia (- CO₂ ekv.) että miljoonia kuutioita (milj. m³) puuta.

Suomi on laskenut metsiensä hiilinielun koon EU:n LULUCF-asetuksen (Land Use, Land Use Change and Forestry) vaatimusten mukaisesti vertailutasona vuosille 2021–2025. Suomen laskenta on toteutettu IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) ohjeiden mukaisesti käyttäen MELA-ohjelmistoa (Metsälaskelma), joka arvioi puuston kokonaisbiomassaa sekä vuotuista kasvua koealoilta saadun aineiston sekä vuosien 2000–2009 toteutuneen metsänhoidon mukaan. Mallissa kasvuoletukseen vaikuttaa myös keskilämpötilan nousu ja hiilidioksidipitoisuuden kasvu. Keskeinen muuttuja laskennassa on valittu korkokanta, joka kuvaa metsänomistajan tuottovaatimusta. Laskennassa on käytetty korkokantana 3,5 %, joka perustuu vuosien 2000–2009 todelliseen

sijoitustuottoon. Malli ei ole ennuste tulevasta hiilivarannon kehityksestä vaan vertailutaso, johon tulevia hiilinieluja verrataan. [24] LULUCF-asetuksen tavoitteena on, että Euroopan olemassa olevat maankäyttösektorin hiilinielut eivät pienene [26].

Edellä kuvatulla laskennalla Suomen hiilinielujen vertailutasoksi on saatu -28– -35 Mt CO₂-ekv. riippuen lasketaanko hakkuiden puutuotteiden vapauttavan hiilensä ilmaan välittömästi [24]. Vuonna 2018 Suomen hiilinielun koko oli ennakkotietojen mukaan kuitenkin vain -14,2 Mt CO₂ ekv. Hiilinielu pieneni noin 30 prosenttia edellisvuoteen nähden hakkuiden lisäyksestä johtuen. [5] Hakkuiden lisääminen ja hiilinielun väliaikainen pienentäminen on Suomen Kansallisen metsästrategian 2025 mukaista, ja perustuu laskentaan, jonka mukaan nykyisen suuruisilla hakkuilla hiilinielun koko saavuttaisi uudelleen Kioton pöytäkirjassa Suomelle annetun vertailutason – noin -20 Mt CO₂ ekv. – kaudella 2035–2044 [6, s. 82]. Ennakoitu kasvu perustuu siihen, että Suomen metsien ikärakenne painottuu tällä hetkellä nuoriin ikäluokkiin, minkä ansiosta tulevien vuosikymmenten aikana puuston tilavuus kasvaa ja samalla saataville tulee runsaasti hakkuukypsää metsää [27].

Kestäviä hakkuumääriä varten Luonnonvarakeskus on laskenut Suomen metsien puuvarannon koon sekä vuotuisen kasvun ja poistuman miljoonina kuutioina. Laskelman mukaan vuonna 2018 puuvarannon kokonaiskoko oli 2360 milj. m³, uuden runkokuun vuotuinen kasvu 107 milj. m³, ja poistuma 94 milj. m³. Suurimman poistuman, 78 milj. m³, aiheuttivat hakkuut. Hakkuista energiapuun osuus oli 11 prosenttia. Hakkuiden kokonaismäärä kasvoi 8 prosenttia edellisvuodesta. Luonnonvarakeskuksen syksyllä 2018 tekemän arvion mukaan kestävä hakkuumahdollisuus on 84 milj. m³, joskaan tässä tavoitteessa ei ole huomioitu kaikkia monimuotoisuus- ja hiilinielutavoitteita. [28]

Maankäyttösektorin hiilinielussa huomionarvoista on hakkuiden määrän lisäksi maankäytön muutos: muun muassa metsien raivaaminen yhdyskuntarakentamisen ja pellonraivauksen seurauksena aiheuttaa merkittävän vuosittaisen hiilipäästön [6, s. 66]. Lisäksi on huomioitava, että suomaan maankäytön muutos on muuta metsämaata merkittävämpi, sillä suomaan hiilivarastointikyky on moninkertainen metsäalaan verrattuna. Metsätalousmaasta noin kolmasosa on suometsää, ja yli puolet soista on ojitettu metsätalouden tarpeisiin. [29, s. 11]

Lopuksi hiilinielujen ja ilmastovaikutusten arvioinnissa on vielä syytä mainita globaali näkökulma. Vuonna 2018 toteutetun tutkimuksen mukaan hakkuumäärien rajoittaminen Euroopassa ilmastosyistä johtaisi hakkuiden, metsäteollisuuden ja työpaikkojen siirtymiseen muualle. Tämä saattaisi johtaa globaalisti jopa pienentyviin hiilinieluihin sekä ohjata tuotantoa vaihtoehtoisiin, energiantensiivisempiin materiaaleihin. [30]

3.3 Metsienkäytön muut ympäristövaikutukset

Ilmastopäästöjen ja hiilinielujen koon lisäksi metsienkäytössä on huomioitava myös biodiversiteetin säilyminen sekä ilmastonmuutoksen aiheuttamien muutosten ennakointi. Suomessa energiapuun keräämisessä neuvotaan säilyttämään monimuotoisuudelle tärkeitä rakennepiirteitä, kuten vanhoja ja kookkaita puita sekä lahopuita, sekä lisäämään metsän sekapuustoisuutta ja alikasvosta. Pakottavia monimuotoisuuden huomioimisohjeistukset ovat kuitenkin ainoastaan lain turvaamissa luontokohteissa tai suojeltujen lajien esiintymispaikoilla. [31, s. 21] Valtion metsissä monimuotoisuustoimenpiteille on asetettu velvoite laissa [32]. Energia- ja ilmastostrategian mukaan turvaamiskeinoja sekä luontoarvoiltaan rikkaiden metsien tehokkaampaa suojelua tulee tulevaisuuden hakkuissa lisätä, jotta monimuotoisuus voidaan taata [6, s. 82].

Luonnonvarakeskuksen ja Suomen ympäristökeskuksen arvioissa on tarkasteltu puuston rakenteen, metsien ikärakenteen ja kuolleen puun määrän muutoksia erilaisilla hakkuukertymääräarvioilla. Näiden arvioiden sekä muun muassa vuonna 2014 Pohjois-Karjalassa tehdyn tutkimuksen mukaan nykyisillä tai maltillisesti nousevilla hakkuutasoilla energiapuun kerääminen on mahdollista monimuotoisuuden turvaten. Kuitenkin mikäli hakkuukertymät nousisivat puunhoidolliseen maksimiarvoonsa, jouduttaisiin käyttöönottamaan uusia keinoja monimuotoisuuden turvaamiseksi. [6, s. 82][33]

Ilmastonmuutoksen vaikutukset metsienkasvuun ja biodiversiteettiin ovat toistaiseksi epävarmoja. Nouseva keskilämpötila ja kasvava hiilidioksidipitoisuus lisäävät puuston kasvua, mutta lisääntyvät säiden ääri-ilmiöt – kuten kuivuus, sateiset kesät ja syksyt, lämpimät talvet, tulvat ja myrskytuulet – saattavat lisätä metsätuhojen määrää. Lisäksi tuholaisien kokonaismäärän ennakoidaan kasvavan. Vaikutukset ovat kuitenkin lajikohtaisia. Muuttuva ilmasto lisää myös biodiversiteettiä haastavien tulokas- ja vieraslajien määrää. Suomen metsästrategiassa on varauduttu ilmastonmuutoksen tuomien tuhojen torjuntaan muun muassa kehottamalla muokkaamaan kuusimetsästä runsaslajisempaa ja paremmin kuivuutta ja myrskyjä kestäväää sekametsää. [25, s. 25]

4. METSÄ- JA ENERGIAPOLITIikka SUOMESSA

Metsien energiakäyttö on poliittisesti monitahoinen aihe, jonka reunaehdot ovat toisaalta ilmasto- ja ympäristötavoitteet, energiapoliittiset tavoitteet, talous- ja työllisyysvaikutukset sekä teknistaloudelliset realiteetit. Metsäpolitiikan tehtävä on sovittaa yhteen näitä toisinaan ristiriitaisiakin tavoitteita. Metsäpolitiikka on kansallisessa päätösvallassa, mutta Suomen politiikkaan vaikuttavat EU:n ilmasto-, ympäristö- ja energiapolitiikka sekä kansainväliset sopimukset. Tässä luvussa perehdytään metsäenergian lainsäädäntöön, tavoitteisiin ja strategioihin sekä poliittisen ohjauksen keinoihin.

4.1 Normatiivinen säätely

Normatiivista säätelyä ovat lainsäädäntö sekä erilaiset asetukset ja direktiivit. Suomessa metsien energiakäyttöä koskeva lainsäädäntö on jakautunut niin Maa- ja metsätalousministeriön alaiseen *metsälainsäädäntöön* kuin Ympäristöministeriön alaiseen *ilmasto- ja luonnonsuojelulainsäädäntöön*. Kokonaisvastuu *energia-alan säätelystä* puolestaan on Työ- ja elinkeinoministeriöllä. [34][35] Säätelyyn vaikuttaa voimakkaasti EU-lainsäädäntö sekä YK:n kansainväliset ilmastopöytäkirjat.

Kansallisen metsälainsäädännön tärkein tavoite on turvata metsätalouden kestävyys. Metsälain (1093/1996) on säädetty metsienkäytön rajoja ja edellytyksiä, joskin se sisältää vähän pakottavaa lainsäädäntöä. Kestävän metsätalouden rahoitus -lailla (34/2015, muut. 202/2017) säädetään tarkemmin muun muassa puuenergian käyttöön liittyvistä rahoituskannusteista. [34] EU:n LULUCF- (Land Use, Land Use Change and Forestry 2018/841/EU) eli maankäyttöasetus määrää muun muassa, että jäsenmaiden on laadittava suunnitelma maankäyttösektorin päästöjen kompensoinnista sekä toimitettava laskelmat hiilinielujen vertailutasosta [26].

Luonnonsuojelulaki (1096/1996) ja luonnonsuojeluasetus (160/1996) määrittelevät keinoja metsäluonnon monimuotoisuuden ylläpitämiseksi [35]. EU-tasolla luonnon monimuotoisuutta säätelee luonto- ja monimuotoisuuslainsäädäntö [36]. Vuonna 2015 laadittu Ilmastolaki (609/2015) määrittelee Suomen päästövähennyskeinoja heijastellen kansainvälisten sopimusten ja EU-lainsäädännön velvoitteita. Kioton pöytäkirjan velvoitteiden toteuttamisesta on säädetty oma kansallinen lakinsa (109/2007). [35] Pariisin ilmastopöytäkirjan toteuttaminen perustuu Eurooppa-neuvoston vuonna 2014 antamalle päätökselle, joka määrittelee EU-jäsenvaltioiden yhteisen kasvihuonekaasujen vähentämistavoitteen [6, s. 18].

EU-tasolla yhteistä energiapolitiikkaa sääntelee *energiaunioni* [6, s. 19]. EU:n päästökauppadirektiivi (2003/87/EU) määrittelee polttoaineiden hintaan vaikuttavan päästökaupan ehdot. Uusiutuvien energianlähteiden käytön edistämisdirektiivi (EU-RED, 2018/2001/EU) sisältää jäsenvaltioihin kohdistuvan velvoitteen asettaa uusiutuvan energian tavoitteet vuoteen 2030. Lisäksi direktiivi määrittelee kestävien biopolttoaineiden kriteerit huomioon ottaen myös maankäytön muutoksen. EU-sääntely vaikuttaa myös sähkön- ja lämmöntuotannon voimalaitosten suunnitteluun muun muassa ympäristövaatimusten osalta. [22]

4.2 Tavoitteet ja strategiat

Rinteen hallitusohjelmassa Suomi tavoittelee hiilineutraaliutta vuoteen 2035 mennessä. Lisäksi ohjelmassa tavoitellaan asteittaista luopumista öljyn lämmityskäytöstä, kivihiilen ja turpeen käytöstä sekä tuulivoiman ja muun uusiutuvan energiantuotannon lisäämistä. [1] Kansainvälisesti Suomen energiamurroksen tavoitteet ovat hyvin kunnianhimoisia.

Hallitusohjelmassa ei oteta suoraan kantaa metsäenergian käytön lisäämiseen, todetaan ainoastaan, että ainespuuta ei saa päätyä polttoon [1]. Tuoreimmat tavoitteet puupolttoaineiden käytön kehittymisestä löytyvät vuonna 2016 julkaistusta *Suomen energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030*. Strategiassa tavoitellaan uusiutuvan energiantuotannon merkittävää lisäämistä, josta jopa kolmannes tapahtuisi metsähakkeen käytön kasvulla. Tämä vastaa noin 15 TWh lisätuotantoa metsähakkeella, lähes tuplasti verrattuna vuoden 2018 tasoon. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi käytetään taloudellisia kannustimia: polttoaineverotuksella pyritään saamaan puupolttoaineet kustannustehokkaiksi CHP-tuotannossa, ylläpidetään metsähakesähkön tuotantotukijärjestelmää sekä huomioidaan ohjauksessa päästöoikeuksien hintakehitys. Strategiassa tavoitellaan samalla myös tuotannon omavaraisuuden lisäämistä, joten tuontihakkeen käytön määrää seurataan eikä sen käyttöä tueta. [6]

Vuonna 2018 päivitetyn *Kansallisen metsästrategian 2025* keskeisenä tavoitteena on kansainvälisesti kilpailukykyisen metsäteollisuuden edistäminen ja metsien aktiivinen käyttö, ilmasto- ja ympäristötavoitteet turvaten. Puun saatavuutta pyritään tukemaan, lisäämään käyttöä kestävästi sekä luomaan uusia investointeja. Keinoja tähän ovat esimerkiksi Kestävän metsätalouden rahoituslakiin perustuva Kemera-tuki, talousmetsien hoidon ohjeistus ja tukeminen sekä metsätieverkoston ylläpito. Vuosittainen kokonai- shakkuutavoite on 80 milj. m³ vuonna 2025, mikä on vain hieman vuoden 2018 toteumaa suurempi. Strategiassa todetaan, että metsähakkeen käyttömäärän lisääminen

Energia- ja ilmastostrategian mukaisesti tulee olemaan haastavaa. [25] Haasteita aiheuttavat toisaalta tekniset korjuuhaasteet, metsänomistajien myyntihalukkuus, ympäristösuositusten huomiointi sekä alueellinen saatavuus [37].

EU-tason tavoitteet ohjaavat vahvasti Suomen kansallisia tavoitteita. Vuonna 2008 EU:ssa vahvistettiin 20–20–20 -ilmasto- ja energiatavoitteet, millä tarkoitettiin 20 prosentin päästövähennystä, 20 prosentin uusiutuvan energian käyttöä sekä 20 prosentin energiatehokkuuden parantamista EU-alueella vuoteen 2020 mennessä [6, s. 20]. Vuonna 2018 uudistetussa EU-RED-direktiivissä määritellään uusiutuvan energian tavoitteeksi 32 prosenttia vuoteen 2030 mennessä [22]. EU on antanut Pariisin ilmastopöytäkirjan lupauksena vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 40 prosenttia vuoteen 2030 mennessä vuoden 1990 tasosta. Suomen tavoitteet EU-vaikuttamisessa liittyvät aktiivisen metsien käytön sallimiseen. [6, s. 18, 67]

4.3 Poliittinen ohjaus

Poliittiset ohjauskeinot voidaan jakaa taloudelliseen ohjaukseen, kuten verotukseen, tukiin ja tuottotavoitteisiin; sekä informaatio-ohjaukseen, kuten neuvontaan ja suosituksiin. Energiaverotuksella sekä tuotantotuilla Suomi pyrkii ohjaamaan eri polttoaineiden ajojärjestystä energian tuotannossa. Kunkin polttoaineen hintakilpailukykyyn vaikuttaa markkinahinnan lisäksi verotus, päästöoikeuden hinta ja tuet. Näistä verotusta ja tukia ohjataan kansallisesti, päästökauppaa puolestaan EU-tasolla. Suomessa fossiilisista polttoaineista kannetaan energiasisältöveroa ja hiilidioksidiveroa, lämmityspolttoaineista lisäksi huoltovarmuusmaksua. Biopolttoaineet on vapautettu näistä maksuista. CHP-tuotannossa verotus kohdistuu vain lämmön tuotantoon. [20] Ohjauksen tavoitteena on puupolttoaineiden osalta varmistaa, että metsähake on kilpailukykyinen polttoaine yhdistetyssä ja lämmön erillistuotannossa, ja että turve on kustannustehokkaampi kuin fossiiliset polttoaineet, mutta ei puupolttoaineita edullisempi [6, s. 37–38].

Uusiutuvan energian sähköntuotantotukijärjestelmällä pyritään tukemaan investointeja uusiutuvan energian tuotantoon, tällä hetkellä erityisesti metsähakkeen käyttöön. Järjestelmä tukee uusiutuvaa sähköntuotantoa niin sanottuna syöttötariffina eli takuuhintana sähkölle. Tukea voidaan maksaa 12 vuoden ajan investoinnista. Uusien tuulivoimaloita tai biokaasu- ja puupolttolaitoksia ei enää hyväksytä järjestelmän piiriin, mutta uusia metsähakevoimaloita hyväksytään vuoden 2021 alkuun saakka. [38]

Energiapuun saatavuuteen voidaan vaikuttaa usean eri ohjausjärjestelmän kautta. Kotimaista metsäteollisuutta tuetaan muun muassa energiaintensiivisen teollisuuden tuilla ja

verohelpotuksilla [20]. Metsäteollisuuden investoinnit edistävät puupolttoaineiden saatavuutta. Kestävän metsätalouden määräaikaisella rahoituslailla (Kemera) pyritään tukemaan yksityisten metsänomistajien metsänhoitotoimenpiteitä. Järjestelmä osaltaan edistää energiapuun saatavuutta tukemalla esimerkiksi nuorten metsien pienpuun keruuta, metsäteiden rakennusta sekä yleisesti kannustamalla aktiiviseen metsänhoitoon. [39]

Valtionmetsiä hallinnoi maa- ja metsätalousministeriön liikelaitos Metsähallitus. Suomen metsistä valtio omistaa noin kolmanneksen, ja muun muassa Metsähallituksen tuottotavoitteilla ja niiden jaksotuksella voidaan ohjata energiapuun saatavuutta. Huomionarvoista on kuitenkin, että valtionmetsä on keskimäärin vähätuottoisempaa kuin yksityismetsä. [32] Yksityisten metsien omistajien käyttäytymiseen pyritään vaikuttamaan paitsi taloudellisilla kannustimilla, myös tarjoamalla neuvontaa ja *Metsänhoidon suosituksilla*. *Metsänhoidon suositukset* ovat jatkuvasti päivitettäviä virallisia, mutta vapaaehtoisia metsänhoidon ohjeistuksia. Suosituksissa on myös erillinen työopas energiapuun korjuuseen. Suositusten tavoitteena on kannustaa aktiiviseen metsänhoitoon, ja neuvoa kestävässä ja taloudellisessa energiapuun keruussa. [31]

Ohjauskeinojen vaikuttavuutta arvioitaessa huomionarvoista on, että yksittäisten toimien ohjausvaikutukset ovat monikytkentäisiä ja keskenään riippuvaisia. Esimerkkinä annattakoon suojeleuhjelmien vuotovaikutus, jossa kun pysyvästi poistetaan vanhoja metsiä puuntuotannosta, ei-suojeltujen vanhojen metsien käyttö lisääntyy [27]. Monikytkentäisyys onkin johtanut monimutkaisten ohjausjärjestelmien kehittämiseen. Lisäksi on muistettava, että poliittiset ohjauskeinot ovat myös aina jossain määrin rajallisia. Poliittisten ohjauskeinojen vaikutusten arvioinnista kerrotaan lisää seuraavassa luvussa.

5. METSÄBIOENERGIAN TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Metsäbioenergian tulevaisuutta voidaan mallintaa arvioimalla erilaisten politiikkaskenaarioiden vaikutuksia tulevaisuuden energiarakenteeseen. Laskennan tueksi on kehitetty erilaisia malleja, jotka yhdistävät metsä- ja energiatieteitä ekonomian, ekologian, tekniikan ja politiikan näkökulmista. Tähän lukuun on koottu keskeisiä skenaarioita metsäenergian tulevaisuudesta vuoteen 2030 sekä esitelty eri laskentamallien keskeisiä tuloksia.

5.1 Metsäenergian käytön ja tuotannon skenaariot

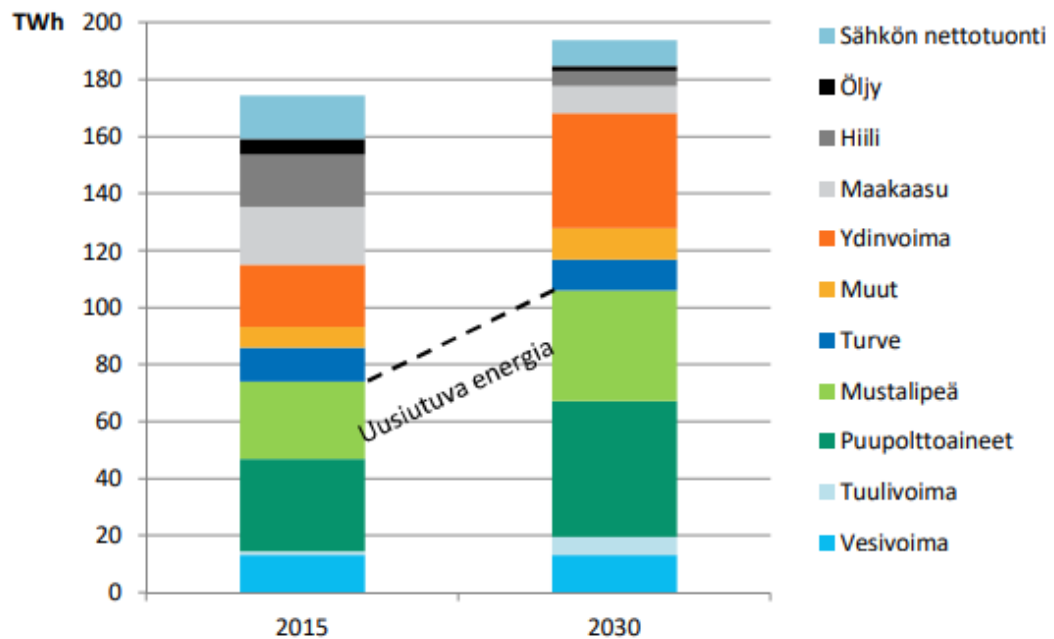
Pöyry Consulting Group on vuonna 2016 laatinut laajan selvityksen erilaisten politiikkaskenaarioiden vaikutuksista energiantuotannon- ja käytön rakenteeseen Suomessa vuoteen 2030. Tätä tarkastelua on käytetty pohjana muun muassa Energia ja ilmastostrategian laadinnassa. Tarkastelussa on läpikäyty *perusskenaario*, jossa on huomioitu ainoastaan jo tehtyjen poliittisten päätösten vaikutukset; *Vain päästökauppa* -skenaario; *EU-tavoite* -skenaario; *Kansalliset tavoitteet* -skenaario sekä vaihtoehtoinen *Matalan kasvun skenaario*. [40]

Matalan kasvun skenaariota lukuun ottamatta kaikissa skenaarioissa sähkön hintakehitys tulee olemaan selvästi nouseva. Puupolttoaineiden hintakilpailukyvyyn kehitystä ohjaa selvimmin vaihtoehtoisten polttoaineiden päästöoikeuksien ja verojen taso. Tämä on seurausta siitä, että puuta käyttävät laitokset ovat useimmiten monipolttoainelaitoksia, joten hinta, saatavuus ja tekniset seikat ratkaisevat polttoainevalinnan. CHP-tuotannossa puupolttoaineet säilyvät hintakilpailukykyisimpinä vaihtoehtoina kaikissa skenaarioissa. Lämmön erillistuotannossa turve pysyy puuta edullisempänä polttoaineena kaikissa skenaarioissa. Lauhdetuotantoon investointi ei ylipäätään ole taloudellisesti kannattavaa. [40]

Skenaarioiden mukaan biomassaan perustuva yhteistuotantokapasiteetti kasvaa 1100 MW vuosina 2015–2030. Uudet voimalaitokset ovat monipolttoainelaitoksia, joissa poltetaan pääasiassa biomassaa sekä tukena voidaan käyttää turvetta ja hiiltä. Selvityksen mukaan tuulivoimainvestointeja ei juuri tehdä nykyisen tukijärjestelmän loputtua. [40]

Puupolttoaineiden rooli tulee kasvamaan merkittävästi erityisesti kaukolämmön tuotannossa ja teollisuuden lämmöntuotannossa. Polttoaineiden käyttö kokonaisuutena vähennee hieman vuodesta 2015 vuoteen 2030, ja painopiste siirtyy biopolttoaineiden puolelle.

Mallinnuksen perusteella biomassan käyttö kasvaa yhteensä yli 100 TWh:iin vuonna 2030. [40] Vuonna 2017 biomassaa käytettiin yhteensä noin 80 TWh [7].



Kuva 5. Sähkön ja lämmön tuotanto energialähteittäin 2015 ja 2030 Pöyry Consulting Groupin Kansalliset tavoitteet -skenaariossa [40]

Energia- ja ilmastostrategiassa on arvioitu vuoden 2030 perusskenaarion mukaiseksi mustalipeän käytöksi 48 TWh ja kiinteiden puupolttoaineiden käytöksi 66 TWh. Metsähakkeen osuus tästä olisi 29 TWh eli noin 14,5 milj. m³ haketta. [6, s. 81] Nykyinen metsähakkeen käyttömäärä on 7,4 milj. m³ [11].

IEA (International Energy Agency) ja IRENA (International Renewable Energy Agency) ovat ennustaneet raporteissaan, että myös globaalisti bioenergian osuus uusiutuvan energian tuotannosta pysyy merkittävänä ja lisääntyy lähitulevaisuudessa. Arvioiden mukaan maailman uusiutuvasta energiasta 50–60 prosenttia on bioenergiaa vuonna 2030. Bioenergian osuuden kasvu sähkön tuotannossa arvioidaan jäävän pieneksi, mutta liikennepolttoaineissa sen osuus on merkittävä. [6, s.104]

5.2 Metsä- ja energiapolitiikan riippuvuuksien mallintaminen

Luonnonvarakeskus on kehittänyt metsä- ja energiapolitiittisten tavoitteiden yhdistämiseksi laskennallisen FinFEP-mallin (Finnish Forest and Energy Policy). Mallissa on yhdistetty niin taloustieteellisiä, ekologisia, teknisiä kuin poliittisiin ohjauskeinoihin liittyviä tarkastelukulmia. Mallin tarkoitus on politiikan suunnittelun tueksi esittää sekä puun

kysynnän että tarjonnan arviot, huomioon ottaen muun muassa metsävarat, metsänomistajien käyttäytyminen, politiikkatoimien vaikutukset, markkinat, investoinnit sekä ilmastomuutos. [41]

Mallin mukaan tehtyjen laskelmien perusteella puun saatavuus lähivuosikymmeninä kasvaa jopa 50–70 prosenttia. Lisäksi se osoittaa, että hiilinielun kasvattamiseen perustuvaa politiikkaa on vaikea toteuttaa yhdessä uusiutuvan energian lisäämisen tavoitteiden kanssa. Myös politiikkatoimien vaikutuksiin liittyy mallin laskelmien mukaan huomattavia monimutkaisuuksia, odottamattomia seurauksia ja avoimia kysymyksiä. Käytännössä ohjausvaikutuksissa voidaan joutua tyytymään oikeansuuntaiseen ohjaukseen. [27]

Globaalisti metsienkäytön mallintamiseen on käytetty esimerkiksi GFPM-mallia (Global Forest Products Model). Vuonna 2010 toteutetussa tutkimuksessa sovellettiin tätä mallia IPCC:n silloisiin bioenergiaennusteisiin metsienkäytön ja puun hinnankehityksen näkökulmasta. Tutkimuksen tulosten mukaan eri IPCC:n skenaarioihin sovellettuna globaali energiapuun kysyntä kasvaisi 3–6-kertaiseksi vuoteen 2060 mennessä. Tämä aiheuttaisi voimakasta energiapuun hinnannousua, joka johtaisi lisääntyviin kestäättömiin hakkuihin monissa maissa. Tietyissä skenaarioissa energiapuun hinta nousisi jopa ainespuun ohi. [42]

Suomessa metsähakkeen käytön ennakoitu lisääntyminen vaatii myös alueellisen saatavuuden arviointia. Vuonna 2018 toteutetun tutkimuksen mukaan metsähakkeen saatavuus ja kysyntä sijaitsevat alueellisesti etäällä toisistaan. Pienpuun käytön lisäämismahdollisuudet painottuvat Itä- ja Pohjois-Suomeen. Latvusmassan ja kantojen korjausmahdollisuuksia on tasaisemmin koko maassa, mutta ne eivät painotu suurien käyttöpisteiden lähelle Etelä-Suomessa ja rannikolla. Laskenta perustuu Energia- ja ilmastostrategian ennusteisiin. [37]

Lopuksi on syytä huomauttaa, että metsäteollisuuden sivuvirtojen käyttäminen erilaisiin biojalosteisiin energiankäytön sijaan on aktiivisen tutkimuksen kohteena. Esimerkiksi Suomen suurimpiin pörssiyhtiöihin kuuluva metsäyhtiö Stora Enso on perustanut koelaitoksen ligniinin jalostamiseksi biopohjaiseksi hiilimateriaaliksi, jota voitaisiin hyödyntää esimerkiksi akuissa tai muovin korvaajana [43]. Arvioitaessa metsäenergian tulevaisuuden saatavuutta on huomioitava myös mahdollisten vaihtoehtoisten käyttökohteiden kehittyminen ja kilpailukyky.

6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Suomen energiantuotannon nopea siirtymä fossiilisista uusiutuviin, samoin kuin pyrkimykset hiilineutraaliuteen, nojaavat suurelta osin metsästä saatavan bioenergian vaaraan. Tällä hetkellä Suomen energiantuotannosta vajaa kolmannes on peräisin metsistä. Pöyry Consulting Groupin skenaarioissa biomassan voimalaitoskäyttö lisääntyy seuraavan vuosikymmenen kuluessa noin 80 TWh:sta yli 100 TWh:iin.

Lämmön ja sähkön tuotannon puupolttoaineet saadaan nykyisellään yli 80-prosenttisesti metsäteollisuuden sivuvirroista, mustalipeästä, kuoresta ja sahanpurusta. Sivuvirtojen määrä riippuu pääasiallisesti metsäteollisuuden suhdanteista, joten niiden määrään ei voida poliittisesti suuresti vaikuttaa. Näin ollen puun energiakäytön kasvun edellytyksenä on metsähakkeen käytön lisääminen. Metsähaketta tuotetaan latvusmassasta, hakkuutähteistä, kannoista ja pienpuusta. Energia- ja ilmastostrategian tavoitteena 2030 on metsähakkeen käytön lähes tuplaaminen nykyisestä 7,4 miljoonasta kuutiosta 14,5 miljoonaan kuutioon.

Puupolttoaineiden tärkeys Suomelle juontaa juurensa toisaalta kansainvälisistä ilmastopöytäkirjoista ja EU:n ilmastotavoitteista, toisaalta Suomelle ominaisista energiantuotantoon sopivista luonnonvaroista. Ilmastotarkastelussa puupolttoaineet ovat turvetta ja kivihiiltä parempia vaihtoehtoja, joskin niiden hiilidioksidiekvivalentteina laskettu etu on riippuvainen toisaalta varastointiajasta ja kuljetusmatkasta, toisaalta päästöjen haittojen ajallisesta painotuskertoimesta. Puupolttoaineet eivät siis suinkaan ole ilmastoneutraaleja – ja toisaalta arvioitaessa saatavaa ilmastohyötyä, on katsottava muutakin kuin pelkkiä käyttömääriä.

Metsien energiakäyttö ilmastoympäristöstä on tasapainottelua, sillä metsät toimivat myös hiilinieluinä. EU on hiljattain tiukentanut maankäyttösektorin (LULUCF) sääntelyä pyrkimyksenään ylläpitää olemassa olevat hiilinielut. Tämä vähentää Suomen vapauksia lisätä metsähakkuita, jolloin lisääntyvä puupolttoaineiden käyttö on pyrittävä toteuttamaan hakkuutähteiden tehokkaamman keräämisen ja metsänhoidon tehostamisen, kuten nuorten metsien pienpuun keruun, kautta. Tähän tehostamiseen liittyy kuitenkin haasteita, kuten metsänomistajien myyntihalukkuuteen vaikuttaminen, ympäristökestävyys sekä saataavuuden alueellinen hajonta.

Poliittisia ohjauskeinoja metsäbiopolttoaineiden käytön edistämiseksi käytetään paitsi edellä mainittujen ilmastotavoitteiden ja uusiutuvien tavoitteiden vuoksi, myös koska puun käyttö edistää myös energiantuotannon huoltovarmuus- ja omavaraisuustavoitteita

sekä metsäteollisuuden kautta myös taloudellisia tavoitteita. Ohjauseinoilla voidaan vaikuttaa toisaalta puupolttoaineiden hintakilpailukykyyn verotuksella ja tuilla, toisaalta voimalaitosinvestointeihin tuotanto- ja verotuilla. Alueellisen saatavuuden, globaalin polttoaineiden hintakehityksen, ympäristöarvojen toteutumisen ja metsäteollisuuden suhdanteiden ja teknologioiden kehittymiseen on puolestaan vaikeaa vaikuttaa kansallisilla ohjauseinoilla. Onkin hyvä tiedostaa, että puupolttoaineiden käyttömäärät eivät ole täysin kansallisessa poliittisessa päätösvallassa.

Voimalaitoskäytön näkökulmasta puupolttoaineiden käyttö vaatii erityissuunnittelua polttoaineiden ominaisuuksien takia. Suomalaiset laitokset ovatkin kehittyneitä muun muassa mustalipeän hyödyntämisessä, CHP-tuotannon määrässä, polttotavoissa ja biojaloosteissa. Voimalaitosinvestointien tukeminen ja aktiivinen metsäpolitiikkaa lienee vaikuttanut siihen, että Suomessa on jo tehty ja tehdään lähivuosina runsaasti voimalaitosinvestointeja puupolttoaineisiin. Globaalin bioenergian käytön arvioidaan kasvavan merkittävästi, joten teknologioiden ja ratkaisujen kehittäminen Suomessa voi tuoda merkittävää kansainvälistä vientietua.

Poliittinen ja julkinen keskustelu ilmastonmuutoksen ja energiantuotannon vaihtoehtojen ympärillä on käynyt kuluvana vuonna kiivaana. Nopeasti muuttuva poliittinen kenttä voi tuoda nopeita muutoksia jo tehtyihin strategioihin. Tiukentuvat ilmastonmuutosasenteet saattavat lähitulevaisuudessa asettaa esimerkiksi käyttörajoituksia turpeen energiakäytölle, suometsien ennallistamisohjelmia tai metsien hakkuurajoituksia. Tällaisia muutoksia toimintaympäristössä ei ole huomioitu jo laadituissa strategioissa tai skenaarioissa, ja ne saattaisivat muuttaa ennusteita voimakkaastikin. Esimerkiksi turpeen nopeasti voimaantuleva käyttökielto lisäisi puupolttoaineiden kysyntää ja aiheuttaisi hinnannousua. Se vaikuttaisi myös jo tehtyihin voimalaitosinvestointeihin, mikäli seospoltto ja varapolttoaineet eivät olisi enää mahdollisia.

Lopuksi on syytä tiedostaa, että tässä työssä metsiä käsitellään lähtökohtaisesti väli-teenä energia-, ilmasto- ja talousratkaisujen toteuttamiselle luonnon itseisarvon jäädessä vähemmälle painoarvolle. Erilaisesta tarkastelukulmasta huomataan esimerkiksi, että nykyiset pääosin vapaaehtoisuuteen perustuvat monimuotoisuuden säilyttämiskeinot saattavat olla yhteiskunnan näkökulmasta riittäviä, mutta luontoarvojen kannalta eivät. Poliittinen keskustelu syntyykin osittain siitä, että aktiivinen metsien hyödyntämisen politiikka sekä luonnon ja sen monimuotoisuuden turvaaminen on täysimääräisesti vaikeaa sovittaa yhteen. Metsäbiopolttoaineiden tulevaisuus Suomessa lienee merkittävä joka tapauksessa – mutta kuinka merkittävä, se riippuu Suomen poliittisista valinnoista sekä globaaleista kehityskuluista.

LÄHTEET

- [1] Pääministeri Rinteen hallitusohjelma 2019. *Osallistava ja osaava Suomi – sosiaalisesti, taloudellisesti ja ekologisesti kestävä yhteiskunta*. Valtioneuvoston julkaisuja 2019:23. Helsinki 2019.
- [2] T. Koljonen, S. Soimakallio, A. Asikainen, T. Lanki, P. Anttila, M. Hildén, J. Honkatukia, N. Karvosenoja, A. Lehtilä, H. Lehtonen, T. Lindroos, K. Regina, O. Salminen, M. Savolahti, R. Siljander ja P. Tiittanen. *Energia- ja ilmastostrategian vaikutusarviot: Yhteenvetoraportti*. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 21/2017. Valtioneuvoston kanslia 2017.
- [3] Luonnonvarakeskus. *Puupolttoaineiden kulutus 2018 ennako*. Julkaistu 17.5.2019. [Viitattu 16.8.2019] Saatavilla: <https://www.luke.fi/uutiset/puun-energiakaytto-lisaantyy-edelleen/puupolttoaineiden-kulutus-2018-ennako/>
- [4] Tulli. *Metsäteollisuuden ulkomaankauppa vuonna 2017 (1-8)*. Julkaistu 29.11.2017. [Viitattu 16.8.2019] Saatavilla: https://tulli.fi/tilastot/tilastojulkaisu/-/asset_publisher/metsateollisuuden-ulkomaankauppa-vuonna-2017-1-8-
- [5] Tilastokeskus. *Suomen kasvihuonekaasupäästöt 2018*. Päivitetty 23.5.2019. [Viitattu 10.8.2019] Saatavilla: https://www.stat.fi/til/khki/2018/khki_2018_2019-05-23_kat_001_fi.html
- [6] Työ- ja elinkeinoministeriö. *Valtioneuvoston selonteko kansallisesta energia- ja ilmastostrategiasta vuoteen 2030*. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, 4/2017.
- [7] Tilastokeskus. *Sähkön ja lämmön tuotanto tuotantomuodoittain ja polttoaineittain 2017*. Päivitetty 1.11.2018. [Viitattu 5.8.2019] Saatavilla: https://www.stat.fi/til/salatuo/2017/salatuo_2017_2018-11-01_tau_001_fi.html
- [8] Luonnonvarakeskus. *Puun energiakäyttö 2018*. Julkaistu 23.5.2018. [Viitattu 16.8.2019] Saatavilla: https://stat.luke.fi/puun-energiak%C3%A4ytt%C3%B6-2018_fi
- [9] E. Alakangas, M. Hurskainen, J. Laatikainen-Luntama, ja J. Korhonen. *Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia*. VTT, 2016.
- [10] G. Egnell, D. Paré, E. Thiffault, and P. Lamers. *Mobilisation of Forest Bioenergy in the Boreal and Temperate Biomes*. Academic Press, 2016.
- [11] Luonnonvarakeskus. *Uutiset: Puun energiakäyttö lisääntyy edelleen*. Julkaistu 23.5.2018. [Viitattu 16.8.2019] Saatavilla: <https://www.luke.fi/uutiset/puun-energiakaytto-lisaantyy-edelleen/>
- [12] J. Viitanen ja A. Mutanen (toim.). *Metsäsektorin suhdannekatsaus 2018–2019*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 46/2018. Luonnonvarakeskus, Helsinki 2018.
- [13] A. Ragauskas (toim.). *Materials for Biofuels (Chapter 12: R. Alén. Integrated Possibilities of Producing Biofuels in Chemical Pulping)*. World Scientific Publishing Co Pte Ltd. Singapore 2014.

- [14] C. Biermann. *Handbook of Pulping and Papermaking*. 2nd ed. Academic Press. San Diego 1996.
- [15] Energiavirasto. *Voimalaitosrekisteri* (excel). [Viitattu 15.8.2019] Saatavilla: <https://energiavirasto.fi/toimitusvarmuus>
- [16] J. Laitila, A. Leinonen, M. Flyktman, M. Virkkunen ja A. Asikainen. *Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet*. VTT tiedotteita 2564. VTT Helsinki 2010.
- [17] Motiva. *Puuenergian käyttö*. Päivitetty 24.7.2018. [Viitattu 16.8.2019] Saatavilla: https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/bioenergia/bioenergian_kaytto/puuenergian_kaytto
- [18] J. Lintunen. *Metsäenergian asema suhteessa muihin energiamuotoihin: Ekonomistin näkökulma*. Seminaariesitys 6.4.2017. Luonnonvarakeskus. [Viitattu 16.8.2019] Saatavilla: http://www.metsatieteellinenseura.fi/files/ekonklubi/Taughtumat/Metsaenergiaseminaari_2017/Lintunen_Metsaenergiaseminaari_2017.pdf
- [19] Tilastokeskus. *Voimalaitospolttoaineiden hinnat sähköntuotannossa ja Voimalaitospolttoaineiden hinnat lämmöntuotannossa*. Päivitetty 12.6.2019. [Viitattu 16.8.2019] Saatavilla: https://www.stat.fi/til/ehi/2019/01/ehi_2019_01_2019-06-12_kuv_003_fi.html ja https://www.stat.fi/til/ehi/2019/01/ehi_2019_01_2019-06-12_kuv_004_fi.html
- [20] Valtiovarainministeriö. *Energiaverotus*. [Viitattu 16.8.2019] Saatavilla: <https://vm.fi/energiaverotus>
- [21] E. Jäppinen, O. Korpinen, J. Laitila ja T. Ranta. *Greenhouse gas emissions of forest bioenergy supply and utilization in Finland*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014:29. pp. 369–382.
- [22] European Commission. *Renewable energy directive*. Päivitetty 20.9.2019. [Viitattu 3.9.2019] Saatavilla: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive/overview>
- [23] A. Rautiainen, J. Lintunen ja J. Uusivuori. *Kuinka ilmastokestävää on hakkuutähteiden poltto suhteessa fossiilisten polttoaineiden käyttöön?* Seminaariesitys 7.3.2018. Luonnonvarakeskus. [Viitattu 11.9.2019] Saatavilla: <https://www.sli-deshare.net/LukeFinland/kuinka-ilmastokestv-on-hakkuutähteiden-poltto-suhteessa-fossiilisten-polttoaineiden-kyttn-rautiainen-lintunen-uusivuori-90159178>
- [24] Luonnonvarakeskus. *Metsien hiilinielun vertailutason laskenta*. [Viitattu 4.10.2019]. Saatavilla: <https://www.luke.fi/tietoa-luonnonvaroista/metsa/metsat-ja-ilmastonmuutos/vertailutaso/>
- [25] Maa- ja metsätalousministeriö. *Kansallinen metsästrategia 2025 – päivitys. Valtioneuvoston periaatepäätös 21.2.2019*. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisu 2019:7. Helsinki 2019.
- [26] European Commission. *Land use and forestry regulation for 2021-2030*. [Viitattu 30.9.2019] Saatavilla: https://ec.europa.eu/clima/policies/forests/lulucf_en

- [27] J. Uusivuori, M. Hildén, H. Lehtonen, P. Rikkinen ja M. Makkonen (toim.). *Politiikka ja luonnonvarat*. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 20/2015. Luonnonvarakeskus, Helsinki 2015.
- [28] Luonnonvarakeskus. *Uutiset: Runkopuuta kaatui 2018 enemmän kuin koskaan*. Julkaistu 13.6.2019. [Viitattu 21.8.2019]. Saatavilla: <https://www.luke.fi/uutiset/runkopuuta-kaatui-2018-enemman-kuin-koskaan/>
- [29] K. Vanhatalo, P. Väisänen, S. Joensuu, J. Sved, A. Koistinen ja O. Äijälä (toim.). *Metsänhoidon suositukset suometsien hoitoon, työopas*. Tapion julkaisuja 2015.
- [30] A. Kallio, B. Solberg, L. Käär and R. Päivinen. *Economic impacts impacts of setting reference levels for the forest carbon sinks in the EU on the European forest sector*. Forest Policy and Economics. 2018: vol. 92. pp. 193–201.
- [31] A. Koistinen, J-P. LUIRO ja K. Vanhatalo (toim.) *Metsänhoidon suositukset energiapuun korjuuseen, työopas*. Tapion julkaisuja 2016.
- [32] Metsähallitus. *Taloukskäytössä oleva metsät*. Päivitetty 9.6.2016. [Viitattu 3.10.2019]. Saatavilla: <http://www.metsa.fi/talousmetsat>
- [33] L. Kärkkäinen, M. Kurttila, O. Salminen, H. Viiri. *Effects of Energy Wood Harvesting on Timber Production Potential and Biological Diversity in North Karelia, Finland*. Forest Science, 2014: vol. 60, iss. 6. pp. 1077–1088.
- [34] Maa- ja metsätalousministeriö. *Laeilla ja asetuksilla turvataan metsätalouden kestävyyttä*. [Viitattu 30.9.2019]. Saatavilla: <https://mmm.fi/metsat/lainsaadanto>
- [35] Ympäristöministeriö. *Ilmastolainsäädäntö ja Lainsäädäntö monimuotoisen luonnon turvaamiseksi*. [Viitattu 30.9.2019] Päivitetty 16.4.2019. Saatavilla: https://www.ymparisto.fi/FI/Ymparisto/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Ilmastolainsaadanto ja Päivitetty 1.3.2019. Saatavilla: https://www.ymparisto.fi/FI/Luonto/Lainsaadanto_ja_ohjeet
- [36] European Commission. *Nature and Biodiversity*. Päivitetty 7.8.2019. [Viitattu 30.9.2019] Saatavilla: https://ec.europa.eu/environment/nature/index_en.htm
- [37] P. Anttila, V. Nivala, O. Salminen, M. Hurskainen, J. Kärki, T. J. Lindroos ja A. Asikainen. *Alueellinen metsähaketase vuonna 2030*. Metsätieteen aikakauskirja 2018: artikkeli 9999. 2018.
- [38] Energiavirasto. *Tuotantotuki*. [Viitattu 3.10.2019] Saatavilla: <https://energiavirasto.fi/tuotantotuki>
- [39] Maa- ja metsätalousministeriö. *Kemeran työlajit*. [Viitattu 3.10.2019]. Saatavilla: <https://mmm.fi/metsat/metsatalous/metsatalouden-tuet/kemeran-tyolajit>
- [40] Pöyry Management Consulting Oy. *EU:n 2030 ilmasto- ja energiapolitiikan linjausten toteutusvaihtoehdot ja Suomen omien energia- ja ilmastotavoitteiden toteutuminen*. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 28/2016. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta 2016.
- [41] J. Lintunen, J. Laturi and J. Uusivuori. *Finnish Forest and Energy Policy Model (FinFEP). A Model Description*. Natural resources and bioeconomy studies 59/2015. Natural Resources Institute Finland, Helsinki 2015.

- [42] R. Raunikaar, J. Buongiorno, J. Turner and S. Zhu. *Global outlook for wood and forests with the bioenergy demand implied by scenarios of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Forest Policy and Economics, 2010: vol. 12, iss. 1. pp. 48–56.
- [43] Stora Enso Oyj. *Sijoittajauutiset: Stora Enso investoi energian varastointiin käytettävän puupohjaisen hiilen tuotantoon*. Julkaistu 19.7.2019. [Viitattu 30.9.2019]. Saatavilla: <https://www.storaenso.com/fi-fi/newsroom/regulatory-and-investor-releases/2019/7/stora-enso-investoi-energian-varastointiin-kaytetavan-puupohjaisen-hiilen-tuotantoon>