



HÄMEEN
YMPÄRISTÖKESKUS

Lahden kaupungin ekotehokkuuden parantaminen

Lahti Energia

Vertailu kaasuttimen ekotehokkuudesta:
Kymijärven voimala kaasuttimella vs.
ilman kaasutinta

31.12.2004

Sisällysluettelo

1	Tiivistelmä.....	4
2	Yleistä	5
3	Luonnonvarapanostarkastelu.....	6
4	Laskennan kulku.....	8
5	Laskennassa tehdyt oletukset	10
6	Tulokset.....	12
6.1	Taulukot.....	12
6.2	Tulokset ja vertailu	12
7	Johtopäätökset	17
8	Liitteet	Error! Bookmark not defined.

1 Tiivistelmä

Lahti Energian Kymijärven voimalaitoksessa on vuodesta 1998 ollut käytössä Foster-Wheeler Energian toimittama kaasutin, joka syöttää pääkattilaan biomassasta sekä kierrätyspolttoaineista (REF) valmistettua tuotekaasua. Kaasuttimen ansiosta voidaan tuotekaasulla korvata n. 15-20% muutoin tarvittavasta kivihiilen määrästä.

Tässä raportissa on vertailtu kaasuttimella varustettua Kymijärven voimalaitosta tilanteeseen, jossa kaasutininvestointia ei olisi tehty. Tällöin tuotekaasun sijasta voimalaitoksella käytettäisiin n. 60000 tonnia enemmän kivihiiltä.

Vertailussa laskettiin kummankin vaihtoehdon ekotehokkuus, eli tarvittu luonnonvarapanos suhteessa tuotettuun kaukolämmön ja sähkön määrään. Ekotehokkuuslaskelmien perusteella voidaan todeta, että molemmissa vaihtoehdoissa (kaasuttimen kanssa tai ilman) suurin tarvittava luonnonvarapanos aiheutui kivihiilen käytöstä ja sen kuljetuksesta. Kaasuttimen käytöllä on positiivinen vaikutus ekotehokkuuden paranemiseen, mutta kivihiilen merkittävä osuus luonnonvarapanoksessa jättää muut tekijät varjoonsa, muiden sähkön- ja lämmöntuotantoprosessissa tarvittujen luonnonvarapanosten ollessa moninkertaisesti pienempiä.

Hieman yllättävänä tuloksena voidaan arvioinnin perusteella todeta, että merkittävin Kymijärven voimalaitoksen ekotehokkuuteen vaikuttava tekijä, johon myöskin pystytään vaikuttamaan ilman minkäänlaisia muutoksia itse voimalaitoksen prosessissa, on kivihiilen alkuperäalue. Tällä hetkellä Kymijärven voimalaitoksessa käytettävä kivihiili tuodaan Uralin takaa, Kuznetzin alueelta, lähes 4000 kilometrin junamatkan päästä. Kivihiilen kuljetus rekkalastina Loviisasta Lahteen ja erityisesti laivamatka Pietarista Loviisaan ovat pieniä tekijöitä junakuljetukseen verrattuna. Jos kivihiiltä pystyttäisiin tuomaan Kymijärven voimalaitokseen lähempää, esimerkiksi Puolasta, ja täten lyhentämään tarvittavaa junamatkaa esimerkiksi 200 kilometriin, olisi tällä erittäin merkittävä vaikutus Kymijärven voimalaitoksen ekotehokkuuteen. Kivihiilen tuominen Uralin takaa asemoi Kymijärven voimalaitoksen ekotehokkuuden Eurooppalaisen keskiarvon alapuolelle jos kaasutinta ei ole käytössä¹. Kun kaasutin on käytössä, Kymijärven voimalaitos yltää hivenen eurooppalaisen voimalaitoksen ekotehokkuuden keskitason yläpuolelle.

¹ Hacker 1997. Hackerin teoksessa tarkastellut voimalaitokset tuottavat vain sähköä, eivät siis ole CHP-voimalaitoksia. Kymijärven voimalaitoksessa on otettu mukaan sekä sähkön- että lämmöntuotanto. Täten voidaan olettaa että Kymijärven voimalaitoksen tulisi kirkkaasti ohittaa eurooppalainen keskiarvo, mutta kivihiilen pitkä kuljetusmatka muuttaa tilannetta.

2 Yleistä

Kymijärven voimalaitoksen sähkön- ja lämmöntuotannon ympäristövaikutuksia arvioitiin materiaalipanoslaskennan avulla. Mielekkäimmäksi tutkimuskohteeksi valittiin 90-luvun lopulla tehdyn kaasutininvestoinnin arviointi. Materiaalipanoslaskennan tuloksena syntyviä yksittäisiä lukuja on vaikea tulkita ilman vertailukohtaa. Niinpä kaasutininratkaisun vertailukohteeksi valittiin tilanne, jossa kaasutininvestointia ei olisi tehty. Kymijärven voimalaitoksen kaasutininratkaisu on uniikki voimalaitosinvestointi, jonka avulla on pystytty kivihiilen osittaisen korvaamisen lisäksi vähentämään laitoksen hiilidioksidipäästöjä lähes 20 prosentilla.

Kaikki Kymijärven voimalaitoksella tarvittavat energia-raaka-aineet, käytetyt laitteet, rakennukset sekä voimalaitoksen rakennusvaiheessa maakaatopaikalle mennyt maa-aines pyrittiin määrittämään. Laskelmissa on oletettu, että kaikki rakennusvaiheessa louhittu maa-aines on kuljetettu maakaatopaikalle. Rakennuspaikalle mahdollisesti kuljetettua maa-ainesta ei ole laskelmissa otettu huomioon. Tämän perusteella laskettiin tarvittu luonnonvarapanos.

Koska voimalaitoksen rakentamisen aloittamisesta on kulunut lähes 30 vuotta, on rakennusvaiheessa tarvittujen koneiden, siirretyn maa-aineksen sekä voimalaitokseen sitoutuneen teräksen, sementin ja betonin määrän arviointi ollut haasteellista. Voimalaitoksen käyttöä on laskelmissa oletettu 50 vuotta.

Kaasuttimen käsittelemän energiajätteen, puun ja muovin keräykseen tarvittavat kuljetukset on arvioitu Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy:ltä saatujen tietojen pohjalta, sekä Reetta Hämäläisen opinnäytetyön ”Maitotölkkin jätehuollon eri keräysvaihtoehtojen materiaalipanokset Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy:n toimialueella” avulla.

Kivihiilen ja maakaasun kuljetukseen Kymijärven voimalaitokselle tarvittavat toimenpiteet on selvitetty Lahti Energialta, ja matka-arvioissa (km) on jouduttu tekemään oletuksia esimerkiksi rataverkon pituudesta.

Vaikka monet erityisesti polttoaineen kuljetukseen liittyvistä luvuista ovat arvioita tarkan tiedon puuttuessa, ovat ne kokoluokaltaan kuitenkin lähellä todellisuutta. Materiaalipanoslaskelmissa on käytetty aikaisemmissa ekotehokkuuslaskelmissa käytettyjä kertoimia ja Wuppertal-instituutin taulukoita. Laskelmat ovat tämän raportin liitteenä, ja laskelmissa käytetyt oletukset esitetään luvussa 5.

Raportti on tehty osana Kaupungin ekotehokkuuden parantaminen –projektia. Tarkemmat tiedot projektista liitteenä. Tämän raportin on laatinut Tarja Teppo ja kommentoinut Michael Lettenmeier.

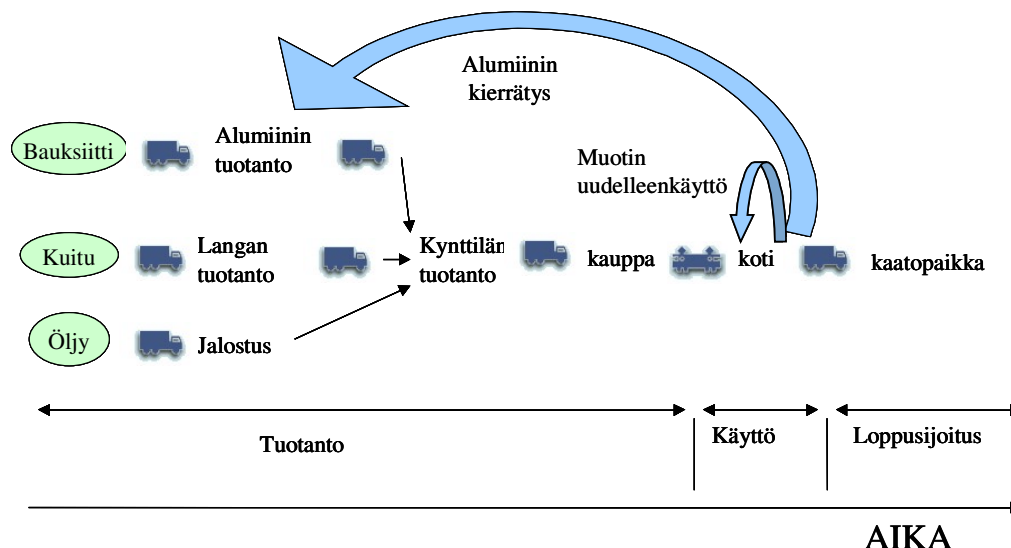
3 Luonnonvarapanostarkastelu

Länsimaisten yhteiskuntien ekotehokkuutta on lisättävä huomattavasti, jos tulevaisuudessa halutaan ylläpitää liiketoimintaa ja hyvinvointia nykyisissä määrin. Ekotehokkuuden lisäämiseksi on olennaista saada aikaan vähemmistä luonnonvaroista enemmän hyötyä. Lähtökohtana on, että yritystoiminnan tulee tuottaa mahdollisimman paljon palvelua tai hyötyä mahdollisimman vähästä määrästä luonnonvaroja mahdollisimman pitkäksi aikaa. Kansainvälisessä kestävä kehityksen keskustelussa esillä olleen Factor 10 -tavoitteen mukaan länsimaisten yhteiskuntien luonnonvarojen käytön tehokkuutta olisi kymmenkertaistettava tämän vuosisadan puoleenväliin mennessä.

Liiketoiminnan kehittäminen edellyttää sopivia mittareita. Luonnonvarojen kulutusta vähentävät ratkaisut pitää voida määrittää ja mitata. Vuonna 1992 Wuppertal-instituutti ehdotti materiaalipanosta palvelusuoritetta kohti (material input per unit service, MI/S tai MIPS) perusmittariksi tuotteiden ja palveluiden aiheuttaman ekologisen paineen arviointiin ja vertailuun. MIPSin avulla kestävä materiaalitalouden tavoittelu voidaan operationalisoida yritystoiminnan tasolla.

Jokainen tuote, jota käytämme, ja jokainen palvelu, jota hyödynnämme, on koko elinkaarensa aikana sidoksissa energia- ja materiaalipanoksiin. MIPS-mittarin MI-luku (material input, materiaalipanós) kertoo, minkä verran tietyn tuotteen tai toiminnon aikaansaamiseksi on jossakin vaiheessa ja jossakin päin maailmaa kulunut materiaalia. MI-luku sisältää siis tuotteen oman massan lisäksi tuotteen ns. ekologisen selkärepu, joka lasketaan tuotteen koko elinkaaren ajalta.

Esimerkiksi tuikkukynttilän elinkaareen laskettaisiin steariinin, sydänlangan ja alumiinimuotin valmistukseen tarvittavien raaka-aineiden hankinta sekä materiaalien jalostus. Lisäksi tuikkukynttilän valmistus, pakkaaminen ja kuljetus sekä tuotteen käyttäminen ja hävittäminen ovat elinkaaren vaiheita. Elinkaaren aikana tarvittavien panosten määrään vaikuttavat tehdyt oletukset esimerkiksi tuotteen loppusijoituksesta. Kynttilän muotti voidaan käyttää uudestaan sellaisenaan tai sen materiaali voidaan kierrättää alumiinin raaka-aineeksi. Mikäli kaiken tarvittavan alumiinin oletetaan tulevan kierrätetystä materiaalista, on tuotteen elinkaaren aikana tarvitsema panos pienempi.



Kuva 1 Tuikkukynttilän elinkaaren aikaiset vaiheet

Wuppertal-instituutin alun perin kehittämän mallin mukaan tuotteen tai toiminnan materiaalipanos lasketaan periaatteessa viitenä erillisenä MI-lukuna:

- uusiutuvat (bioottiset) ja
- uusiutumattomat (abioottiset) materiaalit,
- vesi,
- ilma (lähinnä polttoprosesseissa kulutettu happi) ja
- maa- ja metsätalouden aiheuttama eroosio.

Materiaalipanos ilmaistaan painoyksiköissä eli kiloina tai tonneina. Materiaalipanokseen sisältyy myös elinkaaren aikainen energiapanos, mutta sekin muunnettuna energiantuotannon ja -jakelun vaatimiksi materiaalikiloiksi.

Materiaalipanos lasketaan kertomalla prosessissa tai tuotteessa kulutettu aine- tai energiamäärä ko. raaka-aineen tai energialähteen MI-kertoimella. Näitä kertoimia on taulukoitu erilaisissa selvityksissä saatujen tulosten perusteella. MI-kertoimen yksikkönä on raaka-aineiden osalta kg/kg eli kg luonnonvaroja per kg tiettyä raaka-ainetta tai vastaavasti sähköpanoksille kg/kWh ja kuljetuspanoksille kg/tkm (tonnikilometri eli yksi tonni kuljetettuna kilometrin verran) Suurin osa tässä selvityksessä käytetyistä MI-kertoimista perustuu Wuppertal-instituutin yleiseurooppalaista tilannetta koskeviin selvityksiin.

Tässä selvityksessä on laskettu pelkkä abioottinen MI eli uusiutumattomien luonnonvarojen kulutus. Tämä on yleinen tapa silloin, kun ei ole mahdollista laskea kaikkia viittä eri MI-luokkaa. Abioottisen MI-luvun laskentaan on olemassa toistaiseksi paras tietopohja. Abioottinen MI-luku sisältää kaikki uusiutumattomat materiaalit, jotka luonnossa on siirretty pois alkuperäiseltä paikaltaan tietyn tuotteen tai toiminnan aikaansaamiseksi, esimerkiksi fossiiliset polttoaineet ja niiden louhinnan sivutuotteet, metallien tuotantoa varten louhitut malmit sivukivineen tai harjuista otettu sora.

MI:ia tai MIPSiä pidetään ihmisen ympäristölle aiheuttaman kokonaiskuormituksen yleismittarina. MIPS-lähestymistapa siirtää yrityksen ympäristöasioiden näkökulman päästöistä säästöihin ja tarjoaa siihen havainnollisen ja käytäntöön suuntautuneen työkalun. Tämä tuo uusia kehittämismahdollisuuksia perinteisten toimintatapojen rinnalle. Perinteisesti ympäristöasiat ovat olleet kustannustekijä, kun toiminnasta syntyviä päästöjä ja jätteitä on jouduttu käsittelemään ja muuttamaan vähemmän haitalliseen muotoon. Ekotehokkuuden ja MIPSin avulla päästään ympäristöhaittojen ja kustannusten ennaltaehkäisyyn.

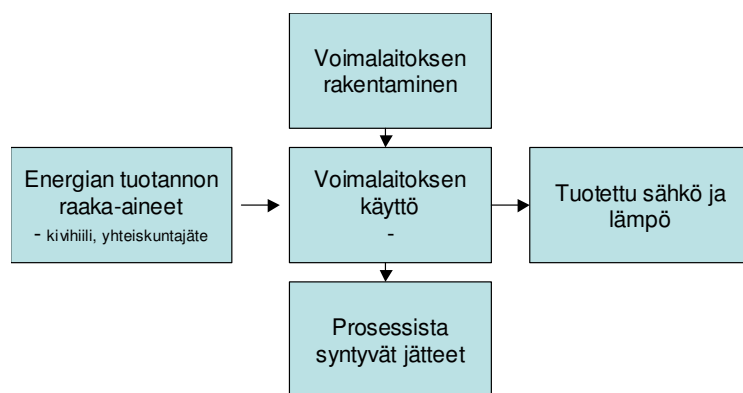
4 Laskennan kulku

Tässä laskennassa MI-määrien arviointi on tehty kahden skenaarion mukaisesti; Kymijärven voimalaitos kaasuttimen kanssa ja ilman kaasutinta.

Energiatuotantoprosessista tarkasteltiin kahta vaihetta: (1) voimalaitoksen rakentaminen ja (2) polttoaineen tyyppi, käytetty määrä ja kuljetus voimalaitokselle. Tuotetun sähkön ja lämmön määrässä ja jakelussa ei skenaarioiden välillä ole juurikaan eroja, joten näitä vaiheita ei otettu laskennassa huomioon.

Työvaiheiden sisällä on tehty jaottelu erilaisiin kulutustyyppeihin, jotka ovat: (1) materiaalit, (2) käytetyt koneet, kuljetukset ja kulutettu energia sekä (3) maakaatopaikalle menevä maa-aines.

Energiatuotantoprosessia on illustroitu kuvassa 2.



Kuva 2 Energiatuotantoprosessi

Vaiheen (1) eli voimalaitoksen rakennusvaiheen materiaaleista on otettu huomioon betoni, betoniteräs, sementti sekä teräs kuten liitteissä olevista taulukoista 1 ja 3 näkyy. Voimalaitoksen rakentamisvaiheessa käytetyt koneet ja kulutettu energia koostuu pääasiassa työtä varten tehdyistä kuljetuksista ja koneiden käytöstä työmaalla. Maakaatopaikalle menevä maa-aines sisältää kaikki työmaalta pois viedyt maamassat, mutta ei rakennuspaikalla uudelleenkäytettyjä tai rakennuspaikalle tuotuja maamassoja.

Vaiheen (2) eli polttoaineen tyyppi, käytetty määrä ja kuljetus voimalaitokselle on otettu huomioon kaikki energiantuotantoprosessissa käytetyt polttoaineet sekä niiden kuljetus voimalaitokselle, kuten liitteissä olevista taulukoista 2 ja 4 näkyy. Polttoaineiden kohdalla on käytetty vuoden 2003 tietoja.

Käytettäessä kaasutinta vuonna 2003 polttoaineita kului seuraavasti: kivihiiltä käytettiin 326 kt sekä jäte- ja biopolttoaineita 100 kt. Tämän lisäksi käytettiin 38 GWh maakaasua. Näillä tuotettiin vuonna 2003 sähköä 850 GWh ja kaukolämpöä 1065 GWh. Jäte- ja biopolttoaineiden koostumus vuoden 2003 oli seuraava: 38 kt liimapitoista puuta, 19 kt puhdasta puuta, 36 kt REFia ja 7 kt muovia = eli yhteensä 100 kt. Näissä huomioitavaa on, että MI-laskennan periaatteiden mukaan toisten prosessien jätteiden tai sivutuotteiden massojen ei lasketa enää uudestaan uusien tuotteiden MI-laskennassa, vaan huomioidaan ainoastaan niiden käyttöön saamisen aiheuttamat lisä panokset (kuljetus ja käsittely). Nämä massat on esitetty arviointitaulukossa, mutta MI-kerroin on materiaalien osalta 0 kg /kg.

Jos kaasutinta ei olisi käytössä, kuluisi 100 kt jäte- ja biopolttoaineen sijaan 60 kt enemmän kivihiiltä.

5 Laskennassa tehdyt oletukset

Koska esimerkiksi voimalaitoksen rakentaminen on tapahtunut lähes 30 vuotta sitten, on rakentamisajan materiaalivirtojen arvioinnin suorittamiseksi tehty seuraavia oletuksia:

Voimalaitoksen rakennusvaihe:

- Rakennusmateriaaleista otetaan huomioon betoni, sementti, betoniteräs ja teräs.
- Rakennusvaiheen materiaalimääristä käytetään Lahti Energialta saatuja arvioita, jotka ovat 10 tonnin tarkkuudella.
- Rakennusvaiheessa käytettyä betonia, sementtiä ja betoniterästä, yhteensä 33 kt, on kuljetettu keskimäärin 10 km rakennustyömaalle.
- Rakennusvaiheessa käytettyä terästä (kokonaismäärä 7870t) on kuljetettu keskimäärin 100 km. Tähän oletukseen sisältyy myös turpiinilaitoksen, generaattorin ja kattilalaitoksen toimitus Puolasta, Unkarista ja Saksasta.
- Kaasutin on valmistettu Foster Wheelerin Suomen tehtailla, Karhulassa. Oletuksena on kaasutinlaitoksen teräsmäärän (560t) kuljetus 100 kilometrin päästä
- Hiilimuutokselle ja kaasuttimen rakentamiselle oli Lahti Energiasta annettu yhteinen maansiirtomäärä, 50000 m³. Laskelmissa oletettiin että tästä puolet, 25000 m³, kului kaasuttimen rakennusvaiheessa, loput kohdistettiin voimalaitoksen rakennusvaiheeseen (eli sisältyy lukuun 535000 m³)
- Siirretylle maa-ainekselle on käytetty YTV:n tilavuuspainoja. YTV:n mukaan 1 m³ erottelematonta maa- ja kiviainesta painaa 1,3t. Kaatopaikan on oletettu olevan 10 km:n päässä voimalaitoksesta
- Maankaivuu: maan kaivuuseen oletetaan olevan 1.5 vuoden ajan, 250 työpäivää vuodessa ja 8 tuntia päivässä, (250 x 1.5 x 8 = 3000 tuntia) yksi kaivinkone.
- Kaivinkoneen dieselin kulutukseen käytettiin Uponor-casen arviota eli 20 l/h. Uponor-case on tehty saman kattoprojektin eli ”Kaupungin ekotehokkuus”-projektin alla kuin oheinen Lahti Energian projekti. Uponor-casen raportti on saatavissa projektin tutkijoilta TKK Lahden Keskuksesta.
- Kaasuttimen rakennusvaiheessa maankaivuuseen oletetaan menevän 5% siitä mitä koko voimalaitoksen rakentamisen aikana kului (suoraan suhteessa maa-aineksen määrään) eli 150h

Polttoaineet ja niiden kuljetus:

- Muutettaessa maakaasu GWh:sta kg:ksi käytetään tehollista lämpöarvoa 46 MJ/kg
- Kaasuttimessa käytettävälle liimapitoiselle puulle ja puhtaalle puulle käytetään MI-kerrointa 0 kg/kg, koska kyseessä on puujäte
- Puun kuljetus voimalaitokselle: Foster Wheelerin mukaan (EU esite Kymijärven voimalaitoksen kaasuttimesta) polttoaine kerätään 30-40 km:n säteeltä. Oletuksena laskelmissa käytetään 35 km.
- PHJ:n käsittelemän REFin määrä vuonna 2003 (vuosikertomuksen mukaan) oli 8303 tonnia. Kymijärven voimalaitoksessa käytettiin REFiä vuonna 2003 36 kt Täten Päijät-Hämeen ulkopuolelta REF:iä tuotiin 27,7 kt. Laskelmissa käytetään oletuksena että 8 kt REF:iä kuljetetaan 20 km:n etäisyydeltä ja 27,7 kt 120 km etäisyydeltä Kymijärven voimalaitokselle.

- Muovin kuljetus voimalaitokselle: Oletuksena käytetään laskelmissa 20 km etäisyyttä.
- Kivihiilen kuljetus voimalaitokselle: Kymijärven voimalaitoksessa käytettävä kivihiili on peräisin Kuznetzin alueelta, josta se kuljetetaan Suomenlahden satamaan. Täältä edelleen Loviisaan laivalla ja sitten rekoilla Loviisasta Lahteen. Kuznez Basin sijaitsee Kazakstanissa, josta junayhteys Pietarin alueelle on Moskovan kautta. Linnuntietä Almaty-Pietari etäisyys on 3620 km (Almaty on Kazakstanissa sijaitseva kaupunki). Täten oletuksena käytetään 4000 km, koska junarata kiertää Moskovan kautta Pietarin satamaan:
 - o Juna Kuznetz Basin, Kazakstan – Pietari: 4000 km
 - o Laivakuljetus Pietari—Loviisa: 200 km
 - o Rekka-auto Loviisa—Lahti: 70km
- Lahti Energian mukaan vuonna 2002 kaasuttimen käyttö vähensi kivihiilen käyttöä n. 60 000 tonnia. LE on myöskin todennut, että kaasuttimen käyttö vähentää kivihiilen käyttöä 15-20%. Laskelmissa on oletettu, että vuoden 2002 ja 2003 jätemäärien ja kaasuttimen käytön välillä ei ole juurikaan eroja. Jos siis 2003 kivihiilimäärään (326 kt) lisätään 60 kt, saadaan 386 kt. Jos lasketaan prosenttisäännön mukaan (20% enemmän) saadaan vuodelle 2003 391,2 kt. Laskelmissa käytetään lukua 390 kt kivihiiltä, jos kaasutin ei ole käytössä.

Oletusten vaikutusta laskelmiin voidaan tarkastella suoraan laskelmien tuloksista. Tarvittaessa oletuksiin voidaan tehdä muutoksia ja katsoa, miten erot oletuksissa vaikuttavat laskelmien lopputuloksiin.

6 Tulokset

6.1 Taulukot

Voimalaitoksen rakentamiseen, käytettyihin polttoaineisiin ja polttoaineiden kuljetukseen voimalaitokselle liittyvät MI-määrät on esitetty taulukkoina erikseen ”Voimalaitos kaasuttimella” –skenaariolle ja ”Voimalaitos ilman kaasutinta” skenaariolle. Nämä taulukot ovat raportin liitteenä. Taulukoissa on eritelty käytetyt materiaalit, koneet, kulutettu energia ja maakaatopaikalle viety maa-aines. Arvioinnin lähtökohtana on käytetty määrä, joka lukee taulukossa ensimmäisessä sarakkeessa. Tämä voi olla massa, tilavuus, kuljetettu matka, käytetty aika tai kuljetussuorite tonnikipometreissä. Kuljetussuorite lasketaan kertomalla kuljetettu matka kilometreinä kuljetetulla massalla tonneina. Esimerkiksi 10 tonnia painavan lastin kuljettaminen 2 kilometrin matkan tarkoittaa 20 tonnikipometria (2 km * 10 t = 20 tkm). Määrä/käyttö -sarakkeen jälkeen tuleva yksikkö -sarake kertoo missä yksikössä määrä on ilmoitettu.

Joihinkin käytettyihin resursseihin liittyy kulutus tai muu vastaava kerroin. Käytetyissä koneissa tähän liittyy polttoaineen kulutus tunnissa (l/h). Muita tässä sarakkeessa huomioituja ovat esimerkiksi maa-aineksen tiheys (t/m³). Käytetyn määrän ja kulutuksen perusteella saadaan lopullinen käytetty määrä kilogrammoina (kg), tonnikipometreinä (tkm) tai kilowattitunteina (kWh). Useimmiten kulutus -saraketta ei tarvita, vaan määrä saadaan suoraan ensimmäisen sarakkeen perusteella.

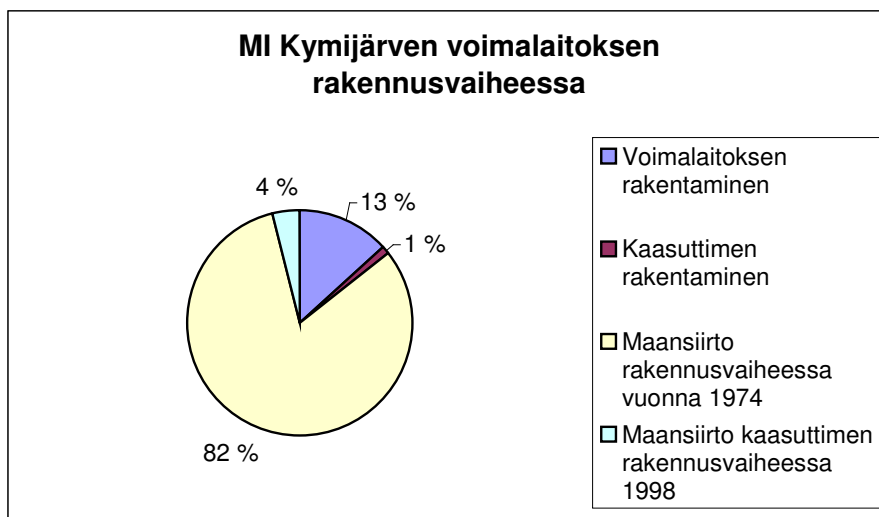
Näiden laskennan pohjana olevien Kymijärven voimalaitokseen liittyvien tietojen jälkeen on seuraavassa sarakkeessa kerrottu, mistä tiedot on saatu. Jos tietoihin liittyy jotain laskentaa tai arviointia prosentiosuuksien perusteella, kerrotaan laskelmasta sarakkeen yläpuolella sekä kohdassa ”Laskennassa tehdyt oletukset”. Mikäli lopullisen määrän laskennassa on käytetty tiheyttä, on tästä huomautus kommentti -sarakkeessa. Esimerkiksi polttoaineiden käytön laskennassa on käytetty tiheyttä. Lisäksi tässä sarakkeessa on kerrottu maa-aineksen sijoituspaikka.

Kun lopullinen kulutettu määrä on saatu, voidaan tämän perusteella laskea kulutettu abioottinen materiaalianos taulukosta saatavan MI-kertoimen perusteella. Tässä arvioinnissa on käytetty pääasiassa Wuppertal-instituutin yleiseurooppalaisia kertoimia. Joitain kertoimia on saatu Michael Lettenmeierin kautta.

6.2 Tulokset ja vertailu

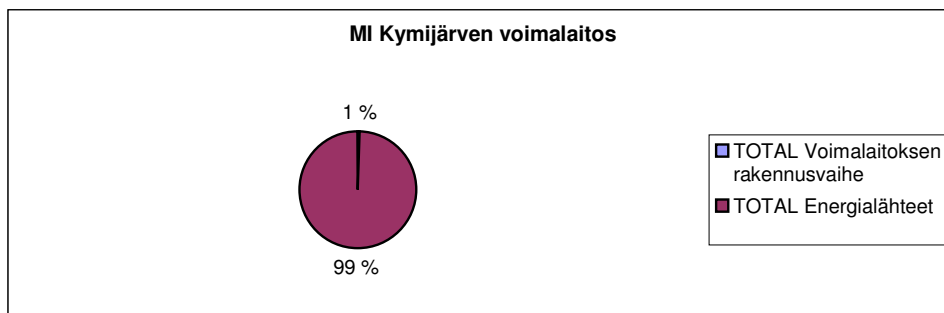
Tässä esitellään laskennassa saadut tulokset pääpiirteittäin esittämällä yhteenvedon molempien skenaarioiden tuloksista sekä muutaman kuvaajan. Laskennan perusteella saadut tarkemmat tulokset tarvittavista luonnonvarapanoksista on esitetty liitteenä olevissa taulukoissa.

Voimalaitoksen rakennusvaiheessa suurin osa luonnonvarapanoksesta on kulunut maansiirtoon, kuten kuvasta 3 näkyy.



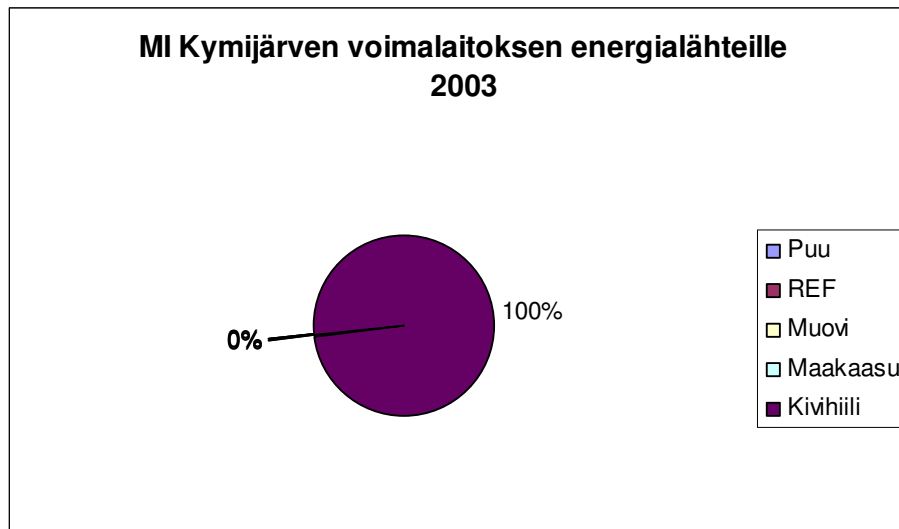
Kuva 3 MI Kymijärven voimalaitoksen rakennusvaiheessa

Toisaalta voimalaitoksen rakennusvaihe ei ole merkittävässä osassa koko voimalaitoksen materiaalipanoksia tarkasteltaessa. Laskelmissa on oletettu voimalaitoksen iäksi 50 vuotta, joten rakennusvaiheen materiaalipanos jakautuu 1/50 osaan yhden tarkasteluvuoden (tässä vuosi 2003) osalta. Kuten kuvasta 4 näkyy, vain 1% materiaalipanoksesta on aiheutunut voimalaitoksen rakennusvaiheesta.



Kuva 4 MI Kymijärven voimalaitos

Materiaalipanos Kymijärven voimalaitoksessa käytettäville polttoaineille kohdistuu lähes täysin kivihiilelle kuten kuvasta 5 näkyy, mikä ei sinänsä ole yllättävää.



Kuva 5 MI Kymijärven polttoaineet

Siirryttäessä vertailemaan Kymijärven voimalan ekotehokkuutta kaasuttimen kanssa ja ilman, voidaan tarkastella taulukoissa 1 ja 2 näkyvää yhteenvetoa kulutetusta materiaalipanoksesta.

Yhteenveto 1 MI Voimalaitos kaasuttimen kanssa

	abioottinen MI määrä, kg	materiaalit (kg)	käytetyt koneet ja kulutettu energia (kg)	maakaato- paikalle menevä maa- aines (kg)	yht.
Voimalaitoksen rakennusvaihe					
Voimalaitoksen käyttöaika (v)	50				
Voimalaitoksen rakentaminen	2,286,228	2,266,288	19,940	0	2,286,228
Kaasuttimen rakentaminen	226,080	223,680	2,400	0	226,080
Maansiirto rakennusvaiheessa vuonna 1974	14,050,455	0	140,455	13,910,000	14,050,455
Maansiirto kaasuttimen rakennusvaiheessa 1998	663,068	0	13,068	650,000	663,068
TOTAL Voimalaitoksen rakennusvaihe	17,225,830	2,489,968	175,862	14,560,000	17,225,830
yht. Tonneina	17,226	2,490	176	14,560	17,226
	abioottinen MI määrä, kg	materiaalit (kg)	kuljetus (kg)		yht.
Energialähteet					
Kaasuttimen kanssa					
Puu	1,995,000	0	1,995,000		1,995,000
REF	3,490,000	0	3,490,000		3,490,000
Muovi	140,000	0	140,000		140,000
Maakaasu	3,628,158	3,628,158			3,628,158
Kivihiili	2,911,832,000	1,649,560,000	1,262,272,000		2,911,832,000
TOTAL Energialähteet	2,921,085,158	1,653,188,158	1,267,897,000		2,921,085,158
yht. Tonneina	2,921,085	1,653,188	1,267,897	0	2,921,085
Yhteensä (Kaasuttimen kanssa)	2,938,310,988	1,655,678,126	1,268,072,862	14,560,000	2,938,310,988
Yhteensä tonneina	2938311	1655678	1268073	14560	2938311

Tuotetun sähkön MWh määrä	850000 MWh		
Tuotetun kaukolämmön määrä	1065000 MWh	t/Mwh:	1.534366051

Yhteenveto 2 MI Voimalaitos ilman kaasutinta

	abioottinen MI määrä, kg	materiaalit	käytetyt koneet ja kulutettu energia	maakaato- paikalle menevä maa-aines	yht.
Voimalaitoksen rakennusvaihe					
Voimalaitoksen käyttöaika (v)	50				
Voimalaitoksen rakentaminen	2,286,228	2,266,288	19,940		2,286,228
Maansiirto rakennusvaiheessa vuonna 1974	14,050,455		140,455	13,910,000	14,050,455
yht.	16,336,683	2,266,288	160,395	13,910,000	16,336,683
	abioottinen MI määrä, kg	materiaalit	kuljetus		yht.
Polttoaineen kerääminen					
Ilman kaasutinta					
Maakaasu	3,628,158	3,628,158			3,628,158
Kivihiili	3,483,480,000	1,973,400,000	1,510,080,000		3,483,480,000
yht.	3,487,108,158	1,977,028,158	1,510,080,000		3,487,108,158
Yhteensä (Ilman kaasutinta)	3,503,444,841	1,979,294,446	1,510,240,395	13,910,000	3,503,444,841
Yhteensä tonneina	3503445	1979294	1510240	13910	3503445
Tuotetun sähkön MWh määrä	850000 MWh				
Tuotetun kaukolämmön määrä	1065000 MWh	t/Mwh:	1.829475113		

Molempien taulukkojen alalaidassa näkyy kummassakin skenaariossa tarvittu materiaalipanos tuotettua sähköä ja kaukolämpö määrää kohti. Johannes Hackerin opinnäytetyön² mukaan vuonna 1997 eurooppalaisten hiilivoimalaitosten materiaalipanos tuotettua sähkömäärää kohti oli keskiarvoltaan oli 1,8 t/MWh (otettu huomioon vain sähköntuotanto). Suomalaisille voimalaitoksille oli Hackerin työssä saatu lukema 1,2 t/MWh (otettu huomioon vain sähköntuotanto). Mitä alhaisempi materiaalipanos tuotettua MWh:ta kohden, sitä ekotehokkaampi laitos.

Kymijärven voimalaitoksen skenaarioissa käytettyä materiaalipanosta verrattiin tuotettuun sähkön ja lämmön määrään. Täten molempien skenaarioiden tuloksena olevien MIPS – lukujen (t/MWh) tulisi odotusten perusteella olla reilusti ekotehokkaampia kuin eurooppalaiset voimalaitokset keskimäärin. Kaasuttimella varustettu voimalaitos on hieman eurooppalaista keskitasoa parempi luvulla 1,53 t/MWh mutta huomattavasti Hackerin työssä laskettua suomalaista keskitasoa heikompi. Ilman kaasutinta Kymijärven voimalaitoksen ekotehokkuus on eurooppalaista keskitasoa heikompi, luvulla 1,83 t/MWh.

Hackerin työssä kivihiilen kuljetusetäisyydeksi oletettiin 250 km, mikä monille keskieuropalaisille voimalaitoksille pitääkin paikkansa, kivihiilen tullessa Puolasta ja Saksasta. Kymijärven voimalaitoksen kohdalla kivihiilen louhinta-alueen etäisyys käyttöpaikasta on yli 16-kertainen Hackerin 250 km:iin verrattuna. Tällöin kivihiilen kuljetuksen materiaalipanos on lähes yhtä suuri kuin itse kivihiilen kuten edelläesitetystä yhteenvetotaulukoista 1 ja 2 näkyy. Tarkemmat luvut kivihiilen kuljetuksen suhteen näkyvät liitteenä olevista taulukoista 2 ja 4.

² J.Hacker. 2003. Bestimmung des lebenszyklusweiten Naturverbrauches für die Elektrizitätsproduktion in den Ländern der Europäischen Union. Diplomarbeit. Technische Universität Wien, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik.

7 Johtopäätökset

Lahti Energian Kymijärven voimalaitoksen kaasutininvestoinnilla on pystytty vähentämään ympäristövaikutuksia merkittävästi ilmanpäästöjen osalta, jotka ovat vähentyneet LE:n mukaan n. 15-20% aiemmasta. Kaasuttimen käytöllä on merkitystä myös ekotehokkuuden kannalta, tarvittavan materiaalien energiantuotantoyksikköä kohden (t/MWh) laskiessa 17 prosentilla.

Kaasuttimen käyttöä huomattavasti merkittävämpi rooli ekotehokkuuden parantamisen osalta on kuitenkin energiantuotantoprosessissa käytettävän kivihiilen alkuperämaalla ja sen etäisyydeltä Kymijärven voimalaitokselta.

Alla on laskettu ekotehokkuus hypoteettiselle tilanteelle, jossa kivihiili tuodaan 500 km:n junamatkan päästä 4000 km:n sijaan. Lisäksi Puolan MI-kerroin on selvästi nykyisin käytettyä alhaisempi, koska Puolan hiili tuotetaan yksinomaan maanalaisista kaivoksista. Tällöin kaasuttimella varustetun Kymijärven voimalaitoksen tuottaman energian MIPS-luku on 0,53 t/MWh. Tarkemmat laskelmat hypoteettisesta tilanteesta löytyvät liitteestä 5.

Tehdyn tarkastelun perusteella voidaan ehdottaa että voimalaitosten ympäristötarkastelussa tulisi kiinnittää huomiota käytettävän hiilen rikkipitoisuuden lisäksi siihen, kuinka kaukaa kivihiili voimalaitokselle tuodaan. Kuten Kymijärven voimalaitoksen ekotehokkuustarkastelusta näkyy, kivihiilen rahtaaminen tuhansien kilometrien päästä voimalaitokselle aiheuttaa huomattavan ympäristörasituksen.

Hypoteettinen tilanne jossa kivihiili tuodaan 500 km:n junamatkan päästä, esim. Puolasta, jossa kivihiilen MI-kerroin huomattavasti alempi maanalaisien kaivosten ansiosta	abioottinen MI määrä, kg	materiaalit (kg)	käytetyt koneet ja kulutettu energia (kg)	maakaato-paikalle menevä maa-aines (kg)	yht.
Voimalaitoksen rakennusvaihe					
Voimalaitoksen käyttöaika (v)	50				
Voimalaitoksen rakentaminen	2,286,228	2,266,288	19,940	0	2,286,228
Kaasuttimen rakentaminen	226,080	223,680	2,400	0	226,080
Maansiirto rakennusvaiheessa vuonna 1974	14,050,455	0	140,455	13,910,000	14,050,455
Maansiirto kaasuttimen rakennusvaiheessa 1998	663,068	0	13,068	650,000	663,068
TOTAL Voimalaitoksen rakennusvaihe	17,225,830	2,489,968	175,862	14,560,000	17,225,830
yht. Tonneina	17,226	2,490	176	14,560	17,226
	abioottinen MI määrä, kg	materiaalit (kg)	kuljetus (kg)		yht.
Energialähteet					
Kaasuttimen kanssa					
Puu	115,995,000	114,000,000	1,995,000		115,995,000
REF	3,490,000	0	3,490,000		3,490,000
Muovi	140,000	0	140,000		140,000
Maakaasu	3,628,158	3,628,158			3,628,158
Kivihiili (500 km junamatkan, laiva ja rekkamatkat samoja, Puolan kivihiilen MIPS alempi maanalaisien kaivosten vuoksi)	879,222,000	700,900,000	178,322,000		879,222,000
TOTAL Energialähteet	1,002,475,158	818,528,158	183,947,000		1,002,475,158
yht. Tonneina	1,002,475	818,528	183,947	0	1,002,475
Yhteensä (Kaasuttimen kanssa)	1,019,700,988	821,018,126	184,122,862	14,560,000	1,019,700,988
Yhteensä tonneina	1019701	821018	184123	14560	1019701
Tuotetun sähkön MWh määrä	850000 MWh				
Tuotetun kaukolämmön määrä	1065000 MWh		t/Mwh:	0.532480934	