



Martti Flyktman, Janne Kärki, Markus Hurskainen,  
Satu Helynen & Kai Sipilä

## Kivihiilen korvaaminen biomassoilla yhteistuotannon pölypolttokattiloissa



# **Kivihiilen korvaaminen biomassoilla yhteistuotannon pölypolttokattiloissa**

Martti Flyktman, Janne Kärki, Markus Hurskainen,  
Satu Helynen & Kai Sipilä



ISBN 978-951-38-7779-8 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)  
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2011

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 1000, 02044 VTT  
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 1000, 02044 VTT  
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland  
phone internat. +358 20 722 111, fax + 358 20 722 4374

Toimitus Marika Leppilähti

Martti Flyktman, Janne Kärki, Markus Hurskainen, Satu Helynen & Kai Sipilä. Kivihiilen korvaaminen biomassoilla yhteistuotannon pölypolttokattiloissa [Replacing coal with biomass in cogeneration using pulverised combustion boilers]. Espoo 2011. VTT Tiedotteita – Research Notes 2595. 65 s. + liitt. 33 s.

**Avainsanat** energy, energy production, renewable energy, coal, biomass, bioenergy, cogeneration, district heating, combustion, gasification, pellet, torrefaction, biogas, biofuels, forest chips, agrobiomass, environmental impacts, socio-economic factors

## Tiivistelmä

Tässä työ- ja elinkeinoministeriön tilaamassa selvityksessä on esitelty tekniset mahdollisuudet kivihiilen korvaamiseen yhteistuotannon pölypolttokattiloissa erityyppisillä biomassoilla (sahanpuru, metsähake, peltobiomassat) ja niistä valmistetuilla kiinteillä, nestemäisillä tai kaasumaisilla jalosteilla, kuten pelleteillä, bioöljyillä, biohiilellä ja bioperäisellä maakaasulla. Kivihiilen vuotuinen käyttö kuudessa kaupungissa sijaitsevilla kattiloilla on ollut 14 TWh.

Laitosten mahdollisuudet ja kustannukset kivihiilen korvaamisessa vaihtelevat erittäin paljon, samoin kuin biomassapolttoaineiden saatavuus ja hinta vaihtelevat suuresti eri paikkakunnilla. Tutkimuksessa arvioitiin, että kivihiilen käyttöä voidaan vähentää vuoteen 2015 mennessä noin 6 TWh korvaamalla sitä biomassoilla. Käyttöä vähentää tulevien jätteenpolttolaitosten ja suunnitteilla olevien monipolttolaitosten valmistuminen. Pellettejä voitaisiin ottaa nopealla aikataululla käyttöön jalosteille suunnatuilla sähkön tuotantotuilla arviolta yli 0,5 TWh. Biohiilen ja pyrolyysiöljyn käyttöönotto edellyttäisi myös investointiavustusta ensimmäisiin tuotantolaitoksiin. Uuden teknologian investointiavustuksilla kaasuttiimiin tai erillisiin biomassan syöttölinjoihin metsähakkeen käyttö voisi nousta arviolta 2 TWh:iin, ja näissä voitaisiin hyödyntää myös peltobiomassoja luokkaa 0,5 TWh. Nykyhinnoilla sähkön tuotantotuen vuotuinen lisätarve jalosteille ja peltobiomassoille olisi 10 miljoonan euron tasolla ja investointiavustusten tarve yhteensä 80 miljoonaa euroa vuoteen 2015 mennessä. Tällöin uuden teknologian linjauksia ja vaihtoehtoja tulisi tarkistaa.

Martti Flyktman, Janne Kärki, Markus Hurskainen, Satu Helynen & Kai Sipilä. Replacing coal with biomass in cogeneration using pulverised combustion boilers [Kivihiilen korvaaminen biomassoilla yhteistuotannon pölypolttokattiloissa]. Espoo 2011. VTT Tiedotteita – Research Notes 2595. 65 p. + app. 33 p.

**Keywords** energy, energy production, renewable energy, coal, biomass, bioenergy, cogeneration, district heating, combustion, gasification, pellet, torrefaction, biogas, biofuels, forest chips, agrobiomass, environmental impacts, socio-economic factors

## Abstract

In this report, that was commissioned by Ministry of Employment and the Economy, technology options for replacing coal with biomass in pulverised coal fired combined heat and power plants has been presented. Several different biomass fuel options (sawdust, forest chips, agrobiomass) and biomass based upgraded solid, liquid or gaseous fuels, like pellets, torrefied biomass and biomass based synthetic natural gas were included the study. In the studied seven CHP plants the annual use of coal has been about 14 TWh.

Possibilities and costs of investments when replacing coal vary a lot. Also availability and price of biomass fuels varies much between different municipalities. It has been estimated that about 6 TWh coal could be replaced with biomass fuels until 2015. The use of coal will decrease also when the planned waste incineration plants and multifuel power plants have been taken in operation. In short term more than 0,5 TWh coal could be replaced with wood pellets enjoying feed-in tariffs for upgraded biomass fuels. Additionally, subsidies will be needed when the first torrefied wood and bio-oil production plants will be invested. Use of forest chips could be increased by about 2 TWh by adopting investment subsidies for biomass gasifiers utilising new technology. Those gasifiers could use also agrobiomass fuels about 0,5 TWh. Totally about 10 million € will be needed for feed-in tariffs when upgraded biomass fuels and agrobiomass will be utilised in CHP-production and about 80 million € will be needed for investment subsidies until 2015. After that the definition of policy utilising new technologies should be checked.

# Laajennettu tiivistelmä

## Lähtökohta ja tavoite

Uusiutuvan energian velvoitepaketissa huhtikuussa 2010 ilmasto- ja energiapolitiikan ministeriryhmä esitteli joukon edistämistoimia, joilla voitaisiin täyttää Suomelle asetettu tavoite lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä 38 %:iin energian loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. Lisäselvityksiä tätä varten vaati muun muassa kivihiilen korvaaminen biomassalla sähkön ja kaukolämmön yhteistuotannon (CHP-tuotanto) pölypolttokattiloissa. Kivihiilen käyttömäärä näissä laitoksissa on ollut viime vuosina noin 14 TWh. Uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämistarve vuositasolla on nykyarvioiden mukaan 38 TWh vuodesta 2005 vuoteen 2020 mennessä.

Tässä työ- ja elinkeinoministeriön tilaamassa selvityksessä on esitelty tekniset mahdollisuudet kivihiilen korvaamiseen yhteistuotannon pölypolttokattiloissa erityyppisillä biomassoilla (sahanpuru, metsähake, peltobiomassat) ja niistä valmistetuilla kiinteillä, nestemäisillä tai kaasumaisilla jalosteilla, kuten pelleiteillä, bioöljyillä, biohiilellä ja bioperäisellä maakaasulla. Selvityksen tavoitteena on arvioida korvaamisesta aiheutuvat kustannukset biomassan, kivihiilen ja päästöoikeuden eri hintatasoilla, ja sen perusteella arvioida tarvittavien tukitoimien tasoa ja niillä saatavaa kivihiilen korvausta. Selvityksessä tarkasteltiin ainoastaan uusiutuvan energian velvoitepaketissa mainittuja edistämistoimia eli sekä uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotukia että investointitukia.

Tässä selvityksessä ei ole tarkasteltu hiilikäyttöisiä lauhdelaitoksia, joiden vuotuinen kivihiilen käyttö on vaihdellut 15–40 TWh:n välillä. Niissä hiilen korvaus biomassalla vähentää merkittävästi päästöjä, mutta uusiutuvan energian näkökulmasta tietystä biomassamäärästä niissä saadaan uusiutuvaa energiaa yli puolet vähemmän kuin yhteistuotannossa, sillä tavoitteeksi asetettuun uusiutuvan energian määrään lasketaan vain hyödyksi saatu energia.

Useissa EU-maissa on käytössä tai suunnitteilla erilaisia toimia biomassan energiakäytön lisäämiseksi uusiutuvien energialähteiden tavoitteiden täyttämiseksi. Tämä voi saada liikkeelle suuria biomassavirtoja maasta toiseen ja vaikuttaa siten myös Suomeen. Tässä selvityksessä tarkasteltiin Suomen nykyistä tilannetta.

## Selvityksen toteutustapa

Sähkön ja kaukolämmön yhteistuotantoon (CHP) käytettyjä laitoksia, joissa on kivihiilipölypolttokattiloita, on Helsingissä, Vantaalla, Espoossa, Lahdessa, Naantalissa ja Vaasassa. Näiden laitosten vanhimmat käytössä olevat CHP-kattilat on rakennettu 1960- ja 1970-luvuilla ja uusimmat 1980-luvulla. Tämän jälkeen kivihiiltä käyttävät suuret CHP-laitokset on rakennettu leijukattilatekniikkaa hyödyntäen, mikä mahdollistaa nykyisinkin kivihiilen ja biomassojen rinnakkaispolton. Kivihiiltä

käytetään pieniä määriä myös pienten CHP-laitosten arinakattiloissa, joissa osa kivihiilestä on korvattavissa biomassoilla.

Tässä valitulle tyyppilaitokselle esitetään kannattavuustarkastelut polttoainevaihtoehtoista ja teknisistä menetelmistä, joilla kivihiiiltä voidaan korvata biomassoilla. Koko Suomea koskevat arviot kivihiilen korvaamismahdollisuuksista esitetään laitoskohtaisesti tehtyjen arvioiden perusteella.

Selvitystyön aikana on järjestetty sekä yhteisiä keskustelutilaisuuksia että yrityskohtaisia tilaisuuksia voimalaitosten omistajille, polttoainetoimittajille ja järjestöedustajille eri toimijoiden ja sidosryhmien näkemyksien kuulemiseksi.

### **Tekniset vaihtoehdot kivihiilen korvaamiseksi biomassoilla**

Kivihiiiltä on mahdollista korvata biomassalla muutamia prosentteja (tyypillisesti enintään 5 % polttoaineiden kokonaisenergiämäärästä) lisäämällä **sahanpurua** tai muuta palakooltaan vastaavaa biomassaa pölypolttokattiloiden nykyistä polttoainejärjestelmää hyödyntäen ilman merkittäviä investointeja ja käyttökustannusten kasvua. **Pellettejä** käyttämällä kivihiiiltä voidaan korvata jopa 15 % ilman suuria investointeja kattilan polttoainelinjoihin. Pellettien pääraaka-aine Suomessa on kutterinlastu ja sahanpuru, mutta suurkäyttäjille soveltuvia teollisuuspellettejä voidaan valmistaa myös muista teollisuuden sivutuotteista, kuten kuoresta ja pieniläpimittaisesta puusta, ja niihin voi seostaa esimerkiksi peltobiomassoja, kuten olkea ja ruokohelpeä.

Erillistä biomassalle suunniteltua ”**puulinjaa**” ja kuivaa, hienojakoista polttoainetta käyttäen kivihiiiltä voidaan korvata jopa 30 %. Puulinjaan kuuluvat polttoaineen vastaanotto, haketus tai murskaus pieneen palakokoon, kuivaus sekä erilliset syöttölinjat kattilaan biopolttoaineita varten suunnitelluille polttimille. Tarvittavat investoinnit, kuivuri mukaan luettuna, ovat noin 10 miljoonaa euroa laitosta kohti. Tilantarve tontilla on merkittävä, ja toiminnan pölypäästöjä ja muita ympäristövaikutuksia on vaikea välttää kokonaan.

Kivihiilen käytöstä voidaan korvata jopa puolet, jos kiinteä biomassa **kaasutetaan** tai jos se on jalostettu **biohiileksi** (paahdettu eli torrefioitu biomassa) tai **bioöljyksi**. Kaasutuksessa on tarkasteltu kattilan viereen rakennetusta kaasuttimesta kivihiielikattilaan syötettävää tuotekaasua, joka tuotetaan puhtaasta biomassasta, kuten metsähakkeesta ja peltobiomassoista. Kaasutininvestointi on tyypillisesti 20–30 miljoonaa euroa, joten kattilalla tulee olla käyttöikä merkittävästi jäljellä. Sekä kaasuttimen että polttoaineen käsittely- ja purkausjärjestelmien tilantarve on merkittävä, ja voimalaitosten tonteilla on harvoin tarpeeksi tilaa biomassojen varastointiin. Biohiilen tai bioöljyn käyttöönotto ei edellytä suuria muutosinvestointeja kattilaan, mutta polttoaineen varastointi on järjestettävä voimalaitoksella tai jossain muualla.

Biomassaa on mahdollista kuljettaa kaasumaisena metaanina maakaasuverkostoa käyttäen. Tätä biomassasta kaasuttamalla ja prosessoimalla tehtyä **synteettistä maakaasua (SNG)** tai maakaasuverkkoon syötettyä, mädättämällä aikaansaattua **puhdistettua biokaasua** voidaan käyttää kustannustehokkaimmin maakaasulaitoksissa, mikä voi vähentää kivihiiililaitosten käyttöä.

Biomassan jalostus kiinteiksi (biohiili), nestemäisiksi tai kaasumaisiksi jalosteiksi eli bioenergian kantajiksi edellyttää yleensä isoja yksikkökokoja ja hyvää prosessien energiaintegraatiota tuotantokustannusten minimoimiseksi sekä pitkiä kuljetusmatkoja logistiikkaetujen saavuttamiseksi. Jalostus mahdollistaa suurien biomassamäärien hyödyntämisen kustannus- ja energiatehokkaasti alueilta, joissa ei ole bioenergian käyttökohteita.



## **Käytännön mahdollisuudet kivihiilen korvaamiseksi**

Käytännön mahdollisuudet kivihiilen korvaamiseen biomassoilla edellä kuvatuilla vaihtoehdoilla vaihtelevat erittäin paljon eri tuotantolaitoksissa. Kattilan suunnitteluarvot vaikuttavat olennaisesti kivihiilen maksimikorvausosuuteen ilman merkittävää suoritusarvojen (teho, hyötysuhde, rakennusaste) laskua. Voimalaitoksen tontin koko ja kattilan sijoitus tontilla vaikuttaa teknisiin vaihtoehtoihin toteuttaa biomassan purku, käsittely ja varastointi. Tontin sijainti vaikuttaa siihen, voidaanko biomassaa tuoda myös rautatie- tai vesikuljetuksena, vai onko maantiekuljetus ainoa vaihtoehto.

Biomassan käyttöönotto lisää jonkin verran laitoksen muuttuvia käyttökustannuksia mm. huolto- ja kunnossapitokustannusten nousun myötä, mahdollisena kattilan käytettävyyden laskuna ja merkittävämmän kaasuttimen omakäyttöenergian tarpeena. Biomassan lisääminen vaikuttaa myös mm. tuhkan laatuun ja sen hyötykäyttömahdollisuuksiin sekä kattilan päästöihin, joskaan niiden merkitys ei useimmissa tapauksissa ole merkittävä.

Investointien kannattavuuteen ja siten laitosten halukkuuteen tehdä investointeja kivihiilen korvaamiseksi vaikuttavat olennaisesti kattilalle suunniteltu jäljellä oleva käyttöikä ja laitoksen vuotuinen käyttöaika. Laitosten rikki- ja typenoksideja ja hiukkaspäästöjä koskevat päästömääräykset kiristyvät vuodesta 2016 alkaen teollisuuspäästöjä koskevan direktiivin (IE-direktiivi 2010.) mukaisesti, ja niiden täyttäminen edellyttäne useissa laitoksissa merkittäviä investointeja. Useimmat laitokset ovat kertoneet tekevänsä linjauksensa investointipäätöksistä vuosina 2012–2013. Direktiivin toteuttamista valmistellaan suomalaisessa lainsäädännössä, joten kaikki yksityiskohdat eivät ole vielä selvillä. Jos tarvittavia investointeja päästöjen vähentämiseksi ei tehdä, laitos voi toimia vain rajoitetun kokonaistuntimäärän tai tietyn vuotuisen käyttötuntimäärän vuoden 2016 jälkeen. Useimpien kaupunkien laitoksille on tehty vaihtoehtoisia suunnitelmia, ja eräs vaihtoehto on korvata nykyinen kivihiilikattila uudella leijukerrosteknologiaa käyttävällä monipolttoainekattilalla, jossa voidaan käyttää suurta valikoimaa kiinteitä polttoaineita, mukaan luettuna kivihiili ja biomassat. Tarkastelluista kattiloista vanhimpia ovat Naantalin kattilat, ja Turun seudulla on esitetty mahdollisuus rakentaa nykyisiä hiilikattiloita korvaava monipolttoainelaitos jo lähivuosina.

Lahti, Vantaa ja Vaasa ovat rakentamassa jätettä käyttävät CHP-laitokset. Nämä laitokset tulevat vähentämään kivihiililaitosten käyttötarvetta merkittävästi, arviolta lähes 2 TWh vuodessa. Helsingin, Espoon ja Vantaan kivihiilikattiloiden hiilen käyttömäärään vaikuttaa myös kivihiili- ja maakaasukattiloiden ajojärjestys, joka riippuu etenkin polttoaineiden hintojen suhteesta ja markkinasähkön hinnasta.

## **Kannattavuustarkastelujen tulokset tyyppilaitokselle**

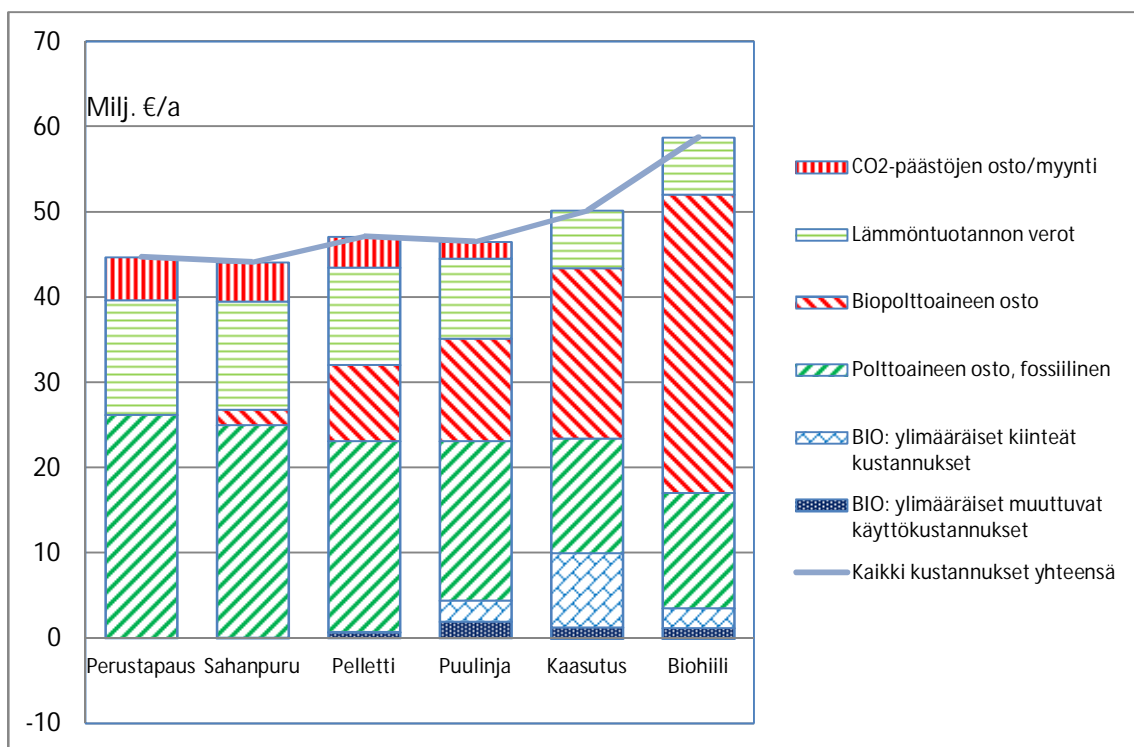
Kannattavuustarkastelut kivihiilen korvaamiseksi biomassoilla tehtiin valitulle tyyppilaitokselle, joka tuottaa 230 MW kaukolämpöä ja 115 MW sähköä. Tätä vastaava polttoainetehto on 400 MW ja vuotuinen polttoaineen tarve 2 TWh, kun laitoksen käyttö vastaa 5 000:tta tuntia täydellä teholla.

Laskelmat tehtiin vuoden 2011 alun kivihiilen ja päästöoikeuden hintatasolla (kivihiili 13 €/MWh, päästöoikeus 15 €/t) ja IEA:n World Energy Outlookin (2010) New policy scenarion vuoden 2020 hinnoilla (kivihiili 10 €/MWh, päästöoikeus 30 €/t). Vuoden 2011 alussa kivihiilen hintataso on selvästi korkeampi kuin keskimääräinen 2000-luvun hintataso, joka on ollut noin 8 €/MWh. Kummassakin tapauksessa kivihiilen verot pidettiin vuoden 2011 alun tasolla, ja päästöoikeuksien ilmaisjaon osuudeksi oletettiin 50 %.

Tarvittavat investoinnit ovat arvioita keskimääräisistä kustannuksista, mutta laitokohtaiset erot ovat suuria riippuen paikallisista olosuhteista. Eri biomassoille on käytetty kummassakin tapauksessa suuntaa-

antavina hintoina laitokselle toimitettuina: sahanpuru 18 €/MWh, metsähake 20 €/MWh, pelletti 30 €/MWh ja biohiili 35 €/MWh. Logistiikkakustannusten ero, joka syntyy keskikuljetusmatkojen erosta, käytettävistä kuljetusmuodoista ja varastointitarpeesta, on eri laitosten ja polttoainevaihtoehtojen välillä hyvin suuri. Myös polttoaineiden saatavuus ja vuotuinen käyttömäärä vaikuttavat hintatasoon, joten käytännössä samanlaatuisen polttoaineen hankintakustannukset voivat vaihdella eri laitosten välillä jopa 5–10 €/MWh. Biohiilen ja puusta valmistetun polttoöljyn (pyrolyysiöljyn) tuotantokustannuksiin, ja siten hintoihin, sisältyy suuria epävarmuuksia, koska ensimmäiset täysimittaiset laitokset ovat Euroopassa vasta rakenteilla tai käynnistymässä.

Tyypilaitoksen polttoaineen käyttöön liittyvät vuotuiset käyttökustannukset, kun kivihiiltä korvataan sahanpurulla (5 %), pelleteillä (15 %), erillisellä puulinjalla metsähakkeella (30 %) sekä kaasuttimella metsähakkeella (50%) ja biohiilellä (50 %), esitetään kuvassa 1.



Kuva 1. Biomassan käyttöönottoon liittyvien kustannusten jakautuminen (milj. €/a) lähtötilanteessa (perustapaus) ja eri vaihtoehdoissa valituilla biomassan käytön osuuksilla (5–50 %) ja hinnoilla tyypilaitoksessa. Polttoaineiden ja päästöoikeuden hinta vuoden 2011 alun mukaan. Kivihiilen hinta on 13 €/MWh. Päästöoikeuden hinta on 15 €/t.

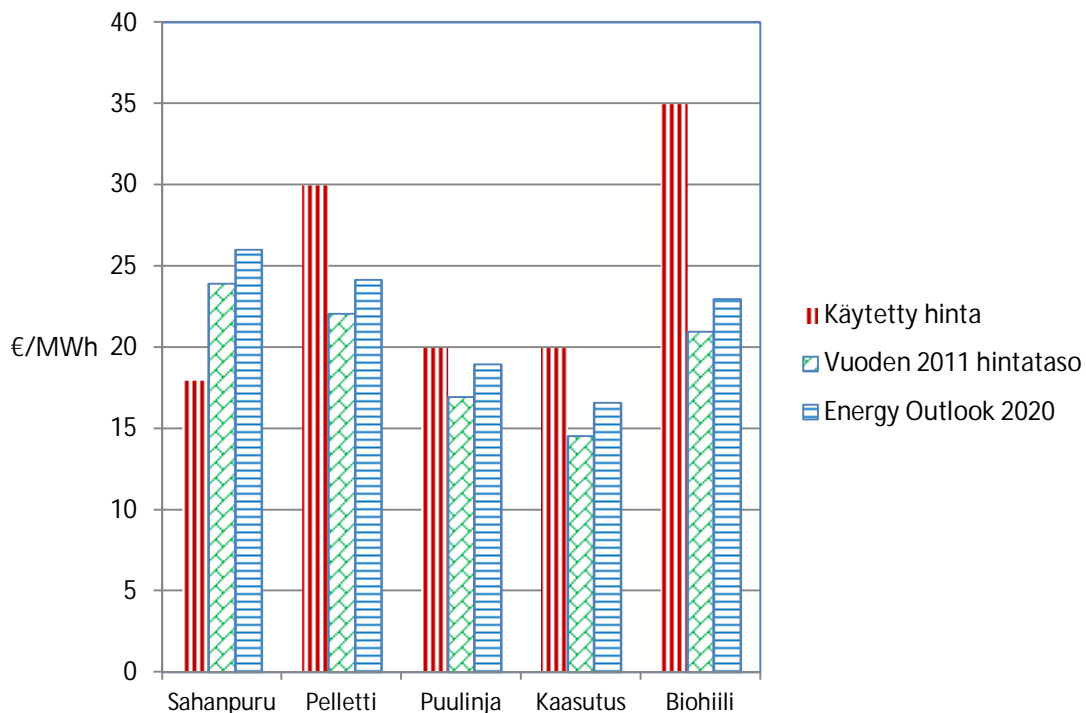
Suurin kustannusten lisäys tulee biopolttoaineen ostosta, ja kaasutusvaihtoehdossa investoinnista aiheutuva kiinteiden käyttökustannusten lisäys on merkittävä. Muuttuvat ylimääräiset käyttökustannukset huomioivat mm. biomassan käsittelyn ja syötön, kattilan käytettävyyden laskun, muutokset lisäaineiden ja tuhkan kustannuksissa sekä omakäyttösähkön käytön lisääntymisen kustannukset.

Kustannusten jakautuminen IEA:n World Energy Outlookin (2010) vuodelle 2020 esittämän hintakehityksen mukaisesti ei muuta tilannetta olennaisesti, mutta parantaa kaikissa vaihtoehdoissa biomassan kilpailukykyä. Vuonna 2020 kivihiilen hinnaksi on arvioitu 10 €/MWh ja päästöoikeuden hinnaksi 30 €/t.

## Biomassasta maksukyky ilman tukitoimia

Kannattavuustarkastelujen tulokset on esitetty myös biomassan rajahintana, joka biomassasta olisi mahdollista maksaa, jotta vuosikustannuksissa ei tulisi muutoksia siirryttäessä biomassan käyttöön (kuva 2).

Vuoden 2011 hinnoilla laitokselle toimitetusta sahanpurusta voisi maksaa 24 €/MWh (kivihiilen korvausosuus 5 %), pelletistä 22 €/MWh (15 %), puulinjan kautta syötetystä polttoaineesta 17 €/MWh (max 30 %), kaasutinta käytettäessä 15 €/MWh (max 50 %) ja biohiilestä 21 €/MWh (max 50 %), jotta muuttuvat ja kiinteät käyttökustannukset tyyppilaitoksella ovat samalla tasolla kuin kivihiiltä käytettäessä. Vuoden 2020 tilanteessa biomassasta maksukyky kasvaisi noin 2 €/MWh.



Kuva 2. Biomassasta maksukyky (€/MWh) tarkasteluille teknologioille tyyppilaitoksessa. Käytetty hinta: biomassalle valittu hinta laitokselle toimitettuna. Nykyhetki: maksukyky biomassasta, kun kivihiilen hinta on 13 €/MWh, päästöoikeus 15 €/t. IEA World Energy Outlook (2010) vuodelle 2020: maksukyky biomassasta, kun kivihiili 10 €/MWh ja päästöoikeus 30 €/t.

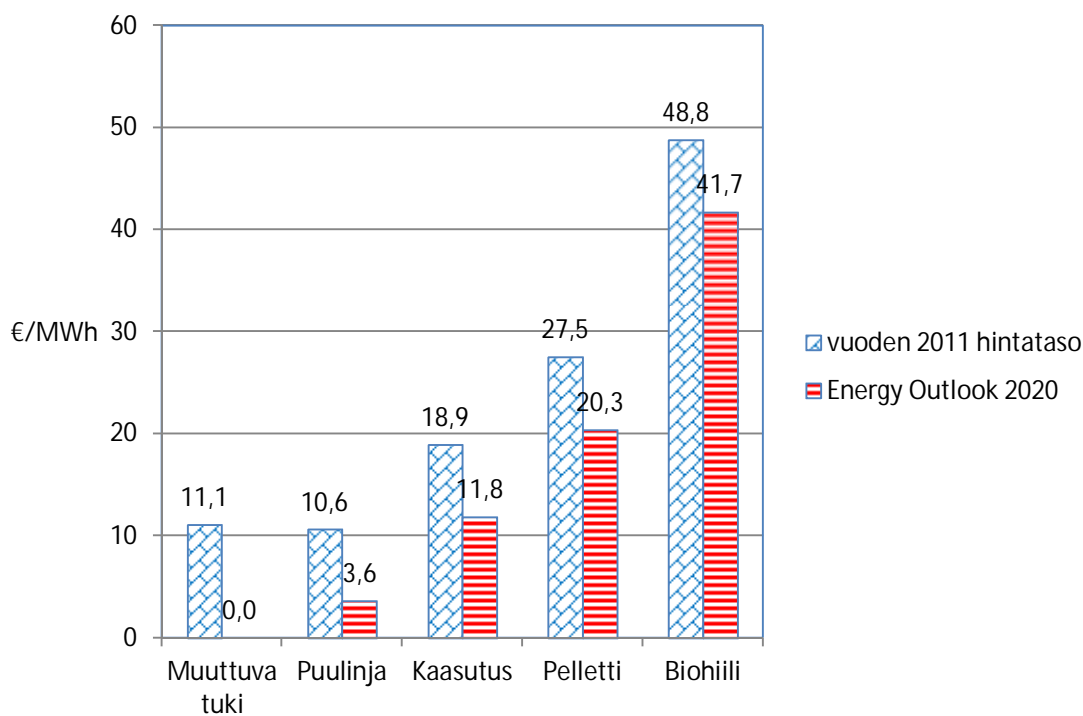
Tulokset osoittavat, että kivihiilipölypolttolaitosten biomassasta maksukyky yhteistuotannossa on pienempi kuin biomassojen nykyinen hintataso, lukuun ottamatta sahanpurua, jolla voidaan korvata kivihiiltä vain alle 5 % ja jonka saatavuus on hyvin rajallinen. Polttoainejalosteilla päästään suuriin korvausosuuksiin, ja polttoainejalosteiden käyttö mahdollistaa biomassan pitkän kuljetusmatkan, jolloin jalosteet voidaan valmistaa siellä, missä on runsaat biomassavarat, mutta missä ei ole lähellä muita käyttökohteita, jolloin hintataso olisi alempi.

## Tarvittavat tukitasot ja arvioita niiden vaikutuksista

Tässä selvityksessä tarkasteltiin uusiutuvien energialähteiden velvoitepaketin mukaisesti yhteistuotannossa biomassalla tuotetun sähkön ja vaihtoehtoisesti biomassojen käyttöönottoon liittyvien investointien tukemista.

Metsähakkeen käytön tukemiseksi otetaan käyttöön lain (1396/2010) mukainen muuttuva sähkön tuotantotuki, jonka suuruus riippuu päästöoikeuden hinnasta. Tuki on tuotettua sähköä kohti 18 €/MWh, kun päästöoikeuden hinta on 10 €/t, ja se vähenee suoraviivaisesti nolnaan, kun päästöoikeuden hinta on 23 €/t. Tarkasteltaessa tämän tukitason riittävyttä yhteistuotannon kivihiili-pölypolttolaitoksille (kuva 4) huomataan, että vuoden 2011 hintatasolla muuttuva sähkön tuotantotuki mahdollistaisi metsähakkeen käytön puulinjalla, mutta kaasutuksen, pellettien ja biohiilen käyttöön tarvittaisiin tukea selvästi enemmän. Peltobiomassaa arvioidaan myös saatavan hiililaitoksille merkittäviä määriä, jos peltobiomassalla tuotettu sähkö saisi saman tuotantotuen kuin metsähakkeella tuotettu sähkö.

Vuoden 2020 lähtöarvoilla, joissa biomassan hintataso säilytettiin vuoden 2011 tasolla, mikään vaihtoehto ei ollut kannattava kivihiileen verrattuna. Puulinjalla on rajallinen mahdollisuus kivihiilen korvaamiseen (30 %), eikä tarvittavia muutostöitä tai tilavaroja ole mahdollista käytännössä järjestää kaikilla laitoksilla.

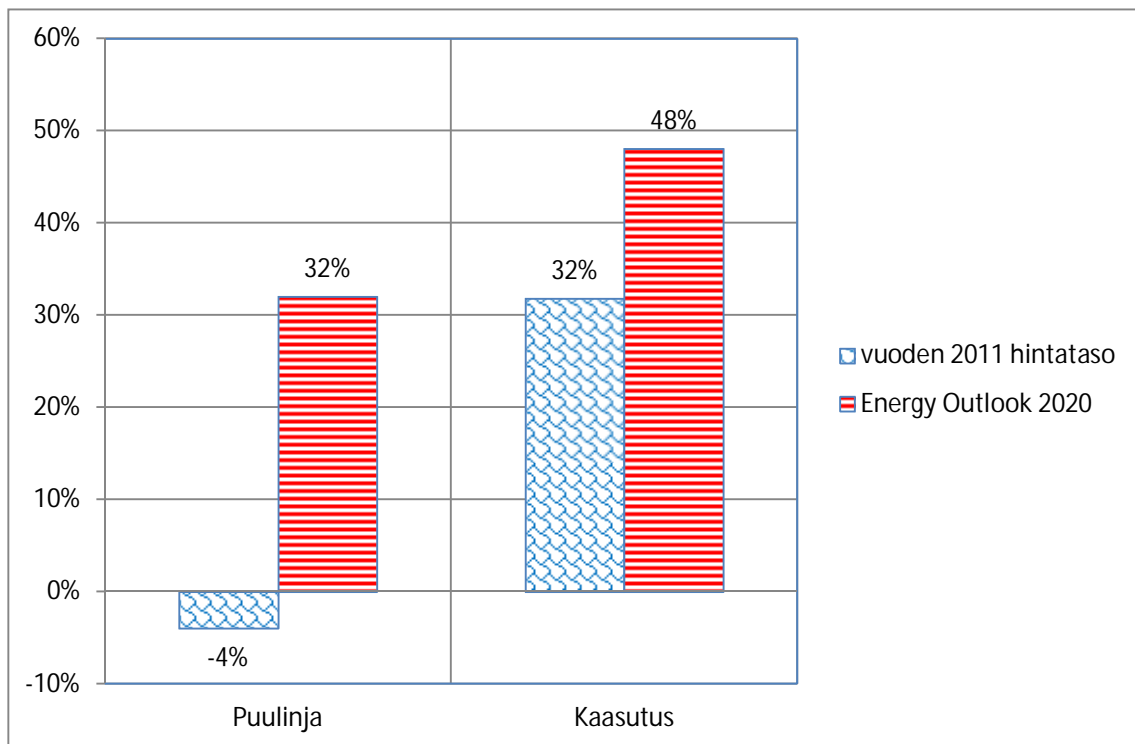


Kuva 3. Metsähakkeen muuttuva sähkön tuotantotuki (€/MWh<sub>e</sub>) verrattuna sähkön tuotantotuen tarpeeseen yhteistuotannon tyypikivihiililaitoksella vuoden 2011 alun hintatasolla ja IEA:n New Policy Scenarion 2020 hintatasolla eri teknologisissa vaihtoehdoissa.

Jos muuttuvan sähkön tuotantotuki metsähakkeelle nostettaisiin yhteistuotannon kivihiili-pölypolttokattiloilla suuremmaksi kuin muissa metsähaketta käyttävissä voimalaitoksissa, kivihiililaitokset voisivat maksaa korkeampaa hintaa metsähakkeesta ja laitokset joutuisivat eriarvoiseen asemaan polttoaineen

hankinnassa . Koska tarkastellut hiililaitokset sijaitsevat alueilla, joilla on myös muita vaihtoehtoisia polttoaineen käyttäjiä, tuella olisi ilmeinen vaikutus polttoainemarkkinoihin ja metsähakkeen ohjautumiseen kivihiilikattiloihin monipolttoainelaitosten sijasta. Näiden ilmeisten vaikutusten vuoksi menettely ei tunnu perustellulta.

Biomassan kilpailukykyä voidaan parantaa vaihtoehtoisesti myös investointitukien avulla (kuva 4). Tarkasteluun on valittu vaihtoehdot, joissa laitoksilla on tarve tehdä merkittäviä investointeja. Valituilla lähtöarvoilla tarvittava investointituki tyyppilaitokseen lisätylle biomassan kaasutukselle on yli 30 % vaaditusta kokonaisinvestoinnista. Puulinja ei tarvitsisi tukea nykytilanteessa, jossa kivihiilen hinta on erittäin korkea, mutta tukitarve vuoden 2020 hintatasolla olisi yli 30 %.



Kuva 4. Tyyppilaitoksen puulinja- ja kaasutusvaihtoehdon investointituen tarve kahdella kivihiilen ja päästöoikeuden hintatasolla. Vuoden 2011 hintataso: kivihiili 13 €/MWh, päästöoikeus 15 €/t. Vuoden 2020 hintataso IEA World Energy Outlookin (2010) mukaan: kivihiili 10 €/MWh ja päästöoikeus 30 €/t.

Laitoskohtaiset tarkastelut osoittivat, että tekniset mahdollisuudet biomassan korvaamiseen ovat hyvin tapauskohtaisia ja kustannukset vaihtelevat erittäin paljon. Investointeja vaativien vaihtoehtojen toteuttaminen on luonnollisesti edullisinta laitoksilla, joiden vuotuinen käyttöaika on pitkä ja laituskoko suuri. Pienimmät vaihtelut tukitarpeissa laitosten välillä on käytettäessä jalosteita, joissa valtaosa lisäkustannuksista tulee kalliimmasta polttoaineen hinnasta.

### Polttoaineiden saatavuus

Pääkaupunkiseutua, Turkuja ja Lahtea lähimmät alueet, joilla olisi metsähakepotentiaalia enemmän kuin käyttökohteita, ovat Keski-Häme ja Päijät-Häme. Lisäksi näillä alueilla olisi mahdollisuus ottaa käyttöön jonkin verran peltobiomassoja. Myös Etelä-Pohjanmaalla on Vaasaa ajatellen enemmän metsähakepotentiaalia kuin käyttökohteita, samoin mahdollisuuksia peltobiomassojen käyttöön. Biomassan

käytön lisäkustannukset ovat luonnollisesti pienimmät laitoksilla, joiden ympärillä on runsaasti biomassaa ja vähiten muita käyttökohteita. Karkeana arviona voi esittää, että jatkossakin pääkaupunkiseutua lukuun ottamatta biomassaa on saatavilla merkittäviä määriä, 500 GWh:n luokkaa, alle 150 kilometrin kuljetusetäisyyksillä tarkastelluista laitoksista.

Eniten hyödyntämätöntä metsähakepotentiaalia on Pohjois-Karjalassa, Savossa ja Kainuussa, joista pitkät kuljetusmatkat edellyttäisivät vesi- tai rautatiekuljetuksia tai metsähakkeen valmistamista jalosteiksi. 500 kilometrin vesi- tai rautatiekuljetus lisäisi kustannuksia jalosteille noin 5 €/MWh.

Biomassavaroilla on useita vaihtoehtoisia energiakäyttökohteita. Jalostettuja biopolttoaineita voidaan käyttää ei-päästökauppasektorilla etenkin rakennusten lämmitykseen merkittävästi lisää ja korvata lämmitysöljyn käyttöä. Metsähaketta taas voidaan käyttää monipolttoainevoimalaitoksissa korvaamaan turpeen ja kivihiilen käyttöä. Suunnitteilla oleva toisen sukupolven liikenteen biopolttoaineiden valmistus puuperäisistä raaka-aineista edellyttäisi suuria yksikkökoon laitoksia, ja se vaikuttaisi olennaisesti biopolttoaineiden saatavuuteen sijaintipaikkakuntiansa ympärillä.

### **Suosituksat mahdollisista tukitoimista**

Selvityksen mukaan biomassoja ei ole tarjolla nyt eikä vuodelle 2020 tehdyssä arvioissa merkittäviä määriä sellaisilla hinnoilla, jotka mahdollistaisivat kivihiilen huomattavan korvaamisen yhteistuotannon kivihiihilypölypolttokattiloissa. Metsähakkeen muuttuvan sähkön tuotantotuen nostamiselle yhteistuotannon kivihiihilypölypolttolaitoksissa merkittävästi muita laitoksia korkeammaksi ei ole perusteita, sillä laitosten läheisyydessä on metsähakkeelle vaihtoehtoisia käyttökohteita.

**Investointiavustukset puulinjoihin ja kaasuttimiin** sitouttaisivat kattilan käyttäjää biomassan käyttöön merkittäväällä osuudella (jopa 30–50 %) ja mahdollistaisivat monipuolisen polttoainevalikoiman käytön (metsähake, metsäteollisuuden sivutuotteet, puhdas purkupuuh, osin myös pelto-biomassat). **Muuttuva sähkön tuotantotuki peltobiomassoille**, vastaava tuki kuin metsähake-sähkölle, lisäisi hiihikattiloilla lähietäältä saatavien polttoaineiden valikoimaa.

Niissä laitoksissa, joissa tilanpuute estää kaasuttimien ja puulinjojen rakentamista sekä polttoaineen käsittelyä ja varastointia, olisi helpompaa käyttää **polttoainejalosteita**, kuten pellettejä, biohiiltä tai bioöljyjä. Ne kaikki mahdollistavat pitemmät kuljetusmatkat ja siten valmistuksen alueilla, joilla biomassaa on tarjolla edullisemmin kuin suuren kysynnän alueilla. Uusi **muuttuva sähkön tuotantotuki jalosteille** voitaisiin asettaa korkeammalle tasolle kuin metsähakkeelle, ja samalla kivihiilen korvaamiselle voitaisiin asettaa vuotuinen minimitaso (yli 150 GWh), jotta korvausmäärä olisi merkittävä. Tämä loisi helpommin ennakoitavan markkinavolyymien myös jalosteiden valmistajille. Pelletin nykyinen tuotantokapasiteetti Suomessa on 700 000 tonnia (3,4 TWh) nykytuotannon ollessa luokkaa 300 000 tonnia (1,4 TWh), josta vientiin on mennyt selvästi yli puolet. Teollisuuslaatuisen pelletin käyttö kivihiihilaitoksissa, etenkin lämmityskauden huipun ulkopuolella, voisi siten lisätä bioenergian kokonaiskäyttöä Suomessa, eikä vain siirtää sitä käyttökohteesta toiseen, mikä olisi vaarana metsähakkeen käytössä.

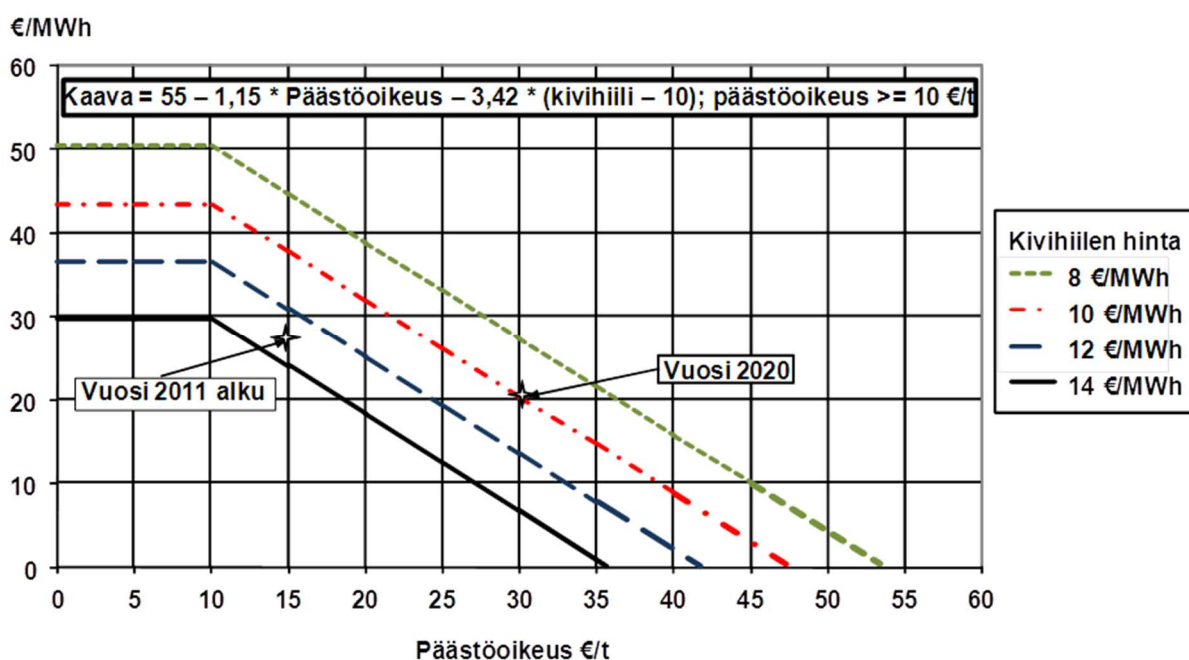
Vastaava muuttuvan sähkön tuotantotuki kuin pelleteillä ei näyttäisi riittävän biohiillelle, bioöljyille tai synteettiselle maakaasulle, ellei näiden, vasta markkinoille tulossa olevien jalosteiden käyttöönottoa lisäksi tuettaisi investointiavustuksilla ainakin ensimmäisissä tuotantolaitoksissa.

Päästöoikeuden ja hiilen hintataso (maailman markkinahinta ja verot) ovat niin ratkaisevia biojalosteiden kilpailukyvyssä, että ne tulisi ottaa huomioon jalosteilla tuotetun sähkön tuotantotuen suuruuden määrittelyssä.

## Arvio kivihiilen korvausmahdollisuudesta ja tukitarpeesta

### 1. Muuttuva sähkön tuotantotuki hiilipölypolttolaitosten yhteistuotannossa käytettäessä jalosteita.

- Kuvassa 5 on arvioitu tarvittava tukitaso (€/MWh<sub>e</sub>), euroina tuotettua yhteistuotannon sähkömäärää kohti eri kivihiilen ja päästöoikeuden hinnoilla.
- Pääosin puusta, osin myös peltobiomassoista, valmistettujen teollisuuspellettien käyttö voisi tuen ansiosta nousta arviolta 0,5–0,8 TWh:n vuositasolle.
- Tuki olisi vuoden 2011 alun hintatasolla 27,5 €/MWh<sub>e</sub>, joka nostaa maksukykyä polttoaineesta 7,8 €/MWh kyseessä olevissa laitoksissa.
- Tuen vuosikustannukset valtiolle olisivat edellä arvioiduilla käyttömäärillä 3,9–6,2 milj. €
- Vuoden 2020 arvioidulla hintatasolla tuki olisi 20,5 €/MWh<sub>e</sub>, joka nostaa maksukykyä polttoaineesta 5,8 €/MWh isoissa CHP-laitoksissa, ja tuen vuosikustannukset olisivat 2,9–4,6 milj. €
- Jalosteiden käytölle voitaisiin asettaa tuen saamiseksi vuotuinen minimimäärä, 150 GWh/laitos.
- Päästöoikeuden hinnoilla, jotka ovat alle 10 €/t, tukitaso on esitetty vakioksi, jotta tuki ei kasvaisi missään tilanteessa erittäin korkeaksi.
- Vastaavasti on syytä estää tuen nousu erittäin suureksi, jolloin jalosteet ohjautuisivat pois muista käyttökohteista, asettamalla kivihiilelle tuen laskentakaavaan minimihinta, esimerkiksi 8 €/MWh.



Kuva 5. Tukitarve (€/MWh<sub>e</sub>) yhteistuotannossa biomassoista valmistetuilla jalosteilla tuotetulle sähkölle eri päästöoikeuden ja kivihiilen hinnoilla olettaen, että jalosteita on tarjolla hintaan 30 €/MWh. Kuvan mukaisesti tukitarve pienenee, kun päästöoikeuden hinta nousee tai kun kivihiilen hinta nousee.

### 2. Päästöoikeuden mukaan muuttuva sähkön tuotantotuki peltobiomassoille (vrt. metsähake).

### 3. Investointikustannusten tukeminen kaasuttimien ja puulinjojen rakentamiseksi.

- Tuki olisi vuoden 2011 alun hintatasolla 11 €/MWh<sub>e</sub>, mikä nostaa maksukykyä polttoaineesta 3,1 €/MWh isoissa CHP-laitoksissa.
- Peltobiomassojen käytön lisäys olisi arviolta 1 TWh, josta arviolta puolet korvaisi kivihiilen käyttöä CHP-tuotannossa.
- Tuen vuosikustannukset olisivat kokonaisuudessaan 3,1 milj. €
- Vuoden 2020 arvioidulla hintatasolla tukea ei maksettaisi.
- Tarvittavat investoinnit vaihtelevat merkittävästi laitoksittain, ja tarvittavat tukitasot ovat 30–40 % investointikustannuksista.
- Nykyisessä lainsäädännössä investointien tukemisen ehtona on uuden teknologian käyttöönotto.
- Biomassaa käyttäviä kaasuttimia voitaisiin investoida arviolta noin 300 MW polttoaineteholle, esimerkiksi neljään eri laitokseen, ja niiden polttoaineen käyttö olisi arviolta 2 TWh.
- Investointituen tarve olisi kaasuttimille arviolta 40 milj. € (kokonaisinvestoinnit 100 milj. €).
- Laitteistojen mitoitukselle voitaisiin asettaa minimiteho, esimerkiksi 15 % kattilan polttoainetehosta.
- Kaasuttimille vaihtoehtoisten puulinjojen yhteenlaskettu polttoaineteho ja polttoaineen tarve voisivat ylittää noin puoleen kaasuttimien vastaavista arvoista, samoin kuin kokonaisinvestointien tukitarve.
- Sekä torrefioidun eli paahdetun biomassan (biohiili) että pyrolyysiöljyn valmistuksesta ei ole Euroopassa käyttökokeuksia suuressa kokoluokassa, mutta valmiudet demonstraatiolaitosten rakentamisen käynnistämiseen ovat jo olemassa.
- Toteutettaessa molemmat demonstraatiolaitokset noin 40–50 MW polttoaineteholuokassa niiden kummankin tuotanto olisi luokkaa 0,3 TWh jalosteita.
- Investointituen tarve investointikustannuksista olisi 40 %, yhteensä 40 milj. euroa.
- Demonstratiolaitoksista hankittujen käyttökokeusten perusteella tuotantoa olisi mahdollista nostaa useaan TWh:iin vuoteen 2020 mennessä.
- Maakaasuverkkoon syötettävän synteettisen maakaasun kustannustehokas tuotanto edellyttää tuotantolaitoksilta suurta yksikkökokoja (1,5–2 TWh/a). Laitosten pääkomponenttien teknologiakehitys on käynnissä toisen sukupolven liikenteen biopolttoaineita tuottavien BTL-laitosten yhteydessä, ja Ruotsissa on julkistettu vuoden 2011 alussa 30 MW-demonstratiolaitoksen rakentamispäätös, joten täysimittainen demonstrointi lienee ajankohtaista Suomessa vuoden 2015 jälkeen.
- Maakaasuverkkoon voidaan syöttää myös mädätysprosesseista saatavaa biokaasua, mistä on paljon käyttökokeuksia Keski-Euroopasta.
- Bioperäinen maakaasu kannattaa käyttää maakaasulaitoksissa, joten se voi korvata kivihiiiltä välillisesti vähentämällä kivihiiililaitosten käyttöä.
- Biokaasulla tuotetun sähkön tuotantotuesta on säädetty laissa (1396/2010).



#### 4. Uuden teknologian demonstrointilaitosten rakentaminen jalosteiden valmistukseen.

### Yhteenvedo kivihiilen korvausmahdollisuudesta ja lisätukitarpeesta vuoteen 2015

Toimenpide	Kivihiilen korvausmahdollisuus lähivuosina TWh/a	Tarvittava lisätuki laskettuna nykyhinnoilla	Tuki yhteensä milj.€/a
Jätteenpolttolaitosten valmistuminen	2, uusiutuvaa 50%		
Monipolttoainelaitos Turun seudulle	1		(sähkön tuotantotuki metsähakkeelle ja peltobiomassoille)
Sahanpuru, edullisten polttoaine-erien käyttö	0,2		
Pellettien käytön edistäminen: päästöoikeuden ja kivihiilen hinnan mukaan muuttuva sähkön tuotantotuki	0,5 – 0,8 Pelleteillä	27,5 €/MWh yhteistuotantosähkölle	3,9 – 6,2
Peltobiomassan käytön edistäminen: päästöoikeuden hinnan mukaan muuttuva sähkön tuotantotuki (kuten metsähake)	0,5	11 €/MWh yhteistuotantosähkölle	1,6
Energiatuen vaihtoehdot		40 % investoinnista TAI	yht. 40 milj.€ TAI
a) tuki uuden teknologian kaasuttimille	2	(40% investoinnista)	(yhteensä 20 milj.€)
b) tuki uuden teknologian puulinjoille	(1)		
Biohiilen, pyrolyysiöljyn ja vastaavien jalosteiden käytön edistämiseksi:			
a) Investointituki uuden jalosteteknologian demonstroinnille SEKÄ	0,6	40 % investoinnista SEKÄ	yht. 40 milj. € SEKÄ
b) Päästöoikeuden ja kivihiilen hinnan mukaan muuttuva sähkön tuotantotuki jalosteille (vastaava kuin pellettisähkön tuki)		27,5 €/MWh yhteistuotantosähkölle	4,7
<b>Yhteensä uusiutuvaa polttoainetta - uusiutuvaa energiaa (loppukulutus)</b>	<b>5,8 – 7,1 4,9 – 6,0</b>		<b>Tuot.tuet 10,2 – 12,5 milj. €/a Inv.tuet 80 milj.€</b>

Myös uusien monipolttoainelaitosten rakentaminen korvaamaan nykyisin käytössä olevia yhteistuotannon kivihiilipölypolttokattiloita lisää mahdollisuuksia lisätä biomassan käyttöä merkittävästi. Laskelmissa on arvioitu, että ennen vuotta 2020 näin tapahtuu Turun seudulla ja että muut investoinnit toteutuvat pääosin aikavälillä 2020–2030. Esitettyjen tukitoimien ei arvioida vaikuttavan olennaisesti voimalaitosten investointipäätöksiin.

### Tukitoimien vaikutusten arviointia

Toimenpide	Myönteiset tekijät	Mahdolliset riskit ja uhat
Pellettien käytön edistäminen - päästöoikeuden ja kivihiilen hinnan mukaan muuttuva sähkön tuotantotuki	Vähentää mahdollisesti pellettien vientiä Nopeasti käyttöönotettavissa Käyttöönnotosta käyttäjälle vähän riskejä	Ylisuuri tuki siirtäisi pellettejä pienkäytöstä pois Metsäteollisuuden raaka-aineita energiakäyttöön (esim. sellutehtaiden purukeittimet, levyteollisuus)
Peltobiomassan käytön edistäminen - päästöoikeuden hinnan mukaan muuttuva sähkön tuotantotuki (vastaava kuin metsähakesähkön tuki)	Hyödynnettävät biomassavarat kasvavat	Käytettävyyseriskit kasvavat kattiloilla Suuret vuotuiset vaihtelut saatavuudessa (olki)
Energiatuki uuden teknologian kaasuttimille TAI vaihtoehtoisesti Energiatuki uuden teknologian puulinjoille	Mahdollisuus hyödyntää monia biomassoja Sitoutuminen biomassan käyttöön investoimalla Mahdollisuus suureen hiilenkorvausosuuteen	Lisää kilpailua biomassasta ko. alueella ja nostaa siten mahdollisesti hintatasoa
	Kohtuullisen pieni investointi Sitoutuminen biomassan käyttöön	Suomessa ei ole käyttökokemuksia
Energiatuki uuden jalosteteknologian demonstroinnille SEKÄ biohiilen, pyrolyysiöljyn ja vastaavien jalosteiden käytön edistämiseksi päästöoikeuden ja kivihiilen hinnan mukaan muuttuva sähkön tuotantotuki jalosteille (vastaava kuin pellettisähkön tuki)	Mahdollisuus hyödyntää biomassavaroja alueilta, joissa ei käyttökohteita, suuret korvausosuudet. Mahdollistaa pitkät kuljetukset ja varastoinnin Mahdollistaa teknologioiden kehittämisen jatkossa tuottamaan arvokkaampia tuotteita öljyn korvaukseen ja pienkäyttöön	Tuotantokustannukset arvioitua korkeampia Jalosteet päätyvät vientiin

#### Vaikutukset valtion muihin tuloihin ja menoihin:

- Esitetyillä toimenpiteillä kivihiilen käyttöä voidaan vähentää yhteistuotannossa lähivuosina 3,8–4,1 TWh, mikä vähentäisi kivihiilen käytöstä kerättäviä polttoaineveroja lähes 30 milj. € vuodessa.
- Kaiken kaikkiaan kivihiilen käytön arvioitu väheneminen (6,8–7,1 TWh) yhteistuotannossa vähentäisi nykyisillä lämmityspolttoaineiden verotasoilla kivihiilen lämmityspolttoainekäytön verokertymää noin 50 milj. € mutta lisäisi kotimaisten polttoaineiden tuotannon, kuljetuksen, käsittelyn ja jalostuksen myötä muun muassa liikennepolttoaineista ja palkkatuloista kerättäviä veroja arviolta vähintään 20 milj. €

#### Kasvihuonekaasujen vähentyminen:

- Esitetyillä toimenpiteillä kivihiilen käyttöä voidaan vähentää lähivuosina 3,8–4,1 TWh, mikä vähentäisi kivihiililaitosten hiilidioksidipäästöjä 1,3–1,4 milj. tonnia vuodessa päästökauppa-sektorilta.
- Kaikkiaan kivihiilen käytön arvioidaan vähenevän tarkastelluissa yhteistuotannon kivihiilipölypolttokattiloissa 6,8–7,1 TWh, eli hiilidioksidipäästöjen vähennys kivihiililaitoksissa olisi 2,3–2,4 milj. tonnia vuodessa.
- Biomassojen käytön lisääminen lisäisi biomassapolttoaineiden korjuun ja kuljetuksen kasvihuonekaasupäästöjä ei-päästökauppa-sektorilla, ja päästövähennys pienenesi siten alle 5 %.

#### Vaikutukset kotimaisten polttoaineiden hintatasoon ja saatavuuteen:

- Kivihiililaitosten maksukykyä metsähakkeesta ei ehdoteta nostettavaksi tukitoimin monipolttoainelaitoksia korkeammalle tasolle. Puupolttoaineiden kysyntä lisääntyisi paikallisesti, mikä kuitenkin nostaisi puupolttoaineiden markkinahintaa vain maltillisesti: esimerkiksi kaasutininvestointien todennäköinen koko ja sijainti eivät ylitä lähialueidensa puupolttoainepotentiaaleja, ellei samoille alueille ole tulossa muita uusia, suuria käyttökohteita.
- Ehdotettu tuki jalosteiden käytölle on pyritty asettamaan siten, että pienkäytössä ja öljyn korvauksessa jalosteilla on parempi maksukyky kuin kivihiililaitoksilla. Kivihiililaitoksille sopivien jalosteiden laatuvaatimukset, ja siten mahdolliset raaka-aineiden laatuvaatimukset, ovat väljempää. Kivihiililaitoksilla olisi mahdollista ajoittaa jalosteiden käyttöä vuodenaikoihin, jolloin pienkäytön kysyntä on vähäisempää ja jolloin vähennettäisiin varastointikustannuksia.
- Peltobiomassojen laajempi hyödyntäminen lisäisi tarjolla olevia biomassavaroja, etenkin oljen osalta rannikoiden läheisyydessä.

#### Vaikutukset metsäteollisuuden puun hankintaan ja hintatasoon:

- Ehdotetut tukitoimet nostavat puupolttoaineiden kysyntää, mutta ne eivät nosta merkittävästi maksukykyä puusta, joten vaikutukset puuraaka-aineen hankintahintaan jäävät pieniksi.
- Jalosteiden käytön tukitoimet lisäisivät puupolttoaineen kysyntää jalosteiden tuotannossa etenkin alueilla, joilla ei ole nykyisin käyttökohteita.

- Jalosteiden tuotannon integrointi metsäteollisuuden tai muiden tuotantolaitosten yhteyteen toisi merkittäviä tuotantokustannussäästöjä erillisiin yksikköihin verrattuna, ja tarjoaisi uusia liiketoimintamahdollisuuksia.
- Polttoaineiden paikallinen saatavuus ja laitoskohtaiset näkökohdat voidaan ottaa huomioon myönnettäessä investointitukia, jotka ovat harkinnanvaraisia.

### **Yhteenveto mahdollisista kehityspoluista vuoteen 2020**

1. Pellettien käyttö voidaan aloittaa nopeasti pienellä osuudella ilman merkittäviä investointeja, mutta se vaatii uuden pelleteille kohdistettavan muuttuvan sähkön tuotantotuen.
2. Kaasutus- ja puulinjainvestointeja voidaan käynnistää portaittain uuden teknologian investointituilla.
3. IE-direktiivin toteutusratkaisut päätetään ja toteutetaan nykylaitoksissa arviolta 2012–2015. Ne voivat vaikuttaa joidenkin bioenergian käyttövaihtoehtojen priorisointiin laitoksissa.
4. Biohiilen ja bioöljyn demonstraatiolaitokset voisivat käynnistyä aikaisintaan 2013–2014 ja isommat kaupalliset mahdollisesti 2015–2016, mutta ne edellyttävät uuden teknologian investointitukia.
5. Linjaukset uuden tekniikan tukemiseen vaihtoehtoinen olisi tarkistettava 2014–2015. Linjauksiin vaikuttaa mm. se, miten muut EU-jäsenvaltiot suunnittelevat vaihtoehtojaan ja mitä uusia velvoitteita jäsenvaltioille tulee vuoteen 2020 mennessä.

Biopolttoaineiden koti- ja kansainvälisten markkinoiden kehitys vaikuttaa linjauksiin tulevaisuudessa. Biomassan energiakäytön vaikutukset puuraaka-aineen hankintaan tulee ottaa huomioon linjauksia tehtäessä.

## Alkusanat

Työ- ja elinkeinoministeriö tilasi syksyllä 2010 tämän selvityksen kivihiilen korvaamisesta biomassalla yhteistuotannon (CHP) pölypolttokattiloissa. Toimeksiannon tavoitteena on selvittää mahdollisuudet kivihiilen korvaamiseen biomassoilla käytössä olevien CHP-laitosten pölypolttokattiloissa sekä korvaamisesta aiheutuvat lisäkustannukset.

Tarkasteltavina ovat sekä puu- että peltobiomassaperäiset polttoaineet ja näistä valmistetut polttoainejalosteet. Tarvittavien taloudellisten kannustimien taso kivihiilen korvaamiseksi on arvioitu käytettäessä tukitoimina sekä investointitukea että uusiutuvan sähkön tuotantotukia.

Selvityksen ohjaajana on toiminut ylitarkastaja Pekka Tervo työ- ja elinkeinoministeriöstä. Selvitystyön aikana voimalaitosten omistajille, polttoainetoimittajille ja järjestöedustajille on järjestetty sekä yhteisiä keskustelutilaisuuksia että yrityskohtaisia tilaisuuksia, joissa on ollut mukana sekä työ- ja elinkeinoministeriön että VTT:n edustajia. Selvitystyöhön VTT:stä osallistuivat Martti Flyktman, Janne Kärki sekä Markus Hurskainen, ja työtä ohjasivat Satu Helynen ja Kai Sipilä.

Kiitämme kaikkia selvitykseen osallistuneita yhteistyöstä.

Jyväskylä 30.6.2011

Tekijät

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä .....	3
Abstract .....	4
Laajennettu tiivistelmä .....	5
Alkusanat .....	18
Käytetyt lyhenteet ja käsitteet .....	21
1. Johdanto .....	23
2. Tavoite .....	24
3. Selvityksen toteutustapa .....	26
3.1 Kivihiiltä yhteistuotannossa pölypolttona käyttävät laitokset .....	26
3.2 Mahdolliset polttoaineet .....	26
3.3 Taloudellisuuslaskelmat .....	26
3.4 Arviot tarvittavista tukitasoista ja niiden kustannustehokkuudesta .....	27
4. Seospolttoaineet .....	28
4.1 Biojalosteet .....	28
4.1.1 Pelletti .....	28
4.1.2 Biohiili ja torrefiointi .....	29
4.2 Polttoaineiden ominaisuuksien vertailu .....	30
4.3 Polttoaineiden luokittelu .....	33
5. Seospolttoteknologiat .....	36
5.1 Suora rinnakkaispoltto pölypolttokattiloissa .....	36
5.2 Epäsuora rinnakkaispoltto (kaasutus) .....	39
5.3 Biomassapolttoaineiden käytön vaikutus kattilan käytettävyyteen ja käyttölouuteen .....	40
6. Biomassan käytölle tarvittava tuki .....	43
6.1 Biomassan käytön lisäkustannuksiin vaikuttavat tekijät .....	43
6.2 Uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuki ja investointituen taso .....	48
6.2.1 Sähkön tuotantotuki .....	48
6.2.2 Investointituki .....	49
6.3 Tukien soveltuvuus eri teknologiavaihtoehdoille ja vaikutus hiilen käyttöön .....	51
7. Bioenergian saatavuus kivihiilen pölypoltto-CHP-laitoksille .....	53
8. Arvio kivihiilen korvausmahdollisuudesta ja tukitarpeesta .....	56
8.1 Tilanne lähivuosina .....	56
8.2 Suositukset mahdollisista tukitoimista .....	57
9. Yhteenvedo mahdollisista kehityspoluista vuoteen 2020 .....	63
Lähdeluettelo .....	64

Liitteet:

Liite 1: Lämmityspolttoaineiden ja sähkön verotus

Liite 2: IE-direktiivi

Liite 3: Voimalaitoskuvaukset

# Käytetyt lyhenteet ja käsitteet

**Biohiili, torrefied biomass** Puuta tai muuta biomassaa paahtamalla tuotettu jaloste, joka yleensä jauhetaan ja pelletoidaan ennen kuljetusta ja varastointia. Energiasisältö tilavuus- ja massayksikköä kohti on korkea.

**Biomassasta valmistettu polttoainejaloste** Energiasisältö kuutiometriä kohti on tyypillisesti kiinteillä biomassajalosteilla luokkaa 2,5 MWh/i-m<sup>3</sup> tai suurempi. Lisäksi voidaan valmistaa nestemäisiä ja kaasumaisia biomassajalosteita.

**Höyryturbiini** Lämpövoimakone, jonka käyttövoimana on kattilassa palamisessa vapautunut lämpöenergia, joka käytetään paineistetun veden höyrystämiseen ja tulistamiseen. Tulistettu höyry johdetaan turbiiniin, jossa höyryn entalpia muutetaan turbiinin liike-energiaksi. Tällä liikeenergialla pyöritetään generaattoria, joka tuottaa sähkövirran.

**IEA** International Energy Agency, kansainvälinen energiaorganisaatio.

**IE-direktiivi** Vuonna 2010 voimaan tullut direktiivi korvaa mm. suuria polttolaitoksia ja jätteenpolttolaitoksia koskevat direktiivit. IE-direktiivi kiristää mm. polttolaitosten päästöraja-arvoja ja sisältää myös uusia vaatimuksia teolliselle toiminnalle. Direktiivissä päästöraja-arvoina sovelletaan parhaan käytettävissä olevan tekniikan mukaisia päästötasoja. Uudet päästöraja-arvot tulevat voimaan vuonna 2016.

**IGCC-voimalaitos** on erityistyyppi [kombivoimalaitoksesta](#). IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle) prosessissa polttoaine (kiinteä tai neste) kaasutetaan ja kaasu käytetään [kaasuturbiinin](#) polttoaineena sähköntuotantoprosessissa. Kaasuturbiinin kuumien pakokaasujen lämpö otetaan talteen lämmöntalteenottokattilassa ja sillä kehitetään höyryä [höyryturbiinille](#).

**Kaasuturbiini** Lämpövoimakone, jonka käyttövoimana on välittömästi palamisessa syntyvät pakokaasut. Polttoaineena voidaan käyttää maakaasua tai kevyttä polttoöljyä.

**Kierrätyspolttoaine** Lajiteltua jätettä, joka soveltuu poltettavaksi.

**Kombivoimala** Voimala, jossa yhdistetään kaasuturbiini- ja höyryturbiini prosessi.

**Low-NO<sub>x</sub>-poltin** Typenoksidien muodostumista vähentävä poltintyyppi.

**Maakaasuverkkoon syötetty biokaasu** Biokaasu, josta on erotettu hiilidioksidi ja joka sisältää lähes 100 % metaania.

**Pelletti** Tavallisesti puubiomassasta valmistettu puriste, joka on valmistettu perinteisesti kuivasta kutterin- tai sahanpurusta, nyttemmin myös kosteista biomassoista kuivauksen ansiosta. Pelletin tavallinen käyttökohde on omakotitalot ja pienkiinteistöt.

**Puulinja** Menetelmä, jossa kuiva, jauhettu biomassa, syötetään ja poltetaan pölypolttokattilassa. Poltin voi olla pelkästään puupölylle tehty tai myös yhteinen hiilipölyn kanssa. Järjestelmässä on puulle polttoainevarasto, hienonnuks- ja murskauslaitteet, kuivaus sekä kuljettimet polttimelle.

**Päästökauppa** Toiminta, jossa voimalaitosten päästöillä on rahallinen arvo ja jossa päästöoikeuksia tai -vähennyksiä ostetaan ja myydään.

**Pölypolttokattila** Kattila, jossa polttoaine poltetaan pölymäisenä suihkuna polttimessa.

**Rikkidioksidi, SO<sub>2</sub>** Rikkidioksidia syntyy polttoaineen sisältämän rikin reagoidessa polttoilman hapen kanssa.

**Synteettinen maakaasu, synteettinen biokaasu, SNG** Synteesikaasua voidaan tehdä esimerkiksi metsätähteistä, puun kuoresta, oljista, energiakasveista ja jopa talousjätteistä. Yksi synteesikaasun käyttömahdollisuuksista on synteettisen maakaasun eli SNG:n (synthetic natural gas) valmistus. Synteettisen maakaasun tuotantoprosessi on kolmivaiheinen. Ensin biomassa kaasutetaan leijukerroskaasuttimessa 900 °C:n lämpötilassa. Toisen vaiheen tuloksena on synteesikaasun (H<sub>2</sub> + CO) ja metaanin (CH<sub>4</sub>) seos. Kolmannessa vaiheessa eli synteesissä vedystä ja hiilimonoksidista tuotetaan metanointiprosessin avulla metaania eli synteettisesti tuotettua maakaasua.

**Teollisuuspelletti** Pelletti, jota käytetään suurissa lämmöntuotantokattiloissa tai lämpöä ja sähköä tuottavissa voimaloissa. Teollisuuspelletti on valmistettu tavallisesti puubiomassasta, mutta pelletin raaka-aineena voi olla muukin biomassa.

**Yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto, CHP, yhteistuotanto** Sähkön ja lämmön tuotanto, jossa sähköntuotantoon käytetyn turbiinihöyryn lämpöenergia käytetään hyödyksi teollisuudessa tai kaukolämpönä.



# 1. Johdanto

Euroopan Unionin tavoitteena on ilmaston lämpenemisen pysäyttäminen pitkällä aikavälillä kahteen asteeseen. Tavoitteen saavuttaminen edellyttää globaalin energiajärjestelmän muuttamista liki päästötömäksi, mikä aiheuttaa valtavia muutoksia energian tuotannossa ja kulutuksessa. EU on asettanut jäsenvaltioilleen vuodelle 2020 välitavoitteeksi 20–20–20-tavoitteet, joilla tarkoitetaan kasvihuonekaasupäästöjen vähentämistä 20 % vuoden 1990 tasosta, uusiutuvien energialähteiden osuuden lisäämistä 20 %:iin sekä energiatehokkuuden parantamista 20 % vuoteen 2020 mennessä. Tavoitteet uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämisestä ja kasvihuonekaasujen vähentämisestä ovat jäsenvaltioita oikeudellisesti sitovia.

Valtioneuvosto hyväksyi 6.11.2008 kansallisen pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategian (VNS 6/2008 vp). Strategia pohjautuu EU:n ilmasto- ja energiapoliittisiin linjauksiin ja velvoitteisiin. Uusiutuvan energian osalta RES-direktiivissä (2009) Suomelle hyväksytyt velvoitteet, 38 % (vuonna 2005 28,5 %) energian loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä, merkitsee uusiutuvan energian lisäämistä nykyarvion mukaan noin 38 TWh:lla vuodesta 2005. Direktiivien asettamat velvoitteet ovat hyvin haastavia, ja niiden toteuttamiseksi tarvitaan useiden erilaisten uusiutuvien energialähteiden käyttöönottoa, energiansäästöä ja energian käytön tehokkuutta.

## 2. Tavoite

Huhtikuussa 2010 ilmasto- ja energiapolitiikan ministerityöryhmä esitteli joukon edistämistoimia (Pekkarinen 2010), joilla voitaisiin täyttää Suomelle asetettu tavoite lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttö 38 %:iin energian loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. Yhtenä toimenpiteistä, jonka esitettiin vaativan lisäselvityksiä ennen toteuttamista, oli kivihiilen korvaaminen biomassalla sähkön ja kaukolämmön yhteistuotannon (CHP-tuotanto) pölypolttokattiloissa. Kivihiilen käyttömäärä näissä laitoksissa on ollut viime vuosina noin 14 TWh. Uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämistarve vuositasolla on noin 38 TWh vuodesta 2005 vuoteen 2020 mennessä.

Tässä työ- ja elinkeinoministeriön tilaamassa selvityksessä on esitelty tekniset mahdollisuudet kivihiilen korvaamiseen yhteistuotannon pölypolttokattiloissa erityyppisillä biomassoilla (sahanpuru, metsähake, peltobiomassat) ja niistä valmistetuilla kiinteillä, nestemäisillä tai kaasumaisilla jalosteilla, kuten pelleteillä, bioöljyillä, biohiilellä ja bioperäisellä maakaasulla. Selvityksen tavoitteena on arvioida korvaamisesta aiheutuvat kustannukset biomassan, kivihiilen ja päästöoikeuden eri hintatasoilla, ja sen perusteella arvioida tarvittavien tukitoimien tasoa ja niillä saavutettavaa kivihiilen korvausta. Selvityksessä tarkasteltiin ainoastaan uusiutuvan energian velvoitepaketissa mainittuja edistämistoimia eli sekä uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotukia että investointitukia.

Uusiutuvien tavoitteiden täyttämiseksi useissa EU-maissa on käytössä tai suunnitteilla edistämistoimia biomassan energiakäytön lisäämiseksi merkittävästi. Tämä voi saada liikkeelle suuria biomassavirtoja maasta toiseen ja vaikuttaa siten myös Suomeen. Tässä selvityksessä tarkasteltiin kuitenkin vain nykyistä markkinatilannetta Suomen näkökulmasta.

Selvityksen tavoitteena on selvittää mahdollisuudet kivihiilen korvaamiseen biomassoilla käytössä olevien sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitosten pölypolttokattiloissa sekä korvaamisesta aiheutuvat lisäkustannukset. Tarkasteltavat laitokset ovat Hanasaari ja Salmisaari Helsingissä, Martinlaakso Vantaalla, Suomenoja Espoossa, Kymijärvi Lahdessa sekä Naantalissa ja Vaasassa sijaitsevat laitokset.

Tarkasteltavina ovat sekä puu- että peltobiomassaperäiset polttoaineet ja näistä valmistetut polttoainejalosteet. Tarkastelun kohteena ovat jalosteista pelletit, paahdettu puu ("biohiili"), bioöljyt ja maakaasuverkon avulla siirretty synteettinen maakaasu biomassoista. Polttoaineen saatavuuden arvioinnissa on käytetty aiempia arvioita. Laskelmissa on käytetty muuttujina biomassapolttoaineiden, kivihiilen ja päästöoikeuden eri hintatasoja, jotta eri tekijöiden merkitys käy selvästi ilmi.

Teknologiset mahdollisuudet kivihiilen korvaamiseen hiilipölypolttokattiloissa on esitelty eri biomassan osuuksilla ja erityyppisillä biomassoilla. Eri vaihtoehdoista esitetään niiden edellyttämät investoinnit ottaen huomioon polttoaineen käsittely ja varastoinnit, vaatimukset biomassaperäisen polttoaineen

laadulle sekä korvaamisen vaikutukset laitoksen käyttökustannuksiin. Laskelmissa otetaan huomioon laitosten jäljellä olevat käyttöajat ja mahdolliset suunnitelmat laitosten korvaamisesta ennen tätä. Myös vuonna 2016 kiristyvät savukaasupäästömääräysten vaikutukset on otettu huomioon.

Taloudellisten kannustimien tarve kivihiilen korvaamiseksi on arvioitu, ja tarkasteltaviksi tukivaihtoehtoiksi on valittu uusiutuvien velvoitepaketin mukaisesti investointituet tai uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuet. Selvityksessä arvioidaan, miten tuet lisäisivät uusiutuvien energialähteiden käyttöä eivätkä vain siirtäisi biomassan käyttöä nykyisiltä käyttäjiltä kivihiililaitoksille niiden kasvavan maksukyvyyn ansiosta. Lisäksi on tarpeen arvioida, miten tarkasteltavat tuet vaikuttavat biomassojen hintatasoon sekä laitosten läheisyydessä että laajemmin.

## **3. Selvityksen toteutustapa**

### **3.1 Kivihiiltä yhteistuotannossa pölypolttona käyttävät laitokset**

Sähkön ja kaukolämmön yhteistuotantoon (CHP) käytettyjä laitoksia, joissa on kivihiilipölypoltto-kattiloita, on Helsingissä, Vantaalla, Espoossa, Lahdessa, Naantalissa ja Vaasassa. Näiden laitosten vanhimmat käytössä olevat CHP-kattilat on rakennettu 1960- ja 1970-luvuilla ja uusimmat 1980-luvulla (laitokset on esitelty yksityiskohtaisemmin liitteessä 3). Tämän jälkeen kivihiiltä käyttävät suuret CHP-laitokset on rakennettu leijukattilatekniikkaa hyödyntäen, mikä mahdollistaa nykyisinkin kivihiilen ja biomassojen rinnakkaispolton. Kivihiiltä käytetään pieniä määriä myös pienten CHP-laitosten arinakattiloissa, joissa osa kivihiilestä on korvattavissa biomassoilla.

Tässä selvityksessä ei ole yksityiskohtaisemmin tarkasteltu hiilikäyttöisiä lauhdelaitoksia, joiden polttoaineen käyttö on vaihdellut viime vuosina 15–40 TWh:n välillä. Hiilen korvaus biomassalla näissä laitoksissa vähentää merkittävästi päästöjä, mutta uusiutuvan energian käytön lisäämisen näkökulmasta yhteistuotannossa tietyistä biomassamäärästä saadaan noin kaksi kertaa enemmän uusiutuvaa energiaa kuin lauhdetuotannossa. Perusteena on se, että uusiutuvan energian määrä lasketaan loppukulutuksesta eli hyödyksi saadusta energiasta, lauhdetuotannossa vain siis tuotetusta sähköstä.

### **3.2 Mahdolliset polttoaineet**

Tarkasteltavina ovat sekä puu- että peltobiomassaperäiset polttoaineet ja näistä valmistetut polttoainejalosteet, joita ovat pelletit, paahdettu puu ("biohiili"), bioöljyt ja maakaasuverkon avulla siirretty syntetttinen maakaasu biomassoista. Eri polttoaineista on arvioitu teknologiset mahdollisuudet, kuinka suureen osuuteen kivihiilen korvaamisessa on mahdollista päästä ja kuinka suuret investoinnit tähän tarvitaan itse laitoksilla.

Polttoaineen saatavuutta ja kustannuksia eri laitoksille on arvioitu aiempien selvitysten pohjalta. Polttoainejalosteista, jotka eivät ole vielä laajasti markkinoilla tai joiden valmistusteknologiat ovat vasta kehitteillä, on käytetty eri lähteistä koottuja arvioita.

### **3.3 Taloudellisuuslaskelmat**

Taloudellisuuslaskelmat on esitetty valitulle tyyppilaitokselle, jonka polttoaineteho on 400 MW ja jota vastaava kaukolämmön tuotanto on 230 MW ja sähkön tuotanto 115 MW. Laskettaessa yhteenvetoja on käytetty laitoskohtaisia laskelmia.

Eri vaihtoehtoista on esitetty niiden edellyttämät tyypilliset investoinnit ottaen huomioon polttoaineen käsittely ja varastointi, vaatimukset biomassaperäisen polttoaineen laadusta ja korvaamisen vaikutukset laitoksen käyttökustannuksiin.

Laitoskohtaisissa laskelmissa otetaan huomioon laitosten jäljellä olevat käyttöajat ja mahdolliset suunnitelmat laitosten korvaamisesta ennen tätä. Samoin vuonna 2016 kiristyvien savukaasupäästö-määräysten vaikutukset ovat laskelmissa mukana. Tämän IE-direktiivin (Directive 2010/75/EU) tarkempi esittely on liitteessä 2. Uusi direktiivi korvaa mm. suuria polttolaitoksia (Directive 2001/80/EC) ja jätteenpolttolaitoksia (Directive 2000/76/EC) koskevat direktiivit. IE-direktiivi kiristää mm. poltto-laitosten päästöraja-arvoja ja sisältää myös uusia vaatimuksia teolliselle toiminnalle. Uudet päästöraja-arvot tulevat voimaan vuonna 2016. Voimaantulon jälkeen kansallinen täytäntöönpano on saatettava loppuun kahden vuoden kuluessa.

Direktiivissä päästöraja-arvoina sovelletaan parhaan käytettävissä olevan tekniikan (BAT) mukaisia päästötasoja. Näistä voidaan poiketa, mutta direktiiviehdotuksessa esitettyjä raja-arvoja ei saa ylittää. LCP-laitoksilla nämä rajat vastaavat pääosin nykyisten BAT-tasojen ylärajoja ja jätettä polttaville laitoksille nykyisen jätteenpolttodirektiivin mukaisia rajoja.

#### **3.4 Arviot tarvittavista tukitasoista ja niiden kustannus-tehokkuudesta**

Tarkasteltaviksi tukivaihtoehtoiksi on sovittu uusiutuvan energian velvoitepaketin (Pekkarinen 2010) mukaisesti investointituet ja uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuet. Tarvittavien taloudellisten kannustimien taso kivihiilen korvaamiseksi eri määrillä on arvioitu eri biomassapolttoaineiden, kivihiilen ja päästöoikeuden hintatasoilla.

Tukien kustannustehokkuutta on arvioitu sekä uusiutuvien energialähteiden lisäyksen että kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisen kannalta. Selvityksessä arvioidaan, miltä osin tarkasteltavat tuet lisäävät uusiutuvien käytön kokonaismäärää, eivätkä vain siirtäisi biomassan käyttöä nykyisiltä käyttäjiltä kivihiililaitoksille niiden kasvavan maksukyvyyn ansiosta. Lisäksi on arvioitu, miten tarkasteltavat tuet vaikuttavat biomassojen hintatasoon sekä laitosten läheisyydessä että laajemmin.

## 4. Seospolttoaineet

Seospoltolla tarkoitetaan useamman polttoaineen samanaikaista käyttöä samassa kattilassa. Seospoltto mahdollistaa olemassa olevien laitosten hyödyntämisen, jolloin tarvittavat muutosinvestoinnit seospolttoaineiden käyttöönottoon ovat usein kohtuullisia.

Biomassan käyttäminen seospolttoaineena tarjoaa mahdollisuuden kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Biopolttoaineiden käyttöönotto nykyisissä kivihiilen pölykattiloissa voi kuitenkin laskea laitoksen tehoa, lisätä suunnittelemattomia alasajoja tai heikentää polttimien, lämmönsiirtopintojen tai savukaasunpuhdistuslaitteistojen toimintaa.

Käyttökustannukset biomassalla ovat usein suuremmat kuin kivihieillä. Tärkein tekijä on polttoaineen hinta. Kun verrataan biomassan seospolttoa muihin CO<sub>2</sub>-päästöjä vähentäviin menetelmiin, seospoltto on usein selvästi edullisempi vaihtoehto muihin teknologioihin verrattuna.

### 4.1 Biojalosteet

#### 4.1.1 Pelletti

Pelletin raaka-aineita ovat perinteisesti olleet mekaanisen puunjalostuksen kuivat sivutuotteet, kuten kutterinlastu ja hiontapöly. Kuivat puuraaka-aineet onkin käytetty ensisijaisesti pellettien raaka-aineeksi. Tämän vuoksi pellettien tuotantomäärien kasvaessa tuotannossa joudutaan entistä enemmän käyttämään kosteita raaka-aineita. Näitä ovat sahanpuru, metsähake ja pienpuu. Sahanpurua käytetäänkin jo raaka-aineena, mutta ennen pelletöintiä puru on kuivattava 10–15 %:n kosteuteen.

Pellettien valmistuksessa käytettävä raaka-aine kuljetetaan tehtaille tavallisesti rekoilla. Usein tehdas on integroitu muun puunjalostusteollisuuden yhteyteen, jolloin raaka-ainetta siirretään lyhyt matka. Raaka-aineesta on ennen tuotannon aloittamista poistettava tuotantoa haittaavat epäpuhtaudet, esimerkiksi kivet, metalli ja muovi.

Kostea raaka-aine kuivataan joko osittain tai täysin ennen materiaalin hienontamista. Raaka-aineen kuivuttua noin 10 %:n kosteuteen se syötetään vasaramyllyyn jauhattavaksi. Vasaramyllyssä kaikki raaka-aine jauhetaan tasalaatuisen kokoiseksi ja sopivaksi puristusta varten. Myös syntyvä pöly otetaan talteen ja käytetään pelletin raaka-aineena. Käsitelty raaka-aine voidaan siirtää puristusvaiheeseen esimerkiksi ruuvikuljettimella, jolla varmistetaan sopiva syöttönopeus puristuslaitteelle.

Pelletöitävä materiaali pakotetaan puristamalla se puristinrullien avulla kahdella eri perusmenetelmällä: joko reikälevyn eli tasomatriisin tai rei'itetyn sylinterin eli rengasmatriisin läpi. Prosessi nostaa

puumateriaalin lämpöä ja aiheuttaa luonnollisten hartsien ja sideaineiden (ligniinin) hetkellisen pehmenemisen. Puristusvaiheessa sulanut ligniini muodostaa jäähtyttyään pellettien pinnalle kiiltävän ja koossa pitävän kerroksen ja toimii ns. luonnollisena liima-aineena.

Materiaalin puristuttua matriisin reikien läpi leikkuuterät katkaisevat puristeet normaalisti noin 10–30 mm:n pituuteen. Mikäli pelletöintilaitetta ei ole varustettu leikkuuterillä, pelletit leikkautuvat matriisin alapinnalla painovoiman vaikutuksesta.

Puristusprosessin vaiheen jälkeen kuumat pelletit on jäädytettävä, jotta ne saavuttavat lopullisen lujuutensa. Pelletit jäädytetään puhaltamalla kylmää ilmaa pellettikerroksen lävitse.

Jäähtyksen jälkeen valmiit pelletit kulkevat vielä seulan (usein täryseula) kautta, jossa pelleteistä erotetaan raakapuru ja hienoaines. Seulottu materiaali palautetaan tavallisesti takaisin tuotantoprosessiin. Pellettien seulonnan avulla saavutetaan tasalaatuisempaa polttoainetta, joka soveltuu paremmin jakeluun sekä aiheuttaa vähemmän ongelmia polttolaitteissa.

#### 4.1.2 Biohiili ja torrefiointi

Torrefiointitekniikka on uusi kiinnostusta herättävä puubiomassan käsittelymenetelmä. Torrefiointiksi kutsutaan biomassan käsittelyä 250–270 °C:n lämpötilassa hapettomissa olosuhteissa siten, että siitä haihtuvat vesi sekä osa haihtuvista aineista. Näin puulle saadaan ominaisuuksia, joita ei tuoreella puulla ole. Biomassa kuivuu täydellisesti torrefiointin aikana, ja sen jälkeen kosteuden imeytyminen tuotteeseen on hyvin vähäistä. Kuljetettavuuden ja käsittelyn helpottamiseksi torrefioitu biomassa voidaan murskata ja pelletöidä. Näin valmistettua lopputuotetta kutsutaan TOP-pelletiksi (TORrefied PELlet). TOP-pelletti on lähes hydrofobinen eikä vety ulkovarastoinnissa. Lisäksi sen tilavuuspohjainen lämpöarvo vastaa kivihiiiltä ja se käyttäytyy hiilimyllyjen jauhatuksessa ja pölypolttimilla kuten kivihiihi, joten se soveltuu hiililaitoksiin sellaisenaan ilman suurempia muutosinvestointeja. TOP-investoinnit tehdään lähelle raaka-ainelähteitä, jolloin perinteisiin puupolttoaineisiin verrattuna voidaan saavuttaa merkittävät logistiikkaedut.

Torrefioitua polttoainetta voidaan valmistaa monenlaisista biomassoista, mutta silti saavuttaa lopputuotteelle samat ominaisuudet. Suurin syy tähän on se, että puu- ja kasviperäinen biomassa koostuvat samanlaisista rakennusaineista, suurimpana yksittäisenä aineena polymeerit eli selluloosa. Kemialliset muutokset näihin kuituihin ovat kaikilla biomassoilla samat, jolloin vastaavasti saadaan samat materiaali-muutokset. Samat käsittelyolosuhteet eivät kuitenkaan automaattisesti tuota samanlaista lopputuotetta kaikille materiaaleille.

Bergman (2005) erottaa kaksi torrefiointin tuotantosuuntaa: lähellä käyttöpaikkaa (kaukana raaka-ainelähteestä) ja kaukana käyttöpaikasta (lähellä raaka-ainelähdettä). Tutkimus keskittyy nykyään jälkimmäiseen, sillä lyhyt raaka-aineen kuljetusmatka ja kustannussäästöt torrefioidun puun kuljetuksessa ovat menetelmän keskeisiä etuja. Torrefiointiprosessin integrointi sähkön- ja lämmöntuotantoprosessiin on etu molemmissa tuotantovaihtoehdoissa.

Kirjallisuudessa esitetään yleisesti, että puun torrefiointin lopputuote sisältää 70–80 % alkuperäisestä massasta ja 80–90 % alkuperäisestä energiasisällöstä. Näin ollen lämpöarvo kohoaa torrefiointin myötä 10–22 %. Puuperäisillä biomassoilla lämpöarvon kohoaminen on olkibiomassoja (60–70 % massasta ja 70–80 % energiasisällöstä) suurempaa (Agar & Wihersaari 2010).

#### 4. Seospolttoaineet

Torrefiointiprosessi on torrefioinnin osalta energiaomavarainen, sillä prosessista vapautuvien kaasujen poltosta saatava energia riittää torrefioinnin toteutukseen, mutta kostean raaka-aineen kuivaukseen tarvitaan lisäenergiaa. Energiataseen kannalta TOP-pellettituotannon kuivauksen integrointi esimerkiksi sähkön- ja lämmöntuotantoon on tärkeää. Tällöin kuivausenergia voidaan ottaa energiatuotannon savukaasuista ja torrefioinnissa biomassasta haihtuvat kaasut voidaan syöttää sähkön- ja lämmöntuotantoprosessiin.

Taulukko 1. Puupolttoaineiden ominaisuuksia.

	<b>Kokopuuhaake, mänty</b>	<b>Torrefioitu biomassa</b>	<b>Puupelletit</b>	<b>TOP-pelletit</b>
Kosteus, %	45	3,0	7,0	1,0
Tehollinen lämpöarvo, MJ/kg (kosteaa)	7,5	19,9	16,2	21,6
Tehollinen lämpöarvo, MJ/kg (kuiva)	19,3	20,4	17,7	22,7
Tiheys, kg/irto-m <sup>3</sup>	330	230	650	750–850
Energiatiheys, GJ/i-m <sup>3</sup>	3,1	4,6	10,5	14–18,5

Paahtamismenetelmässä (torrefaction) biomassaa kuivataan ensin kuivurissa, minkä jälkeen polttoaineen kuivuminen ja paahtuminen jatkuvat hiilletysreaktoreissa lähes hapettomissa olosuhteissa. Hiilletysreaktorissa tapahtuvassa kuumakäsittelyssä biomassaa muuttuu jauhamiskelpoiseksi, ja samalla myös sen muut käyttöominaisuudet paranevat. Käsittelyn jälkeen biohiili voidaan jauhaa hiilimyllyssä hiilen seassa tai pelletöidä varastointia ja kuljetusta varten.

Torrefioitu puu vaatii vielä lisätutkimusta ja kokemuksia kaupallisen mittakaavan tuotannosta. Hyvän kuljetettavuutensa vuoksi puun torrefioinnilla ja pelletöinnillä voidaan kuitenkin saada aikaan uusi markkinakanava puulle. Torrefioidun puun etuna on helppo käytettävyys kivihiilen pölypolttolaitoksissa. Lisäksi torrefiointiin käytettävän puuraaka-aineen laatuvaatimukset ovat matalat. Tehokkaimmillaan torrefiointiprosessin on todettu olevan sähkön- ja lämmöntuotantoon integroituna prosessina lähellä raaka-ainelähdettä.

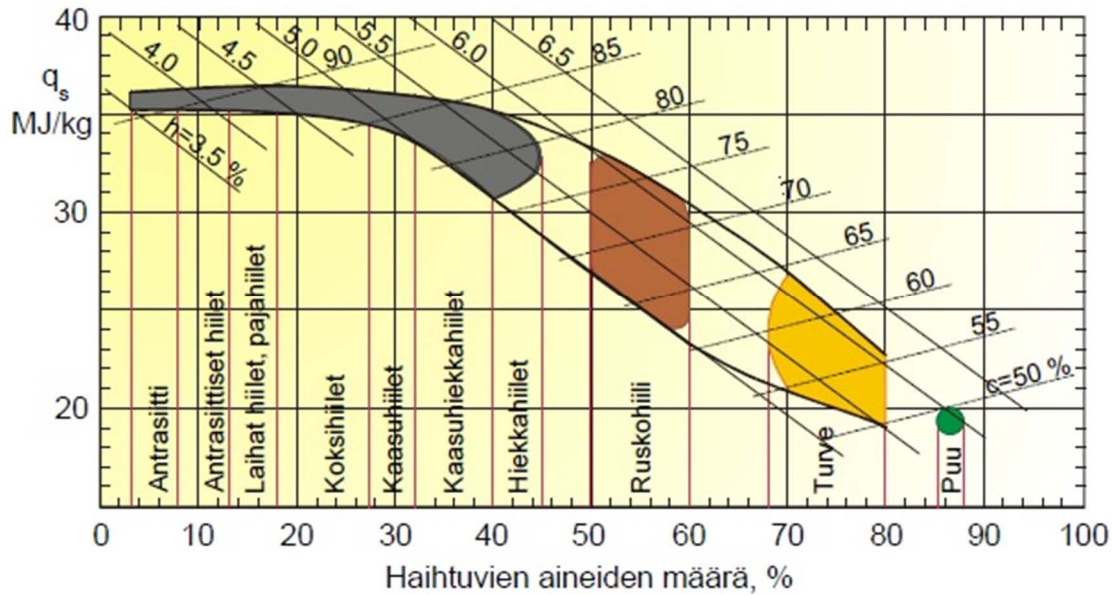
## 4.2 Polttoaineiden ominaisuuksien vertailu

Kun biopolttoaineita käytetään kivihillelle suunnitelluissa kattiloissa, monet biopolttoaineiden kivihillestä eroavat ominaisuudet vaikuttavat kattilan toimintaan. Merkittävimmät erot ovat biopolttoaineiden suurempi haihtuvien yhdisteiden määrä, alhaisempi lämpöarvo ja energiatiheys sekä tuhkan määrä ja sen ominaisuudet. Tyypillisesti biopolttoaineet ovat myös kivihiltä huomattavasti kosteampia.

Kuvassa 1 esitetään tavanomaisten polttoaineiden ylemmän lämpöarvon, haihtuvien aineiden määrän sekä hiili- ja vetytitoisuuksien tyypillisiä arvoja. Kuvasta nähdään, että mitä korkeampia ovat hiilipitoisuus ja lämpöarvo, sitä matalampi on haihtuvien aineiden määrä. Vanhojen kivihiltien ylempi lämpöarvo on noin 35 MJ/kg, hiilipitoisuus yli 80 % ja haihtuvien määrä alle 40 %, kun taas puulle vastaavat arvot ovat 19–20 MJ/kg, 47–50 % ja 85–88 %.



Puun korkeampi haihtuvien aineiden määrä tarkoittaa kivihiiltä pienempää hiiltojäännöstä. Lisäksi puun hiiltojäännös on reaktiivisempaa kuin kivihiilen hiiltojäännös. Nämä ominaisuudet auttavat polttoaineen täydellisen palamisen saavuttamista. Palamisen täydellisyyteen vaikuttavat kuitenkin myös polttoaineen kosteus ja palakoko, jotka ovat usein puupolttoaineilla kivihiiltä suuremmat, ja siten palaminen on hitaampaa.



Kuva 1. Polttoaineiden ominaisuuksien vertailu haihtuvien aineiden, ylemmän lämpöarvon sekä vety- ja hiilipitoisuuksien osalta (Alakangas 2000).

Kivihiilten kosteus on tyypillisesti 5–10 %, kun taas tavanomainen kosteus erilaisille puubiomasoille on 45–55 %. Peltobiomasojen kosteus on tyypillisesti 15–25 %. Kosteus vaikuttaa polttoaineen lämpöarvoon ja sitä kautta myös kattilasta saatavaan tehoon. Kivihiilen lämpöarvo on saapumistilassaan tavallisesti 20–30 MJ/kg hiilen iästä ja tuhkapitoisuudesta riippuen. Puubiomassan lämpöarvo saapumistilassaan on tyypillisesti 8–10 MJ/kg ja peltobiomasojen 12–14 MJ/kg. Polttoaineen kosteus vaikuttaa myös sen käsiteltävyyteen ja syötettävyyteen.

Taulukossa 2 on tyypillisiä kiinteiden polttoaineiden ominaisuuksia.

#### 4. Seospolttoaineet

Taulukko 2. Polttoaineiden energiatihyksiä (Alakangas 2000, Veijonen et al. 2003).

	Kivihiili	Turve	Puu, kuoreton	Kuori	Metsä- hake*	Olki	Ruoko- helpi**
Kosteus, %	6–10	40–55	5–60	45–65	50–60	17–25	15–20
Tuhka, % (d)	8,5–10,9	4–7	0,4–0,5	2–3	1–3	5	6,2–7,5
Tehollinen lämpöarvo <i>MJ/kg (d)</i>	26–28,3	20,9–21,3	18,5–20	18,5–23	18,5–20	17,4	17,1–17,5
Lämpöarvo saapumistilassa <i>MJ/kg</i>	23,2–26,5	9,6	5,9–18,9	4,9–11,6	6–9	12,4–14	13,2–14,2
Alkuaine, % (d)							
Hiili, C	76–87	52–56	48–52	48–52	48–52	45–47	45,5–46,1
Vety, H	3,5–5	5–6,5	6,2–6,4	5,7–6,8	6–6,2	5,8–6,0	5,7–5,8
Typpi, N	0,8–1,5	1–3	0,1–0,5	0,3–0,8	0,3–0,5	0,4–0,6	0,65–1,04
Happi, O	2,8–11,3	30–40	38–42	24,3–40,2	40–44	40–46	44
Rikki, S	0,5–3,1	< 0,05–0,3	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05–0,2	0,08–0,13
Kloori, Cl	< 0,1	0,02–0,06	0,01–0,03	0,01–0,03	0,01–0,04	0,14–0,97	0,09
Kalium, K	0,003	0,8–5,8	0,02–0,05	0,1–0,4	0,1–0,4	0,69–1,3	0,3–0,5

(d) = kuiva-aineesta

\*havupuu neulasineen

\*\*kevällä korjattu

Kivihiilen energiatihyden (energiasisältö tilavuusyksikköä kohti) ero kivihiilen ja biopolttoaineiden välillä on vielä huomattavasti suurempi kuin massan mukaan ilmaistujen lämpöarvojen ero. Energiateiheys vaikuttaa merkittävästi polttoaineen kuljetuskustannuksiin ja toisaalta myös voimalaitoksissa kuljettimien ja myllyjen mitoitukseen, toimivuuteen ja energiankulutukseen.

Taulukossa 3 esitetään kivihiilen ja erilaisten biopolttoaineiden energiatihyksiä. Kivihiilen energiateiheys voi olla kertaluokkaa suurempi kuin biopolttoaineiden. Pelletöimällä biopolttoaineiden energiateiheys voidaan saada korotettua noin puoleen kivihiilen energiateheydestä. Yhdistämällä biopolttoaineen torrefiointi (hiilto, paahtaminen) ja pelletöinti on mahdollista päästä lähelle kivihiilen energiateihyttä. Torrefioidusta puusta ei ole vielä kokemuksia kaupallisen mittakaavan tuotannossa.

Taulukko 3. Polttoaineiden energiatiheyyksiä (Flyktman 2004, Laitila et al. 2011).

<b>Polttoaine</b>	<b>Energiatiheys, MWh/i-m<sup>3</sup></b>
Kivihiili	5,5–6,0
Puupelletti	2,5–3,0
Kokopuuhake	0,72–0,78
Metsätähdehake	0,8–0,85
Sahanpuru	0,5–0,6
Kuorimurske, mänty	0,45–0,5
Kuorimurske, kuusi	0,55–0,65
Kuorimurske, koivu	1,1–1,3
Kutterinpuru	0,4–0,5
Olkisilppu	0,25–0,35
Biohiili	1,28
Biohiilipelletti	3,9–5,14

Puupolttoaineet sisältävät kivihiileen verrattuna huomattavasti vähemmän rikkiä. Myös peltobiomassojen rikkipitoisuudet ovat usein kivihiiltä alhaisemmat. Tämä tarkoittaa pienempiä SO<sub>2</sub>-päästöjä, mikäli kivihiiltä korvataan biopolttoaineilla. Myös biopolttoaineiden typpipitoisuus on tavallisesti kivihiiltä alhaisempi, mikä tarkoittaa todennäköisesti myös alhaisempia NO<sub>x</sub>-päästöjä.

Monet biopolttoaineet sisältävät tuhkaa huomattavasti vähemmän kuin kivihiilet. Puunrungossa tuhkaa muodostavan epäorgaanisen aineksen osuus on yleensä vain joitain prosenttia kymmenesosia, kun kivihiilet voivat sisältää tuhkaa kymmeniä prosentteja. Turpeen ja peltobiomassojen tyypillinen tuhkapitoisuus on noin 5 %. Tuhkapitoisuus vaikuttaa laitoksella syntyvän tuhkan määrään sekä tuhkanpoistolaitteistojen kuormitukseen.

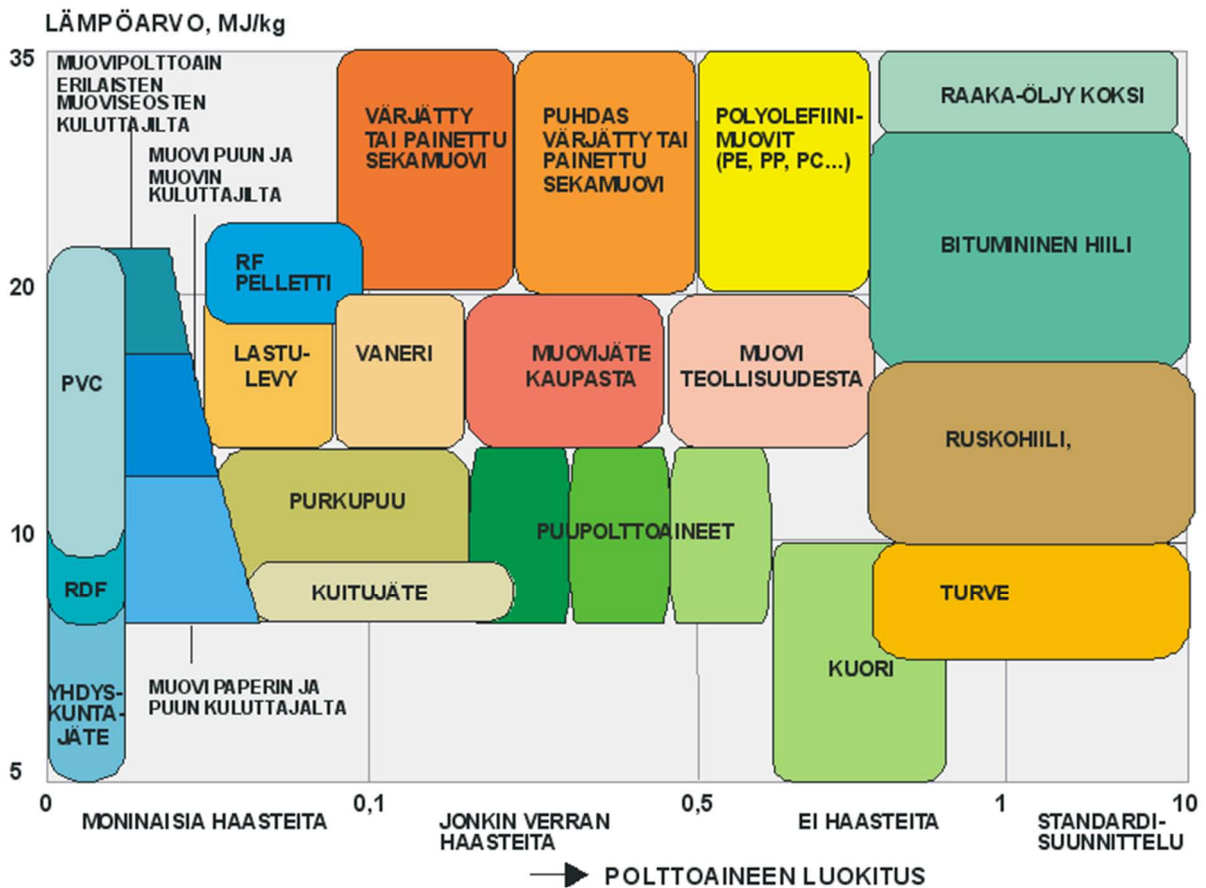
Tuhkan määrän lisäksi kivihiilten ja biopolttoaineiden välillä on eroja tuhkan alkuainekoostumuksessa ja siinä, miten tuhkaa muodostavat yhdisteet ovat sitoutuneet. Puun tuhkat koostuvat pääasiassa alkali- ja maa-alkalimetalleista, joista tärkeimmät ovat kalsium, magnesium ja kalium. Nuorissa biomassaperäisissä polttoaineissa suurin osa tuhkaa muodostavista yhdisteistä esiintyy joko suoloina tai sitoutuneena polttoaineen orgaaniseen osaan. Tämä tarkoittaa sitä, että alkalit, jotka aiheuttavat kattilan lämpöpintojen likaantumista ja kuonaantumista, vapautuvat helposti tulipesässä. Kivihiilen ja turpeen tuhkissa mineraalit ovat stabiilimmassa muodossa eivätkä siten vapaudu tulipesässä yhtä helposti. Kivihiilen ja turpeen tuhkissa merkittäviä yhdisteitä ovat usein pii, alumiini ja rauta. (Raiko et al. 2002.)

### 4.3 Polttoaineiden luokittelu

Kuva 2 on Foster Wheeler Energia Oy:n laatima kuvaaja eri bio- ja jättepolttoaineiden polttoominaisuuksista. Vaaka-akseli kuvaa polttoaineiden aiheuttamia ongelmia poltossa, ja pystyakselina on polttoaineiden alempi lämpöarvo. Parhaimmat polttoaineet eli ne, joilla on korkea lämpöarvo ja jotka eivät aiheuta poltossa ongelmia, löytyvät kuvaajan oikeasta yläkulmasta. Huonoimmat eli paljon ongelmia aiheuttavat, matalan lämpöarvon polttoaineet löytyvät vastaavasti vasemmasta alakulmasta.

#### 4. Seospolttoaineet

Ongelmat voivat liittyä esimerkiksi kattilassa esiintyviin ongelmiin, kuten likaantumiseen, kuonaantumiseen, korroosioon tai tuhkansulamiseen. Lisäksi ongelmat voivat liittyä myös käsiteltävyyteen, syötettävyyteen tai päästöihin.



Kuva 2. Polttoaineiden luokittelu niiden lämpöarvon ja poltossa esiintyvien ongelmien mukaan (Foster Wheeler & VTT).

Kivihillen ja turpeen poltossa ei esiinny ongelmia, ja myös kuorta voi polttaa usein ongelmitta. Ongelmallisimpia polttoaineita ovat puolestaan erilaiset jäteteräiset materiaalit. Ongelmat ovat pääosin lähtöisin erittäin korkeista klooripitoisuuksista, mutta myös alkaleista ja raskasmetalleista. Lisäksi jäteteräisten materiaalien käsittely ja syöttö on usein haasteellista.

Puubiomassojen poltossa voi esiintyä joitakin ongelmia, mikäli poltetaan pelkästään puupolttoaineita tai mikäli niiden osuus on suuri. Ongelmat ovat peräisin korkeahkoista alkali- ja klooripitoisuuksista tuhkapitoisuuteen ja tuhkan koostumukseen nähden. Mikäli seospolttoaineena käytetään esimerkiksi kivihiltä tai turvetta, ongelmat usein vähenevät tai poistuvat kokonaan. Tämä johtuu kivihillen ja turpeen sisältämästä rikistä ja alumiinisilikaateista, jotka reagoivat poltossa muodostuneiden haitallisten alkali- ja klooriyhdisteiden kanssa. Lisäksi polton kannalta on edullista, jos havupuubiomassan neulasat irtoavat ennen polttoa tai jos hake on kuivaa (ruskeaa), jolloin erityisesti kloori- ja kaliumpitoisuudet laskevat merkittävästi paljon viherainesta sisältävään puubiomassaan verrattuna. (Alakangas 2000.)

Olki on joiltain osin samankaltainen polttoaine kuin puu: sen pääalkuainekoostumus (C, H, N, O) ja kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo ovat puuta vastaavat, ja lisäksi kummatkin sisältävät paljon haihtuvia yhdisteitä. Oljen alhaisempi energiatiheys ja erityisesti tuhkan määrä ja ominaisuudet tekevät siitä kuitenkin puupolttoaineita huomattavasti haastavamman. Oljet sisältävät paljon likaantumista aiheuttavia alkaleita ja korroosio-ongelmia aiheuttavaa klooria, ja lisäksi niiden tuhkien sulamispisteet ovat alhaiset. Kemiallinen koostumus ja siten myös poltto-ominaisuudet luonnollisesti vaihtelevat eri kasvilajien välillä. Lisäksi kasvuolosuhteet (lannoitus, maaperä, sääolosuhteet) vaikuttavat oljen koostumukseen. Korjuuajankohdalla voidaan vaikuttaa merkittävästi oljen haitallisten yhdisteiden pitoisuuksiin. Esimerkiksi myöhään korjatun oljen (harmaa olki) klooripitoisuus voi olla useita kertoja alhaisempi kuin aikaisin korjatun oljen (keltainen olki). (Alakangas 2000.)

## 5. Seospolttoteknologiat

Biomassan käyttöön kivihiilipölypolttokattiloissa voidaan erottaa kaksi pääasiallista toteutustapaa: suora ja epäsuora seospoltto. Näiden lisäksi seospolttotekniikaksi voidaan laskea myös erillinen biokattila, jonka höyrypiiri on yhdistetty kivihiilikattilaan. Tätä vaihtoehtoa ei kuitenkaan tarkastella tässä raportissa.

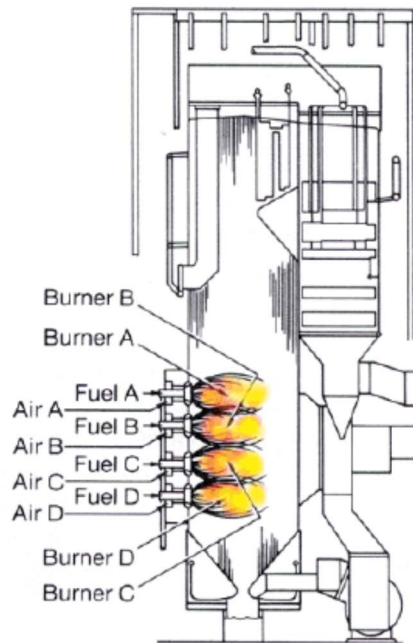
Suora seospoltto on epäsuoraa seospolttoa yksinkertaisempi ja yleisempi tapa. Siinä jauhettu biopolttoaine syötetään joko yhdessä kivihiilen kanssa kivihiilipolttimiin tai omaa linjaansa pitkin erillisiin polttimiin.

Epäsuoralla rinnakkaispoltolla tarkoitetaan prosessikonseptia, joka perustuu kiinteän biomassan muuntamiseen kaasumaiseen (tai nestemäiseen) muotoon, minkä jälkeen tämä tuotekaasu (tai -neste) poltetaan yhdessä pääpolttoaineen kanssa. Tällä hetkellä kaikki kaupallisesti toimivat epäsuoraa rinnakkaispolttoa hyödyntävät laitokset ovat perustuneet biomassan kaasutukseen, mutta pyrolyysi-prosessi voi kaupallistuttuaan tarjota uuden epäsuoran rinnakkaispolttomahdollisuuden.

### 5.1 Suora rinnakkaispoltto pölypolttokattiloissa

Pölypoltossa hiili jauhetaan hienojakoiseksi pölyksi, joka puhalletaan yhdessä ilman kanssa tulipesän alaosassa sijaitseviin polttimiin (Kuva 3). Palamisessa vapautunutta lämpöenergiaa käytetään paineistetun veden höyryttämiseen ja tulistamiseen. Tulistettu höyry johdetaan turbiiniin, jossa höyryn entalpiaa muutetaan turbiinin liike-energiaksi. Tällä liike-energialla pyöritetään generaattoria, joka tuottaa sähkövirran.

Pölypolttokattilat asettavat käytettäville polttoaineille huomattavasti tiukemmat vaatimukset kuin leijukerroskattilat, erityisesti palakoon ja kosteuden osalta. Leijukerroskattiloissa petimateriaalin suuri lämpökapasiteetti ja hyvä sekoittuminen auttavat tasaamaan eroja polttoaineen laadussa. Myös savukaasupäästöjen ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ) hallinta on kalliimpaa pölypoltossa kuin leijupoltossa. (Baxter 2005.) Leijukerrosolttossa rikin sitomiseksi on mahdollista syöttää kalkkikiveä suoraan tulipesään alhaisemman lämpötilan ja hyvän sekoittumisen vuoksi. Pölypolttokattiloissa rikkidioksidi joudutaan poistamaan savukaasuista erillisessä reaktorissa. Leijukerrosolton alhaisempi lämpötila auttaa myös vähentämään  $\text{NO}_x$ -päästöjä.



Kuva 3. Pölypolttokattilan poikkileikkaus (Teir 2002).

Teknisiä seikkoja, jotka voivat rajoittaa biopolttoaineiden käyttöä kattilassa ovat mm.

- syöttölaitteiston kapasiteetti
- syöttölaitteiston soveltuvuus biomassoille
- savukaasupuhaltimien teho
- likaantumis- ja kuonaantumisongelmat sekä korroosio- ja eroosio-ongelmat.

Syöttölaitteiston soveltuvuus riippuu polttoaineen fyysisistä ominaisuuksista. Koska biopolttoaineet ovat usein varsin kosteita, ne lisäävät savukaasuvirtaa (kosteaa) ja siten savukaasupuhaltimien kuormaa. Savukaasuvirran kasvaessa myös eroosio voi voimistua. Likaantumis-, kuonaantumis- ja korroosio-ongelmat johtuvat puolestaan biopolttoaineiden tuhkien kemiallisesta koostumuksesta, sillä ne sisältävät tavallisesti runsaasti reaktiivisessa muodossa olevia alkalimetalleja (K, Na) ja klooria (Cl). Muita teknisiä asioita, joita tulee tarkastella määritettäessä biopolttoaineiden maksimimäärää, ovat mm. käytön joustavuus, tehonmuutosnopeus ja maksimiteho. Myös vaikutukset päästöihin ja tuhkien ominaisuuksiin on selvitettävä. Mikäli biopolttoaineet huonontavat tuhkien hyödyntämismahdollisuuksia, niistä voi aiheutua merkittävät kustannukset. (Integrated European Network for Biomass Co-firing 2006.)

Suoraan seospolttoon pölypolttokattiloissa on kolme vaihtoehtoa:

- 1) biopolttoaineet syötetään yhdessä kivihiilen kanssa myllyihin ja poltetaan hiilipolttimissa
- 2) biopolttoaineille hankitaan omat käsittely- ja syöttölaitteistot, jotka ohjaavat polttoaineen kivihiililinjaan ennen polttimia
- 3) biopolttoaineita varten hankitaan käsittely- ja syöttölaitteistojen lisäksi myös omat, biopolttoaineille suunnitellut polttimet.

## 5. Seospolttoteknologiat

Ensimmäinen vaihtoehto on yksinkertaisin eikä vaadi välttämättä lainkaan laiteinvestointeja, mutta riski syöttölaitteiston häiriöihin on korkein ja sopivien biopolttoaineiden määrä on rajallinen. Tätä vaihtoehtoa voidaan käyttää vain alhaisilla bio-osuuksilla lukuun ottamatta tilannetta, jossa polttoaineena on biohiili. Tavanomaisten biopolttoaineiden alhaisempi lämpöarvo ja suurempi partikkelikoko lisäävät polttoainevirtaa, ja siten myös käsittelylaitteiston tehontarvetta. Kivihiilelle suunnitellut myllyt eivät tavallisesti sovellu kovin hyvin tavanomaisen biomassan käsittelyyn. Tavanomaiset biopolttoaineet ovat fysikaalisilta ominaisuuksiltaan pehmeitä tai kuitumaisia, kun taas kivihiili on kovempaa ja hauraampaa (Integrated European Network 2006). Biopolttoaineiden jauhaminen yhdessä kivihiilen kanssa saattaa huonontaa myös kivihiilen jauhautumista, mikä voi aiheuttaa palamattoman aineksen lisääntymistä tuhkissa. Hiilimyllyjen kapasiteetti- ja tehorajoitukset voivat vaikuttaa kattilasta saatavaan tehoon. (Flyktman 2004.) Kyseeseen tulevat tavanomaisista biopolttoaineista lähinnä vain sahanpuru ja pelletit. On arvioitu ja myös todennettu laitoskokeissa, että sahanpurua voi tyypillisesti käyttää noin 3 % ja pellettejä 5 % polttoainetehosta.

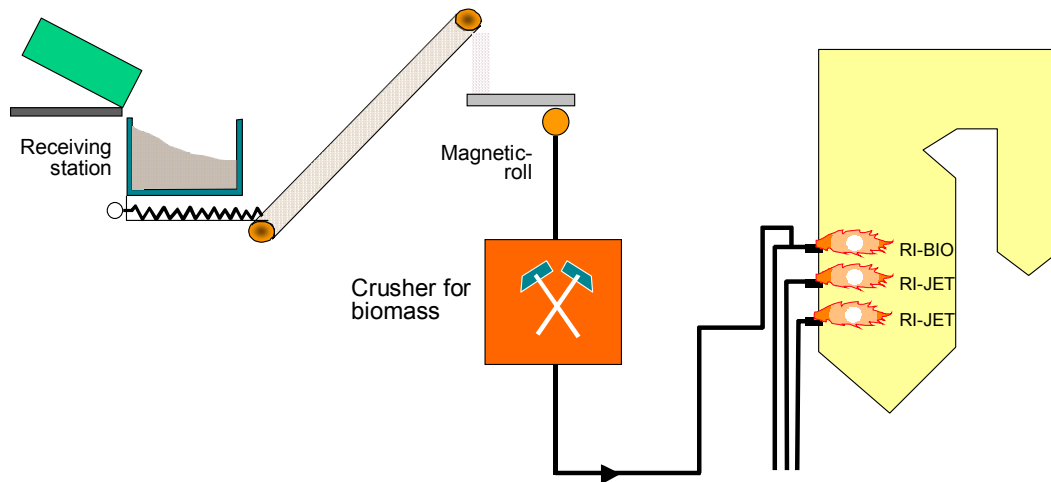
Toisessa vaihtoehdossa biopolttoaineille hankitaan omat käsittely- ja syöttölaitteistot, jotka antavat lisää vapautta sekundääristen polttoaineiden valintaan, ja esimerkiksi metsähaketta voidaan käyttää. Myös biopolttoaineiden osuudet voivat olla suuremmat, mikäli rajoittavana tekijänä on ollut hiilimyllyjen kapasiteetti tai soveltuvuus biopolttoaineille. Käytettävä polttoaine on mahdollisesti kuivattava ennen polttoa kosteudesta ja osuudesta riippuen. Tässä vaihtoehdossa biolinjan toimintahäiriöt eivät vaikuta kivihiililinjan toimivuuteen. Laitteistot vaativat kuitenkin tilaa ja investointikustannukset nousivat. Myös polttimien ajaminen suunnitteluparametreilla voi olla hankalaa. Tämä riippuu biopolttoaineiden osuudesta ja ominaisuuksista.

Kolmannessa seospolttovaihtoehdossa biopolttoaineita varten hankitaan käsittely- ja syöttölaitteistojen lisäksi myös omat, biopolttoaineille suunnitellut polttimet. Tällöin kivihiili- ja puupöly pysyvät koko ajan erillään. Tässä vaihtoehdossa investointikulut ovat korkeimmat, mutta biopolttoaineen käyttö ei vaikuta kivihiilipolttimien toimintaan ja biopolttoaineita käyttävät polttimet voidaan optimoida biopolttoaineille.

Seospolttoa varten on kehitetty ja patentoitu myös yhdistetty kivihiili-biopolttin (RI-BIO). Tällä tekniikalla biopolttoaineilla voidaan korvata 20–30 % hiilestä. Hiilen ja biopolttoaineiden sekoitus on mahdollista tehdä kahdella eri tavalla. Biopolttoaine voidaan syöttää kivihiilen sekaan juuri ennen poltinta tai se voidaan johtaa polttimen sisäputkessa liekkiin, jolloin polttoaineet sekoittuvat vasta palorintamassa. (Kostamo 1999, Savolainen 2001.)

Yhdistetyn kivihiili-biopolttimen etuna on biopolttoaineen vähäisempi jauhamisen tarve. Polttoaineen palakoko on oltava riittävän pieni, jotta liekki säilyy stabiilina ja partikkeli palaa loppuun. Arviot biopolttoaineiden maksimipartikkelikoosta tavanomaisia polttimia käytettäessä vaihtelevat millimetristä muutamaan millimetriin. Tämä vaatii joissain tapauksissa kalliita mikrojauhatuslaitteita ja investointeja varotoimiin mahdollisen pölyräjähdysriskin vuoksi. RI-BIO-polttimia käytettäessä biomassan partikkelikokojakaumalle asetetut vaatimukset ovat huomattavasti löysemät: 100 % partikkeleista tulee olla alle 8 mm ja 30–40 % partikkeleista tulee olla alle 1 mm. (Orjala & Heiskanen 2004.)





Kuva 4. Kaaviokuva RI-BIO-linjasta (Orjala & Heiskanen 2004).

## 5.2 Epäsuora rinnakkaispoltto (kaasutus)

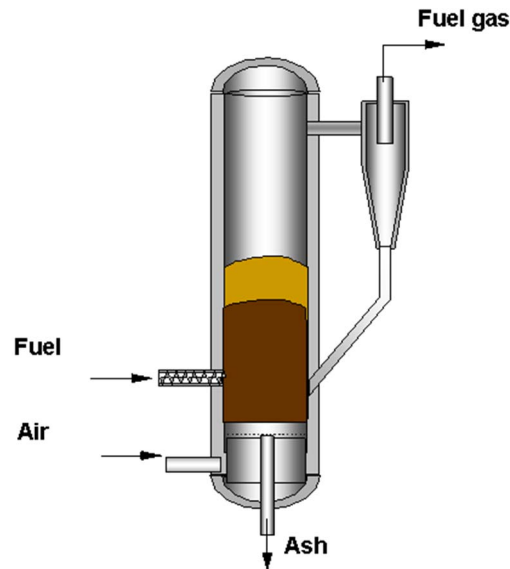
Kaasutus on terminen prosessi, jossa kiinteä (tai nestemäinen) polttoaine muutetaan kaasumaiseksi polttoaineeksi korkeassa lämpötilassa ja ali-ilmaisissa olosuhteissa. Tavallisesti kaasutus perustuu osittaiseen palamiseen, jolla tuotetaan kaasuntumisessa tarvittava lämpö. Poltettavaksi tarkoitetun kaasutuskaasun sisältämät pääkomponentit ovat  $N_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $C_xH_y$  ja  $H_2O$ . Lisäksi kaasu sisältää epäpuhtauksia, kuten tervoja ja höyrystyneitä alkalimetalleja, joiden määrä riippuu kaasutettavasta materiaalista ja käytetystä prosessista. (Nieminen & Kärki 2007.)

Kaasutuksen etuina suoraan seospolttoon verrattuna ovat polttoaineen alhaisempi esikäsittelyn tarve ja vähäisemmät laatuvaatimukset. Myös hiilikattilan muutostarpeet ovat vähäiset ja biomassan osuus voi olla suurempi. Kaasuttimen mahdolliset häiriöt eivät johda kattilan alasajoon. Rinnakkaiskaasutuksessa biopolttoaineiden ja kivihiilen tuhkat pysyvät erillään, mikä voi olla eduksi tuhkien hyötykäytön kannalta. Investointikustannukset voivat olla suoraa rinnakkaispolttoa korkeammat. (Flyktman 2004.)

Kaasutusteknologiat voidaan jakaa kolmeen pääryhmään, joita ovat kiinteäpetikaasuttimet, leijupetikaasuttimet ja pölykaasuttimet, joista esitellään vain tässä kokoluokassa kustannustehokkaimpia leijupetikaasuttimia. Leijupetikaasuttimet voidaan jakaa kuplapetikaasuttimiin (BFB) ja kiertopetikaasuttimiin (CFB), joiden erot ovat vastaavat kuin BFB- ja CFB-kattiloiden. Kuplapetikaasuttimet ovat taloudellisesti kannattavimpia 15–80 MW:n kokoluokassa, kun taas kiertopetikaasuttimet soveltuvat kokoluokkaan 40–100 MW. Sekä BFB- että CFB-kaasuttimet soveltuvat hyvin ominaisuuksiltaan vaihtelevien bio- ja jäteperäisten materiaalien kaasuttamiseen. Esikäsittelyä riittää murskaus karkeasti ottaen noin alle 50 mm:n palakokoon. (Nieminen & Kärki 2007.)

Kiertopetikaasuttimen toimintaperiaate on yksinkertainen. Kaasutin koostuu tulenkestävällä materiaalista vuorattusta reaktorista, jossa kaasutus tapahtuu, ja siihen yhdistetystä syklonista, joka erottelee ja palauttaa kaasun sisältämät partikkelit reaktorin alaosaan. Ilma syötetään reaktorin pohjalla sijaitsevan arinan läpi, ja polttoaine syötetään reaktorin alaosaan hieman ilman syöttökohtaa korkeammalta. Polttoaine kuivaa ja pyrolysoituu, ja kaasumaiset yhdisteet virtaavat ylöspäin. Reaktorin pohjalla tapahtuu jäännöshiilen palaminen. Tuhka poistetaan reaktorin pohjalta. (Nieminen & Kärki 2007.)

## 5. Seospolttoteknologiat



Kuva 5. Kiertopetikaasuttimen periaatekuva (Nieminen & Kärki 2007).

Kun tuotekaasua poltetaan pölypolttokattiloissa, kaasun puhtauden täytyy olla riittävä, jotta riskit liikaantumiseen ja korroosioon minimoidaan. Kaasun laatuvaatimukset ovat kuitenkin matalat verrattuna kaasun käyttöön kaasumootoreissa tai turbiineissa. Kaasun puhtauteen voidaan vaikuttaa joko kontrolloimalla kaasutettavia polttoaineita tai puhdistamalla kaasu ennen sen polttoa. Polttoaineiden laadun kontrollointi on teknisesti ja erityisesti taloudellisesti houkuttelevampi ratkaisu. (Nieminen & Kärki 2007.) Mikäli käytetään puhtaita bioperäisiä polttoaineita, kuten haketta, kaasun puhdistaminen ei yleensä ole tarpeen.

Kaasunpuhdistus perustuu tavallisesti kaasun jäädyttämiseen 200–500 °C:seen ja sen jälkeen tapahtuvaan hiukkasten suodatukseen. Hiukkasten poistoon voidaan käyttää esimerkiksi letkusuodatinta. Kaasun jäähtyessä kaasutusprosessissa höyrystyneet alkaliyhdisteet ja osa raskasmetalleista tiivistyy hiukkasten pinnoille, jolloin ne voidaan poistaa suodattimilla. Kaasutускаasun puhdistusta on demonstroitu onnistuneesti erityisesti IGCC-sovelluksissa, mutta ilmanpaineisissa kaasutuksen sovelluksissa vastaavaa menestystä ei ole toistaiseksi ollut. (Nieminen & Kärki 2007.)

### 5.3 Biomassapolttoaineiden käytön vaikutus kattilan käytettävyyteen ja käyttötalouteen

Monia polttoaineita käyttävässä laitoksessa polttoaineiden osuus vaihtelee lämmityskauden eri aikoina ja myös eri vuosien välillä, riippuen etenkin teollisuuden suhdanteista ja polttoaineiden saatavuudesta, hinnasta sekä lämmön ja sähkön tuotantotarpeesta. Käytännössä myös laitoksen käytettävyyden ja ympäristöpäästöjen hallinta rajaavat seossuhteita ja polttoaineiden laatua yhä enemmän.

Haasteellisten biopolttoaineiden käytöstä voi usein seurata ongelmia, jotka saattavat nostaa energian tuotantokustannuksia. Biopolttoaineita käyttävän kattilan muuttuvat kustannukset riippuvat käytettävien polttoaineiden hankintakustannuksien lisäksi kattilan polttoaineensyötön ja palamisprosessin toimivuudesta sekä tuhkan haitallisesta käyttäytymisestä eli kokonaisuudessaan kattilan käytettävyydestä.

Edullisen (€/MWh) polttoaineen tai polttoainesekoituksen käyttö ei välttämättä ole taloudellisesti kannattavaa, jos sen käytettävyys ei ole hyvä.

Vaikka biopolttoaineiden kasvaneesta käytöstä voi aiheutua enemmän käyttöongelmia, kokonaiskäyttötalouden kannalta nykyisillä polttoaineiden ja päästöoikeuden hinnoilla on usein järkevää muuttaa polttoainevalikoimaa enemmän biopolttoaineita suosivaksi ja pyrkiä vähentämään fossiilisia polttoaineita. Käyttöongelmien kustannusvaikutukset ovat käytännössä vähäisempiä kuin saavutetut säästöt polttoaine- ja päästötaloudessa, mutta riippuvat luonnollisesti käytettyjen biopolttoaineiden ominaisuuksista ja käyttösuuksista sekä käyttökohteen tyypistä. Kivihiilikattiloissa biopolttoaineista johtuvien ylimääräisten muuttuvien kustannusten osuus laitoksen kokonaiskäyttökustannuksista on tyypillisesti 1–5 %. Toisaalta yhdyskunnan lämmitysvoimalaitoksen ja teollisuuden voimalaitosten on pystyttävä tuottamaan sovittu lämpö (ja sähkö) joka hetki, jolloin laitoksen toimintavarmuus menee aina talouskysymysten edelle.

Alla on listattu yleisiä polttoaineesta johtuvia kattilan käytettävyyteen ja käyttötalouteen vaikuttavia tekijöitä, joita monipolttoainekäytössä on otettava huomioon.

### **Polttoainetehto**

- Polttoaineseokset on valittava siten, että kattilalla saadaan tuotettua kunakin ajankohtana tarvittava höyryteho. Polttoainetehtoon vaikuttavat polttoaineseoksen ominaisuudet, mm. lämpöarvo ja kosteus. Huonolaatuinen polttoaine voi aiheuttaa ajonaikaisia tuotantotappioita, ellei kattilaan lisätä parempaa polttoainetta halutun kuorman ylläpitämiseksi.
- Savukaasupuhaltimen maksimikapasiteetti voi tulla vastaan kosteita polttoaineita käytettäessä, jolloin kattilan tehoja voidaan joutua rajoittamaan.
- Käyttöongelmista johtuen on olemassa riskejä kattilan suunnittelemmattomille alasajoille. Näillä alasajoilla on yleensä suuri kustannusvaikutus, mutta toimijan mahdollisiin tuotantomenetyksiin vaikuttaa luonnollisesti korvaavan tuotannon kustannustehokkuus.

### **Polttoaineiden käsittely ja syöttö**

- Laitoksen polttoainekentän, murskauksen ja syöttölinjojen kapasiteetit voivat rajoittaa polttoaineidenkäyttöä.
- Keveytensä ja kokoonpuristuvuutensa vuoksi tietyntyyppiset biopolttoaineet holvautuvat helposti silloihin ja kuljetuslaitteisiin.
- Polttoainevirran on oltava mahdollisimman tasainen ja homogeeninen.

### **Palaminen, lämmönsiirto ja tulipesän ongelmat**

- Polttoaineseos vaikuttaa palamisprofiiliin ja lämmönsiirtoon kattilassa, jotka vaikuttavat edelleen mm. tuotanto- ja päästötasoihin.
- Polttoaineseos ei saa olla liian märkää, jotta tulipesän lämpötilat eivät laske. Märkä polttoaine voi aiheuttaa tuotantotappioita, kun alhaisten lämpötilojen vuoksi kattilan kuormaa rajoitetaan tai halutun kuorman ylläpitämiseksi joudutaan polttamaan parempaa polttoainetta.

## 5. Seospoltteknologiat

- Muodostuvan tuhkan koostumus ja epäpuhtaudet vaikuttavat tulipesäalueen kuonaantumiseen.

### **Kattilan likaantuminen ja puhdistus**

- Likakerrostumien muodostuminen on polttoaineseoskohtaista. Tuhkakerrostumat kattilan lämpöpinnoilla heikentävät lämmönsiirtoa ja alentavat mahdollisesti kattilan hyötysuhdetta. Lämpöpintojen likaantuminen saattaa johtaa pahimmillaan niiden tukkeutumiseen tai vaurioitumiseen.
- Kattilan puhdistuksessa on kiinnitettävä huomiota eri nuohousmenetelmiin.
- Vuosihuollon työmäärään ja kustannuksiin vaikuttaa puhdistustekniikka. Tekniikka on riippuvainen kerrostuman laadusta ja määrästä.

### **Kattilamateriaalien korrosio ja eroosio**

- Likakerrostumien aiheuttamat korroosioriskit eliminoidaan (kattilan materiaalien valinnan, likaantumisen hallinnan ja pintojen puhdistuksen sekä mahdollisten lisä-/suoja-ainelisäysten avulla).
- Lisääntynyt nuohoustarve likaavia polttoaineseoksia käytettäessä voi aiheuttaa tiettyihin kattilan kohtiin liiallista eroosiota. Myös likakerrostumien muodostus voi vaikuttaa virtauksiin ja edelleen eroosiovaikutuksiin.

### **Tuhkan hyötykäyttö/loppusijoitus**

- Tuhkan laatu vaikuttaa hyötykäyttömahdollisuuksiin. Yhteispoltossa kuivan hiilen osuuden oltava vähintään 80 % (SFS 2005).
- Kivihiilituhkan joukossa saa olla enintään 10 % muun kuin kivihiilen tuhkaa, jotta sitä voidaan käyttää betonteollisuuden raaka-aineena. Lentotuhkan hehkutushäviölle esitetään vaatimus siitä, että se ei saa olla suurempi kuin 5,0 % luokassa A ja 7,0 % luokassa B (Suomen Betoniyhdistys 2008).

## 6. Biomassan käytölle tarvittava tuki

### 6.1 Biomassan käytön lisäkustannuksiin vaikuttavat tekijät

Laskentatarkastelua varten olemassa olevien voimaloiden lähtötietojen perusteella valittiin perustapaus, joka kuvaa hyvin keskimääräistä kivihiiltä käyttävää yhteistuotantovoimalaa. Perustapauksessa on käytetty seuraavia lähtöarvoja:

- kivihiilikattilan polttoaineteho: 400 MW
- sähköteho 115 MW
- kaukolämpöteho 230 MW
- huipun käyttöaika 5 000 h/a.

Laskentamenetelmässä verrataan biomassan käytön aiheuttamaa lisäkustannusta perustapaukseen (kivihiili). Lisäkustannukset katetaan joko uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotukena, investointitukena tai näiden yhdistelmänä.

Biomassan käytön kustannukset muodostuvat kivihiiltä polttavissa laitoksissa seuraavasti:

- polttoaineen hinta (biomassa ja fossiilinen)
- biomassan investointikustannukset ja muut kiinteät käyttökustannukset
- biomassan käytön muuttuvat lisäkustannukset
- lämmöntuotannon verot (biomassan osuus veroton)
- CO<sub>2</sub>-päästöoikeuksien osto/myynti
- sähkön tuotantotuki.

Biomassan käytön muuttuvat lisäkustannukset muodostuvat mm. kattilan lämmönsiirtopintojen likaantumisen ja korroosion tuomista käyttö- ja kunnossapitokustannuksista, lisääntyneestä omakäyttö-sähkön kulutuksesta, polton lisäaineiden kulutuksen muutoksista (kalkki, ammoniakki), mahdollisista käytettävyyshäiriöistä (tuotantorajoitukset ja suunnittelemattomat alasajot) sekä tuhkan hävityksestä tai jälkikäytöstä. Tuhkan kustannukset ovat riippuvaisia tuhkan määrästä ja laadusta. Perustapauksessa oletetaan, että puolet tuhkasta menee hyötykäyttöön ja loput kaatopaikalle. Mikäli biomassan tuhkan osuus on yli 10 %, niin kaikki tuhka viedään kaatopaikalle. Lisäksi arvioidaan tuhkan kuljetuskustannusten muutos. Tuhkakustannusten muutos lasketaan perustapaukseen (kivihiilen käyttö) verrattuna.

## 6. Biomassan käytölle tarvittava tuki

Selvityksessä on tarkasteltu seuraavia biomassan käytön vaihtoehtoja:

1. Suora sahanpurun poltto
  - sahanpuru sekoitetaan kivihiilen joukkoon
2. Suora pellettien poltto
  - tarvitaan polttoaineen päivävarasto
  - kuljettimet hiililinjaan
3. Erillinen puulinja
  - polttoainevarasto
  - kuljettimet
  - kuivuri
  - polttimet
4. Kaasutus
  - leijukerroksikaasutin laitteistoinen
  - liitännät kattilaan
  - polttoaineen kuivuri
  - polttoaineen käsittely ja varastointi
5. Biohiili
  - polttoainevarasto
  - kuljettimet hiililinjaan.

Biomassan osuudet ja niitä vastaavat biomassatehot tyyppilaitoksessa ovat taulukon 4 mukaisia. Laskentaan valitut biomassan osuudet ovat maksimiosuuksia, ja käytännössä näihin ei kaikilla laitoksilla ole mahdollista päästä.

Taulukko 4. Biomassan osuudet tarkastelluissa vaihtoehtoissa

	<b>Sahanpuru</b>	<b>Pelletti</b>	<b>Puulinja</b>	<b>Kaasutus</b>	<b>Biohiili</b>
Bio-osuus, %	5	15	30	50	50
Biomassateho, MW	20	60	120	200	200

Eri biomassapolttoaineille on käytetty taulukon 5 hintoja, jotka olivat tyyppisiä vuoden 2011 alussa laitokselle toimitettuna. Logistiikkakustannusten ero, joka syntyy keskikuljetusmatkojen erosta, käytettävistä kuljetusmuodoista ja varastointitarpeesta, on eri laitosten ja polttoainevaihtoehtojen välillä hyvin suuri. Myös polttoaineiden saatavuus ja vuotuinen käyttömäärä vaikuttavat hintatasoon, joten käytännössä samanlaatuisen polttoaineen hankintakustannukset voivat vaihdella eri laitosten välillä jopa 5–10 €/MWh. Biohiilen ja puusta valmistetun polttoöljyn (pyrolyysiöljyn) tuotantokustannuksiin, ja siten hintoihin, sisältyy suuria epävarmuuksia, koska ensimmäiset täysimittaiset laitokset ovat Euroopassa vasta rakenteilla tai käynnistymässä.

Taulukko 5. Laskennassa käytetyt biomassapolttoaineiden hinnat.

Polttoaine	€/MWh
Metsähake	20
Kuiva metsähake	22
Sahanpuru	18
Muut sivutuotteet	18
Peltobiomassa	20
Pelletti	30(–40)
Biohiili	35(–50)

Jalosteilla on perustapauksessa käytetty alinta hintaa, mutta lisäksi on tarkasteltu jalosteen hinnan vaikutusta tarvittavaan tukeen. Lisäksi on tarkasteltu erikseen tapausta, jossa polttoaineena käytetään bioperäistä synteettistä maakaasua, jonka hintana on käytetty 60 €/MWh.

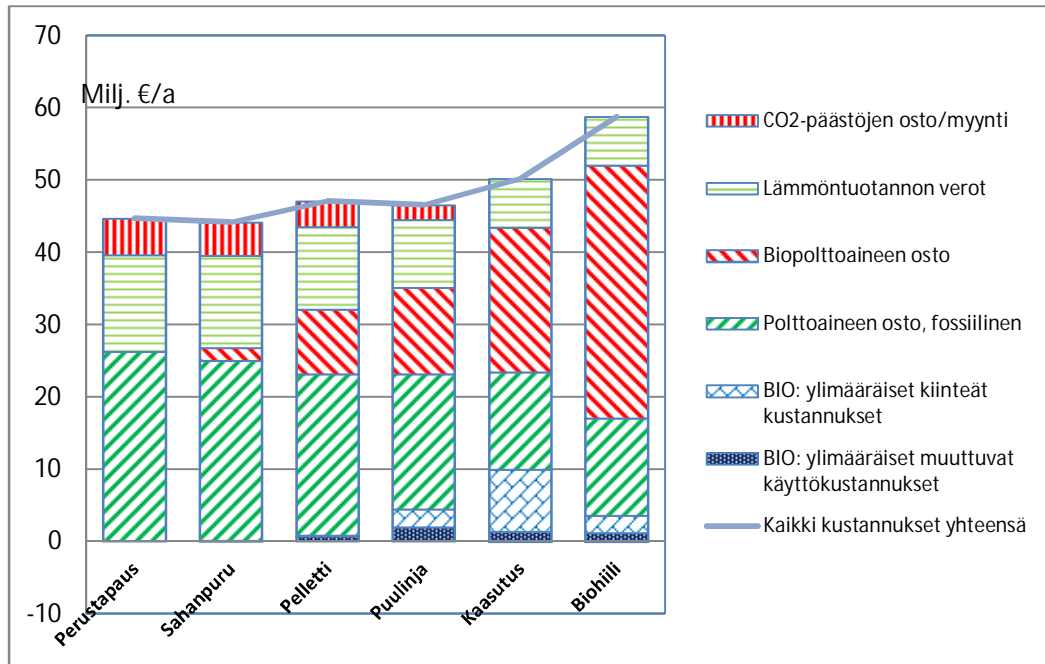
Tarkastelussa käytetyt kivihiilen ja päästöoikeuden hinnat on esitetty taulukossa 6. Vuoden 2011 alussa kivihiilen hinta oli selvästi korkeampi kuin keskimääräinen 2000-luvun hintataso, joka on ollut noin 8 €/MWh. Kummassakin tapauksessa kivihiilen verot pidettiin vuoden 2011 alun tasolla ja päästöoikeuksien ilmaisjaon osuudeksi oletettiin 50 %.

Taulukko 6. Laskennassa käytetyt kivihiilen ja päästöoikeuden hinnat.

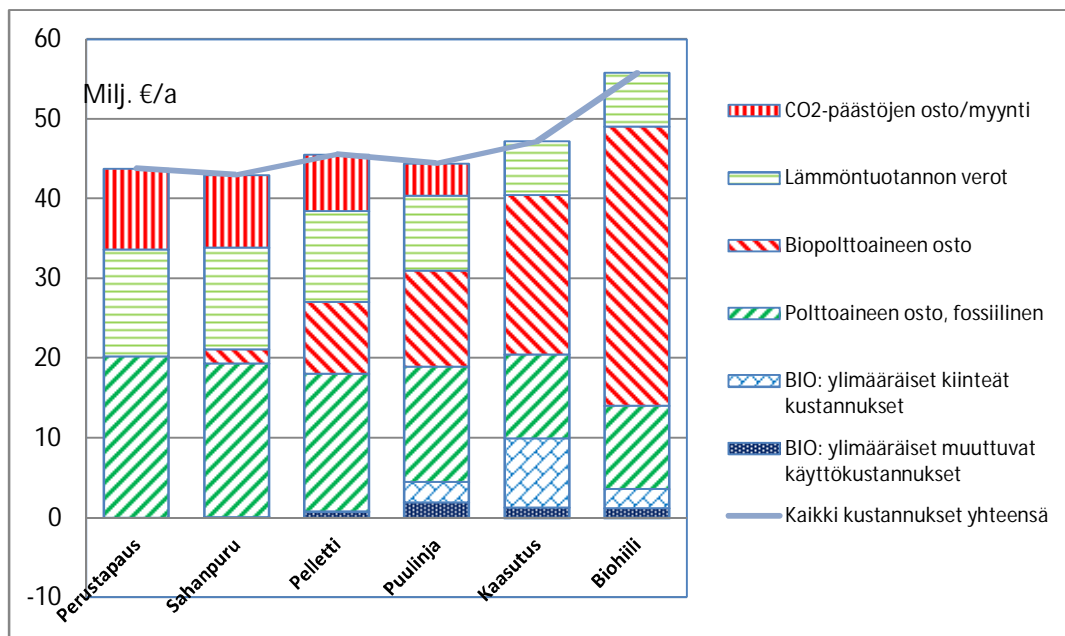
	Vuoden 2011 alku	IEA World Energy outlook (2010) : New policy scenario 2020
Kivihiili (€/MWh)	13	10
Päästöoikeus (€/t)	15	30

Biomassan investointikustannukset on arvioitu olemassa olevien investointitietojen sekä VTT:n aikaisemmissa hankkeissa tehtyjen selvitysten perusteella. Käytännössä laitoskohtaiset erot ovat suuria riippuen paikallisista olosuhteista. Biomassan käytöstä aiheutuvien kustannusten arviointiin on käytetty eri hankkeissa saatuja tietoja. Kuvissa 6 ja 7 esitetään esimerkki kustannusten jakautumisesta eri vaihtoehtoisissa.

## 6. Biomassan käytölle tarvittava tuki



Kuva 6. Biomassan käyttöönottoon liittyvien kustannusten jakautuminen (milj. €/a) lähtötilanteessa (perustapaus) ja eri vaihtoehdoissa valituilla biomassan käytön osuuksilla (5–50 %) ja biomassan hinnoilla tyyppilaitoksessa. Polttoaineiden ja päästöoikeuden hinta vastaa vuoden 2011 alun hintatasoa: kivihiili 13 €/MWh, päästöoikeus 15 €/t.



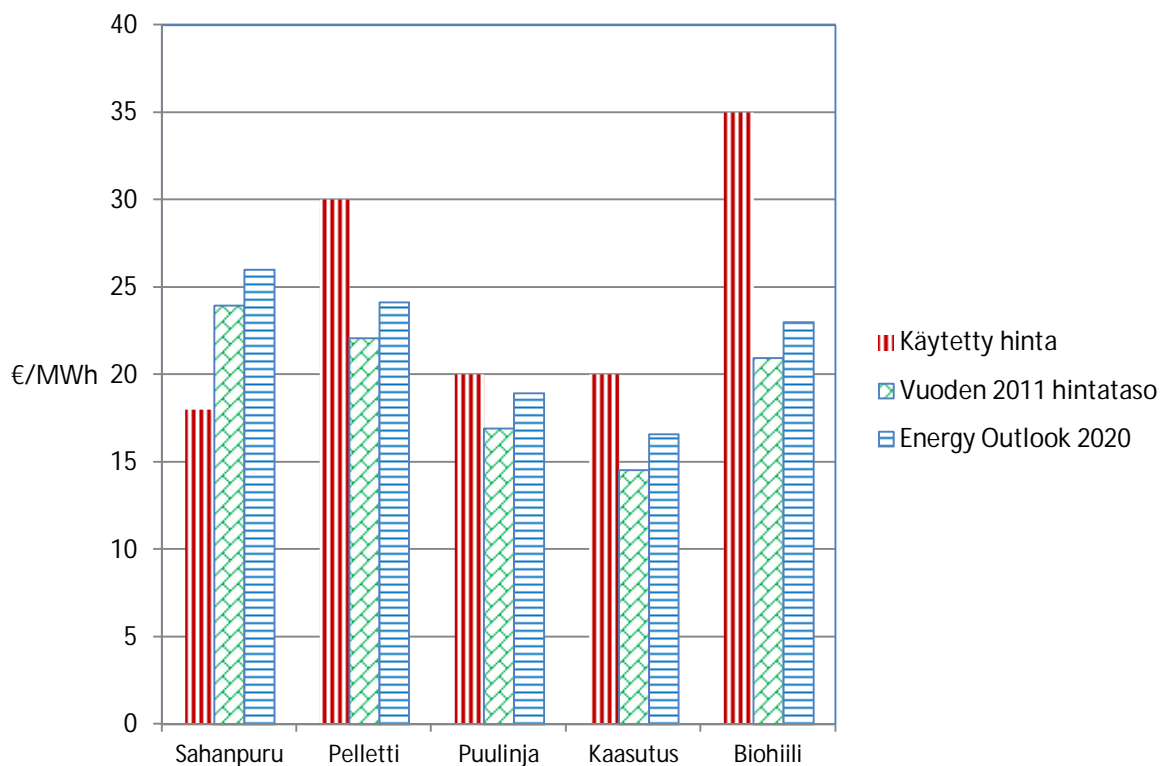
Kuva 7. Biomassan käyttöönottoon liittyvien kustannusten jakautuminen (milj. €/a) lähtötilanteessa (perustapaus) ja eri vaihtoehdoissa tyyppilaitoksessa valituilla biomassan käytön osuuksilla (5–50 %) ja biomassan hinnoilla, joita ei ole muutettu kuvan 1 arvoista. Polttoaineiden ja päästöoikeuden hinta IEA Energy Outlookin (2010) mukaan vuonna 2020: kivihiili 10 €/MWh, päästöoikeus 30 €/t.



Kuvien 6 ja 7 mukaan tärkeimmät kustannuksiin vaikuttavat tekijät ovat

- kivihiilen hinta
- biomassan hinta
- fossiilisten polttoaineiden verot lämmöntuotannossa
- CO<sub>2</sub>-päästöoikeuksien osto/myynti
- investointikustannukset ja muut kiinteät kustannukset.

Kuvassa 8 esitetään eri vaihtoehtojen biomassalle lasketut rajahinnat, jotka biomassasta olisi mahdollista maksaa, jotta vuosikustannuksissa ei tulisi muutoksia siirryttäessä biomassan käyttöön (kuvat 6 ja kuva 7). Kuvassa ei ole otettu huomioon mahdollista sähköntuotannon tukea.



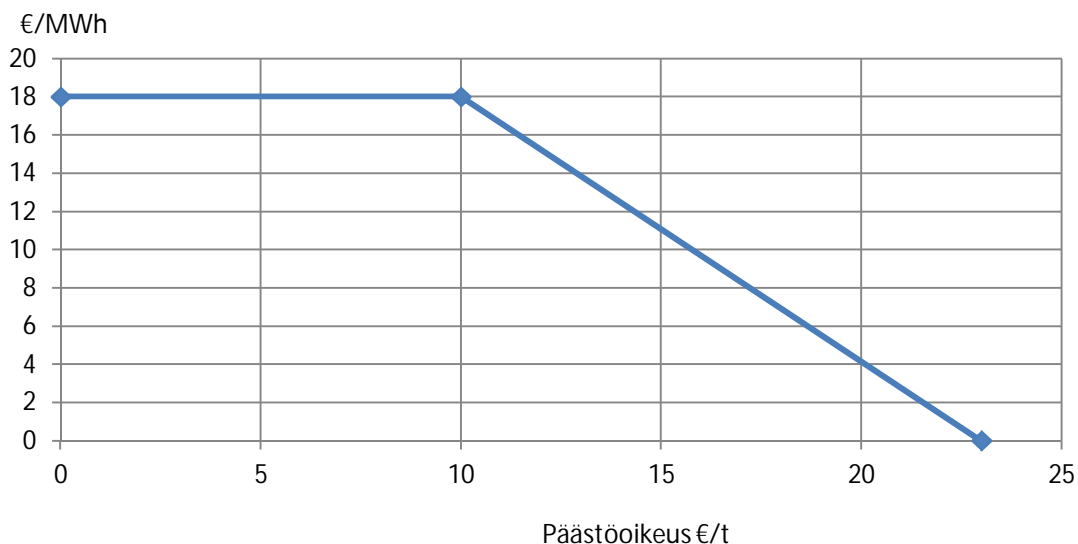
Kuva 8. Maksukyky biomassasta (€/MWh) tarkastelluille teknologioille tyypilaitoksessa. Käytetty hinta: biomassoille valittu hinta laitokselle toimitettuna. Nykyhetki: maksukyky biomassasta, kun kivihiilen hinta on 13 €/MWh ja päästöoikeus 15 €/t. IEA World Energy Outlook (2010) vuodelle 2020: maksukyky biomassasta, kun kivihiili on 10 €/MWh ja päästöoikeus 30 €/t.

Tulokset osoittavat, että kivihiilipölypolttolaitosten maksukyky biomassasta yhteistuotannossa on pienempi kuin biomassojen nykyinen hintataso, lukuun ottamatta sahanpurua, jolla voidaan korvata kivihiiiltä vain alle 5 % ja jonka saatavuus on hyvin rajallinen. Polttoainejalosteilla päästään suuriin korvausosuuksiin, ja polttoainejalosteiden käyttö mahdollistaa biomassan pitkän kuljetusmatkan, jolloin jalosteet voidaan valmistaa siellä, missä on runsaat biomassavarat mutta missä ei ole lähellä muita käyttökohteita, jolloin hintataso on alempi.

## 6.2 Uusiutuville energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuki ja investointituen taso

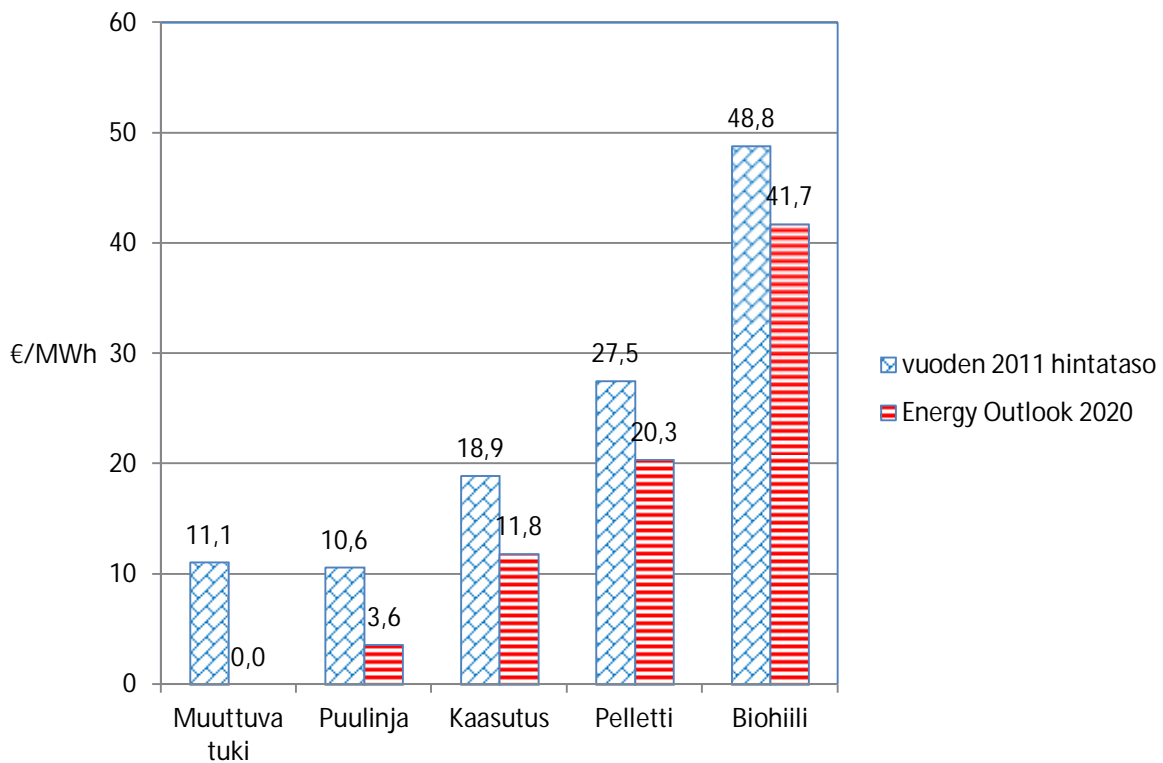
### 6.2.1 Sähkön tuotantotuki

Aikaisempi metsähakkeella tuotetun sähkön kiinteä tuki korvataan päästöoikeuden hinnasta riippuvaksi, muuttuvaksi tuotannon tueksi (VNA 1397/2010). Metsähakevoimalassa tuotantotukeen oikeuttavasta sähkön tuotannosta maksetaan syöttötariffina 18 euroa megawattitunnilta, kun kolmen kuukauden päästöoikeuden markkinahinnan keskiarvo on enintään 10€/t. Syöttötariffi laskee tasaisesti markkinahinnan keskiarvon noustessa, ja sitä ei enää makseta, kun markkinahinta nousee 23 euroon/tonni. Kuvassa 9 on havainnollistettu metsähakkeella tuotetun sähkön tuotannon muuttuvaa tukea.



Kuva 9. Vuonna 2011 voimaan tullut metsähakkeella tuotetun sähkön tuotantotuki päästöoikeuden hinnan mukaan.

Kuvassa 10 tarkastellaan tukitason riittävyyttä yhteistuotannon kivihiilipölypolttolaitoksille. Vuoden 2011 hintatasolla muuttuva sähkön tuotantotuki mahdollistaisi metsähakkeen käytön puulinjalla, mutta kaasutuksen, pellettien ja biohiilen käyttöön tukea tarvittaisiin selvästi enemmän. Vuoden 2020 lähtöarvoilla, joissa biomassan hintataso säilytettiin vuoden 2011 tasolla, mikään vaihtoehto ei ollut kannattava kivihiileen verrattuna. Puulinjalla on rajallinen mahdollisuus kivihiilen korvaamiseen (30%), ja käytännössä tarvittavia muutostöitä ja tiloja ei ole mahdollista järjestää kaikilla laitoksilla.



Kuva 10. Metsähakkeen muuttuva sähkön tuotantotuki (€/MWh<sub>e</sub>) verrattuna sähkön tuotantotuen tarpeeseen yhteistuotannon tyypikivihiililaitoksella vuoden 2011 alun hintatasolla ja IEA:n New Policy Scenarion 2020 (IEA World Energy Outlook 2010) hintatasolla eri teknologisissa vaihtoehdoissa.

Muuttuvan sähkön tuotantotuen nostaminen metsähakkeelle suuremmaksi kivihiili-pölypolttokattiloilla yhteistuotannossa kuin muille suomalaisille voimalaitoksille asettaisi laitokset eriarvoiseen tilanteeseen, jossa kivihiililaitokset voisivat maksaa korkeampaa hintaa polttoaineesta. Koska tarkastellut hiililaitokset sijaitsevat alueilla, joissa on myös muita vaihtoehtoisia polttoaineen käyttäjiä, tuilla olisi ilmeinen vaikutus polttoainemarkkinoihin ja metsähakkeen ohjautumiseen kivihiilikattiloihin monipolttoainelaitosten sijasta. Näiden ilmeisten vaikutusten vuoksi menettely ei tunnu perustellulta.

Vuoden 2020 (IEA World Energy Outlook 2010) kivihiilen ja päästöoikeuden hintatasoilla pelkästään muuttuvan tuotannon tuki ei riitä kattamaan biomassan käytön lisäkustannuksia puulinja- ja kaasutusvaihtoehdoissa. Nykyhetken hintatasolla metsähakkeen muuttuvan tuotannon tuki (11,1 €/MWh) on hieman suurempi kuin laskettu tuen tarve (10,6 €/MWh) puulinjavaihtoehdolle. Pelletti ja biohiili eivät ole oikeutettuja metsähakkeen muuttuvaan sähkön tuotantotukeen.

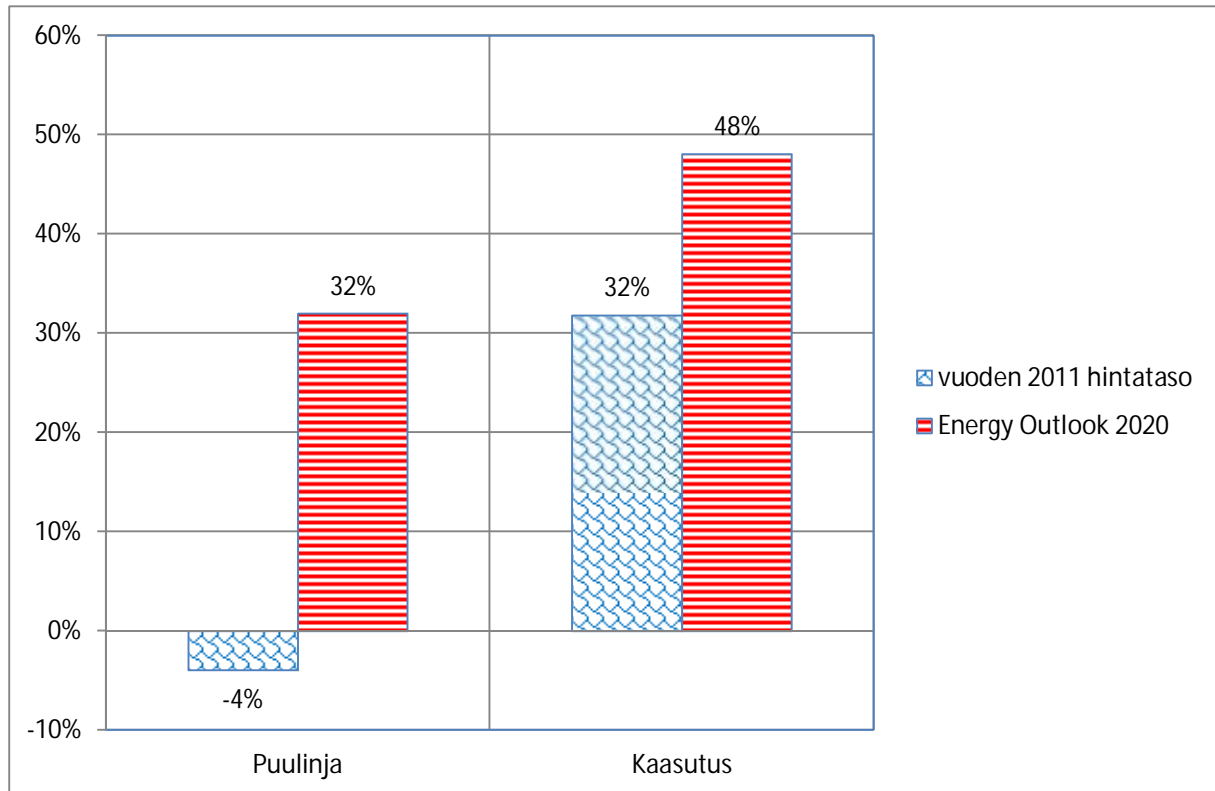
## 6.2.2 Investointituki

Tarkastelussa esitetyistä teknologioista investointituki soveltuu parhaiten kaasutusvaihtoehtoon sekä puulinjalle, koska näissä teknologioissa joudutaan tekemään merkittävä investointi.

Biomassan kilpailukykyä voidaan parantaa vaihtoehtoisesti myös investointitukien avulla (kuva 11). Tarkasteluun on valittu vaihtoehdot, joissa laitoksille on tarve tehdä merkittäviä investointeja. Valituilla

## 6. Biomassan käytölle tarvittava tuki

lähtöarvoilla tarvittava investointituki tyypilaitokseen lisätylle biomassan kaasutukselle on yli 30 %. Puulinja ei tarvitsisi tukea vuoden 2011 tilanteessa, jossa kivihiilen hinta on erittäin korkea, mutta tukitarve vuoden 2020 hintatasolla olisi yli 30 %.



Kuva 11. Investointituen tarve prosentteina investoinneista puulinja- ja kaasutusvaihtoehdossa tyypilaitokselle kahdella eri kivihiilen ja päästöoikeuden hintatasolla. Vuoden 2011 hintataso: kivihiili 13 €/MWh, päästöoikeus 15 €/t. Vuoden 2020 hintataso IEA World Energy Outlookin (2010) mukaan: kivihiili 10 €/MWh ja päästöoikeus 30 €/t.

Laitoskohtaiset tarkastelut osoittivat, että tekniset mahdollisuudet toteuttaa biomassan korvaaminen ovat hyvin tapauskohtaisia ja kustannukset vaihtelevat erittäin paljon. Investointeja vaativien vaihtoehtojen toteuttaminen on luonnollisesti edullisinta laitoksilla, joiden vuotuinen käyttöaika on pitkä ja laituskoko suuri. Pienimmät vaihtelut tukitarpeissa laitojen välillä on käytettäessä jalosteita, joissa valtaosa lisäkustannuksista tulee kalliimmasta polttoaineen hinnasta.

Kuvan 11 mukaan investointituen tarve riippuu huomattavan paljon käytetyistä lähtöarvoista. Vuoden 2011 hintatasossa päästöoikeuden hinta on tasolla 15 €/t, joten metsähakkeelle muuttuvan tuotannon tuki on noin 11 €/MWh. Vuoden 2020 hintatasolla päästöoikeuden hinta on 30 €/t ja muuttuvan tuotannon tuki on nolla.

Kaasutusvaihtoehdossa sähkön tuotantotuki huomioon ottaen investointitukea tarvitaan runsaammin, 32 % ja 48 %. Vuoden 2020 hintatasolla kaasutusvaihtoehto tarvitsee joko erittäin suuren investointiavustuksen tai sähkön tuotantotuen. Sähkön tuotantotuen on oltava olennaisesti suurempi kuin vuonna 2011 käyttöön otettu muuttuva tuotantotuki, ja sitä pitää saada myös korkeilla päästöoikeuden hinnoilla.

Mikäli investointitukea voidaan saada enintään 30 % ja sähkön tuotantotuki on nykyisen muuttuvan tuotantotuen mukainen, kaasutusvaihtoehto ei ole kannattava. Puulinjavaihtoehto on kannattava vuoden 2011 hintatason mukaan, mutta ei vuoden 2020 hintatasolla.

### **6.3 Tukien soveltuvuus eri teknologiavaihtoehtojen ja vaikutus hiilen käyttöön**

Kun biomassalla halutaan korvata kivihiiltä, useita biomassapolttoainevaihtoehtoja ja teknologioita on käytettävissä. Vaihtoehdot poikkeavat toisistaan merkittävästi. Jotkut teknologioista voidaan ottaa käyttöön välittömästi, toisaalta jotkut vaativat huomattavaa kehitystyötä. Eri teknologioiden käyttöönottoon liittyy myös polttoaineen laadulle ja prosessoinnille asetettavat vaatimukset. Periaatteessa on teknologioita, jotka vaativat merkittävän investoinnin, mutta voivat käyttää edullisia polttoaineita. Vaihtoehtoisesti panostamalla polttoaineen ominaisuuksien parantamiseen voidaan laitosinvestointia olennaisesti halventaa, toisaalta polttoaineen jalostaminen nostaa polttoaineen hintaa. Seuraavassa luettelossa esitetään lyhyesti eri teknologioiden käyttöönottoon liittyviä tekijöitä,

#### Sahanpuru

- helppo ottaa käyttöön, koettua tekniikkaa
- polttoaineen saatavuus on rajallinen
- hiiltä voidaan korvata vain pieniä määriä, tyypillisesti 2–5 % polttoaineesta
- tuentarvetta ei ole.

#### Pelletti

- helppo ottaa käyttöön, koettua tekniikkaa
- voidaan käyttää noin 15–20 % kattilan polttoaineesta
- pelletin hinta ja saatavuus voivat vaihdella
- sähkön tuotantotuki soveltuu hyvin tukimuodoksi
- tarvittava tukitaso on melko korkea.

#### Puulinja

- polttoaine on kuivattava joko käyttöpaikalla tai esimerkiksi terminaaleissa; tarkastelussa kuivauksen oletetaan tapahtuvan laitoksella
- laitteisiin tarvitaan merkittävä investointi
- voidaan käyttää merkittävä määrä (30 % kattilan polttoaineesta)
- tarkastelluilla hiilen ja päästöoikeuden hinnoilla pelkkä metsähakkeella tuotetun sähkön tuotantotuki ei riitä, vaan tarvitaan myös investointitukea.

#### Kaasutus

- kaasutuksella päästään suureen biomassan määrään, jopa 50 %:iin
- merkittävä investointi muihin vaihtoehtoihin verrattuna
- voidaan käyttää monipuolisesti edullisia biomassoja: metsähaketta, puhdasta purkupuuta

## 6. Biomassan käytölle tarvittava tuki

- tarvitaan sekä investointituki että nykyistä metsähakkeella tuotetun sähkön tuotantotukea suurempi tuki.

### Biohiili, myös bioöljy, synteettinen biokaasu

- saatavilla vasta lähitulevaisuudessa, ei koettua teknologiaa
- helppokäyttöinen; ei vaadi suurta investointia käyttöpaikkaan
- ovat huomattavan kalliita vaihtoehtoja, ja vaativat huomattavan korkean sähkön tuotantotuen.

Kivihiilen käyttö on viime vuosina ollut tarkastelluissa laitoksissa 14 TWh:n luokkaa. Kun uusiutuvan energian käytössä kivihiilikattiloissa pyritään merkittävään osuuteen (> 30 %), parhaimmat vaihtoehdot ovat kaasutus ja biohiili sekä erilliset puulinjat. Biomassan 30 %:n osuus energiasta CHP-kivihiilivoimaloissa vastaa noin 4 TWh:ia ja 50 %:ia vastaa noin 7 TWh.

Suorat seospolttomenetelmät ovat edullisia verrattuna esimerkiksi kaasutusvaihtoehtoihin, mutta niiden vaikutukset uusiutuvien energialähteiden lisäkäyttöön ovat vähäisemmät.

## 7. Bioenergian saatavuus kivihiilen pölypoltto-CHP-laitoksille

Kivihiltä käyttävät voimalat sijaitsevat pääosin rannikon välittömässä läheisyydessä, vain Lahti sijaitsee sisämaassa ja Vantaa jonkin verran kauempana rannikosta. Kivihiltä käyttävät voimalat sijaitsevat Vaasaa lukuun ottamatta Etelä-Suomessa. Kivihiltä käyttävien voimaloiden lähialueella on merkittäviä biopolttoaineita käyttäviä voimaloita. Taulukossa 7 on lueteltu suurimmat voimalat ja niiden vuotuinen polttoaineiden käyttö.

Taulukko 7. Biomassaa polttoaineenaan käyttävät laitoksia.

	<b>Voimala</b>	<b>Polttoaineen kokonaiskäyttö, GWh</b>
Uusimaa	Porvoon Energia	350
Uusimaa	Keravan Energia	500
Varsinais-Suomi	Turku Energia, Oriketo	300
Uusimaa	Tammisaaren Energia	150
Päijät-Häme	Stora Enso, Heinola	500
Kanta-Häme	Vattenfall, Hämeenlinna	450
Kymi	Kouvola, Kymin Voima	1 000
Satakunta	Rauman Voima	1 500
Häme	Vapo Oy, Forssa	350
Varsinais-Suomi	Vapo Oy, Salon voimala	300
Etelä-Pohjanmaa	Seinäjoki, Vaskiluodon Voima	2 000
Pohjanmaa	Pietarsaari, Alholmens Kraft	4 000

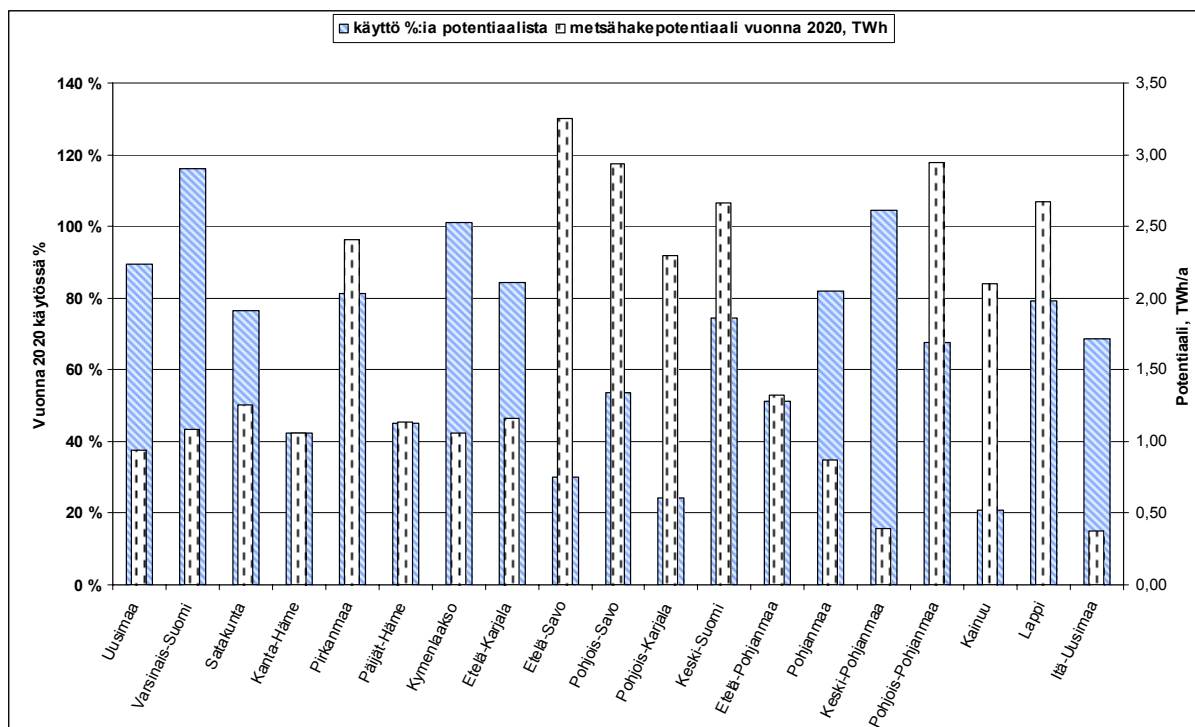
Lisäksi Fortum on käynnistänyt vuonna 2011 Järvenpään voimalahankkeen, 450 GWh.

Pirkanmaa on pääkaupunkiseutua, Turku ja Lahtea lähin alue, jossa olisi metsähakepotentiaalia enemmän kuin käyttökohteita (kuva 12). Lisäksi näillä alueilla olisi mahdollisuus ottaa käyttöön jonkin verran peltobiomassoja. Myös Pohjanmaalla on Vaasaa ajatellen enemmän metsähakepotentiaalia kuin käyttökohteita, samoin mahdollisuuksia peltobiomassojen käyttöön. Biomassan käytön lisäkuksannukset ovat luonnollisesti pienimmät laitoksilla, joiden ympärillä on runsaasti biomassaa ja vähiten

## 7. Bioenergian saatavuus kivihiilen pölypoltto-CHP-laitoksille

muita käyttökohteita. Karkeana arviona voi esittää, että jatkossakin pääkaupunkiseutua lukuun ottamatta biomassaa on saatavilla 500 GWh alle 150 km:n kuljetusetäisyyksillä tarkastelluille laitoksille.

Eniten hyödyntämätöntä metsähakepotentiaalia on Pohjois-Karjalassa, Savossa ja Kainuussa, joista pitkät kuljetusmatkat edellyttäisivät vesi- tai rautatiekuljetuksia tai metsähakkeen valmistamista jalosteiksi (kuva 12). Viidensadan kilometrin vesi- tai rautatiekuljetus lisäisi kustannuksia jalosteille noin 5 €/MWh.



Kuva 12. Arvio vuoden 2020 metsähakkeen käytöstä verrattuna alueiden metsähakepotentiaaliin (Laitila et al. 2011).

Biomassavaroilla on useita vaihtoehtoisia energiakäyttökohteita. Jalostettuja biopoltoaineita voidaan käyttää ei-päästökaupasektorilla etenkin rakennusten lämmitykseen merkittävästi lisää, jolloin voidaan korvata lämmitysöljyn käyttöä. Metsähaketta voidaan käyttää monipoltoainevoimalaitoksissa korvaamaan turpeen ja kivihiilen käyttöä. Suunnitteilla oleva toisen sukupolven liikenteen biopoltoaineiden valmistus puuperäisistä raaka-aineista edellyttäisi suurten yksikkökoon laitoksia ja vaikuttaisi olennaisesti biopoltoaineiden saatavuuteen sijaintipaikkakuntiansa ympärillä.

Vaihtoehtoisia biomassoja ovat viljan olki ja ruokohelvi. Suomessa olkea on hyödynnetty energiantuotannossa erittäin vähän, mutta Tanskassa olkea on käytetty pitkään seospoltoaineena suurissa kivihiilikattiloissa. Suomen olkisadon määräksi on arvioitu runsaat 13 TWh (taulukko 8). (Pahkala et al. 2009.)



7. Bioenergian saatavuus kivihiilen pölypoltto-CHP-laitoksille

Taulukko 8. Suomen olkisadon arvio TE-keskuksittain.

TE keskus	Ala 1000 ha	Jyväsato milj. kg	Olkisato		
			milj. kg, ka	EJ	TWh
Uusimaa	114	452	323	0,0058	1,6
Varsinais-Suomi	119	770	499	0,0090	2,5
Satakunta	88	331	213	0,0038	1,1
Häme	113	433	275	0,0049	1,4
Pirkanmaa	89	299	194	0,0035	1,0
Kaakkois-Suomi	75	261	178	0,0032	0,9
Etelä-Savo	22	65	40	0,0007	0,2
Pohjois-Savo	45	139	82	0,0015	0,4
Pohjois-Karjala	26	72	45	0,0008	0,2
Keski-Suomi	36	113	72	0,0013	0,4
Etelä-Pohjanmaa	129	487	305	0,0055	1,5
Pohjanmaa	98	379	227	0,0041	1,1
Pohjois-Pohjanmaa	93	303	178	0,0032	0,9
Kainuu	5	14	8	0,0001	0,0
Lappi	2	5	3	0,0000	0,0
Ahvenanmaa	4	16	10	0,0002	0,1
<b>YHTEENSÄ</b>	<b>1 058</b>	<b>4 139</b>	<b>2 652</b>	<b>0,0476</b>	<b>13,2</b>

1 EJ = 277,8 TWh

Viljasta suurin osa tuotetaan Etelä- ja Länsi-Suomessa (Uudenmaan, Varsinais-Suomen, Hämeen ja Etelä-Pohjanmaa maakunnissa), joten valtaosa olkisadosta sijaitsee kohtuullisella etäisyydellä kivihiiltä käyttävistä voimaloista.

## 8. Arvio kivihiilen korvausmahdollisuudesta ja tukitarpeesta

### 8.1 Tilanne lähivuosina

Käytännön mahdollisuudet kivihiilen korvaamiseen biomassoilla edellä kuvatuilla vaihtoehdoilla vaihtelevat erittäin paljon eri laitoksilla. Kattilan mitoitus vaikuttaa olennaisesti kivihiilen maksimikorvausosuuteen ilman merkittävää suoritusarvojen (teho, hyötysuhde, rakennusaste) laskua. Voimalaitoksen tontin koko ja kattilan sijoitus tontilla vaikuttaa teknisiin vaihtoehtoihin toteuttaa biomassan purku, käsittely ja varastointi. Tontin sijainti vaikuttaa siihen, voidaanko biomassaa tuoda myös rautatie- tai vesikuljetuksena, vai onko tiekuljetus ainoa vaihtoehto.

Biomassan käyttöönotto lisää jonkin verran laitoksen muuttuvia käyttökustannuksia mm. huolto- ja kunnossapitokustannusten, kattilan käytettävyyden mahdollisen laskun ja merkittävämmiin kaasuttimen omakäyttöenergian tarpeen vuoksi. Biomassan lisääminen vaikuttaa myös tuhkan laatuun ja sen hyötykäyttämömahdollisuuksiin sekä kattilan päästöihin, joskaan niiden merkitys ei useimmissa tapauksissa ole merkittävä.

Investointien kannattavuuteen ja siten halukkuuteen tehdä investointeja kivihiilen korvaamiseksi vaikuttavat olennaisesti kattilalle suunniteltu jäljellä oleva käyttöikä ja laitoksen vuotuinen käyttöaika. Laitosten rikki- ja typenoksideja ja hiukkaspäästöjä koskevat päästömääräykset kiristyvät vuodesta 2016 alkaen teollisuuspäästöjä koskevan IE-direktiivin (2010) mukaisesti, ja niiden täyttäminen edellyttäne useilla laitoksilla merkittäviä investointeja. Useimmat laitokset ovat kertoneet tekevänsä linjauksensa investointipäätöksistä vuosina 2012–2013. Direktiivin implementointi suomalaisen lainsäädäntöön on valmisteilla, joten kaikki yksityiskohdat eivät ole vielä selvillä. Jos tarvittavia investointeja päästöjen vähentämiseksi ei tehdä, laitos voi toimia vain rajoitetun kokonaistuntimäärän tai vuotuisen käyttötuntimäärän vuoden 2016 jälkeen. Useimmissa kaupungeissa on tehty vaihtoehtoisia suunnitelmia, ja eräs vaihtoehto on korvata nykyinen kivihiilikattila uudella leijuteknologiaa käyttävällä monipolttoainelaitoksella, jossa voidaan käyttää suurta valikoimaa kiinteitä polttoaineita, mukaan luettuna kivihiili ja biomassat. Tarkastelluista kattiloista vanhimpia ovat Naantalın kattilat, ja Turun seudulla on esitetty mahdollisuutena rakentaa nykyisiä hiilikattiloita korvaava monipolttoainelaitos jo vuoteen 2020 mennessä.

Lahdessa, Vantaalla ja Vaasassa on rakenteilla jätteitä käyttävä CHP-laitos, joka vähentää kivihiililaitoksen käyttötarvetta merkittävästi, arviolta lähes 2 TWh vuodessa. Helsingin, Espoon ja Vantaan

kivihiilikattiloiden hiilen käyttömäärään vaikuttaa myös kivihiili- ja maakaasukattiloiden ajojärjestys, joka riippuu etenkin polttoaineiden hintojen suhteesta ja markkinasähkön hinnasta.

### 8.2 Suositukset mahdollisista tukitoimista

Biomassoja ei ole selvityksen mukaan tarjolla merkittäviä määriä nyt eikä vuodelle 2020 käytetyssä arviossa hinnoilla, jotka mahdollistaisivat kivihiilen huomattavan korvaamisen yhteistuotannon kivihiilipölypolttokattiloissa. Metsähakkeen muuttuvan sähkön tuotantotuen nostamiselle merkittävästi korkeammaksi yhteistuotannon kivihiilipölypolttolaitoksissa kuin muissa laitoksissa ei ole perusteita, sillä laitosten läheisyydessä on vaihtoehtoisia käyttökohteita metsähakkeelle.

Investointiavustukset puulinjoihin ja kaasuttimiin sitouttaisivat kattilan käyttäjää biomassan käyttöön merkittävällä osuudella (jopa 30–50 %) ja mahdollistaisivat monipuolisen polttoainevalikoiman (metsähake, metsäteollisuuden sivutuotteet, puhdas purkupuuh, osin myös peltobiomassat). Metsähakkeen muuttuvan sähkön tuotantotuen laajentaminen peltobiomassoille lisäisi hiilikattiloilla lähistöltä saatavien polttoaineiden valikoimaa.

Niissä laitoksissa, joissa tilanpuute estää kaasuttimien ja puulinjojen rakentamista sekä polttoaineen käsittelyä ja varastointia, olisi mahdollista käyttää polttoainejalosteita, kuten pellettejä, biohiiltä tai bioöljyjä. Ne kaikki mahdollistavat pitemmät kuljetusmatkat ja siten valmistuksen alueilla, joilla on tarjolla biomassaa edullisemmin kuin suuren kysynnän alueilla. Muuttuva sähkön tuotannon tuki voitaisiin asettaa jalosteille korkeammalle tasolle kuin metsähakkeelle, ja samalla voitaisiin edellyttää kivihiilen korvaukselle vuotuinen minimitaso (yli 150 GWh), jotta kivihiilen korvausmäärä olisi merkittävä. Se loisi helpommin ennakoitavan markkinavolyymin myös jalosteiden valmistajille. Pelletin tuotantokapasiteetti on Suomessa 700 000 tonnia (3,4 TWh), nykytuotannon ollessa 300 000 tonnin luokkaa (1,4 TWh), mistä vientiin on mennyt selvästi yli puolet. Teollisuuslaatuisten pelletin käyttö kivihiililaitoksissa, etenkin lämmityskauden huipun ulkopuolella, voisi siten lisätä bioenergian kokonaiskäyttöä Suomessa eikä vain siirtää sitä käyttökohteesta toiseen, mikä on mahdollista metsähakkeen osalla.

Pellettien hinnan perusteella asetettava muuttuvan sähkön tuotantotuki ei näyttäisi riittävän biohiilelle, bioöljyille tai synteettiselle maakaasulle. Näiden vasta markkinoille tulossa olevien jalosteiden käyttöönotto edellyttäisi lisäksi investointiavustuksia ainakin ensimmäisiin tuotantolaitoksiin.

Päästöoikeuden ja hiilen hintataso (maailman markkinahinta ja verot) ovat niin ratkaisevia biomassan kilpailukyvyille, että ne tulisi ottaa huomioon sähkön tuotantotuen suuruuden määrittelyssä.

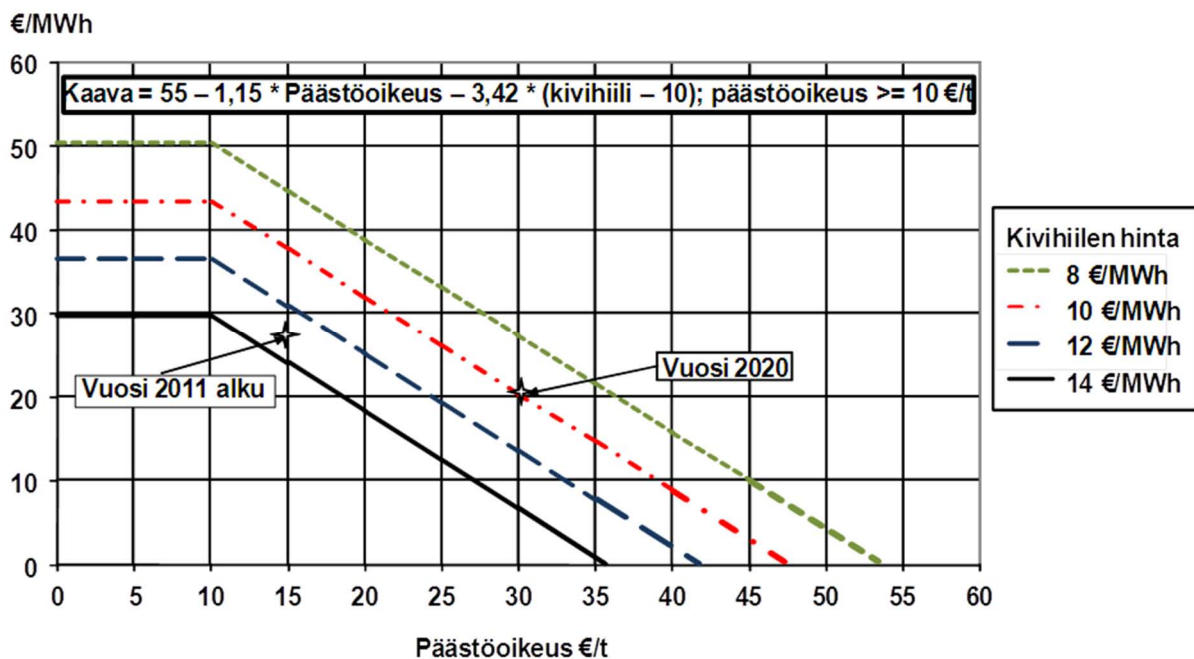
Arvio kivihiilen korvausmahdollisuudesta ja tukitarpeesta on alla.

#### 1. Muuttuva sähkön tuotantotuki hiilipölypolttolaitosten yhteistuotannossa käytettäessä jalosteita:

- Kuvassa 13 on arvioitu tarvittava tukitaso (€/MWh) euroina tuotettua yhteistuotannon sähkömäärää kohti eri kivihiilen ja päästöoikeuden hinnoilla.
- Alle 10 €/t:n päästöoikeuden hinnoilla tukitaso on esitetty vakioksi, jotta tuki ei kasvaisi missään tilanteessa erittäin korkeaksi.
- Pääosin puusta, osin myös peltobiomassoista valmistettujen teollisuuspellettien käyttö voisi tuen ansiosta nousta arviolta 0,5–0,8 TWh:n vuositasolle.

## 8. Arvio kivihiilen korvausmahdollisuudesta ja tukitarpeesta

- Tuki olisi vuoden 2011 alun hintatasolla 27,5 €/MWh<sub>e</sub>, mikä nostaa maksukykyä polttoaineesta 7,8 €/MWh kyseessä olevissa laitoksissa.
- Tuen vuosikustannukset olisivat edellä arvioiduilla käyttömäärillä 3,9–6,2 milj. €
- Vuoden 2020 arvioidulla hintatasolla tuki olisi 20,5 €/MWh<sub>e</sub>, mikä nostaa maksukykyä polttoaineesta 5,8 €/MWh isoissa CHP-laitoksissa, ja tuen vuosikustannukset olisivat 2,9–4,6 milj. €
- Tuen saamiseksi jalosteiden käytölle voitaisiin asettaa minimimäärä, 150 GWh/laitos.



Kuva 13. Tukitarve (€/MWh<sub>e</sub>) yhteistuotannossa biomassoista valmistetuilla jalosteilla tuotetulle sähkölle eri päästöoikeuden ja kivihiilen hinnoilla olettaen, että jalosteita on tarjolla hintaan 30 €/MWh.

### 2. Päästöoikeuden mukaan muuttuva sähkön tuotantotuki peltobiomassoille (kuten metsähake):

- Tuki olisi vuoden 2011 alun hintatasolla 11 €/MWh<sub>e</sub>, mikä nostaa maksukykyä polttoaineesta 3,1 €/MWh isoissa CHP-laitoksissa.
- Peltobiomassojen käytön lisäys olisi arviolta 1 TWh, josta arviolta puolet kivihiilen korvaten.
- Tuen vuosikustannukset olisivat kokonaisuudessaan 3,1 milj. €
- Vuoden 2020 arvioidulla hintatasolla tukea ei maksettaisi.

### 3. Investointikustannusten tukeminen kaasuttimien ja puulinjojen rakentamiseksi:

- Tarvittavat investoinnit vaihtelevat merkittävästi laitoksittain, ja tarvittavat tukitasot ovat 30–40 % investointikustannuksista.
- Investointien tukeminen edellyttää nykyisessä lainsäädännössä uuden teknologian käyttöönottoa.

## 8. Arvio kivihiilen korvausmahdollisuudesta ja tukitarpeesta

- Biomassaa käyttäviä kaasuttimia voitaisiin investoida arviolta 300 MW polttoaineteholle, esimerkiksi neljään eri laitokseen, ja niiden polttoaineen käyttö olisi arviolta 2 TWh.
- Investointituen tarve olisi kaasuttimille arviolta 40 milj. €(kokonaisinvestoinnit 100 milj. €).
- Laitteistojen mitoitukselle voitaisiin asettaa minimiteho, esimerkiksi 15 % kattilan polttoainetehosta.
- Kaasuttimille vaihtoehtoisten puulinjojen yhteenlaskettu polttoaineteho ja polttoaineen tarve voisi ylittää noin puoleen kaasuttimien vastaavista arvoista, samoin kokonaisinvestointien tuki-tarve.

### 4. Uuden teknologian demonstrointilaitosten rakentaminen jalosteiden valmistukseen:

- Sekä torrefioidun eli paahdetun biomassan (biohiili) että pyrolyysiöljyn valmistuksesta ei ole Suomessa käyttökokemuksia suuressa kokoluokassa, mutta valmiudet demonstraatiolaitosten rakentamisen käynnistämiseen ovat jo olemassa.
- Jos molemmat demonstraatiolaitokset toteutettaisiin noin 40–50 MW:n polttoaineteholuokassa, niiden kummankin tuotanto olisi luokkaa 0,3 TWh jalosteita.
- Investointituen tarve investointikustannuksista olisi 40 %, yhteensä 40 milj. €
- Demonstrointilaitoksista hankittujen käyttökokemusten perusteella tuotantoa olisi mahdollista nostaa useaan TWh:iin vuoteen 2020 mennessä.
- Maakaasuverkkoon syötettävän synteettisen maakaasun kustannustehokas tuotanto edellyttää tuotantolaitoksilta suurta yksikkökoko (1,5–2 TWh/a). Laitosten pääkomponenttien teknologiakehitys on käynnissä toisen sukupolven liikenteen biopolttoaineita tuottavien BTL-laitosten yhteydessä, ja Ruotsissa on julkistettu vuoden 2011 alussa 30 MW-demonstrointilaitoksen rakentamispäätös, joten täysimittainen demonstrointi lienee ajankohtaista Suomessa vuoden 2015 jälkeen.
- Maakaasuverkkoon voidaan syöttää myös mädätysprosesseista saatavaa biokaasua, mistä on paljon käyttökokemuksia Keski-Euroopasta.
- Bioperäinen maakaasu kannattaa käyttää maakaasulaitoksissa, joten se voi korvata kivihiihtä välillisesti, kun kivihiihtilaitosten käyttö vähenee.

## 8. Arvio kivihiilen korvausmahdollisuudesta ja tukitarpeesta

Taulukko 9. Yhteenveto kivihiilen korvausmahdollisuudesta ja lisätukitarpeesta vuoteen 2015.

Toimenpide	Kivihiilen korvausmahdollisuus lähivuosina TWh/a	Tarvittava lisätuki laskettuna nykyhinnoilla	Tuki yhteensä milj.€/a
Jätteenpolttolaitosten valmistuminen	2, uusiutuvaa 50%		
Monipolttolaitos Turun seudulle	1		(sähkön tuotantotuki metsähakkeelle ja peltobiomassoille)
Sahanpuru, edullisten polttoaine-erien käyttö	0,2		
Pellettien käytön edistäminen: päästöoikeuden ja kivihiilen hinnan mukaan muuttuva sähkön tuotantotuki	0,5 – 0,8 Pelleteillä	27,5 €/MWh yhteistuotantosähkölle	3,9 – 6,2
Peltobiomassan käytön edistäminen: päästöoikeuden hinnan mukaan muuttuva sähkön tuotantotuki (kuten metsähake)	0,5	11 €/MWh yhteistuotantosähkölle	1,6
Energiatuen vaihtoehdot		40 % investoinnista TAI	yht. 40 milj.€ TAI
a) tuki uuden teknologian kaasuttimille	2	(40% investoinnista)	(yhteensä 20 milj.€)
b) tuki uuden teknologian puulinjoille	(1)		
Biohiilen, pyrolyysiöljyn ja vastaavien jalosteiden käytön edistämiseksi:			
a) Investointituki uuden jalosteteknologian demonstroinnille SEKÄ	0,6	40 % investoinnista SEKÄ	yht. 40 milj. € SEKÄ
b) Päästöoikeuden ja kivihiilen hinnan mukaan muuttuva sähkön tuotantotuki jalosteille (vastaava kuin pellettisähkön tuki)		27,5 €/MWh yhteistuotantosähkölle	4,7
<b>Yhteensä uusiutuvaa polttoainetta - uusiutuvaa energiaa (loppukulutus)</b>	<b>5,8 – 7,1 4,9 – 6,0</b>		<b>Tuot.tuet 10,2 – 12,5 milj. €/a Inv.tuet 80 milj.€</b>

Jalosteiden käyttöä lisäämällä voidaan kivihiilen korvausta lisätä edelleen vuoteen 2020 mennessä. Myös uusien monipolttolaitosten rakentaminen korvaamaan nykyisin käytössä olevia yhteistuotannon kivihiilipölypolttokattiloita mahdollistaisi biomassan käytön merkittävän lisäämisen. Laskelmissa on arvioitu, että näin tapahtuu Turun seudulla vuoteen 2020 mennessä. Arvioiden mukaan muut investoinnit toteutuvat pääosin aikavälillä 2020–2030. Esitettyjen tukitoimien ei arvioida vaikuttavan olennaisesti laitosten investointipäätösten tekoon.

## Tukitoimien vaikutusten arviointia

Taulukko 10. Yhteenveto eri tukitoimien myönteisistä vaikutuksista sekä mahdollisista riskeistä.

Toimenpide	Myönteiset tekijät	Mahdolliset riskit ja uhat
Pellettien käytön edistäminen - päästöoikeuden ja kivihiilen hinnan mukaan muuttuva sähkön tuotantotuki	Vähentää mahdollisesti pellettien vientiä Nopeasti käyttöönotettavissa Käyttöönotosta käyttäjälle vähän riskejä	Ylisuuri tuki siirtäisi pellettejä pienkäytöstä pois Metsäteollisuuden raaka-aineita energiakäyttöön (esim. sellutehtaiden purukeittimet, levyteollisuus)
Peltobiomassan käytön edistäminen - päästöoikeuden hinnan mukaan muuttuva sähkön tuotantotuki (vastaava kuin metsähakesähkön tuki)	Hyödynnettävät biomassavarat kasvavat	Käytettävyyseriskit kasvavat kattiloilla Suuret vuotuiset vaihtelut saatavuudessa (olki)
Energiatuki uuden teknologian kaasuttimille TAI vaihtoehtoisesti Energiatuki uuden teknologian puulinjoille	Mahdollisuus hyödyntää monia biomassoja Sitoutuminen biomassan käyttöön investoimalla Mahdollisuus suureen hiilenkorvausosuuteen	Lisää kilpailua biomassasta ko. alueella ja nostaa siten mahdollisesti hintatasoa
	Kohtuullisen pieni investointi Sitoutuminen biomassan käyttöön	Suomessa ei ole käyttökokemuksia
Energiatuki uuden jalosteteknologian demonstroinnille SEKÄ biohiilen, pyrolyysiöljyn ja vastaavien jalosteiden käytön edistämiseksi päästöoikeuden ja kivihiilen hinnan mukaan muuttuva sähkön tuotantotuki jalosteille (vastaava kuin pellettisähkön tuki)	Mahdollisuus hyödyntää biomassavaroja alueita, joissa ei käyttökohteita, suuret korvausosuudet. Mahdollistaa pitkät kuljetukset ja varastoinnin Mahdollistaa teknologioiden kehittämisen jatkossa tuottamaan arvokkaampia tuotteita öljyn korvaukseen ja pienkäyttöön	Tuotantokustannukset arvioitua korkeampia Jalosteet päätyvät vientiin

## 8. Arvio kivihiilen korvausmahdollisuudesta ja tukitarpeesta

### Vaikutukset valtion muihin tuloihin ja menoihin:

- Esitetyillä toimenpiteillä kivihiilen käyttöä voidaan vähentää yhteistuotannossa lähivuosina 3,8–4,1 TWh, mikä vähentäisi kivihiilen käytöstä kerättäviä polttoaineveroja lähes 30 milj. € vuodessa.
- Kaiken kaikkiaan kivihiilen käytön arvioitu väheneminen (6,8–7,1 TWh) yhteistuotannossa vähentäisi nykyisillä polttoaineiden verotasoilla verotuloja 50 milj. € mutta lisäisi kotimaisten polttoaineiden tuotannon, kuljetuksen, käsittelyn ja jalostuksen myötä muun muassa liikennepolttoaineista ja palkkatuloista kerättäviä veroja.

### Kasvihuonekaasujen vähennys:

- Esitetyillä toimenpiteillä kivihiilen käyttöä voidaan vähentää lähivuosina 3,8–4,1 TWh, mikä vähentäisi kivihiililaitosten hiilidioksidipäästöjä 1,3–1,4 milj. tonnia vuodessa päästökauppa-sektorilta.
- Kaikkiaan kivihiilen käytön arvioidaan vähenevän tarkastelluissa yhteistuotannon kivihiilipölypolttokattiloissa 6,8–7,1 TWh, eli hiilidioksidipäästöjen vähennys kivihiililaitoksissa olisi 2,3–2,4 milj. tonnia. Biomassojen käytön kasvattaminen lisäisi biomassapolttoaineiden korjuun ja kuljetuksen kasvihuonekaasupäästöjä ei-päästökauppa-sektorilla, ja päästövähenne pieneneisi alle 5 %.
- Jatkossa siirryttäen yhä tarkempaan metsäekosysteemin hiilivaraston seurantaan, jolloin bioenergian käytön hiilivarastoa kuluttava vaikutus tulee esille eikä bioenergia ole enää täysin päästöneutraalia. Puun eri jakeet ovat kuitenkin erilaisessa asemassa, ja esimerkiksi metsätähteiden ja kantojen hajoaminen tapahtuu eri nopeudella.

### Vaikutukset kotimaisten polttoaineiden hintatasoon ja saatavuuteen:

- Kivihiililaitosten maksukykyä metsähakkeesta ei ehdoteta nostettavaksi tukitoimin monipolttolaitoksia korkeammalle tasolle. Puupolttoaineille tulisi paikallisesti lisää kysyntää, mikä nostaisi kuitenkin vain maltillisesti puupolttoaineiden markkinahintaa, sillä esimerkiksi kaasutininvestointien todennäköinen koko ja sijainti eivät ylitä lähialueidensa puupolttoainepotentiaaleja, ellei samoille alueille ole tulossa muita uusia, suuria käyttökohteita.
- Ehdotettu tuki jalosteiden käytölle on pyritty asettamaan siten, että pienkäytössä ja öljyn korvauksessa on parempi maksukyky kuin kivihiililaitoksilla. Kivihiililaitoksille sopivien jalosteiden ja siten myös mahdolliset raaka-aineiden laatuvaatimukset ovat väljempiä. Kivihiililaitoksilla olisi mahdollista ajoittaa jalosteiden käyttöä vuodenaikoihin, joina pienkäytön kysyntä on vähäisempää, ja näin vähennettäisiin varastointikustannuksia.
- Peltobiomassojen, etenkin oljen, laajempi hyödyntäminen lisäisi tarjolla olevia biomassavaroja rannikoiden läheisyydessä.

### Vaikutukset metsäteollisuuden puun hankintaan ja hintatasoon:

- Ehdotetut tukitoimet nostavat puupolttoaineiden kysyntää, mutta ne eivät nosta merkittävästi maksukykyä puusta, joten vaikutukset puuraaka-aineen hankintahintaan jäävät pieniksi.

## 8. Arvio kivihiilen korvausmahdollisuudesta ja tukitarpeesta

- Jalosteiden käytön tukitoimet lisäävät puupolttoaineen kysyntää jalosteiden tuotannossa etenkin alueilla, joilla ei ole nykyisin käyttökohteita.
- Jalosteiden tuotannon integrointi metsäteollisuuden tai muiden tuotantolaitosten yhteyteen tuo merkittäviä tuotantokustannussäästöjä erillisiin yksikköihin verrattuna ja tarjoaa uusia liiketoimintamahdollisuuksia.
- Polttoaineiden paikallinen saatavuus ja paikalliset näkökohdat voidaan ottaa huomioon myönnettäessä investointitukia, jotka ovat harkinnanvaraisia.



## **9. Yhteenveto mahdollisista kehityspoluista vuoteen 2020**

1. Pellettien käyttö voidaan aloittaa nopeasti pienellä osuudella ilman merkittäviä investointeja, mutta se vaatii uuden pelleteille kohdistettavan muuttuvan sähkön tuotantotuen.
2. Kaasutus- ja puulinjainvestointeja voidaan käynnistää portaittain uuden teknologian investointituilla.
3. IE-direktiivin toteutusratkaisut päätetään ja toteutetaan nykylaitoksilla arviolta 2012–2015. Ne voivat vaikuttaa joidenkin bioenergian käyttövaihtoehtojen priorisointiin laitoksilla.
4. Biohiilen ja bioöljyn demonstraatiolaitokset voisivat käynnistyä aikaisintaan 2013–2014 ja isommat kaupalliset laitokset ehkä 2015–2016, mutta ne edellyttävät uuden teknologian investointitukia.
5. Linjaukset uuden tekniikan vaihtoehtoiseen olisi tarkistettava 2014–2015. Linjauksiin vaikuttaa mm. se, miten muut EU-jäsenvaltiot suunnittelevat vaihtoehtojaan ja mitä uusia velvoitteita jäsenvaltioille tulee vuoteen 2020 mennessä.
6. Biopolttoaineiden kotimaisten ja kansainvälisten markkinoiden kehitys vaikuttaa linjauksiin tulevaisuudessa. Biomassan energiakäytön vaikutukset puuraaka-aineen hankintaan tulee sisällyttää linjauksiin.

## Lähdeluettelo

- Agar, D. & Wihersaari, M. 2010. Torrefaction of biomass on the production of enhanced solid fuels for European large-scale power generation. Forest Bioenergy 2010 – Book of Proceedings. Finbio Publications 47, FINBIO – The Bioenergy Association of Finland FINBIO. S. 315–323.
- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: VTT Tiedotteita – Research Notes 2045. 172 s. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf> (12.8.2011).
- Baxter, L. 2005. Biomass-coal Co-combustion: Opportunity for Affordable Renewable Energy. Provo, Utah, Yhdysvallat: Brigham Young University. (16.8.2011).
- Bergman, P. C. A. 2005. Combined torrefaction and pelletisation. The TOP process. Energy Research Centre of the Netherlands. ECN-C--05-073. 29 s. <http://www.techtp.com/recent%20papers/TOP%20Process.pdf> (18.11.2010).
- Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants.
- Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste.
- Directive 2003/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 October 2003 restructuring the Community framework for taxation of energy products and electricity.
- Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November on industrial emissions (integrated pollution prevention and control).
- Flyktman, M. 2004. Biopolttoaineiden käyttömahdollisuudet kivihiihikattiloissa päästökauppatilanteessa, Tutkimusselostus PRO2/P6031/04. Espoo: VTT. 42 s. (Luottamuksellinen.)
- IE-direktiivi, ks. Directive 2010/75/EU.
- IEA World Energy Outlook 2010. Internal Energy Agency.
- Integrated European Network for Biomass Co-firing 2006. New and advanced concepts in renewable energy technology Biomass. D14: First state-of-the-art report.
- Kostamo, J. 1999. Co-firing tests at Naantali-3 Power Plant. Presented in Swedish-Finnish Flame Day 1999.
- Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M. & Asikainen, A. 2011. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. Espoo: VTT Tiedotteita – Research Notes 2564. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2564.pdf> (12.8.2011).
- Nieminen, M. & Kärki, J. 2007. Biomass co-firing technologies in EU. Research Report, VTT-R-02063-07. Espoo: VTT. 51 s.

- Orjala, M. & Heiskanen V.-P. 2004. Technologies for co-firing of biomass and fossil fuels. OPET CHP and DHP Conference. Gdansk, Puola 26.–27.4.2004.
- Pahkala, K., Hakala, K., Kontturi, M. & Niemeläinen, O. 2009. Peltobiomassat globaalina energilähteenä. Maa- ja elintarviketalous 137. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT.
- Pekkarinen, M., 2010. Kohti vähäpäästöistä Suomea. Uusiutuvan energian velvoitepaketti. Työ- ja elinkeinoministeriö [http://www.tem.fi/files/26643/UE\\_lo\\_velvoitepaketti\\_Kesaranta\\_200410.pdf](http://www.tem.fi/files/26643/UE_lo_velvoitepaketti_Kesaranta_200410.pdf) (25.8.2011).
- Raiko, R., Saastamoinen, J., Hupa, M. & Kurki-Suonio, I. 2002. Poltto ja palaminen. 2. painos, Helsinki: International Flame Research Foundation – Suomen kansallinen osasto. 750 s.
- RES-direktiivi 2009. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2009/28/EY uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämisestä sekä direktiivien 2001/77/EY ja 2003/30/EY muuttamisesta ja myöhemmästä kumoamisesta.
- Savolainen, K. & Sormunen, R. 2001. Co-firing of biomass and coal: a means to reducing greenhouse gas emissions. PowerGen '01. Bryssel 29.–31.5.2001.
- Suomen Betoniyhdistys 2008. Lentotuhkan käyttö betonissa. s. 52. 42 s.
- SFS 2005. Eurooppalainen Standardi EN 450-1. Helmikuu 2005. Fly ash for concrete – Part 1: Definition, specifications and conformity criteria. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 27 s.
- Teir, S. 2002. Modern Boiler Types and Applications. Steam Boiler Technology eBook. Espoo: Helsinki University of Technology Department of Mechanical Engineering. Energy Engineering and Environmental Protection Publications.
- VNA 1397/2010 = valtioneuvoston asetus uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta.
- VNS 6/2008 vp = valtioneuvoston selonteko. Pitkän aikavälin ilmastostrategia: 2008
- Veijonen, K., Vainikka, P., Järvinen, T. & Alakangas, E. 2003. Biomass co-firing – an efficient way to reduce greenhouse gas emission. EUBIONET. [http://europa.eu.int/comm/energy/res/sectors/doc/bioenergy/cofiring\\_eu\\_bionet.pdf](http://europa.eu.int/comm/energy/res/sectors/doc/bioenergy/cofiring_eu_bionet.pdf) (18.11.2010).



## Liite 1: Lämmityspolttoaineiden ja sähkön verotus

Energiaverotus on valtiolle huomattava tulonlähde. Energiasta kannettavina valmisteveroina valtio saa vuosittain lähes 3 miljardia euroa. Fiskaalisen (valtionaloudellisen) merkityksensä lisäksi energia-verotus on keskeinen energia- ja ympäristöpolitiikan väline. Sillä pyritään hillitsemään energiankulutuksen kasvua ja ohjaamaan energian tuotantoa ja käyttöä sellaisiin vaihtoehtoihin, jotka aiheuttavat vähemmän päästöjä.

Energiaverojärjestelmä on ollut käytössä vuodesta 1997. Energiaverot ovat valmisteveroja, ja niitä kannetaan liikenne- ja lämmityspolttoaineista sekä sähköstä. Energiaveron lisäksi energiatuotteista kannetaan huoltovarmuusmaksu. Energiavero on jakautunut perusveroon ja lisäveroon. Perusvero on ollut luonteeltaan fiskaalinen ja sitä on kannettu ainoastaan öljytuotteista. Bensiinin ja dieselöljyn perusvero on porrastettu niiden laadun ja ympäristöominaisuuksien mukaan.

Lisäveroa kannetaan öljytuotteista ja lisäksi myös muista fossiilisista polttoaineista ja sähköstä. Polttoaineiden lisävero määräytyy niiden hiilisisällön perusteella. Poikkeuksen muodostaa maakaasu, jolla on 50 %:n alennus lisäverosta. Turpeelta lisävero poistettiin 1.7.2005.

Sähköveroa kannetaan kaikesta sähköstä sen tuotantotapaan katsomatta, eikä sähkön lisävero siten perustu sähkön tuottamisessa käytettyjen polttoaineiden ominaishiilidioksidipäästöön. Sähköä verotetaan sen kulutusvaiheessa, ja sähköntuotannossa käytetyt polttoaineet ovat verottomia. Sähkön vero on jaettu kahteen veroluokkaan, joista alemman, II luokan mukaista veroa maksavat teollisuus ja ammatimainen kasvihuoneviljely. Muut kuluttajat maksavat korkeampaa, I luokan mukaista veroa. (Laki 1400/2010.)

Energiaverojärjestelmään sisältyy lisäksi erilaisia tukia. Näistä energiapoliittisesti tärkeimpiä ovat verotuet, joita maksetaan uusiutuviin energialähteisiin perustuvalle sähköntuotannolle.

Energiaverotusta säädellään lailla sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta (1260/1996) sekä lailla nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta (1472/1994). Energiaverolainsäädännöstä vastaa valtiovarainministeriö. Työ- ja elinkeinoministeriö osallistuu energiaverotuksen valmisteluun, jotta verotus tukisi mahdollisimman tehokkaasti energia- ja ilmastopolitiikan tavoitteita. Veronkannosta ja verotukien maksamisesta vastaavat Tullihallitus ja alueelliset tullipiirit.

Euroopan yhteisö pyrkii yhtenäistämään jäsenmaiden energiaverotusta. Kaikkia energiatuotteita koskeva minimiverodirektiivi (Directive 2003/96/EC) astui voimaan vuoden 2004 alusta.

Verotuksen uudistamisen yhtenä tärkeänä lähtökohtana on ollut kansallisen ilmasto- ja energiastrategian asettamien tavoitteiden saavuttaminen, ja niistä etenkin kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen ei-päästökauppasektorilla (16 %:n vähennys vuodesta 2005 vuoteen 2020 mennessä), uusiutuvien energialähteiden käytön lisääminen (38 % energian loppukulutuksesta vuonna 2020) sekä energiatehokkuuden parantaminen.

Vuoden 2010 loppuun saakka lämmityspolttoaineista on kannettu perusveroa, lisäveroa ja huoltovarmuusmaksuja. Kevyellä ja raskaalla polttoöljyllä, kivihiehellä ja maakaasulla on ollut niiden hiilidioksidipäästöön perustuva lisävero. Maakaasun verotaso on ollut kuitenkin vain puolet laskennallisesta tasosta. Kevyestä polttoöljystä on kannettu lisäksi perusveroa. Mäntyöljyltä on kannettu vain perusveroa ja se on vastannut raskaan polttoöljyn veroa. Mäntyöljyn verotuksen tavoitteena on ohjata mäntyöljy raaka-ainekäyttöön.

Liite 1: Lämmityspolttoaineiden ja sähkön verotus

Sähköntuotannon polttoaineita ei veroteta, ja yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa (CHP) veroja maksetaan vain polttoainemäärästä, joka saadaan kertomalla tuotettu hyötylämpö kertoimella 0,9.

Vuonna 2011 verolaissa polttoaineiden verotus perustuu polttoaineen energiasisältöön ja poltosta syntyvään hiilidioksidin ominaispäästöön, jolloin valmisteverona kannettava vero muutetaan nimeltään energiasisältöveroksi ja hiilidioksidiveroksi. Maakaasun veronkorotus ehdotetaan toteutettavaksi asteittain siten, että energiasisältövero saavuttaa tavoitetason kolmessa vaiheessa vuoteen 2015 mennessä. Huoltovarmuusmaksu säilyy sekä tasoltaan että perusteeltaan samana kuin vuonna 2010. Yhteistuotantolaitoksissa (CHP-voimalat) käytettävien polttoaineiden hiilidioksidiveroa alennetaan 50 % päällekkäisen hiilidioksidiohjauksen vähentämiseksi. Turpeella on energiavero, joka ei perustu energiasisältöön tai hiilidioksidin ominaispäästöön. Myös turpeen energiavero porrastetaan niin, että se saavuttaa lopullisen arvonsa vuoteen 2015 mennessä. Mäntyöljystä valmisteverona kannettavaa energiaveroa korotetaan raskasta polttoöljyä vastaavasti. (Laki 1400/2010.)

Lämmitys- ja voimalaitospolttoaineista kevyen ja raskaan polttoöljyn, kivihiiilen ja maakaasun sekä sähkön valmisteveroja korotettaisiin verojen rakennemuutoksen yhteydessä noin 750 miljoonalla eurolla työnantajan kansaneläkemaksun poistamisesta aiheutuvien verotuottomenetysten korvaamiseksi. CHP-laitosten verotettava osuus määräytyy kuten aikaisempinakin vuosina. (HE 147/2010 vp.)

Vuoden 2010 ja nykyisen verolain mukaiset verot voimalaitospolttoaineille lämmöntuotannossa ja sähkölle on esitetty taulukossa 1/1. Fossiilisten polttoaineiden verot lämmöntuotannossa kiristyivät huomattavasti vuoden 2011 alusta. Maakaasulle ja turpeelle veronkiristys tapahtuu asteittain vuoteen 2015 mennessä. (Helynen & Flyktman 2011.)

Taulukko 1/1. Polttoaineiden verot (Helynen & Flyktman 2011, Laki 1400/2010).

	Verot vuonna 2010			Verotus 2011			
	Perusvero	Lisävero	Yht. (sis. HVM)	Energia- sisältövero	CO <sub>2</sub> - vero	Energia- vero	Yht. (sis. HVM)
Kivihilli €/t	0	49,32	50,5	54,54	72,37	-	128,09
Maakaasu €/MWh	0	2,016	2,100	7,70*	5,940	-	13,724
POK c/l	2,94	5,41	8,70	7,70	8,00	-	16,05
POR c/kg	0	6,42	6,70	8,79	9,72	-	18,79
Turpe €/MWh	0	0	0	-	-	3,9**	3,9**
Sähkö I c/kWh	0	0,87	0,883	-	-	1,69	1,703
Sähkö II c/kWh	0	0,25	0,263	-	-	0,69	0,703

\*3,00 €/MWh 1.1.2011–31.12.2012 ja 5,50 €/MWh 1.1.2013–31.12.2014.

\*\*1,90 €/MWh 1.1.2011–31.12.2012 ja 2,90 €/MWh 1.1.2013–31.12.2014.

HVM = huoltovarmuusmaksu

## Lähdeluettelo

Directive 2003/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 October 2003 restructuring the Community framework for taxation of energy products and electricity.

HE 147/2010 v.p. Hallituksen esitys eduskunnalle energiaverotusta koskevan lainsäädännön muuttamiseksi.

Helynen, S. & Flyktman, M. 2011. Lämmityspolttoaineiden verotuksen kehittäminen. Loppuraportti 23.6.2011. Espoo: VTT.

Laki 1260/1996 sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta.

Laki 1400/2010. Sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta annetun lain muuttamisesta.

Laki 1472/1994 nestemäisten polttoaineiden valmisteverosta.





## **Liite 2: IE-direktiivi**

### **1. Yleistä**

Euroopan yhteisöjen komissio halusi teollisuuden päästöraja-arvoihin huomattavat tiukennukset ja antoi tähän liittyen vuonna 2007 ehdotuksen teollisuuspäästöjen direktiiviksi. Tämän IE-direktiivin (2010/75/EU) tarkoituksena on tarkistaa ja yhdistää seitsemän erillistä teollisuuden päästöihin liittyvää direktiiviä yhdeksi direktiiviksi. Uusi direktiivi korvaa mm. suuria polttolaitoksia (LCP-direktiivi 2001/80/EC) ja jätteenpolttolaitoksia (WI-direktiivi 2000/76/EC) koskevat direktiivit. IE-direktiivi kiristää mm. polttolaitosten päästöraja-arvoja ja sisältää myös uusia vaatimuksia teolliselle toiminnalle. Uudet päästöraja-arvot tulevat voimaan vuonna 2016. Direktiivi tuli voimaan vuonna 2010. Kansallinen täytäntöönpano on saatettava loppuun kahden vuoden kuluessa voimaantulosta.

Direktiivissä päästöraja-arvoina sovelletaan parhaan käytettävissä olevan tekniikan (BAT) mukaisia päästötasoja. Näistä voidaan poiketa, mutta direktiiviehdotuksen liitteissä V–VIII esitettyjä raja-arvoja ei saa ylittää. LCP-laitoksilla nämä rajat vastaavat pääosin nykyisten BAT-tasojen ylärajoja ja jätettä polttaville laitoksille nykyisen jätteenpolttodirektiivin mukaisia rajoja. Ympäristölupaviranomaisilla on lupa antaa myös BATia tiukempia määräyksiä.

Vain IE-direktiivin jälkeen uusitut BREFit ovat sitovia. Luvat on tarvittaessa päivitettävä neljän vuoden aikana uusista BAT-päätelmistä.

### **2. Soveltaminen voimalaitoksiin**

Polttolaitosten IE-direktiivin luvanvaraisuuskynnys säilyisi nykyisenä 50 megawattina, mutta toimialan yksiköitä koskevat yhteenlaskusäännöt laskevat soveltamisen useissa tapauksissa 15 megawattiin. Jos kahden tai useamman erillisen polttolaitokset savukaasut päästetään ilmaan yhteisen piipun kautta, IE-direktiivin mukaisesti tällaisten laitosten yhdistelmää on pidettävä yhtenä polttolaitoksena ja niiden kapasiteetit olisi laskettava yhteen. Lisäksi, kun kaksi tai useampia erillisiä polttolaitoksia (lupa 1.7.1987 jälkeen) on rakennettu siten, että niiden savukaasut voitaisiin tekniset ja taloudelliset tekijät huomioon ottaen poistaa yhteisen piipun kautta, pidetään tällaisten laitosten muodostamaa kokonaisuutta yhtenä polttolaitoksena. Näissä tapauksissa yli 15 MW:n kattilat lasketaan kokonaistehoon, vaikka ne yksittäisinä laitoksina jäisivät direktiivin ulkopuolelle.

### **3. Päästörajat**

IE-direktiivin mukaisia päästörajoja olemassa oleville laitoksille on verrattu LCP-asetuksen ja BAT BREF:n mukaisiin päästörajoihin taulukoissa 2/1–3. Taulukoissa esitetyt BAT BREF:n (European Commission 2006) mukaiset rajat ovat pölypolttolaitoksiin sovellettavat rajat. LCP-asetuksen (VNA 1017/2002) mukaisissa rajoissa on esitetty sekä LCP-direktiivin tarkoittamissa uusissa että olemassa olevissa laitoksissa sovellettavat päästörajat. Nämä on erotettu toisistaan vinoviivalla (/).

Todellisuudessa raja-arvot sisältävät monia poikkeuksia ja joustoja, joita ei selvyiden vuoksi ole lisätty taulukoihin. Taulukoista saa kuitenkin hyvän kuvan siitä, kuinka paljon raja-arvot muuttuvat.

Liite 2: IE-direktiivi

Päästörajojen tiukentumisen lisäksi IE-direktiivin uutena vaatimuksena on hiiltä tai ruskohiiltä polttavien laitosten elohopeapäästön määrittäminen ainakin kerran vuodessa.

Taulukko 2/ 1. IE-direktiivin mukaiset SO<sub>2</sub>-päästörajat ol emassa ol eville lait oksille v errattuna LCP -asetuksen ja BAT BREF:n mukaisiin päästörajoihin.

	<b>Kivihiili (mg/Nm<sup>3</sup> 6 % O<sub>2</sub>)</b>	<b>Biomassa (mg/Nm<sup>3</sup> 6 % O<sub>2</sub>)</b>	<b>Nestemäiset (mg/Nm<sup>3</sup> 3 % O<sub>2</sub>)</b>
<b>50–100 MW</b>			
IED	400	200	350
LCP	2 000/850	400/200	1 700/850
BAT BREF	200–400		100–350
<b>100–300 MW</b>			
IED	250	200	250
LCP	2 000–933/200	400/200	1 700/400–200
BAT BREF	100–250		100–250
<b>&gt; 300 MW</b>			
IED	200	200	200
LCP	933–400/200	400/200	1 700–400/200
BAT BREF	20–200		50–200

Taulukko 2/ 2. I E-direktiivin mukaiset NO<sub>x</sub>-päästörajat ol emassa oleville lait oksille v errattuna LCP-asetuksen ja BAT BREF:n mukaisiin päästörajoihin

	<b>Kivihiili (mg/Nm<sup>3</sup> 6 % O<sub>2</sub>)</b>	<b>Biomassa (mg/Nm<sup>3</sup> 6 % O<sub>2</sub>)</b>	<b>Nestemäiset (mg/Nm<sup>3</sup> 3 % O<sub>2</sub>)</b>
<b>50–100 MW</b>			
IED	300	300	450
LCP	600/400	600/400	450/400
BAT BREF	90/200–300	150–300	100–450
<b>100–300 MW</b>			
IED	200	250	200*
LCP	600/200	600/300	450/200
BAT BREF	90–200	150–250	50–250
<b>&gt; 300 MW</b>			
IED	200	200	150*
LCP (vanhoille > 500 MW)	500/150	500/150	400/175
BAT BREF	90–200	50–200	50–150

\* Jalostamojen ja kemianteollisuuden pre-2002 polttolaitoksille 450 mg/Nm<sup>3</sup>, muille polttolaitoksille 450 tai 400 mg/Nm<sup>3</sup>.

Taulukko 2/3. IE-direktiivin mukaiset hiukkaspäästörajat olemassa oleville laitoksille verrattuna LCP-asetuksen ja BAT BREF:n mukaisiin päästörajoihin.

	<b>Kivihiili</b> (mg/Nm <sup>3</sup> 6 % O <sub>2</sub> )	<b>Biomassa</b> (mg/Nm <sup>3</sup> 6 % O <sub>2</sub> )	<b>Nestemäiset</b> (mg/Nm <sup>3</sup> 3 % O <sub>2</sub> )
<b>50–100 MW</b>			
IED	30	30	30
LCP	50/50	50/50	50/50
BAT BREF	5–30	5–30	5–30
<b>100–300 MW</b>			
IED	25	20	25
LCP	50/30	50/30	50/30
BAT BREF	5–25	5–20	5–25
<b>&gt; 300 MW</b>			
IED	20	20	20
LCP	30 tai 50 / 30	30 tai 50 / 30	30 tai 50 / 30
BAT BREF	5–20	5–20	5–20

## 4. Joustot

Tiukentuvien päästörajoiden vastapainoksi vanhoille laitoksille on IE-direktiivissä tarjolla useita joustoja. Uusien ja olemassa olevien laitosten on mahdollista noudattaa kotimaisten kiinteiden polttoaineiden poltossa rikinpoistoasteeseen perustuvia päästörajoja, jotka vaihtelevat laitoksen iän ja koon mukaan.

Jäsenvaltioille on annettu myös mahdollisuus laatia ja toteuttaa vuosina 2016–2020 kansallinen siirtymäsuunnitelma, joka kattaa polttolaitokset, joille on myönnetty ensimmäinen lupa ennen 27.11.2002. Kansallisessa siirtymäsuunnitelmassa määritellään päästöjen vuotuiset enimmäismäärät kaikille suunnitelmaan kuuluville laitoksille. Suomen viranomaiset eivät kuitenkaan ole osoittaneet kiinnostusta ottaa tätä joustoa käyttöön.

Vähän käyville huippulaitoksille on oma joustonsa. Mikäli laitoksen käyntiaika on alle 1 500 h/a viiden vuoden liukuvana keskiarvona, siihen voidaan soveltaa matalampia rikin ja typen päästörajoja. Laitoksen on täytynyt saada lupa ennen 27.11.2002, jotta se voi kuulua tähän joustoon.

Vanhoille laitoksille on tarjolla myös määräaikaispoikkeus eli ns. opt-out-jousto. Mikäli laitosta käytetään aikavälillä 1.1.2016–31.12.2023 vain 17 500 h, siihen voidaan soveltaa vanhoja päästörajoja. Laitos ei saa kuulua kansalliseen siirtymäsuunnitelmaan eikä LCP-direktiivin ”20 000 h” -kerhoon. Lisäksi sen tulee olla saanut lupansa ennen marraskuuta 2002. Yli 500 MW<sub>th</sub>:n laitokset, jotka ovat saaneet luvan 1.11.1987 jälkeen, on kuitenkin suljettu tämän jouston ulkopuolelle.

## Lähdeluettelo

Directive 2003/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 October 2003 restructuring the Community framework for taxation of energy products and electricity.

Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the council of 24 November on industrial emissions (integrated pollution prevention and control).

European Commission 2006. Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for Large Combustion Plants, p. 618. [ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/lcp\\_bref\\_0706.pdf](ftp://ftp.jrc.es/pub/eippcb/doc/lcp_bref_0706.pdf) (25.8.2011).

IE-direktiivi, ks. Directive 2010/75/EU.

LCP-direktiivi = Directive 2001/80/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2001 on the limitation of emissions of certain pollutants into the air from large combustion plants.

VNA 1017/2002 = valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan vähintään 50 megawatin polttolaitosten ja kaasuturbiinien rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen rajoittamiseksi.

WI-direktiivi = Directive 2000/76/EC of the European Parliament and of the Council of 4 December 2000 on the incineration of waste.

# Liite 3: Voimalaitoskuvaukset

## 1. Hanasaaren voimalaitos

Tiedot on poimittu Helsingin Energian verkkosivuilta (2010).

Helsingin Energian Hanasaaren B-voimalaitos on otettu käyttöön vuonna 1974. Se on kivihiiiltä pääpolttoaineenaan käyttävä sähkö- ja kaukolämpöenergiaa tuottava voimalaitos, joka koostuu kahdesta kivihiihlikattilasta ja öljykäyttöisestä apukattilasta.

Hanasaaren B-voimalaitos tuottaa pääosan energiasta lämmön ja sähkön yhteistuotantona kahdessa erillisessä tuotantoyksikössä. Molemmissa tuotantoyksiköissä on samanlaiset kivihiiiltä pääpolttoaineena käyttävät kattilat K3 ja K4, jotka ovat polttoaineteholtaan 363 MW. Lisäksi voimalaitokseen kuuluu tuotantoyksiköiden yhteinen raskasöljykattila K8, polttoaineteholtaan 55 MW. Kattiloiden perustiedot on listattu taulukkoon 3/1.

Taulukko 3/1. Hanasaaren voimalaitoksen kattiloiden perustiedot.

Kattila	K3	K4	K8
Käyttötarkoitus	Peruskuorma	Peruskuorma	Apukattila
Kattilatyyppi	Välitulistimella varustettu luonnonkiertoinen lieriökattila	Välitulistimella varustettu luonnonkiertoinen lieriökattila	Vesiputkikattila
Polttimien lukumäärä ja tyyppi	12 kpl yhdistettyjä hiilipöly/öljy low-NOx-polttimia	12 kpl yhdistettyjä hiilipöly/öljy low-NOx-polttimia	2 kpl öljypolttimia
Polttoaineteho	363 MW	363 MW	55/49 MW
Pääpolttoaine (apu-/varapolttoaine)	Kivihiihi (raskas polttoöljy)	Kivihiihi (raskas polttoöljy)	Raskas polttoöljy
Nimellisteho			
- sähkö	113 MW	113 MW	
- vesikaukolämpö	210 MW	210 MW	
Tyypillinen hyötysuhde	90-92%	90-92%	78 %
Keskimääräinen käyntiaika	5000 h/a	5000 h/a	500 h/a
Käyttöönottovuosi	1974	1977	1974

### 1.1. Energiantuotanto

Hanasaaren B-voimalaitos on kaukolämmöntuotannon peruskuormalaitos, jossa kivihiihlikattiloilla K3 ja K4 tuotetaan tyypillisessä ajotilanteessa sähköä kaukolämmöntarpeesta riippuen. Laitoksella tuotetaan energiaa eniten talvikuukausien aikana, kun taas kesällä tuotanto on vähäisempää pienemmän lämmöntarpeen ja kesäseisokkien vuoksi. Kattiloita voidaan käyttää myös sähkön erillistuotantoon kaukolämpöverkon rinnalle kytkettyjen merivesijäähdyttimien avulla. Vuosina 2000–2005 laitoksen bruttosähköntuotannosta 1,6–33 % on ollut lauhdesähköä. Taulukossa 3/2 on esitetty laitoksen sähkön-

### Liite 3: Voimalaitoskuvaukset

ja lämmöntuotanto vuosina 2000–2005. Kattiloiden hyötysuhde on vastapaineajossa noin 90–92 % ja lauhdesähköntuotannossa noin 35 %.

Taulukko 3/2. Hanasaaren voimalaitoksen sähkön- ja lämmöntuotanto vuosina 2000–2005.

MWh/a	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Sähkö (Brutto)	690 300	976 200	1 110 400	1 501 700	1 059 000	891 800
Vesikaukolämpö	1 256 200	1 638 200	1 815 200	2 178 400	1 689 300	1 618 300
Höyrykaukolämpö	6 700	0	0	0	0	0

## 1.2. Päästöjen hallinta

Typenoksidipäästöjä (NO<sub>x</sub>-päästöjä) vähennetään polttoteknisin keinoin. Molemmissa kattiloissa K3 ja K4 on vuosina 1992–1993 uusitut low-NO<sub>x</sub>-polttimet, jotka ovat tyypiltään yhdistettyjä hiilipöly-/öljypolttimia. Kattiloissa ei ole toteutettu polttoilman vaiheistusta yläilmalla typenoksidipäästöjen vähentämiseksi.

Kivihiilikattiloiden K3 ja K4 savukaasut käsitellään ja johdetaan ilmaan erikseen. Kattiloiden savukaasut johdetaan kattiloiden kanssa samanaikaisesti käyttöönottettuihin kattilakohtaisiin sähkösuodattimiin. Sähkösuodattimien jälkeen savukaasut puhdistetaan vuonna 1991 käyttöön otetussa puoli-kuivaan menetelmään perustuvassa rikinpoistolaitoksessa sekä letkusuodattimissa.

## 1.3. Päästöt ja päästörajat

Hanasaaren päästörajat ovat LCP-asetuksen (VNA 1017/2002) mukaiset. Määräyksissä on annettu erilliset päästörajat tilanteille, jossa kattiloissa K3 ja K4 käytetään polttoaineena joko ainoastaan kivihiiltä tai ainoastaan polttoöljyä. Lupahakemuksen mukaan polttoöljyä käytetään normaalisti ainoastaan ylösajo- ja häiriötilanteissa, joten laitoksia ei ole katsottu LCP-asetuksen 19. §:n tarkoittamiksi monipolttoaineyksiköiksi. Polttoöljyä voidaan kuitenkin käyttää pääpolttoaineena poikkeuksellisissa tilanteissa, kuten kivihiilen saatavuuteen liittyvissä häiriöissä.

Taulukko 3/3. K3- ja K4-kattiloiden päästörajat.

Päästö	Yksikkö	Päästöraja
SO <sub>2</sub>	Mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	600 (1 290)
NO <sub>2</sub>	Mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	600 (450)
Hiukkaset	Mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	50 (50)

Suluissa rajat, kun käytetään pelkästään polttoöljyä (3 % O<sub>2</sub>).

#### **1.4. Tuhkien hyödyntäminen**

Lentotuhka pyritään toimittamaan hyötykäyttöön, mm. betoni- ja sementtiteollisuuteen, asfaltin täyttöaineeksi ja maarakentamiseen. Vuonna 2005 muodostuneesta lentotuhkasta (46 158 tonnia) toimitettiin 48 % Lohja Rudus Oy:lle hyötykäytettäväksi ja 52 % kaatopaikaksi luokiteltavaan Tytyrin kaivokseen.

Pohjatuhka ja rikinpoistotuote pyritään toimittamaan hyötykäyttöön maarakentamiseen. Huonolaatuista lentotuhkaa sekä lentotuhkan ja rikinpoistotuotteen seosta on toimitettu kaivostäyttöihin sijoitettavaksi. Vuonna 2005 muodostuneesta pohjatuhkasta (6 567 tonnia) 91 % toimitettiin Vuosaaren pohjatuhkavarastoon ja loput suoraan voimalaitokselta hyötykäytettäväksi kahdessa tie- ja maarakennuskohteessa. Vuonna 2005 muodostunut rikinpoiston lopputuote (6 010 tonnia) toimitettiin lähes kokonaisuudessaan Tytyrin kaivokseen.

#### **1.5. Hanasaaren biopolttoainekokeet huhti–joulukuussa 2008**

Hanasaaren voimalaitoksessa toteutettiin metsähakkeen polttokokeet huhtikuussa ja joulukuussa 2008. Metsähake, joka oli normaalia kuivempaa (kosteus 42–48 %) tuotiin konteilla voimalaitokselle ja murskattiin Saalasti Oy:n kehittämällä biopolttoainemurskaimella. Puupöly syötettiin ensimmäisessä kokeessa öljypolttimien kautta ja toisessa kokeessa samalta polttimelta hiilen kanssa

Bio-osuus kattilan polttoainetehosta kokeissa oli 2–7 %. Pisimmät koeajot kestivät useita tunteja: rajoittavana tekijänä oli murskaimen kapasiteetti ja syöttövaraston koko.

Seospoltto todettiin teknisesti mahdolliseksi, mutta suora seospoltto havaittiin kuitenkin herkäksi polttoaineen käsittelylle ja laadulle. Biopolttoaineen käsittely, varastointi ja kuljetuslogistiikka koettiin erityisesti Helsingissä haastavaksi.

## 2. Salmisaaren voimalaitos

Tiedot on poimittu Helsingin Energian verkkosivuilta (2010).

Salmisaaren B-voimalaitos on Helsingin kivihiiltä käyttävistä yhteistuotantolaitoksista uusin, se valmistui vuonna 1984. Laitoksen sähköteho on 160 MW, ja kaukolämpöä laitos tuottaa 300 MW. A-voimalaitoksen polttoaineteholtaan 185 MW:n lämmöntuotantoyksikkö otetaan mukaan tuotantoon lämmöntarpeen mukaan. Lisäksi laitoksella on kolme öljykäyttöistä huippu- ja varalämpökattilaa sekä apukattila. Voimalaitoksen tuottamaa ylimääräistä lämpöenergiaa käytetään kaukojäähdytyksen tuottamiseen. Jäähdytyskeskusten kylmäteho on nykyisin yhteensä 38 MW ja tulevaisuudessa yhteensä 45 MW. Taulukossa 3/4 on Salmisaaren voimalaitoksen kattiloiden perustietoja.

Taulukko 3/4. Salmisaaren voimalaitoksen yksiköiden perustietoja.

Kattila	K1	K7	K6	K5
Käyttötarkoitus	Peruskuor- makattila	Huippu- ja varakattila	Huippu- ja varalämpö- keskus	Apukattila
Pääpolttoaine (apu-/varapoltto- aine)	Kivihiili (Raskas polttoöljy)	Kivihiili (Raskas polttoöljy)	Raskas polttoöljy (Kevyt poltto- öljy)	Raskas poltto- öljy
Kattilatyyppi	Luonnon kiertohöyry- kattila nurkka- poltolla	Suorakyt- kentäinen kuumavesi- kattila nurkka- poltolla	Vesiputki- tuliputkikat- tila, 3 kpl	Tuliputki- tulitorvi- höyrykattila
Polttimet	Hiilipölypolt- timet 16 kpl, öljypolttimet 12 kpl	Hiilipölypolt- timet 8 kpl, öljypolttimet 8 kpl	Öljypoltin 1 kpl/kattila	Öljypoltin 1 kpl
Polttoainetehto	506 MW	185 MW	3x44 MW	12 MW
Nimellisteho - sähköteho - kaukolämpöteho - prosessihöyryteho	460 MW - 160 MW - 300 MW -	180 MW - - 180 MW -	3x40 MW - - 3x40 MW -	7,7 MW - - -7,7 MW
Tyypillinen hyö- tysuhde	88-92%	92-94%	92 %	88 %
Keskimääräinen käyntiaika	5000 - 7000 h/v	1000 - 3000 h/v	50 - 150 h/v	1500 - 2500 h/v
Käyttöönottovuosi	1984	1986	1978	1977
Savupiipun korkeus	153 m	153 m/ 116 m	116 m	116 m



## 2.1. Energiantuotanto ja polttoaineet

Salmisaaren B-voimalaitos on sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos, jossa energiantuotannon nettohyötysuhde oli vuonna 2005 87,1 %. Lauhdesähkön osuus tuotetusta sähköstä oli tuolloin 1,3 % ja mereen johdetun lämpökuorman osuus 0,7 % polttoaine-energiasta. Salmisaaren voimalaitoksella tuotettiin vuonna 2005 yhteensä 631 GWh sähköä, 1 408 GWh kaukolämpöä sekä 14 GWh kaukojäähdytystä. Vuosien 2000–2005 tuotannot on esitetty taulukossa 3/5.

Taulukko 3/5. Salmisaaren voimalaitoksen energiantuotanto vuosina 2000–2005.

Tuotanto MWh/a	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>Sähkö</b>						
- K1 (lauhdesähkön osuus)	709 600 (31 000)	944 900 (148 200)	915 900 (154 600)	1 175 000 (457 500)	1 113 000 (352 600)	630 500 (8 200)
<b>Kaukolämpö</b>						
- K1	1 298 600	1 731 800	1 569 600	1 365 000	1 438 200	1 135 100
- K7	164 900	283 600	238 900	195 200	238 100	266 600
- K6	3 300	1 100	1 200	5 200	2 700	5 850
<b>Prosessihöyry</b>						
- K5	7 000	5 300	4 600	2 900	2 200	9 600
<b>Kaukojäähdytys</b>						
- SaX	-	1 100	9 500	12 000	7 700	11 200
- ShX	-	-	-	-	52	3 200

Salmisaaren voimalaitoksella energiantuotantoon käytetään kivihiiltä kattiloilla K1 ja K7. Täydellä kuormalla hiilen kulutus on kattilalla K1 noin 80 t/h ja kattilalla K7 noin 30 t/h. Kivihiilen ja raskaan polttoöljyn kulutus vuosina 2000–2005 on taulukossa 3/6.

Taulukko 3/6. Salmisaaren voimalaitoksen polttoainekäyttö 2000–2005.

Käyttö (t/a)	2000	2001	2002	2003	2004	2005
<b>Kivihiili</b>	<b>344 687</b>	<b>457 512</b>	<b>422 723</b>	<b>523 457</b>	<b>532 195</b>	<b>320 953</b>
- K1	319 666	413 394	387 191	494 255	495 263	279 255
- K7	25 021	44 118	35 532	29 202	36 932	41 698
<b>Raskas polttoöljy</b>	<b>2 916</b>	<b>1 685</b>	<b>2 473</b>	<b>1 690</b>	<b>1 644</b>	<b>2 481</b>
- K1	1 593	512	1 540	500	848	505
- K7	311	532	334	367	304	479
- K6	310	104	113	500	261	539
- K5	702	537	486	323	231	958

## 2.2. K1-kattila

Salmisaaren B-voimalaitoksessa on polttoaineteholtaan 506 MW:n nurkkapolttainen hiilipölykattila K1. Kattilaa käytetään peruskuormantuotantoon vastapainevoimalaitoksena, jolla tuotetaan tyypillisesti lämpöä ja sähköä yhteistuotantona läpi vuoden, kesäseisokkia lukuun ottamatta. Voimalaitoksen

sähköteho on 160 MW ja vastapainekaukolämpöteho 300 MW, mutta kattilalla voidaan ohituslämmönvaihtimen avulla tuottaa 350 MW teholla kaukolämpöä. Kattilan höyryturbiini on tyypiltään kaksipesäinen väliottovastapaineturbiini. Normaalissa vastapaineajossa kattilassa tuotettu korkeapainehöyry (136 bar/535 °C) johdetaan turbiinin läpi.

Kattilan K1 pääpolttoaine on kivihiili, ja käynnistys- ja varapolttoaineena käytetään raskasta polttoöljyä. Voimalaitoksessa sijaitsevista käyttösiiloista hiili syötetään kuularengas-periaatteella toimiviin siilokohtaisiin hiilimyllyihin. Hiilimyllyjä on neljä, joista kolmea käyttämällä saavutetaan kattilan täysi polttoaineteho. Myllyissä jauhettu ja kuivattu hiilipöly puhalletaan polttimille ilman avulla. Kattilalla saavutetaan täysi teho myös raskaan polttoöljyn avulla. Vastapainetuotannossa syntyvää ylimääräistä lämpöenergiaa voidaan tarvittaessa, kaukolämmön tarpeen ollessa tuotettua lämpöä pienempi, varastoida lämpöakkuihin. Kattilassa tuotettu ylimääräinen lämpöenergia voidaan tarvittaessa johtaa myös mereen merivesilämmönvaihtimien kautta.

### 2.3. Päästöjen hallinta

Kattilan K1 savukaasut puhdistetaan kattilakohtaisessa sähkösuodattimessa, joka on otettu käyttöön samanaikaisesti kattilan kanssa. Sähkösuodattimen jälkeen savukaasut johdetaan kattilan K7 savukaasujen kanssa yhteiseen savukanavaan, rikinpoistolaitokseen ja edelleen Salmisaaren B-voimalaitoksen 153 metriä korkeaan savupiippuun. Salmisaaren B-voimalaitoksen vieressä sijaitseva puoli-kuivaan menetelmään perustuva rikinpoistolaitos letkusuodattimieen on otettu käyttöön vuonna 1987.

Kivihiihikattilan K1 hiilenpolttotekniikkaa parannettiin 1990-luvulla omana kehitystyönä, jonka ansiosta typenoksidipäästöt vähenivät merkittävästi. Kattilan typenoksidipäästöjä vähennetään poltoteknisin keinoin yläilman käyttöön perustuvalla low-NO<sub>x</sub>-tekniikalla.

### 2.4. Päästörajat

K1-kattilalle asetetut ilmaan johdettavien päästöjen raja-arvot on esitetty taulukossa 3/7. Raja-arvot perustuvat LCP-asetukseen. Taulukossa 7 on esitetty myös päästörajat pelkästään polttoöljyä käytettäessä. Laitosta ei ole katsottu monipolttoainekattilaksi, koska öljyä käytetään vain poikkeustapauksissa.

Taulukko 3/7. K1-kattilan ilmaan johdettavien päästöjen raja-arvot.

Päästö	Yksikkö	Päästöraja
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	400 (400)
NO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	500 (400)
Hiukkaset	mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	50 (50)

Suluissa ilmoitetut arvot ovat voimassa vain polttoöljyä käytettäessä (3 % O<sub>2</sub>).

### 2.5. Tuhkien hyödyntäminen

Kattiloiden K1 ja K7 sähkösuodattimilla erotetaan lentotuhkaa vuosittain noin 50 000 tonnia. Pohjatuhkaa syntyy keskimäärin 9 000 tonnia ja rikinpoistotuotetta muodostuu keskimäärin 13 100 tonnia vuodessa.

Lentotuhka pyritään hyödyntämään mm. betoni- ja sementtiteollisuudessa, asfaltin täyttöaineena ja maarakentamisessa. Vuonna 2005 muodostuneesta lentotuhkasta 55 % toimitettiin Lohja Rudus Oy Ab:lle hyötykäytettäväksi ja 45 % kaatopaikaksi luokiteltavaan Nordkalk Oyj Abb:n Lohjalla sijaitsevaan Tytyrin kaivokseen.

Pohjatuhka ja rikinpoistotuote pyritään hyödyntämään maarakentamisessa. Vuonna 2005 muodostuneesta pohjatuhkasta 88 % toimitettiin Vuosaaren pohjatuhkavarastoon ja loput suoraan voimalaitokselta hyötykäytettäväksi kolmessa tie- ja maarakennuskohteessa. Vuosaaren pohjatuhkavarastoon viedään pohjatuhkaa voimalaitokselta, ja vuonna 2005 sieltä toimitettiin edelleen yhteensä 42 675 tonnia pohjatuhkaa hyötykäyttökohteisiin, pääosin Vuosaaren sataman rakentamiseen. Vuonna 2005 muodostunut rikinpoiston lopputuote toimitettiin kokonaisuudessaan Tytyrin kaivokseen.

## 2.6. Pellettien polttokoheet vuonna 2001

Vuoden 2001 syksyllä Salmisaaren B-voimalaitoksella toteutettiin kaksi vuorokautta kestänyt poltto-koekampanja, jossa yhdessä kivihiilen kanssa poltettiin puupellettejä. Pellettien osuus polttoaine-energiasta oli 3 % (tilavuudesta 5 %), ja ne syötettiin kivihiilen seassa hiilimyllyjen läpi. Lyhyen polttokoheen perusteella todettiin, että puupelleteillä on teknisesti mahdollista korvata pieniä määriä kivihiiltä. Mikäli pellettejä haluttaisiin käyttää enemmän, niille tarvittaisiin oma varasto ja syöttölaiteisto. Pellettien todettiin olevan logistisesti metsähaketta tehokkaampi tapa käyttää bioenergiaa.

## 2.7. Helsingin Energian tulevaisuuden suunnitelmia

Uusiutuvan energian lisäämiseksi Helsingin Energia on suunnitellut voimalaitoksilleen joko biokaasuttimia tai integroitua biohiiltämöä.

Kaasutusvaihtoehdossa kaasuttimeksi on kaavailtu yksinkertaista CFB-kaasutinta ilman tuotekaasun puhdistusta. Polttoaineeksi suunnitellun hakkeen korroosion ja likaantumisen kannalta turvalliseksi maksimimääräksi on arvioitu 45–50 % lämpötehosta käytettäessä venäläistä kivihiiltä, joka sisältää 0,3 % rikkiä. Arvio perustuu siihen, että rikin ja vesiliukoisten alkaliinien suhde tulee olla yli 4, jotta korroosio-ongelmia ei esiinny.

Biopolttoaineen osuuden kasvattamisen yhtenä rajoituksena on kuitenkin biopolttoaineiden kosteus. Helsingin Energian tavoitteeksi asettama 40 %:n osuus lämpötehosta vaatisi noin 40 %:n kosteudessa olevaa polttoainetta. Kun kosteus on 50 %, voisi biopolttoainetta polttaa vain 30 %:n energiaosuudella. Hakkeen kosteus on tyypillisesti yli 50 %. Tavoitteeseen pääseminen vaatisi myös kaksi kaasutinta kattilaa kohti, mikä aiheuttaa tilaongelmia etenkin Hanasaaren kattiloissa.

Helsingin Energia on teettänyt selvityksen myös integroidusta biohiiltämöstä. Alustavan arvion mukaan hiiltämön kapasiteetti olisi 100 000 t/a. Hiiltämön integrointi voimalaitokseen on mahdollista, ja se tarjoaa lämpöteknisiä etuja verrattuna ”stand-alone”-hiiltämöön. Selvityksessä saatiin arviot investointi- ja jalostuskustannuksista sekä useita alustavia tarjouksia laitoksen toimituksesta. Tämänhetkisen tiedon mukaan biohiiltä voisi käyttää ilman suurempia muutoksia laitoksessa. Maksimimääräksi on arvioitu jopa 60 % energiasta. Biohiili on kuitenkin vielä pilotointiasteella, eikä käyttökokemuksia täydessä kokoluokassa ole.

### **3. Suomenojan voimalaitos**

Tiedot on poimittu Fortum Oyj:n verkkosivuilta (2010).

Meren äärellä Espoossa sijaitseva Suomenojan voimalaitos tuottaa kaukolämpöä Espoon, Kauniaisten ja Kirkkonummen asukkaille sekä sähköä valtakunnan verkkoon. Suomenojan voimalaitoksen tuotantokapasiteetissa sähköteho on 359 MW ja kaukolämpöteho 554 MW. Laitoksen pääpolttoaineina ovat maakaasu ja kivihiili.

#### **3.1. Kattilat**

Voimalaitoksen rakentaminen alkoi yli 30 vuotta sitten. Vuonna 1977 valmistui sähköä ja lämpöä tuottava pölypolttokattila K1, joka käyttää polttoaineena kivihiiltä. 1986 valmistui huippukuormakäyttöön tarkoitettu kiertoleijutekniikkaan perustuva kuumavesikattilalaitos, jonka polttoaine on niin ikään kivihiili. Lämmön talteenotolla varustettu kaasuturbiinilaitos SO6 otettiin käyttöön 1989. Lisäksi laitoksella on apukattila SO7 (1977).

Viimeisin investointi on kaasukombivoimalaitos SO2, joka otettiin käyttöön loppuvuodesta 2009. SO2:n sähköteho on 234 MW ja lämpöteho 214 MW. Kaasukombivoimalaitos koostuu maakaasua polttoaineena käyttävästä kaasuturbiinista, kaasuturbiinin pakokaasujen lämmön talteen ottavasta höyrykattilasta ja höyryturbiinista. Laitoksen hyötysuhde on parhaimmillaan yli 90 %.

Yksiköiden tiedot on esitetty taulukossa 3/8. SO2:n tiedot perustuvat taulukossa vuonna 2002 tehtyihin suunnitelmiin, jota ei kuitenkaan toteutettu suunnitellussa laajuudessa.

#### **3.2. Polttoaineet ja energiantuotanto**

Vuonna 2009 Suomenojan laitoksella tuotettiin 1 022 GWh sähköä ja 1 692 GWh lämpöä. Suomenojan voimalaitoksen yhteistuotanto kattaa lähes kaiken Espoon, Kauniaisten ja Kirkkonummen tarvitsemasta kaukolämmöstä. Loput kaukolämpötarpeesta tuotetaan eri puolilla kaukolämpöverkkoa sijaitsevilla lämpölaitoksilla. Vuonna 2009 laitoksen energiantuotannosta 1 798 GWh oli peräisin maakaasusta, 1 371 GWh kivihiilestä ja 1 GWh öljystä.

Maakaasukäyttöisen SO2-yksikön käyttöönotto vähensi alueen kivihiilen ja öljyn käyttöä kaukolämmön tuotannossa. Lisäksi kivihiili- ja tuhkakuljetukset vähenivät, ja rikkidioksidi- ja hiukkaspäästöt pienenevät lähes 40 %. Hiilidioksidipäästöt tuotettua energiaa kohden ovat laskeneet yli 10 %.

Voimalaitos tuottaa nykyisin sähköä noin 1 800 GWh ja kaukolämpöä noin 2 200 GWh vuodessa.

Taulukko 3/8. Suomenojan voimalaitoksen yksiköiden tekniset tiedot vuonna 2002 sekä silloiset suunnitelmat SO2:lle.

Selite ja yksikkö	Laitos	Lukuarvo ja yksikkö
Polttoaineteho	K1	265 MW
	K3	89 MW
	SO6	132 + 35 MW
	SO7	17 MW
	SO2	600 MW
Sähkäteho	K1	80 MW
	K3	0 MW
	SO6	45 MW
	SO7	0 MW
	SO2	280 MW
Kaukolämpöteho	K1	160 MW
	K3	80 MW
	SO6	112 MW
	SO7	17 MW
	SO2	260 MW
Käytettävät polttoaineet	K1	Kivihiili
	K3	Kivihiili
	SO6	Maakaasu
	SO7	Maakaasu
	SO2	Maakaasu
Vara polttoaine	K1	Maakaasu, raskas polttoöljy
	K3	Raskas polttoöljy
	SO6	Kevyt polttoöljy
	SO7	Kevyt polttoöljy
	SO2	Kevyt polttoöljy
Kokonaishyötysuhde	Suomenoja yhteensä	86 %
Vuotuinen käyntiaika	K1	6560
	K3	3570
	SO6	7858
	SO7	1763
	SO2	7920
Vuotuinen sähkön- tuotanto, GWh/v	K1	471
	K3	0
	SO6	320
	SO7	0
	SO2	2350
Vuotuinen kaukolämmön- tuotanto, GWh/v	K1	1071
	K3	225
	SO6	447
	SO7	0
	SO2	1600
Vuotuinen prosessilämmön- tuotanto, GWh/v	K1	23
	K3	0
	SO6	215
	SO7	7,7
	SO2	0

### 3.3. K1-kattila

K1 on nurkkapolttainen hiilipölykattila. Syksyllä 2004 K1:n raskasöljypolttimet (8 kpl) muutettiin maakaasu-/raskasöljypolttimiksi. Polttimien yhteenlaskettu polttoaineteho on maakaasulla 207 MW ja raskaalla polttoöljyllä 168 MW. Maakaasun käyttömahdollisuus maksimipolttoteholla edellyttää SO6:n seisokkia ja maakaasun edullisuutta. K1:stä käytetään tyypillisesti syyskuusta toukokuuhun. Kattilaa pyritään ajamaan yhtäjaksoisesti koko ajokausi ja täydellä kuormalla lokakuusta huhtikuuhun. Käyttöaika on 6 560–8 000 h/a.

## Päästöjen hallinta

K1:n hiilipolttimiin johdetaan hiilipölyn kantoilman lisäksi tarvittava palamisilma sekundaari- ja tertiääri-ilmana siten, että typenoksidien muodostuminen kattilassa olisi mahdollisimman vähäistä. Hiilipolttimet ovat low-NO<sub>x</sub>-polttimia. Typenoksidipäästöjen vähentämiseksi kattilassa käytetään palamisen vaiheistamista puhaltamalla osa palamisilmasta kattilan yläosaan yläilmana.

Savukaasujen puhdistamiseksi savukaasut ohjataan pääkattilan jälkeen hiukkasten esierottimena toimivan sähkösuotimen, rikinpoistoreaktorin ja hiukkasten jälkierottimena toimivan sähkösuotimen kautta savupiippuun. Rikinpoisto tapahtuu puolikuivamenetelmällä. Rikkiä sitova kalkki tuodaan laitoksen siiloon poltettuna kalkkina, sammutetaan vedellä, sekoitetaan rikinpoistoreaktorilta ja jälkierottimelta kerätyn kiertopölyn ja veden kanssa, paineistetaan ja paineilman avulla puhalletaan sumuna rikinpoistoreaktoriin.

Savukaasut johdetaan K3:n savukaasujen kanssa yhteiseen savupiippuun, jossa K1:lle on oma hormi. Yhteisen piipun korkeus on 148 metriä maan pinnasta.

## Päästörajat

K1-kattilalle asetetut päästörajat on esitetty taulukossa 3/9. Mikäli kattilassa poltetaan kivihiilen lisäksi myös maakaasua, päästörajat lasketaan taulukon viimeisen sarakkeen yhtälöistä. K1:n hiukkasten, rikkidioksidin ja typenoksidien päästöraja-arvoja monipolttoainekäytössä ei ole katsottu tarpeelliseksi antaa yksittäisinä lukuarvoina, koska luvan saaja ei voi maakaasun saatavuusvaihteluiden vuoksi sitoutua tiettyyn polttoainetehojakaumaan kivihiilen ja maakaasun kesken.

Taulukko 3/9. K1-kattilan päästörajat poltettaessa pelkkää kivihiiltä ja poltettaessa sekä kivihiiltä että maakaasua.

Päästö	Yksikkö	K1 pelkkä kivihiili	K1 kivihiili+maakaasu
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	1 120	(X <sub>kh</sub> x 1 120) + (X <sub>mk</sub> x 29,2)
NO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	600	(X <sub>kh</sub> x 600) + (X <sub>mk</sub> x 250)
Hiukkaset	mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	50	(X <sub>kh</sub> x 50) + (X <sub>mk</sub> x 4,2)

## 3.4. Tuhkien hyödyntäminen

Kivihiilen poltossa syntyy vuosittain lentotuhkaa 20 000–30 000 t ja pohjatuhkaa 3 000–5000 t. Rikinpoistotuotteita muodostuu 5 000–10 000 t.

Suuri osa lentotuhkasta ja rikinpoistotuotteesta käytetään nykyään kaivostäyttöön Lohjan Tytyrin kaivoksella. Lentotuhkasta merkittävä osa menee myös betonin, sementin ja asfaltin raaka-aineeksi ja pieni osa myös maarakennuskäyttöön.

### **3.5. Kokemuksia biopolttoaineista Suomenojalla**

Vuonna 2002 hiilipölykattilassa (K1) suoritettiin kaksi kuukautta kestänyt biopolttoaineiden käytön koejakso, jossa demonstroititiin Enprima Engineeringin kehittämää seospolttojärjestelmää. Biopolttoaineiden syöttöä varten kattilaan asennettiin väliaikainen syöttöjärjestelmä, jossa oli ruuvilla varustettu syöttötasku, putkilinja polttimille sekä puhallin biopolttoaineen siirtämiseen. Lisäksi kattilaan asennettiin erityiset monipolttoainepolttimet.

Biopolttoaineina käytettiin sahanpurua, vihreää ja ruskeaa haketta sekä puhdasta kierrätyspolttoainetta. Biomassan osuus oli maksimissaan 8 % polttoaine-energiasta.

Seospoltolla ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta kattilan hyötysuhteeseen, eikä seospoltto vaikuttanut kattilan likaantumiseen, korroosioon tai päästöihin. Sen sijaan polttoaineen murskauksen onnistuminen havaittiin kriittiseksi: mikäli palakoko ei ole tarpeeksi pieni, tuhkiin jää palamatonta ainesta erityisesti metsäpolttoaineiden kanssa.

Vaikka järjestelmää pidettiin teknisesti toimivana, biopolttoaineiden käyttöä ei ole jatkettu. Teknisesti tällaisella järjestelmällä voitaisiin korvata jopa kolmannes polttoainetehosta, mutta käytännössä tämä olisi vaatinut huomattavaa panostusta polttoaineen vastaanotto- ja käsittelyjärjestelmään.

## 4. Martinlaakson voimalaitos

Tiedot on poimittu Vantaan Energia Oy:n verkkosivuilta (2010).

Vantaan Energia Oy:n Martinlaakson voimalaitos on otettu käyttöön vuonna 1975 ja se tuottaa nykyään noin 90 % Vantaalla tarvittavasta kaukolämmöstä. Martinlaakson voimalaitoksen pääpolttoaineita ovat olleet maakaasu ja kivihiili. Raskasta polttoöljyä käytetään tuki- ja varapolttoaineena. Vara- ja tuki- polttoaineena voidaan käyttää myös kevyttä polttoöljyä.

Martinlaakson voimalaitoksella valtaosa energiasta tuotetaan sähkön ja kaukolämmön yhteistuotantona. Martinlaakson voimalaitoksessa on kolme voimalaitosyksikköä (voimalaitosyksiköt Mar1, Mar2 ja Mar4) sekä Rosenlew-kuumavesikattila, joiden yhteenlaskettu polttoaine-/lämpöteho on 714/385 MW. Laitoksen minimikäyttöteho on yleensä noin 25 % polttoainetehosta. Voimalaitoksen sähköteho on 212 MW.

Taulukko 3/10. Martinlaakson voimalaitoksen yksiköiden perustiedot.

	<b>Höyrykattila (Mar1)</b> - huippu- ja varavoimalaitos	<b>Höyrykattila (Mar2)</b> - perus- ja väli-kuormalaitos	<b>Kaasuturbiini-laitos (Mar4)</b> - perus-kuormalaitos	<b>Kuumavesikattila</b> - huippu- ja varakattila
Pääpolttoaine (Vara/tukipolttoaine)	Maakaasu (raskas polttoöljy)	kivihiili (maakaasu) (raskas polttoöljy)	maakaasu (kevyt polttoöljy)	raskas polttoöljy
Polttoaineteho (MW)	196	230	220 (165 + 55)	68
Nimellisteho (MW) - sähkö - lämpö	60 120	80 135	57 70	- 60
Tuotanto keskimäärin (GWh/a) - sähkö - lämpö	205 498	423 992	440 118	0 3
Keskimääräinen käyntiaika (h/a)	1 800	6 000	8 500	0–100
Tyypillinen hyötysuhde %	n. 85	n. 85	n. 90	n. 85
Käyttöönottovuosi Muutosvuosi	1975 1989	1982 1993	1995	1977

Martinlaakson voimalaitoksen perusteho tuotetaan pääasiassa kaasuturbiinilaitoksessa (Mar4) sekä kivihiiltä pääpolttoaineena käytävällä höyrykattilalla (Mar2), ja huippu- sekä varateho nykyään pääasiassa maakaasua polttoaineena käytävällä höyrykattilalla Mar1. Mar2-kattilaa ei käytetä kesäkaudella, jolloin sähkö ja kaukolämpö tuotetaan kaasuturbiinilaitoksessa (Mar4).



#### 4.1. Lämmön- ja sähköntuotanto ja polttoainekäyttö

Vuonna 2009 Martinlaakson voimalaitoksella tuotettiin sähköä 1 044 GWh, josta apujäähdytys­sähkön määrä oli 7 GWh. Martinlaakson voimalaitoksen osuus lämmöntuotannosta oli 1 618 GWh

Vuonna 2009 kivihiiltä poltettiin 1 150 GWh. Martinlaakson voimalaitoksen pääpolttoaineina on käytetty maakaasua (n. 1 800 GWh). Vara- ja tukipolttoaineena käytetään raskasta polttoöljyä, jonka keskimääräiseksi kulutukseksi on arvioitu 6 400 t/a. Kevyttä polttoöljyä käytetään varapolttoaineena, ja sitä on käytetty vain kaasuturbiinilaitoksessa tarkastettaessa sen toimintavarmuutta kevyellä polttoöljyllä. Martinlaakson voimalaitoksessa käytettyjen polttoaineiden kulutus on vuosina 2001, 2006 ja 2007 ollut seuraava:

Taulukko 3/11. Polttoaineiden käyttömäärät vuosina 2001, 2006 ja 2007.

	2001	2006	2007
Kivihiili	177 775 t	153 682 t	162 473 t
Maakaasu	165 292 000 m <sup>3</sup>	172 496 000 m <sup>3</sup>	179 501 000 m <sup>3</sup>
Raskas pö.	5 566 t	1 230 t	748 t
Kevyt pö.	0 t	0 t	7 t

#### 4.2. Mar2-voimalaitosyksikkö

##### Teknisiä tietoja

Vuonna 1982 käyttöön otettu Martinlaakso 2 -voimalaitosyksikkö (Mar2) on sähköä ja kaukolämpöä tuottava perus- ja välikuormalaitos, joka muodostuu kivihiili-, maakaasu- ja öljykäyttöisestä Ahlström-höyrykattilasta ja sen höyryturbiinilaitoksesta (kaukolämmitys­vastapaineturbiini) generaattoreineen. Mar2-kattilan polttoaine-/lämpöteho (230/135 MW) on saavutettavissa kaikilla kattilassa käytetyillä polttoaineilla (kivihiili, maakaasu ja raskas polttoöljy), joita on mahdollista käyttää samanaikaisesti. Voimalaitosyksikön sähköteho on 80 MW.

Kattilan pääpolttoaineena on kivihiili, jota on käytetty kattilan ainoana polttoaineena aina, kun se on ollut teknisesti mahdollista. Vuosina 2003–2007 kivihiilen osuus Mar2-kattilassa käytettyjen polttoaineiden energiamäärästä on ollut 93,4 % ja maakaasun osuus 6,6 %. Mar2-höyrykattilassa poltetaan samanaikaisesti kivihiiltä ja maakaasua lyhyitä jaksoja pääasiassa syksyllä ja keväällä.

Kivihiili kuljetetaan voimalaitoksen hiilisiilojen kautta hiilimyllyille, joista pölyksi jauhettu hiili puhalletaan kantoilman avulla polttimille. Kullakin hiilisiilolla (3 kpl) on oma hiilimylly, joka syöttää omaa poltintasoja. Hiilimyllyjen pyörivät seulat parantavat hiilipölyn jauhatusta ja tasoittavat hiilipölyn jakaantumista eri poltinnurkkien kesken. Mar2-kattila on nurkkapolttainen kivihiilipölypolttokattila, jossa on neljä poltinta kullakin kolmella poltintasolla. Polttimissa on venturisuuttimet.

Kivihiilipölyn palaminen tapahtuu noin 1 800 °C:ssa (poltinvyöhykkeen lämpötila) viipymäajan ollessa noin 4 s. Kattilassa on yläilman syöttö, ja polttoaineen palaminen loppuun varmistetaan säädettävillä yläilman­suuttimilla, joita käytetään palamisilman vaiheistamiseen niin, että poltinalueelle syötetty

### Liite 3: Voimalaitoskuvaukset

palamisilmamäärä vastaa poltinalueen oikeaa ilmakerrointa. Poltinalueen ilmakertoimen säädöllä lasketaan palamislämpötilaa.

Sekä maakaasua että raskasta polttoöljyä varten kattilassa on 12 poltinta. Raskasöljypolttimet ovat höyryhajoitteisia.

Mar2-kattilan keskimääräinen käyntiaika on noin 6 000 h/a, lämmöntuotanto 992 GWh/a ja sähkön- tuotanto 423 GWh/a. Sekä Mar1- että Mar2-höyrykattilalaitoksissa putkistoissa kiertävä vesi höyrytetään ja tulistetaan 535 °C:seen.

#### Päästöjen hallinta

Höyrykattilan Mar2 typenoksidien poisto on toteutettu hiilimyllyjenjauhatuksen, säädettävän yläilman syötön ja low-NO<sub>x</sub>-polttimien avulla.

Rikinpoisto on toteutettu Fläkt Niro -tekniikkaan perustuvalla puolikuivalla rikinpoistolaitteistolla, joka on mitoitettu saavuttamaan 95 %:n erotusaste, kun kivihiilen rikkipitoisuus on 1,8 %.

Mar2:n savukaasujen hiukkaspäästöjä rajoitetaan kahdessa vaiheessa. Ensin savukaasut johdetaan rikinpoistolaitoksen esierottimena olevaan höyrykattilan alkuperäiseen sähkösuodattimeen ja edelleen rikinpoistolaitoksen jälkeen ennen savupiippua olevaan letkusuodattimeen. Kattilan hiukkaspäästöt ovat erittäin pieniä, sillä erotusaste on yli 99,8 %.

#### Päästöt ja päästörajat

Vuoden 2008 helmikuussa toteutetuissa mittauksissa höyrykattilan Mar2 savukaasujen typenoksidipäästö oli kivihiiltä poltettaessa keskimäärin 455 mg NO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>, 6 % O<sub>2</sub>, (161 mg NO<sub>2</sub>/MJ) kattilan toimiessa 163 MW:n lämpöteholla ja 76,8 MW:n sähköteholla. Rikkidioksidipäästö oli vastaavasti keskimäärin 493 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>, 6 % O<sub>2</sub>, (175 mg/MJ) ja hiukkaspäästö keskimäärin 3 mg/Nm<sup>3</sup>, 6 % O<sub>2</sub>, (1,1 mg/MJ).

Höyrykattilan Mar2 savukaasujen rikkidioksidipitoisuus saa olla enintään 650 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup> kuivissa savukaasuissa muunnettuna 6 %:n happipitoisuuteen, typenoksidipitoisuus saa olla enintään 600 mg NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> kuivissa savukaasuissa muunnettuna 6 %:n happipitoisuuteen ja hiukkaspitoisuus enintään 25 mg/Nm<sup>3</sup> kuivissa savukaasuissa muunnettuna 6 %:n happipitoisuuteen. Päästöraja-arvot eivät koske kattilan käynnistys- ja alasajotilanteiden eikä savukaasun puhdistinlaitteiden häiriötilanteiden päästöjä.

Taulukko 3/12. Päästörajat ja vuonna 2008 mitatut päästöt.

Päästö	Yksikkö	Päästömittaukset 2008	Päästöraja
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	493	650
NO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	455	600
Hiukkaset	mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	3	25

### **Tuhkien hyötykäyttö**

Kivihiilikäyttöisen Mar2-kattilan sähkösuodattimelle erottunut lento- ja nuohoustuhka välivarastoidaan voimalaitoksen pihalla 500 m<sup>3</sup>:n lentotuhkasiilossa, johon mahtuu noin viikon aikana kertynyt tuhkamäärä. Mikäli lentotuhkan hiilijäännös on alle sen hyötykäyttökelpoisuusrajan (< 5 %), se on toimitettu betoni- ja asfalttiteollisuudelle (Rudus Oy). Muuten tuhka on toimitettu Lohjalle Nordkalk Oyj:n Tytyrin kaivostäyttöön.

Kivihiilikäyttöisen Mar2-kattilan pohjatuhka kerätään voimalaitoksen pihalla oleviin siirtolavoihin, välivarastoidaan tarvittaessa kivihiilen varastointialueella ja toimitetaan hyötykäyttäväksi kaatopaikkarakenteissa. Uudenmaan ympäristökeskus on 18.12.2007 kirjeellään No YS 1701 hyväksynyt Martinlaakson voimalaitoksen kivihiilen pohjatuhkalle Rudus Oy:n laadunhallintajärjestelmän, joka täyttää valtioneuvoston asetuksen (VNA 591/2006) eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa.

Rikinpoiston lopputuote välivarastoidaan voimalaitoksen pihalla olevassa lopputuotesiilossa ja toimitetaan kuivana hyötykäyttöön kelpaamattoman lentotuhkan kanssa Lohjalle Nordkalk Oyj:n Tytyrin kaivostäyttöön.

## 5. Kymijärven voimalaitos

Tiedot on poimittu Lahti Energia Oy:n verkkosivuilta (2010).

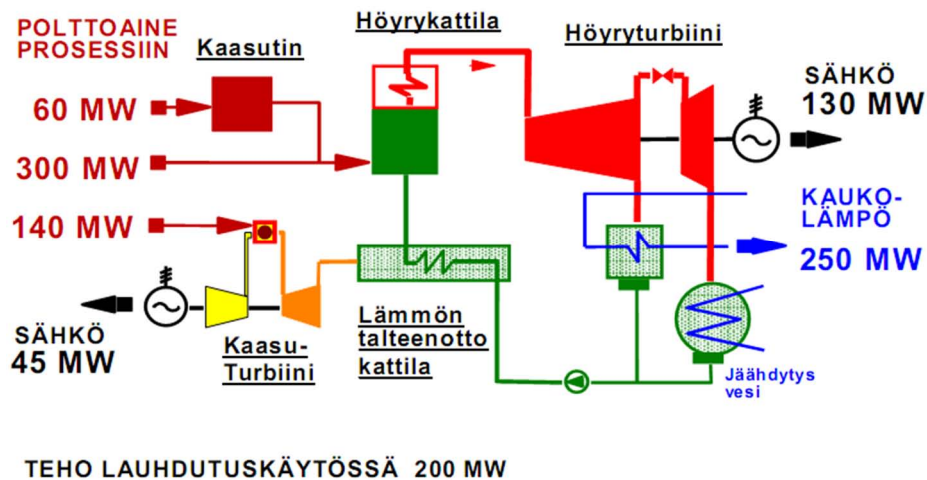
Lahti Energian omistama Kymijärven voimalaitos valmistui vuonna 1975, ja sen polttoaine oli aluksi pelkästään öljy. Vuonna 1982 tehtiin polttoainemuutos, jolla mahdollistettiin kivihiilen käyttö. Maakaasu tuli Lahteen 1986, jolloin rakennettiin pääprosessin yhteyteen kytketty kaasuturbiinilaitos sekä varustettiin pääkattila maakaasupolttimilla. Vuonna 1998 käynnistyi kaasutinlaitos, joka syöttää pääkattilaan biomassasta sekä kierrätyspolttoaineista (REF) valmistettua tuotekaasua.

Laitoksen sähköteho on 200 MW (lauhdutuskäytössä) ja kaukolämpöteho 250 MW. Vuotuinen energiantuotanto on noin 1 200 GWh kaukolämpöä ja 700–1 200 GWh sähköä.

### 5.1. Voimalan kuvaus

Voimalaitoksen kaaviokuva on esitetty alla (kuva 3/1). Voimalaitoksen pähöyrykattila on Benson-tyyppinen läpivirtauskattila, jonka höyryn arvot ovat 125 kg/s, 540 °C / 170 bar ja 540 °C / 40 bar.

Kaasutin on Foster Wheelerin toimittama, polttoaineteholtaan noin 60 MW kiertopetikaasutin. Kuuma tuotekaasu poltetaan kahdessa kattilan alaosassa hiilipolttimien alla sijaitsevassa seinäpolttimessa ilman tuotekaasun puhdistusta.



Kuva 3/1. Kymijärven voimalaitoksen kaaviokuva.

### 5.2. Polttoaineet

Kattilassa käytetään normaalisti vuosittain 1 700 GWh/a (250 000 t/a) hiiltä ja noin 350 GWh tuotekaasua ja 150 GWh maakaasua. Kaasuturbiinissa käytetään 300 GWh maakaasua. Kaasuttimella korvataan 15–20 % kattilan fossiilisesta polttoaineesta ja vähennetään laitoksen hiilidioksidipäästöjä lähes yhtä suurella prosenttiosuudella. Biopolttoaineiden käyttö vähentää myös typen oksidien päästöjä. Kaasuttimeen tuleva polttoaine sisältää 30–58 % vettä, 78–39 % palavaa ainetta ja 1–2 % tuhkaa. Tuotekaasun alempi lämpöarvo on välillä 2–4,5 MJ/kg.

### 5.3. Päästöjen hallinta

Kymijärven voimalaitoksen kivihiilikattilan jälkeen hiukkaset erotetaan sähkösuodattimella. Typenoksidipäästöjä hallitaan polttoteknisesti yläilman säädön ja low-NO<sub>x</sub>-polttimien avulla. Rikkidioksidi-päästöjä hallitaan erittäin vähärikkisen kivihiilen ja kaasupolttoaineiden avulla.

Kymijärven voimalaitoksella päästöjä on vähennetty polttoainevalikoimaa muuttamalla. Aluksi poltettiin pelkästään raskasta ja superraskasta polttoöljyä, jotka aiheuttivat nykyistä tasoa huomattavasti suurempia päästöjä typen oksidien, rikkidioksidin sekä pölyn osalta. Vuoden 1982 hiilimuutoksessa asennettiin tuohon aikaan erittäin suureksi mitoitettu sähkösuodatin. Laitoksen rikkidioksidi- ja pölypäästöt vähenivät ratkaisevalla tavalla. Sen jälkeen on rakennettu mahdollisuus polttaa maakaasua, jonka myötävaikutuksella sekä typen oksidit että rikkidioksidi on pystytty pitämään viranomaisten päätöksen mukaisissa raja-arvoissa.

Merkittävää on myös kaasuturbiinilaitoksen rakentaminen vuonna 1986, jossa osa energiasta tehdään aina maakaasulla ja joka nostaa laitoksen kokonaishyötysuhdetta sähkön tuotannossa noin 3–4 prosenttiyksikköä. Tämä oli ilmeisesti ensimmäinen sovellus koko Euroopassa tällaisesta hyötysuhdetta parantavasta kombikytkennästä.

Vuonna 1998 otettiin käyttöön kaasutin syöttämään pääkattilaa polttoainetta. Kaasutustekniikan käyttö biomassan ja jätteen hyödyntämisessä höyrykattilassa hiiltä korvaten on ensimmäisiä toimivia sovelluksia koko maailmassa. Kaasuttimen avulla vähennetään lisäksi pääkattilan typen oksidipäästöjä, rikkidioksidipäästöjä sekä pölypäästöjä. Kaasutin vähentää ennen kaikkea kuitenkin hiilidioksidipäästöjä koko laitoksessa noin 10 %. Prosessi perustuu yhdistettyyn sähkön- ja lämmön tuotantoon, jossa energiakäytön hyötysuhde on parhaimmillaan noin 85 % ja vuotuisellakin tasolla yli 70 %.

### 5.4. Käyttökokemuksia kaasutuksesta

Lahti Energian Kymijärven kaasutinlaitos on ainutlaatuinen jopa maailman mittakaavassa. Vuodesta 1998 alkaen laitoksella on kaasutettu reilusti yli miljoona tonnia puun ja erilliskerätyn energijätteen sekoitusta ja korvattu näin yli 600 000 tonnia kivihiiltä vähentäen samalla päästöjä. Kun käytetään 15 % tuotekaasua,

- hiilidioksidipäästöt vähenevät yli 10 %
- typenoksidipäästöt vähenevät 5 %
- rikkidioksidipäästöt vähenevät 10 %
- hiukkaspäästöt vähenevät yli 40 %
- myös raskasmetallipitoisuudet vähenevät.

Kaasutin käynnistettiin tammikuussa 1998. Koekäyttö ja alustavat säätöjen viritykset tehtiin puupolttoaineella. Tämän jälkeen tehtiin teknisiä koekäyttöjä eri polttoaineilla, kuten REF-polttoaineella, autonrengasmurskeella, liimaa sisältävällä puulla ja ratapölkyillä. Kaasutusprosessi toimi alusta lähtien hyvin. Olennaista on ollut, että itse kaasutinprosessi ei ole aiheuttanut yhtään pysäytystä pääkattilalle.

Polttoaineen käsittelyssä oli aluksi jonkin verran hankaluuksia, jotka johtuvat ennen kaikkea polttoaineen laadusta ja sen suurista vaihteluista. Muutostöiden jälkeen polttoaineiden käsittely on toiminut hyvin.

## 6. Naantalin voimalaitos

Tiedot on poimittu Fortum Oyj:n verkkosivuilta (2010).

Fortum Oyj:n Naantalin voimalaitos sijaitsee Naantalin satamassa. Se on tuottanut sähköä jo 50 vuoden ajan. Alun perin vain sähköä tuottanut voimalaitos tuottaa nykyisin myös pääosan Turun seudun kaukolämmöstä ja lähiseudun teollisuuslaitosten käyttämästä höyrystä. Laitoksen sähköteho on 256 MW, kaukolämpöteho 350 MW ja prosessihöyryteho 80 MW.

### 6.1. Kattilat

Laitoksella on kolme tuotantoyksikköä, joista jokaisen polttoaineteho on 315 MW (yhteensä 945 MW). Tuotantoyksikkö Naantali 1 (NA1) on otettu käyttöön vuonna 1960, Naantali 2 (NA2) vuonna 1964 ja Naantali 3 (NA3) vuonna 1972. Laitos toimii jatkuvasti lukuun ottamatta vuosittaista, noin viikon kestävästä laitteiden yhteistä huoltoseisokkia. Yksiköitä NA2 ja NA3 käytetään pääsääntöisesti kaukolämmön ja höyryn peruskuormalaitoksina ja yksikköä NA1 energiantuotannon vara- ja huippulaitoksena. Höyryn ja kaukolämmön tuotannon varmistamiseksi voimalaitoksella on myös neljä sähkökattilaa.

NA2:lla ja NA3:lla voidaan tuottaa samanaikaisesti kaukolämpöä ja höyryä 185 MW:n ja sähköä 70–80 MW:n teholla. NA2 voi tuottaa lauhdesähköä 120 MW:n teholla. Syksystä 2004 lähtien tämä on ollut mahdollista myös NA3:lla, kun yksikön turbiinin matalapaineosaan asennettiin siivistö. NA1:llä voidaan tuottaa samanaikaisesti kaukolämpöä 40 MW:n, höyryä 60 MW:n ja sähköä 65 MW:n teholla. Lauhdesähköä kattilalla pystytään tuottamaan 125 MW.

### 6.2. Polttoaineet ja energiantuotanto

Voimalaitos tuottaa sähköä siirtoverkkoon noin 1 000 gigawattituntia, höyryä teollisuusasiakkaille noin 600 gigawattituntia ja kaukolämpöä Turku Energia Oy:n lämmönsiirtoverkkoon noin 1 500 gigawattituntia vuodessa. Voimalaitoksella tuotettiin vuonna 2009 kaukolämpöä yhteensä 1 516 GWh, höyryä 370 GWh ja sähköä 1 125 GWh.

Noin 95 % laitoksen energiantuotannosta tuotetaan kivihieillä. Kivihiehi johdetaan hiilikentältä murskaimeen ja sen jälkeen hihnakuljettimella hiilisiiloihin ja edelleen hiilimyllyihin, joissa hiehi jauhetaan pölyksi. Laitoksella käytetään myös biopolttoaineita noin 2 % energiaosuudella. Biopolttoaine on puhdasta sahanpurua tai mahdollisesti haketta ja se tuodaan laitokselle maanteitse kuorma-autoilla. Kuormat tyhjennetään hiilikentälle, josta polttoaine siirretään yhdessä hiilen kanssa kattilaan. Kivihiehi ja siihen sekoitettu biopolttoaine johdetaan palotilan nurkkiin sijoitetuille polttimille palamisilmaan sekoitettuna.

Vuonna 2009 laitoksen tuotannosta 3 885 GWh tuotettiin kivihieillä, 83 GWh biopolttoaineilla ja 14 GWh öljyllä. Laitoksella on myös mahdollista polttaa jalostamokaasua.

### 6.3. Savukaasupäästöjen hallinta

Kaikkien Naantalin voimalaitoksen laitousyksiköiden savukaasut puhdistetaan voimassa olevien säästösten ja lupamääräysten edellyttämällä tavalla. Kaikkien yksiköiden hiukkaspäästöjä pienennetään

sähkösuodattimilla ja typenoksidipäästöjä low-NO<sub>x</sub>-polttimilla sekä palamisilman vaiheistuksella. Lisäksi yksiköiden NA2 ja NA3 savukaasut puhdistetaan yksiköiden yhteisellä, märkämenetelmään perustuvalla rikinpoistolaitoksella. Yksikön NA1 savukaasut johdetaan ulos 82 metriä korkean piipun kautta ja yksiköiden NA2 ja NA3 savukaasut 134 metriä korkean piipun kautta.

#### 6.4. Päästörajat

Taulukossa 3/13 on esitetty Naantalın voimalaitoksen päästöraja-arvot. Päästöraja-arvojen asettaminen on perustunut siihen, että voimalaitoksen yksikköä NA1 on tarkasteltu erillään yksiköistä NA2 ja NA3. Yksiköiden savukaasut johdetaan eri piippuihin ja voimalaitoksen yksiköt on rakennettu ja otettu käyttöön luvan perusteella ennen vuotta 1987. Yksiköt eivät siten muodosta LCP-asetuksessa tarkoitettua polttolaitoskokonaisuutta. Yksiköiden NA2 ja NA3 savukaasut johdetaan yhteiseen rikinpoistolaitokseen sekä tämän jälkeen yhteiseen piippuun ja hormiin. Yksiköitä NA2 ja NA3 on käsitelty yhdessä, koska niiden päästöt johdetaan samaan piippuun, eikä päästöistä voi erottaa, kummasta kattilasta ne ovat peräisin, kun kummatkin yksiköt ovat käytössä. Päästörajat on siis määrätty yhteenlasketun polttoainetehon perusteella.

Yksikön NA1 raja-arvot ovat LCP-asetuksen (VNA 1017/2002) mukaiset. Yksiköiden NA2 ja NA3, joissa voidaan polttaa samanaikaisesti kivihiiilen kanssa jalostamokaasua ja biopolttoainetta, päästöraja-arvot on laskettu LCP-asetuksen mukaisesti eri polttoaineiden painotettujen päästöraja-arvojen summana. Päästöraja-arvot on laskettu polttoaineseokselle, jonka sisältämästä energiasta 93 % on peräisin kivihiiilestä, 5 % jalostamokaasusta ja 2 % biopolttoaineesta.

Taulukko 3/13. Naantalın voimalaitokselle asetetut päästörajat.

Päästö	Yksikkö	NA1	NA2 ja NA3
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	850	390
NO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	600	490
Hiukkaset	mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	50	50

#### 6.5. Tuhkien hyötykäyttö

Voimalaitoksella vuosittain syntyneet tuhkamäärät vuosina 1998–2003 on esitetty taulukossa 3/14. Tuhkat ja rikinpoistojätteet toimitetaan ensisijaisesti hyötykäyttöön.

Tuhkia on hyödynnetty lähinnä rakennusaineteollisuudessa betonin lisäaineena ja maarakentamisessa. Vuosina 1998–2002 lentotuhkasta hyödynnettiin 24–87 % ja pohjatuhkasta 40–100 %.

Suurin osa rikinpoistokipsistä on hyödynnetty rakennuslevyteollisuuden (Knauf-Kipso Oy) raaka-aineena. Kipsi soveltuu myös esimerkiksi sementin lisäaineeksi. Vuosina 1998–2002 kipsistä hyödynnettiin 90–100 %. Hyötykäyttöön soveltumaton kipsi toimitetaan Härkäsuon kaatopaikalle.

Suodatinkakku on rikinpoistolaitoksen jätevedenpuhdistuksessa syntyvä kuivattu liete, jossa on vaihtelevia määriä kipsiä, silikaatteja, kalsiumhydroksidia ja metalleja. Suodatinkakku ei sovellu hyötykäyttöön, ja jäte on sijoitettu Härkäsuon kaatopaikalle tai poltettu kivihiielikattilassa, jolloin suodatinkakun osuus polttoaineen kokonaismäärästä on erittäin pieni.

Taulukko 3/14. Naantalın voimalaitoksella vuosittain syntyvien tuhkien määrät 1998–2003.

Tuhkalaji	Tuhkan määrä (t/a)
Lentotuhka	53 100–94 000
Pohjatuhka	8 400–17 700
Rikinpoistokipsi	5 900–16 400
Suodatinkakku	230–530

## 6.6. Tulevaisuuden suunnitelmia

Fortum Power and Heat Oy on selvittänyt korvaavan energiantuotantokapasiteetin rakentamista (Pöyry 2010) Naantalın nykyiselle voimalaitokselle. Turun alueen energiantuotanto perustuu suurelta osin Naantalın voimalaitoksen tuottamaan lämpöön ja sähköön. Fortumin tarkoituksena on taata tämän energiantuotannon jatkuminen Naantalın voimalaitoksella ja samalla vähentää merkittävästi hiilidioksidipäästöjä sekä lisätä biopolttoaineiden käyttöä Turun seudun energiantuotannossa. Myös rikki-, typpi- ja hiukkaspäästöjä on tarkoitus vähentää entisestään rakentamalla suunnitteilla oleva korvaava energiantuotantokapasiteetti uusinta teknologiaa hyödyntäen.

Ympäristövaikutusten arviointiohjelmassa on esitetty kaksi eri vaihtoehtoa nollavaihtoehtojen lisäksi. Vaihtoehdossa 1 energiaa tuotetaan uudella monipolttoainekattilalla, jonka polttoaineteho on 450 MW, sekä yhdellä olemassa olevalla voimalaitosyksiköllä, jonka polttoaineteho on 315 MW. Kaksi Naantalın nykyistä voimalaitosyksikköä poistetaan käytöstä. Monipolttoainekattilan polttoaineina käytetään biopolttoaineita, turvetta, hiiltä ja kierrätyspolttoainetta (REF). Lopullinen polttoainejakauma vaihtelee käytännössä käyttötilanteiden sekä polttoaineiden saatavuuden ja hinnan mukaan.

Vaihtoehdossa 2 kahteen Naantalın olemassa olevaan voimalaitosyksikköön liitetään polttoainetehoiltaan noin 50 MW:n kaasutinlaitteistot, jotka syöttävät pääkattiloihin biomassasta sekä kierrätyspolttoaineista (REF) valmistettua tuotekaasua. Tuotekaasun lisäksi kattiloissa poltetaan kivihiiltä. Kaasuttimilla korvataan noin 30 % kattilan fossiilisesta polttoaineesta. Lisäksi käyttöön jää yksi Naantalın olemassa oleva 315 MW:n voimalaitosyksikkö.

Nollavaihtoehtona tarkastellaan Naantalın voimalaitoksen nykytilannetta. Nollaplusvaihtoehtona tarkastellaan tilannetta, jossa nykyiset voimalaitosyksiköt toimivat vuonna 2016 voimaan astuvan, teollisuuden päästöjä koskevan IE-direktiivin (2010/75/EU) mukaisesti ja noudattavat sen asettamia, kiristyviä päästörajajoja.

Eri vaihtoehtoihin liittyviä laitosten teknisiä tietoja esitetään taulukossa 3/15.



Taulukko 3/15. Korvaavan energiantuotannon vaihtoehdot Naantalinvaihtolaitoksella.

	Vaihtoehto1		Vaihtoehto2			Nollavaihtoehto Nollaplusvaihtoehto
	Monipoltto- voimalaitos	Vanhakattila	Kaasutin olemassa olevaan kattilaan	Kaasutin olemassa olevaan kattilaan	Vanha kattila	Kolme olemassa olevaa kattilaa (NA1, NA2 ja NA3)
Polttoaineteho	450 MW	315 MW	315 MW 54 MW (kaasutin) *	315 MW 54 MW (kaasutin) *	315 MW	315 MW 315 MW 315 MW
Kaukolämmön tuotanto	1700 GWh/v	330 GWh/v	2200 GWh/v			2200 GWh/v
Sähkön tuotanto	770 GWh/v	135 GWh/v	830 GWh/v			830 GWh/v
Kokonais- hyötysuhde	84 %		82 %			83 %
Vuotuinen käyntiaika	8000 h	2400 h	5200 h	5200 h	3300 h	8760 h
Käytettävät polttoaineet	Biopolttoaine, turve hiili ja kierrätyspolttoaine REF	Hiili, biopolttoaine, ja jalostamokaasu	Biopolttoaine, kierrätyspolttoaine (REF) ja hiili	Biopolttoaine, kierrätyspolttoaine (REF) ja hiili	Hiili, biopolttoaine, ja jalostamokaasu	Hiili, biopolttoaine, ja jalostamokaasu
Vara- tai tukipolttoaine	Kevyt ja raskas polttoöljy	Kevyt ja raskas polttoöljy	Kevyt ja raskas polttoöljy	Kevyt ja raskas polttoöljy	Kevyt ja raskas polttoöljy	Kevyt ja raskas polttoöljy
*) Tuotekaasu 50 MW						

## 7. Vaasan voimalaitos

Tiedot on poimittu Vaskiluodon Voima Oy:n verkkosivuilta (2010).

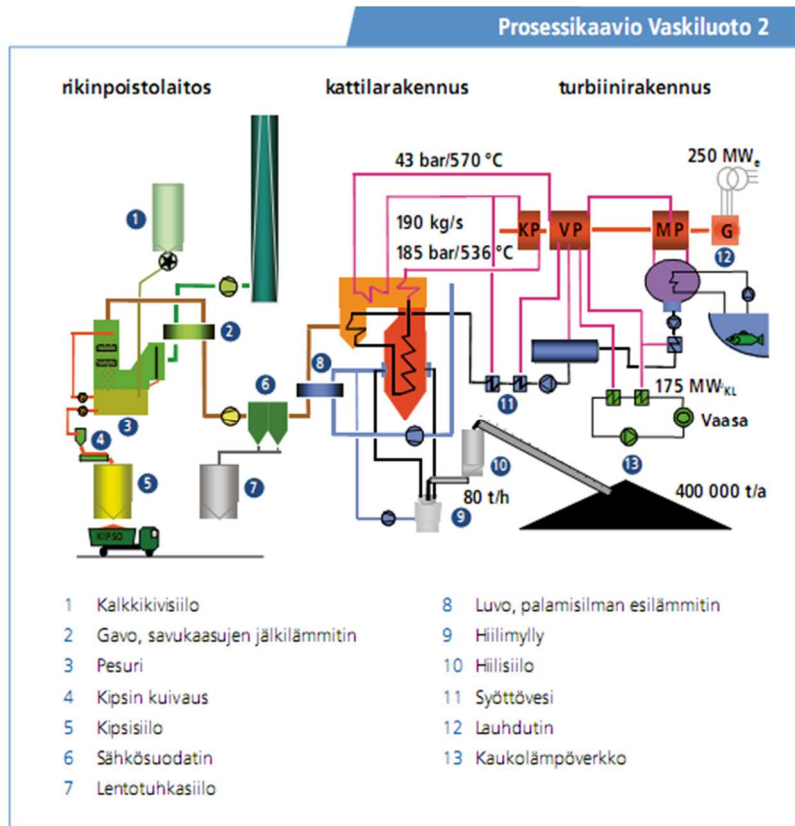
Vaskiluodon Voima Oy:n Vaskiluodon voimalaitos on peruskuorman tuotantoon käytettävä voimalaitos, joka käsittää polttoaineteholtaan 615 MW:n suuruisen kivihiilikattilan (VL2) ja polttoaineteholtaan 12 MW:n suuruisen raskasöljykäyttöisen apukattilan. Laitosten kokonaispolttoaineteho on 627 MW ja VL2:n vuotuinen käyntiaika 5 000–7 000 tuntia.

VL2 on Tampellan valmistama Benson-tyyppinen läpivirtauskattila, jonka nettosähköteho on 230 MW ja kaukolämpöteho 175 MW. Voimala on yhteistuotantolaitos, jolla tuotetaan samanaikaisesti sähköä valtakunnan verkkoon ja kaukolämpöä Vaasan alueelle. Vuonna 2009 VL2 tuotti sähköä 1 344 GWh ja kaukolämpöä 658 GWh. VL2 on otettu käyttöön vuonna 1982, ja sen polttoainetehoa on nostettu 430 MW:sta 615 MW:iin (30 %) vuonna 1997. Laitoksen apukattilaa (Warko) käytetään voimalaitoksen VL2 lisäksi myös PVO-Huippuvoima Oy:n Vaskiluodossa sijaitsevan voimalaitoksen (VL3) apukattilana.

Kivihiili poltetaan yksikössä VL2 pölypolttona. Kattilan hyötysuhde on noin 93 %, ja sen korkeapainehöyryn arvot ovat 185 bar/535 °C ja välitulistushöyryn arvot 46 bar/570 °C. Laitoksen kokonaisyötysuhde on lauhdekäytössä noin 40 % ja vastapainekäytössä noin 80 %. Vuositasolla kokonaisyötysuhde on vaihdellut välillä 50–60 %. Kattilan teknisiä tietoja on esitetty taulukossa 3/16.

Taulukko 3/16. VL2-kattilan tekniset tiedot.

Ominaisuus	Arvo
Polttoainetehto	615 MW
Sähköteho, netto	230 MW
Kaukolämpöteho	175 MW
Omakäyttösähkö	17 MW
Kivihiilen kulutus	80 t/h, 400 000–500 000 t/a
Rikinkoistolaitoksen kalkin kulutus	0,5–4 t/h
Kipsin tuotanto	1–8 t/h
Korkeapainehöyry	684 t/h (185 bar, 535 °C)
Välitulistettu höyry	46 bar, 570 °C
Käyntiaika	5 000–7 000 h/a



Kuva 3/2. VL2-yksikön prosessikaavio.

## 7.1. Savukaasujen puhdistus

SO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämistä varten laitoksella on FLS-Miljön vuonna 1993 toimittama japanilaisen Mitsubishin savukaasujen rikinpoistolaitos, joka perustuu märkäpesutekniikkaan. Se käyttää prosessi-alkalina kalkkikiveä ja tuottaa sivutuotteena hyötykäyttöön soveltuvaa kipsiä. Laitoksen rikinpoistoste on hyvää BAT-tasoa, eli noin 80–95 % savukaasujen sisältämästä rikistä saadaan erotettua.

Kivihiilikattilan typenoksidipäästöjä vähennetään polttoteknisin keinoin. Laitokselle hankittiin ensimmäiset low-NO<sub>x</sub>-polttimet vuonna 1994, ja ne on uusittu heinäkuussa 2007. Uusien polttimien myötä tehtiin muutos myös kattilan palamisilman syöttöön (OFA-yläilmajärjestelmä). Ensimmäisillä low-NO<sub>x</sub>-polttimilla typenoksidipäästöjä saatiin pienennettyä noin 50 % aiemmasta, ja uusilla polttimilla ja yläilmamuutoksella arvioidaan päästävän typenoksideissa LCP-asetuksen olemassa oleville laitoksille asettaman raja-arvon 500 mg NO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> (n) alle. Koska NO<sub>x</sub>-muutoksen on arvioitu lisäävän palamattoman hiilen osuutta lentotuhkassa, samassa yhteydessä parannettiin hiilen jauhatusta pyörivien seulojen avulla.

Sähkösuodattimilla erotetaan lentotuhkaa savukaasuista. Sähkösuotimessa on neljä sarjassa toimivaa erotuskenttää. Vuonna 1993 VL2:lle tehtiin sähkösuodatinlaajennus, jonka johdosta hiukkaspäästöjen puhdistusta tehostettiin entisestään ja erotusaste nousi yli 99 %:iin. Sähkösuodattimen erotusteho (takuuarvo) on 99,7 %. Savukaasut johdetaan ulkoilmaan 150,3 metriä korkean savupiipun kautta.

## 7.2. Päästöt ja päästörajat

Asiantuntijalaitos on 8.3.2007 suorittanut kivihiilikattilan jatkuvien päästömittausten vertailumittauksen standardin (SFS 2004) mukaisesti. Mittaukset suoritettiin sataprosenttisella kattilateholla. Vertailumittauksissa referenssimittauksen rikkidioksidipäästöt vaihtelivat välillä 13,6–298,4 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>, 6 % O<sub>2</sub>, kuiva kaasu, typenoksidien päästöt välillä 603,9–617,7 mg NO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>, 6 % O<sub>2</sub>, kuiva kaasu ja hiukkaspitoisuudet 8,6–35,3 mg/Nm<sup>3</sup>, 6 % O<sub>2</sub>, kuiva kaasu. Vertailumittauksissa rikkidioksidi- ja hiukkasmittausten vaihteluvälin korkeammat mittaustulokset mitattiin tilanteessa, jossa laitoksen rikinpoistolaitos ei ollut käytössä ja sähkösuodatin toimi vajaateholla, niin että kaksi kenttää oli pois käytöstä. Vertailumittauksen aikana käytetyn kivihiilen rikkipitoisuus oli 0,21 m-%. Laitoksen rikkidioksidin päästöraja-arvo ja hiukkaspäästöraja-arvo ovat LCP-asetusta (VNA 1017/2002) tiukempia.

Taulukko 3/17. Vaasan voimalaitoksen päästörajat ja vuonna 2007 tehtyjen mittausten tulokset.

Päästö	Yksikkö	Päästömittaukset 8.3.2007	Päästörajat 2008->
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	13,6–298,4	200
NO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	603,9–617,7	500*
Hiukkaset	mg/Nm <sup>3</sup> (6 % O <sub>2</sub> )	8,6–35,3	30

\*Vuonna 2016 200mg/Nm<sup>3</sup>

Voimalaitoksen polttotekniikka on muutettu kesällä 2007 niin, että laitos täyttää jatkossa LCP-asetuksen asettaman NO<sub>x</sub>-päästörajan. Aikaisemmin käytössä olleet NR2-polttimet on muutettu NR3-tyyppisiksi, ja palamista on vaiheistettu syöttämällä osa palamisilmasta yläsuuttimien kautta.

## 7.3. Tuhkien hyötykäyttö

Laitoksen toiminnassa syntyy suuria määriä lentotuhkaa ja pohjakuonaa sekä rikinpoistokipsiä. Voimalaitoksen toiminnassa syntyvät tuhkejätteet pyritään toimittamaan hyötykäyttöön. Mikäli tuhkien hyödyntäminen ei ole mahdollista, tuhkat toimitetaan kaatopaikalle (Runsoriin).

Laitoksen kivihiilikattilan lentotuhkia ja pohjakuonaa on hyödynnetty Vaasan kaupungin käytöstä poistetun Suvilahden kaatopaikan pintarakenteissa ja muissa maarakennuskohteissa. Lentotuhkaa on lisäksi toimitettu käytettäväksi betoniteollisuuden raaka-aineena sekä pohjarakennusmateriaaleina erilaisissa rakennuskohteissa. Osa tuhista on toimitettu yksityisille käytettäväksi esimerkiksi rakentamisessa.

Rikinpoistolaitoksen prosessista poistettava rikinpoistokipsi kuivataan (kipsin alkuperäinen kiintoainepitoisuus on noin 20 %). Kuivaus tapahtuu ensin hihnasuodattimella ja sen jälkeen esisakeuttimina käytettävillä hydroykloneilla. Rikinpoistokipsi on hyödynnetty rakennus- tai sementtiteollisuudessa. Rikinpoistokipsi on toimitettu mm. kipsilevytehtaan (Knauf Oy) raaka-aineeksi. Kipsi varastoidaan ennen hyötykäyttöön toimittamista laitosalueella sijaitsevilla silloilla. Laitoksen toiminnassa jätteeksi jäävä epäkurantti kipsi ja tuhka on toimitettu Stormossenin kaatopaikalle Mustasaaren. Kipsiliete on toimitettu Vaskiluodon Voima Oy:n omalle kaatopaikalle Runsoriin.

#### 7.4. Suunnitelmat peltobiomassojen käyttöön

Vaskiluodon Voima on hakenut lupaa peltobiomassojen (kuten viljanolki ja ruokohelmi) käyttöön niin, että peltobiomassojen osuus hetkittäisestä kokonaispolttoainekäytöstä olisi alle 20 % ja vastaavasti vuositasolla enintään 15 %.

Peltobiomassojen käyttö kattilan VL2 polttoaineena ei ole mahdollista voimalaitoksen nykyisellä polttotekniikalla. Peltobiomassojen käyttö rinnakkaispolttoaineena vaatii erillisen investoinnin. Kattilan muutostöissä on suunniteltu, että kattilan etuseinän yläpolttimille rakennetaan neljä uutta polttoainelinjaa.

Taustaselvityksen perusteella peltobiomassojen rinnakkaispoltto on teknisesti mahdollista toteuttaa. Selvityksessä oljen ja ruokohelven kokonaiskäyttömäärä olisi 400 GWh/a, josta oljen osuus olisi kolme neljäsosaa ja ruokohelven yksi neljäsosa. Tämän toteutuessa biomassan käyttö vähentäisi fossiilisista polttoaineista peräisin olevia hiilidioksidipäästöjä noin 130 000 tonnia, eivätkä laitoksen NO<sub>x</sub>-, SO<sub>x</sub>- ja hiukkas päästöt lisääntyisi. Peltobiomassojen määrä perustuu arvioon biomassojen saatavuudesta, järkevistä kuljetusetäisyyksistä ja teknisistä rajoitteista kattilassa. Enimmillään peltobiomassojen käyttö olisi 600 GWh/a kolmen vuoden keskiarvona. Käytettävän oljen kosteuden tulee olla alle 20 %, koska olki pitää jauhaa hienojakoiseksi (palakoko noin 30–50 mm).

Alustavan suunnitelman mukaan uudet laitteistot sijoitetaan kaasuturbiinien ja öljysäiliöalueen eteläpuolelle, nykyisen tuhkan välivaraston paikalle. Tälle alueelle sijoittuisivat polttoainekuljetusten purkupaikka, polttoainevarasto ja polttoaineen esikäsitteilylaitos (murskaamo). Vasaramyllyllä murskattu massa puhallettaisiin putkia pitkin hiilikattilan polttimille.

#### 7.5. Tulevaisuuden suunnitelmia

EPV Energia ja Pohjolan Voima suunnittelevat uuden 130 MW biokaasuttimen rakentamista Vaasan Vaskiluotoon. Noin 40 miljoonan euron hanke toteutettaisiin osakkuusyhtiö Vaskiluodon Voiman kivihiihivoimalaitoksen yhteyteen. Toteutuessaan hanke mahdollistaisi siirtymisen kivihiihien käytöstä kotimaisiin polttoaineisiin. Investointi on osa Pohjolan Voiman ja sen omistajien kolmen miljardin euron uusiutuvan energian investointiohjelmaa.

EPV Energia vastaavasti keskittyy määrätietoisesti päästöttömään energiatuotantoon. Yhtiö on käynnistänyt mittavat bio-, tuuli- ja ydinenergiaohjelmat, jotka tähtäävät uusiutuvan energian tuotannon lisäämiseen, kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen sekä fossiilisten polttoaineiden käytön korvaamiseen kotimaisilla polttoaineilla.

Vaasassa kaasuttimessa suunnitellaan käytettäväksi puu- ja peltoenergiaa sekä turvetta. Syntynyt kaasu poltetaan kivihiihien rinnalla hiilikattilassa. Kaasuttimella voidaan parhaimmillaan korvata 25–40 % nykyisestä kivihiihien käytöstä.

Hankkeelle on haettu tukea työ- ja elinkeinoministeriöstä, koska kyse on uudesta teknologiasta. Lopullinen investointipäätös voidaan tehdä pikaisesti tuki- ja ympäristölupapäätösten jälkeen. Rakentaminen on tarkoitus aloittaa keväällä 2011, ja biokaasuttimen arvioidaan valmistuvan syksyllä 2012.

## Lähdeluettelo

Fortum Oyj 2010. <http://www.fortum.fi> (20.11.2010).

Helsingin Energia 2010. <http://www.helen.fi> (20.11.2010).

IE-direktiivi = Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the council of 24 November on industrial emissions (integrated pollution prevention and control).

Lahti Energia Oy 2010. <http://www.lahtienergia.fi/lahti-energia/energian-hankinta-ja-tuotanto/5020.11.2010>.

Lahti Energia Oy. KYVO2. Roskat energiaksi. <http://www.lahtienergia.fi/lahti-energia/energian-hankinta-ja-tuotanto/kyvo2-voimalaitoshanke> (19.8.2011)

Pöyry 2010. Ympäristövaikutusten arviointiohjelma. Fortum Power and Heat Oy Naantalin voimalaitos. 52K30045.41. Syyskuu 2010.

SFS 2004. EN 14181. Stationary sources emissions. Quality assurance of automated measuring systems.

Vantaan Energia Oy 2010. <http://www.vantaanenergia.fi> (20.11.2010).

Vaskiluodon Voima Oy 2010. <http://www.vv.fi> (18.11.2010).

VNA 591/2006 = valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa.

VNA 1017/2002 = valtioneuvoston asetus polttoaineteholtaan vähintään 50 megawatin polttolaitosten ja kaasuturbiinien rikkidioksidi-, typenoksidi- ja hiukkaspäästöjen rajoittamiseksi.



Tekijä(t) Martti Flyktman, Janne Kärki, Markus Hurskainen, Satu Helynen & Kai Sipilä		
<b>Nimeke</b> <b>Kivihiilen korvaaminen biomassoilla yhteistuotannon pölypolttokattiloissa</b>		
<b>Tiivistelmä</b> Tässä työ- ja elinkeinoministeriön tilaamassa selvityksessä on esitelty tekniset mahdollisuudet kivihiilen korvaamiseen yhteistuotannon pölypolttokattiloissa erityyppisillä biomassoilla (sahanpuru, metsähake, peltobiomassat) ja niistä valmistetuilla kiinteillä, nestemäisillä tai kaasumaisilla jalosteilla, kuten pelleteillä, bioöljyillä, biohiilellä ja bioperäisellä maakaasulla. Kivihiilen vuotuinen käyttö kuudessa kaupungissa sijaitsevissa kattiloissa on ollut 14 TWh. Laitosten mahdollisuudet ja kustannukset kivihiilen korvaamisessa vaihtelevat erittäin paljon, samoin kuin biomassapolttoaineiden saatavuus ja hinta vaihtelevat suuresti eri paikkakunnilla. Tutkimuksessa arvioitiin, että kivihiilen käyttöä voidaan vähentää vuoteen 2015 mennessä noin 6 TWh korvaamalla sitä biomassoilla. Käyttöä vähentää tulevien jätteenpolttolaitosten ja suunnitteilla olevien monipolttolaitosten valmistuminen. Pellettejä voitaisiin ottaa nopealla aikataululla käyttöön jalosteille suunnatuilla sähkön tuotantotuilla arviolta yli 0,5 TWh. Biohiilen ja pyrolyysiöljyn käyttöönotto edellyttäisi myös investointiavustusta ensimmäisiin tuotantolaitoksiin. Uuden teknologian investointiavustuksilla kaasuttimiin tai erillisiin biomassan syöttölinjoihin metsähakkeen käyttö voisi nousta arviolta 2 TWh:iin, ja näissä voitaisiin hyödyntää myös peltobiomassoja luokkaa 0,5 TWh. Nykyhinnoilla sähkön tuotantotuen vuotuinen lisätarve jalosteille ja peltobiomassoille olisi 10 miljoonan euron tasolla ja investointiavustusten tarve yhteensä 80 miljoonaa euroa vuoteen 2015 mennessä. Tällöin uuden teknologian linjauksia ja vaihtoehtoja tulisi tarkistaa.		
ISBN 978-951-38-7779-8 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		Projektinumero 73326
Julkaisu-aika Elokuu 2011	Kieli Suomi	Sivuja 65 s. + liitt. 33 s.
Projektin nimi Kivihiilen korvaaminen biomassoilla yhteistuotannon pölypolttokattiloissa		Toimeksiantaja(t) Työ- ja elinkeinoministeriö
Avainsanat Energy, energy production, renewable energy, coal, biomass, bioenergy, cogeneration, district heating, combustion, gasification, pellet, torrefaction, biogas, biofuels, forest chips, agrobiomass, environmental impacts, socio-economic factors		Julkaisija VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4520 Faksi 020 722 4374







Series title, number and  
report code of publication

VTT Research Notes 2595  
VTT-TIED-2595

Author(s) Martti Flyktman, Janne Kärki, Markus Hurskainen, Satu Helynen & Kai Sipilä		
Title <b>Replacing coal with biomass in cogeneration plants using pulverised combustion technology</b>		
Abstract <p>In this report, that was commissioned by Ministry of Employment and the Economy, technology options for replacing coal with biomass in pulverised coal fired combined heat and power plants has been presented. Several different biomass fuel options (sawdust, forest chips, agrobiomass) and biomass based upgraded solid, liquid or gaseous fuels, like pellets, torrefied biomass and biomass based synthetic natural gas were included the study. In the studied seven CHP plants the annual use of coal has been about 14 TWh.</p> <p>Possibilities and costs of investments when replacing coal vary a lot. Also availability and price of biomass fuels varies much between different municipalities. It has been estimated that about 6 TWh coal could be replaced with biomass fuels until 2015. The use of coal will decrease also when the planned waste incineration plants and multifuel power plants have been taken in operation. In short term more than 0,5 TWh coal could be replaced with wood pellets enjoying feed-in tariffs for upgraded biomass fuels. Additionally, subsidies will be needed when the first torrefied wood and bio-oil production plants will be invested. Use of forest chips could be increased by about 2 TWh by adopting investment subsidies for biomass gasifiers utilising new technology. Those gasifiers could use also agrobiomass fuels about 0,5 TWh. Totally about 10 million € will be needed for feed-in tariffs when upgraded biomass fuels and agrobiomass will be utilised in CHP-production and about 80 million € will be needed for investment subsidies until 2015. After that the definition of policy utilising new technologies should be checked</p>		
ISBN 978-951-38-7779-8 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1455-0865 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/publications/index.jsp">http://www.vtt.fi/publications/index.jsp</a> )		Project number 73326
Date August 2011	Language Finnish	Pages 65 p. + app. 33 p.
Name of project Replacing coal with biomass in cogeneration plants using pulverised combustion technology		Commissioned by Ministry of Employment and the Economy
Keywords Energy, energy production, renewable energy, coal, biomass, bioenergy, cogeneration, district heating, combustion, gasification, pellet, torrefaction, biogas, biofuels, forest chips, agrobiomass, environmental impacts, socio-economic factors		Publisher VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4520 Fax +358 20 722 4374

## VTT Tiedotteita – Research Notes

- 2581 Juha Forsström, Pekka Lahti, Esa Pursiheimo, Miika Rämä, Jari Shemeikka, Kari Sipilä, Pekka Tuominen & Irmeli Wahlgren. Measuring energy efficiency Indicators and potentials in buildings, communities and energy systems. 2011. 107 p. + app. 5 p.
- 2582 Hannu Hänninen, Anssi Brederholm, Tapio Saukkonen, Mykola Evanchenko, Aki Toivonen, Wade Karlsen, Ulla Ehrnstén & Pertti Aaltonen. Environment-assisted cracking and hot cracking susceptibility of nickel-base alloy weld metals. 2011. VTT. 152 p.
- 2583 Jarmo Alanen, Iiro Vidberg, Heikki Nikula, Nikolaos Papakonstantinou, Teppo Pirttioja & Seppo Sierla. Engineering Data Model for Machine Automation 2011. 131 p.
- 2584 Maija Ruska & Juha Kiviluoma. Renewable electricity in Europe. Current state, drivers, and scenarios for 2020. 2011. 72 p.
- 2585 Paul Buharist, Laura Hakala, Erkki Haramo, Katri Kallio, Kristiina Kantola, Tuukka Kostamo & Heli Talja. Tietojärjestelmä osaamisen johtamisessa – visiot ja käytäntö. 2011. 36 s.
- 2586 Elina Rusko, Sanna Heiniö, Virpi Korhonen, Jali Heilmann, Toni-Matti Karjalainen, Panu Lahtinen & Marja Pitkänen. Messenger Package – Integrating Technology, Design and Marketing for Future Package Communication. Final Report. 2011. 90 p.
- 2587 Markus Olin, Kari Rasilainen, Aku Itälä, Veli-Matti Pulkkanen, Michal Matuszewicz, Merja Tanhua-Tyrkkö, Arto Muurinen, Lasse Ahonen, Markku Kataja, Pekka Kekäläinen, Antti Niemistö, Mika Laitinen & Janne Martikainen. Bentoniittipuskurin kytketty käyttäytyminen. Puskuri-hankkeen tuloksia. 2011. 86 s.
- 2588 Häkkinen, Kai. Alihankintayhteistyön johtamisesta metalliteollisuudessa. 2011. 71 s.
- 2589 Pasi Ahonen. Constructing network security monitoring systems (MOVERTI Deliverable V9). 2011. 52 p.
- 2590 Maija Ruska & Lassi Similä. Electricity markets in Europe. Business environment for Smart Grids. 2011. 70 p.
- 2591 Markus Jähi. Vartiointipalvelujen arvonmuodostus asiakkaan näkökulmasta. 2011. 91 s. + liitt. 6 s.
- 2592 Jari M. Ahola, Jani Hovila, Eero Karhunen, Kalervo Nevala, Timo Schäfer & Tom Nevala. Moni-teknisen piensarjatuotteen digitaalinen tuoteprosessi. 2011. 121 s. + liitt. 37 s.
- 2593 Mika Nieminen, Ville Valovirta & Antti Pelkonen. Systemiset innovaatiot ja sosio-tekniinen muutos. Kirjallisuuskatsaus. 2011. 80 s.
- 2595 Martti Flyktman, Janne Kärki, Markus Hurskainen, Satu Helynen & Kai Sipilä. Kivihillen korvaaminen biomassoilla yhteistuotannon pölypolttokattiloissa. 2011. 65 s. + liitt. 33 s.