

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

BH10A0200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

POLTTOAINEET JA NIIDEN KUSTANNUSTEN OPTIMOINTI LÄMMÖNTUOTOSSA

Työn tarkastaja: Professori Esa Vakkilainen

Työn ohjaaja: Professori Esa Vakkilainen

Lappeenrannassa 28.5.2012

0310100

Antti Porkka

Ente

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

Energiatekniikan koulutusohjelma

Antti Porkka

Polttoaineet ja niiden kustannusten optimointi lämmöntuotannossa

2012

Kandidaatintyö

30 sivua, 12 kuvaa ja 5 taulukkoa

Tarkastaja: Prof Esa Vakkilainen

Hakusanat: Polttoaine, lämmöntuotanto

Työ esittelee suomessa lämmöntuotantoon käytettävät polttoaineet, niiden verotuksen, hinnan kehityksen ja kustannusten optimoinnin. Polttoaineista maakaasu on käsitelty kattivimmin. Työssä perehdytään syihin, joista polttoaineiden hinnan vaihtelut johtuvat ja miten ne tiedostamalla voidaan vaikuttaa kustannuksiin. Työssä käydään läpi lämmöntuotannon rakenteen ja käytetyn tekniikan vaikutukset erilaisten polttoaineiden käyttöön.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology

Faculty of Technology

Degree Program of Energy

Antti Porkka

Fuel and optimization of their costs in heat production

2012

Bachelor's Thesis

28 pages, 12 pictures and 5 tables

Examiner: Prof. Esa Vakkilainen

Keywords: Fuel, heatproduction, optimization

This thesis introduces fuels that are used in heat production in Finland including taxation, development in prices and the optimization of costs. The most inclusive survey of the fuels is done on natural gas. This thesis familiarizes the reasons that influence fuel prices and how by knowing these reasons costs can be optimized. This thesis also introduces the structures of heat production and used technology and their influences on using different fuels.

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|--|----|
| 1 JOHDANTO | 2 |
| 2 POLTTOAINEET | 3 |
| 2.1 Kiinteät polttoaineet..... | 3 |
| 2.1.1 Puuperäiset polttoaineet | 3 |
| 2.1.2 Kivihiili | 5 |
| 2.1.3 Turve | 6 |
| 2.1.4 Peltobiomassat..... | 7 |
| 2.1.5 Kierrätyspolttoaineet..... | 7 |
| 2.1.6 Kiinteiden polttoaineiden verotus..... | 8 |
| 2.2 Nestemäiset polttoaineet | 9 |
| 2.2.1 Kevyt polttoöljy..... | 9 |
| 2.2.2 Raskas polttoöljy | 10 |
| 2.2.3 Biodiesel ja Bioetanoli | 10 |
| 2.2.4 Nestemäisten polttoaineiden verotus | 10 |
| 2.2.5 Nestemäisten polttoaineiden hintakehitys..... | 11 |
| 2.3 Kaasumaiset polttoaineet | 12 |
| 2.3.1 Maakaasu..... | 12 |
| 2.3.1.1 Maakaasun hinnan muodustuminen | 13 |
| 2.3.1.2 Siirron kulutusmaksu (siirtomaksu) [SM]..... | 15 |
| 2.3.1.3 Lisäsiirtomaksu [LSM] | 15 |
| 2.3.1.4 Maakaasun myynti ja sen hinnoittelu | 16 |
| 2.3.1.4 Energian kiinteä myyntitehomaksu [ETM]..... | 16 |
| 2.3.1.5 Lisäkaasu ja lisäkaasumaksu [LKM] | 17 |
| 2.3.1.6 Verot | 17 |
| 2.3.1.7 Maakaasun hinnankehitys | 18 |
| 2.3.2 Biokaasu | 18 |
| 2.3.3 Nestekaasut..... | 19 |
| 3 POLTTOAINEIDEN KUSTANNUSTEN OPTIMOINTI..... | 20 |
| 3.1 Teknologiset reunaehdot..... | 20 |
| 3.2 Markkinahintojen vaihtelut | 21 |
| 3.2.1 Polttoaineen saatavuuden vaihtelut..... | 21 |
| 3.2.2 Vuodenajasta riippuvat vaihtelut | 22 |
| 3.2.3 Suhdanteista johtuvat vaihtelut..... | 23 |
| 4 ESIMERKKIOPTIMOINTI: LISÄKAASUN KIPURAJA | 24 |
| 4.1 Lähtökohdat..... | 24 |
| 4.2 Lämmöntalteenoton vaikutus kannattavuuteen | 24 |
| 4.3 Laskennan perusteet..... | 25 |
| 4.4 Laskenta | 27 |
| 5 YHTEENVETO | 28 |

SYMBOLILUETTELO

Latinalaiset

| | | |
|------------|------------------------------------|------------------------|
| <i>KM</i> | Maakaasun kohdemaksu | [€] |
| <i>STM</i> | Siirron tilaustehomaksu | [€MW/KK] |
| <i>P</i> | Vuotuinen siirron tilausteho | [€MW/KK] |
| <i>SM</i> | Maakaasun siirtomaksu | [snt/m ³ n] |
| <i>LSM</i> | Maakaasun lisäsiirtomaksu | [snt/m ³ n] |
| <i>LNG</i> | Nesteytetty maakaasu | |
| <i>EM</i> | Maakaasun energiamaksu | [snt/m ³ n] |
| <i>ETM</i> | Maakaasun energian myyntitehonaksu | [€MW/KK] |
| <i>LKM</i> | Lisäkaasumaksu | [snt/m ³ n] |
| <i>V</i> | Polttoaineen vero | [€MWh] |
| <i>q</i> | Polttoaineen lämpöarvo | [kwh/m ³ n] |

Kreikkalaiset

| | | |
|----------|----------------------|-----|
| <i>η</i> | Prosessin hyötysuhde | [-] |
|----------|----------------------|-----|

Alaindeksit

| | |
|-------|--------------------------|
| oil | kevyt polttoöljy |
| kaasu | maakaasu |
| CO2 | Hiilidioksidi |
| HV | Huoltovarmuus |
| ES | Energiasisältö |
| VVM | Velvoitevarastointimaksu |
| K | Kokonaismäärä |

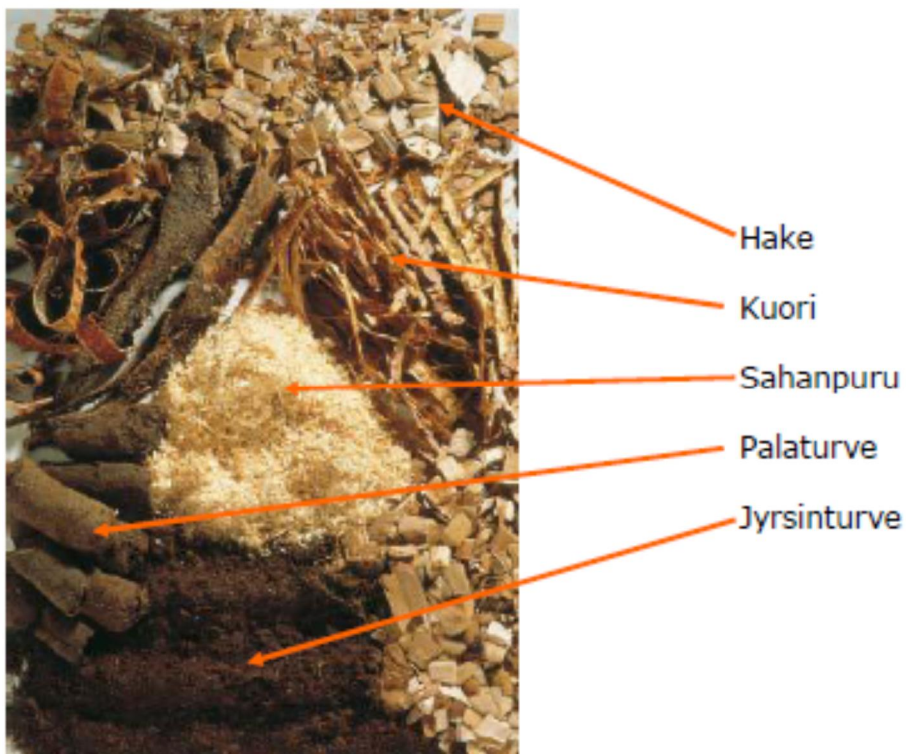
1 JOHDANTO

Lämmöntuotannon kustannusrakenne muodostuu kiinteistä ja muuttuvista kustannuksista. Tuotettu energia pitää hinnoitella siten, että kaikki tuotantokustannukset saadaan katettua ja että toiminta on kannattavaa. Tässä työssä esitellään muuttuvista kustannuksista polttoaineet. Polttoaineiden hinnat elävät jatkuvasti ja muutokset etenkin verotuksellisista syistä ovat olleet ja tulevat olemaan merkittäviä lähivuosikymmeninä. Mikäli yhtiö omaa monipuoliset polttotekniikat lämmöntuottoon voi se reagoida hinnan muutoksiin ja optimoida kustannuksiaan. Työssä keskitytään Suomessa lämmöntuottoon käytettäviin polttoaineisiin ja niiden hinnan muodostumiseen. Kaukolämpöala on aikaisemmin ollut monopoli-asemassa lämmöntuotannossa siellä missä sitä on vain ollut saatavana. Nykyään erilaiset vaihtoehtoiset lämmitys muodot ovat lisänneet suosiotaan kaukolämpö-alueilla. Tällaisia ovat esimerkiksi maalämpö ja aurinkokeräimet. Kilpailun ilmestyminen markkinoille pakottaa kaukiolämpöyhtiöt ajattelemaan hinnoitteluaan ja kustannusrakennettaan.

2 POLTTOAINEET

2.1 Kiinteät polttoaineet

Kiinteät polttoaineet ovat faasimuodoltaan kiinteitä ja niiden polttotekniikoina toimii esimerkiksi leijukerros – ja arinapoltto. Kiinteän polttoaineen lämmöntuotannon investointikustannukset ovat korkeammat kuin nestemäisillä tai kaasumaisilla.



Kuva 1. Puupolttoaineita

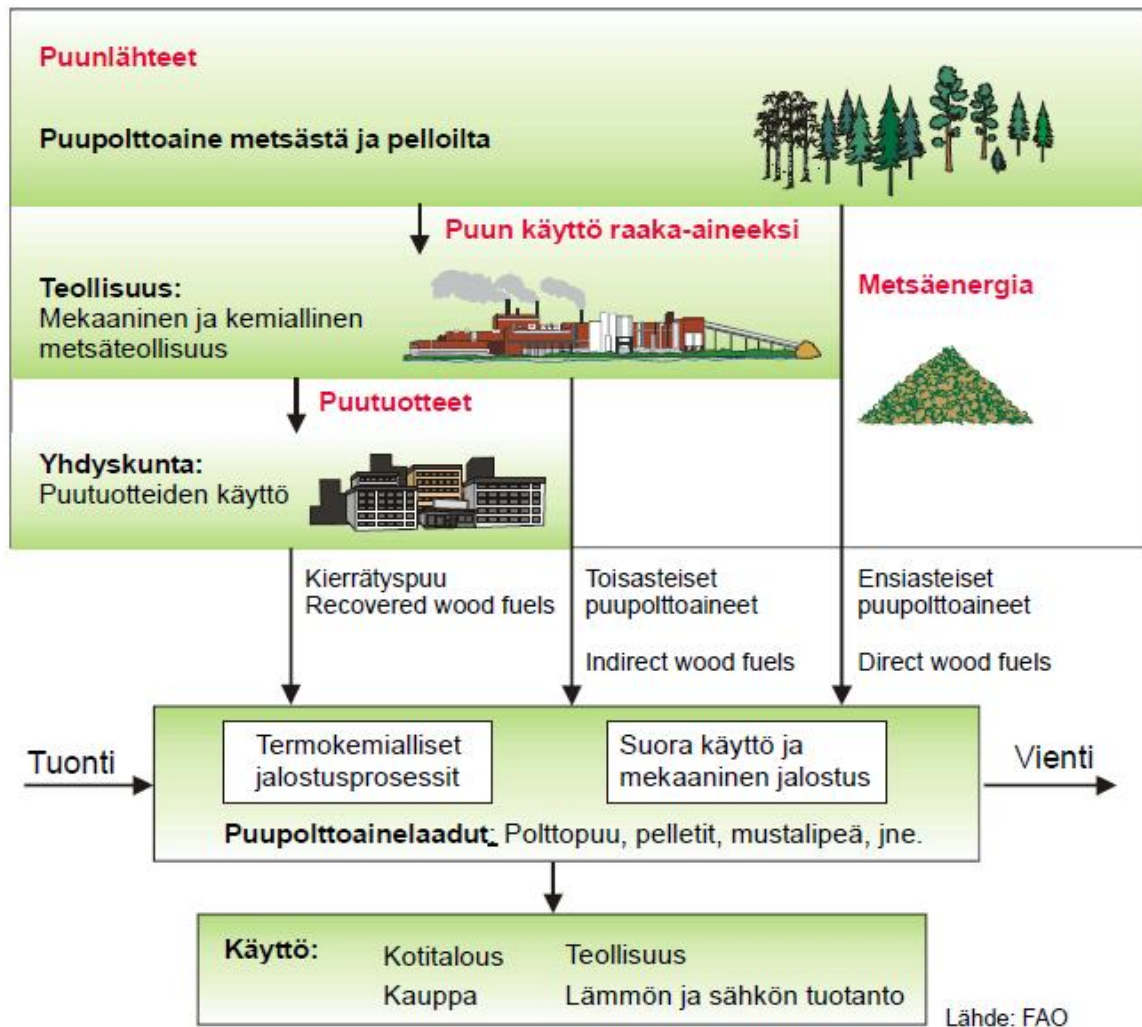
2.1.1 Puuperäiset polttoaineet

Puupolttoaineet voidaan luokitella eri luokkiin niiden laadun (hake, kuori, pilke, jalostetut puupolttoaineet kuten pelletit, briketot ja puuhiili) tai niiden alkuperän mukaan:

-Ensiasteiset, Kiinteät, nestemäiset tai kaasumaiset polttoaineet ovat metsästä tai pelloilta kasvatetusta puusta tai puunosista valmistettuja. Ne ovat siis ensiasteisesti jalostettu energiantuotantoa varten.

-Toisasteiset, kiinteät, nestemäiset ja kaasumaiset puupolttoaineet ovat teollisuuden sivutuotteina tai puutähteinä saatavia puupolttoaineita. Suomessa näitä puupolttoaineita käyttää energiantuotannossaan paljon saha- ja selluteollisuus.

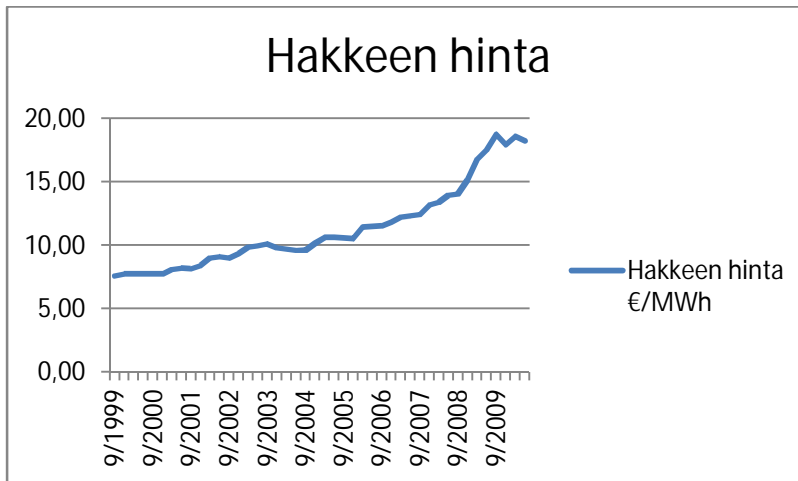
-Kierrätyspuupolttoaineet ovat käytetyistä puutuotteista valmistettuja puupolttoaineita (Alakangas 2000).



Kuva 2. Havainnekuva puunjalostusasteista

Ensiasteisille puuperäisille polttoaineille on ominaista saatavuuden ja hintojen vaihtelu eri alueilla. Suomessa on pyritty lisäämään puuperäisten polttoaineiden käyttöä muun muassa metsätähteen keruutekniikoita kehittämällä ja ottamalla puiden kantoja energiakäyttöön. Puuperäisille polttoaineille on tyypillistä se, että käyttömäärien kasvaessa hinta nousee, koska tarvittava puumäärä täytyy kerätä suuremmalta alalta ja kuljetuskustannukset

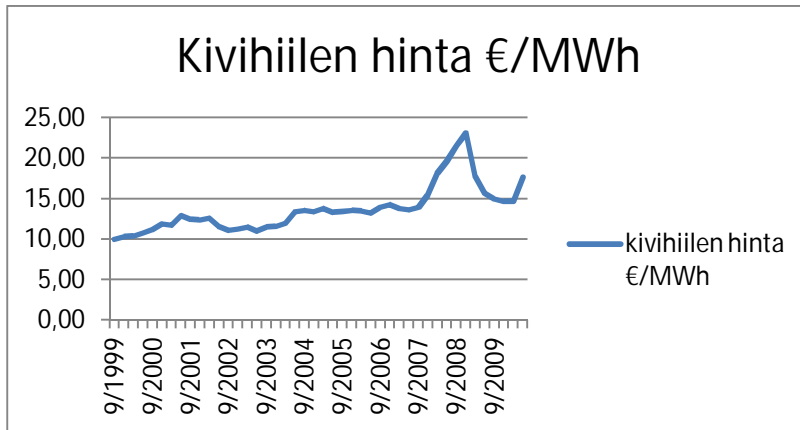
kasvavat. Päästökaupan piirissä oleville laitoksille puupolttoaineet ovat kiinnostava vaihtoehto myös siksi, että ne ovat hiilidioksidineutraaleja.



Kuva 3. Hakkeen hinnankehitys

2.1.2 Kivihiili

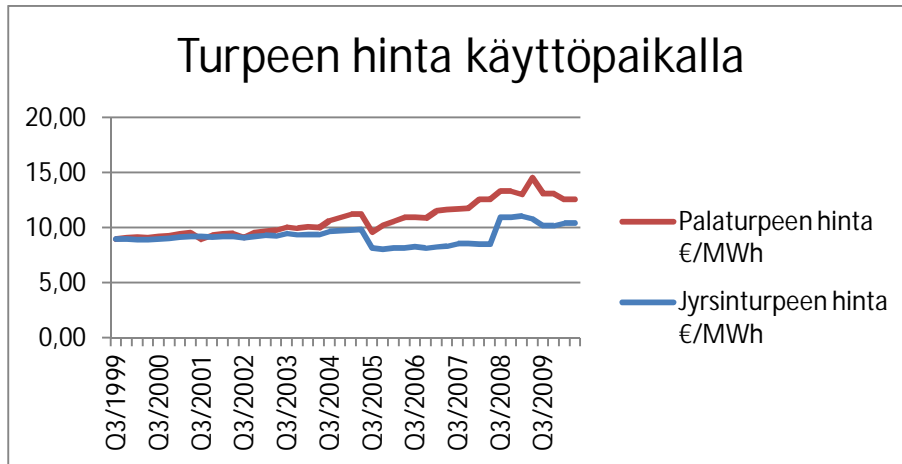
Kivihiili on eloperäinen, kiteytymätön, pääasiassa hiiltä, happea ja vetyä sisältävä kivilaji. Kivihiiltä on käytetty polttoaineena, koko ihmisen teollisen historian ajan. Polttoaineena se on halpa ja sisältää hyvin energiaa tilavuutensa nähden. Kivihiili on hinnaltaan erittäin vakaa, varastoitavissa oleva polttoaine. Kuljetusteknisistä syistä sen käyttö rajoittuu pitkälti rannikolla sijaitseviin voimalaitoksiin. Kivihiili on yksinomaan suurten voimalaitosten polttoaine eikä sitä käytetä pienissä tai keskisuurissakaan kattiloissa. Hiili toimii monien muiden polttoaineiden hinnoittelussa vertailutasona. Ympäristömielessä hiili ei ole suosittu polttoaine ja korkea päästökerroin heikentää sen kilpailukykyä.



Kuva 4. Kivihiilen hinnan kehitys

2.1.3 Turve

Polttoturvetta (jyrsin- ja palaturvetta) on saatavilla lähes kaikkialla Suomessa. Jyrsinturve on tyypillisesti isojen kattiloiden polttoaine, kun taas palaturve on huomattavasti monikäyttöisempi. Se soveltuu käytettäväksi voimalaitoksissa, lämpölaitoksissa ja kiinteistökokoluokan kattiloissa. Palaturpeen yksi etu on sen melko korkea lämpöarvo. Turpeen poltto puupolttoaineiden seassa vähentää myös kattilapintojen korroosiota, jota voi ilmetä käytettäessä pelkkiä puuperäisiä polttoaineita. Turpeen hintakehitys on ollut varsin maltillista suhteessa muihin lämmityspolttoaineisiin. Tähän on osaltaan vaikuttanut sen korkea hiilidioksidin päästökerroin, joka nostaa turpeen käytön kustannuksia päästökaupan piirissä olevissa laitoksissa. Turpeella on monia polttoprosessin kannalta hyviä ominaisuuksia. Se sisältää vähän haitallisia aineita, partikkelikoko ja kosteusprosentti ovat pienemmät kuin puulla, tuhkan määrä on alhainen ja sen sulamispiste korkea. Turve myös palaa tehokkaasti. Turpeen huonoja puolia ovat taipumus itsekuumenemiseen ja syttymiseen. Turve kasvaa luonnossa, mutta sen uusiutumisenopeus on pieni (Alakangas 2000).



Kuva 5. Turpeen hinnankehitys

2.1.4 Peltobiomassat

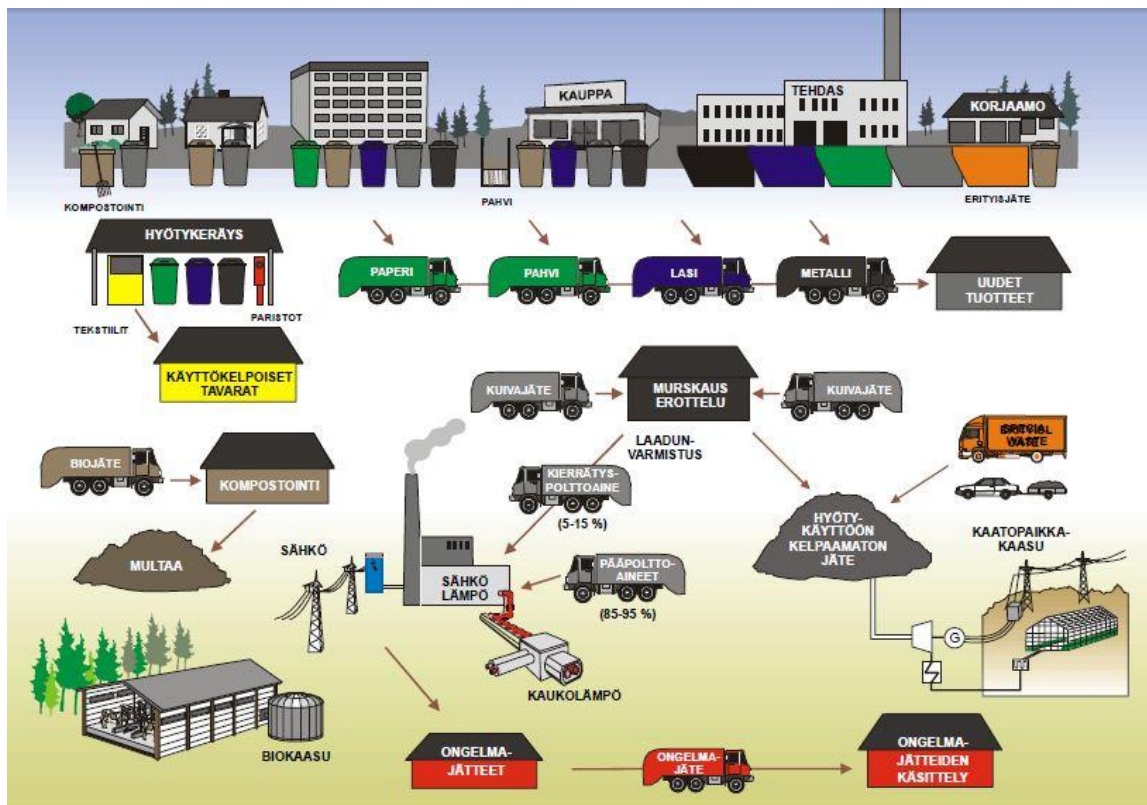
Ruokohelpi, järviruoko ja olki ovat esimerkkejä uusista biopolttoaineista, joiden soveltuvuutta lämmöntuotantoon on tutkittu paljon viime vuosina. Niiden eduiksi voidaan laskea kotimaisuus ja uusiutuvuus. Näiden polttoaineiden hyödyntämisen suurimmat ongelmat liittyvät kannattavuuteen ja polton tekniseen toteuttamiseen. Viljely, keruu, käsittely ja kuljetus nostavat polttoaineiden kustannuksia, mikä yhdessä perinteisiä polttoaineita alhaisemman lämpöarvon kanssa on hidastanut niiden käyttöönottoa. Kyseisten biopolttoaineiden polttoon liittyy myös teknisiä haasteita, koska niiden käyttö voi aiheuttaa mm. kattilapintojen korroosiota. Tämän takia niitä käytetään nykyään pääasiassa sekapoltoissa esimerkiksi turpeen kanssa. Hiilidioksidineutraalius, muiden polttoaineiden hinnannousu ja uudet ratkaisut polttotekniikassa ovat hiljalleen tehneet niistä varteenotettavampia vaihtoehtoja etenkin paikallisessa energiantuotannossa (Alakangas 2000).

2.1.5 Kierrätyspolttoaineet

Kierrätyspolttoaine on yhdyskuntajätteestä tai teollisuudentuotannon hukkamateriaaleista syntyvää poltettavaksi kelpaavaa jätettä. Kierrätyspolttoaineena käytetään kaikkea

polttoainetta, jonka polttaminen on virallisesti hyväksyttävää, teknisesti mahdollista ja hallittua, riskeiltään hallinnassa sekä taloudellisesti mielekästä.

Kierrätyspolttoaineita poltettaessa käytetään niitä usein sivupolttoaineena (seospoltto). Esimerkikiksi energijätettä poltetaan kivihiilen kanssa leijupetikattilassa. Kierrätyspolttoaineiden tuotantoketju muodostuu energijätteen syntypaikalla jaottelusta, jätteen keruusta sen syntypaikalta sekä sen prosessoinnista poltettavaan muotoon. Kierrätyspolttoaineeseen liittyvät kustannukset koostuvat polttoaineiden vastaanottojärjestelmisen investoinneista sekä polttoaineen kuljettamisen logistiikkakustannuksista (Alakangas 2000).



Kuva 6. Kierrätyspolttoaineiden tuotantoketju

2.1.6 Kiinteiden polttoaineiden verotus

Uusiutuvia kiinteitä polttoaineita ei veroteta vaan valtio pyrkii pikemminkin edistämään niiden käyttöä niistä tuotetun sähkön syöttötariffien avulla. Kivihiiltä ja polttoturvetta sen

sijaan verotetaan. Kivihiili on selkeästi fossiilinen polttoaine ja turve hitaan uusiutumisensa vuoksi on luokiteltu Euroopan Unionin toimesta uusiutumattomaksi. Kiinteiden polttoaineiden verotusta on esitelty taulukossa 1.

Taulukko 1. Kiinteiden polttoaineiden verot

| Polttoaine | Energiasisältövero | Hiilidioksidivero | Huoltovarmuusmaksu | Yhteensä |
|-----------------------|--|-------------------|--------------------|----------|
| Kivihiili [€t] | 54,54 | 72,37 | 1,18 | 128,0,9 |
| Polttoturve [€MWh] | 5,90* | 0 | 0 | 5,90 |
| | *Polttoturpeen vero on 4,90 €MWh 1.1.2013-31.12.2014 | | | |

2.2 Nestemäiset polttoaineet

2.2.1 Kevyt polttoöljy

Kevyttä polttoöljyä käytetään Suomessa laajasti pienimuotoisessa lämmöntuotannossa ja esimerkiksi maakaasun varapolttoaineena kaasuturbiineissa ja -moottoreissa. Suhteellisen korkean hintansa vuoksi sitä ei juuri hyödynnetä sähköntuotannossa tai suurissa lämpölaitoksissa. Polttoöljyjen hinnat ovat erittäin herkkäliikkeitä ja seuraavat raakaöljyn maailmanmarkkinahinnan muutoksia. Öljyn kysynnän viimeaikainen kasvu etenkin nopeasti kehittyvissä talouksissa on voimistanut raakaöljyn hintavaihtelua, mikä on vaikuttanut myös kevyen polttoöljyn kannattavuuteen lämmityspolttoaineena. Kevyen polttoöljyn käytön etuja ovat suhteellisen alhaiset investointikustannukset ja helppo käyttö (Alakangas 2000).

2.2.2 Raskas polttoöljy

Raskas polttoöljy on pääasiassa suurten voimalaitosten vara-, tuki- ja käynnistyspolttoaine. Pienessä ja keskisuudessa lämmöntuotannossa se on usein pääpolttoaine. Raskaan polttoöljyn käyttö poikkeaa kevyestä polttoöljystä siinä, että sitä pitää useimmiten lämmittää ennen käyttöä. Raskaan polttoöljyn hinta seuraa myös öljyn maailmanmarkkinahintoja. Käytön etuja lämmityksessä ovat suhteellisen alhaiset investointikustannukset ja helppo käyttö (Alakangas 2000).

2.2.3 Biodiesel ja Bioetanoli

Biodiesel, biopolttoöljy ja bioetanoli ovat uusiutuvista luonnon raaka-aineista jalostettavia polttoaineita, joiden käyttö lämmöntuotannossa on olematonta, mutta liikenteessä niiden käyttöä on tarkoitus lisätä lähivuosina.

2.2.4 Nestemäisten polttoaineiden verotus

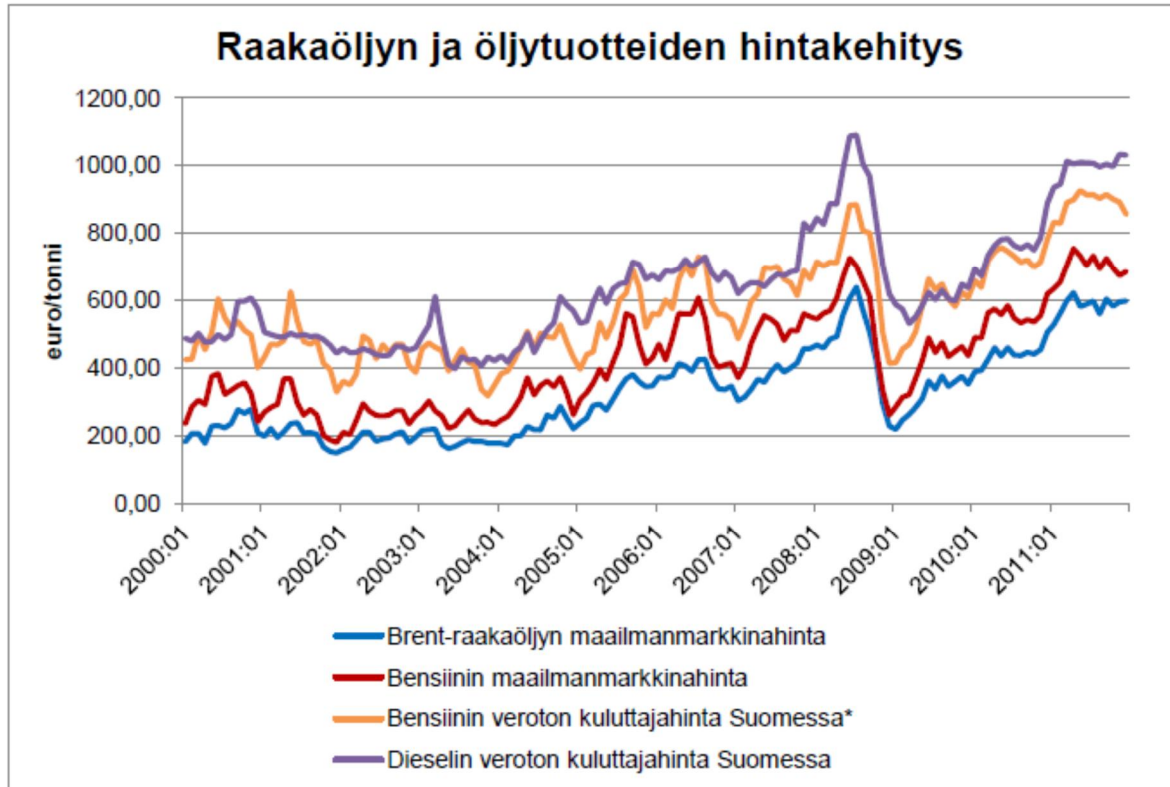
Polttoaineiden verotus uudistui vuoden 2012 alusta. Suomen Valtio halusi ohjata lämmöntuotantoa ympäristöystävällisempään suuntaan nostamalla fossiilisten polttoaineiden verotusta. Nestemäisten polttoaineiden verotusta on esitelty taulukossa 2.

Taulukko 2. Nestemäisten polttoaineiden verotus

| Polttoaine | Energiasisältövero | Hiiidioksidivero | Huoltovarmuusmaksu | yht |
|------------------------------|--------------------|------------------|--------------------|-------|
| Kevyt polttoöljy [snt/l] | 10,35 | 8,00 | 0,35 | 18,7 |
| Raskaspolttoöljy [snt/kg] | 8,79 | 9,72 | 0,28 | 18,79 |
| Biopolttoöljy [snt/l] | 7,70 | 4,00 | 0,35 | 12,05 |
| Bioetanoli[snt/l] | 33,05 | 3,83 | 0,68 | 37,58 |

2.2.5 Nestemäisten polttoaineiden hintakehitys

Nestemäisten polttoaineiden hinnankehitys on vahvasti sidoksissa raaka-öljyn hintaan. 2000-luvulla maailmantaouden kasvaessa nopeasti ja helposti siirrettävän energian kysynnän kasvaessa on öljyn hinta kasvanut roimasti. Öljytuotteiden hinnat ovat keskimäärin kaksinkertaistuneet vuosikymmenen aikana.

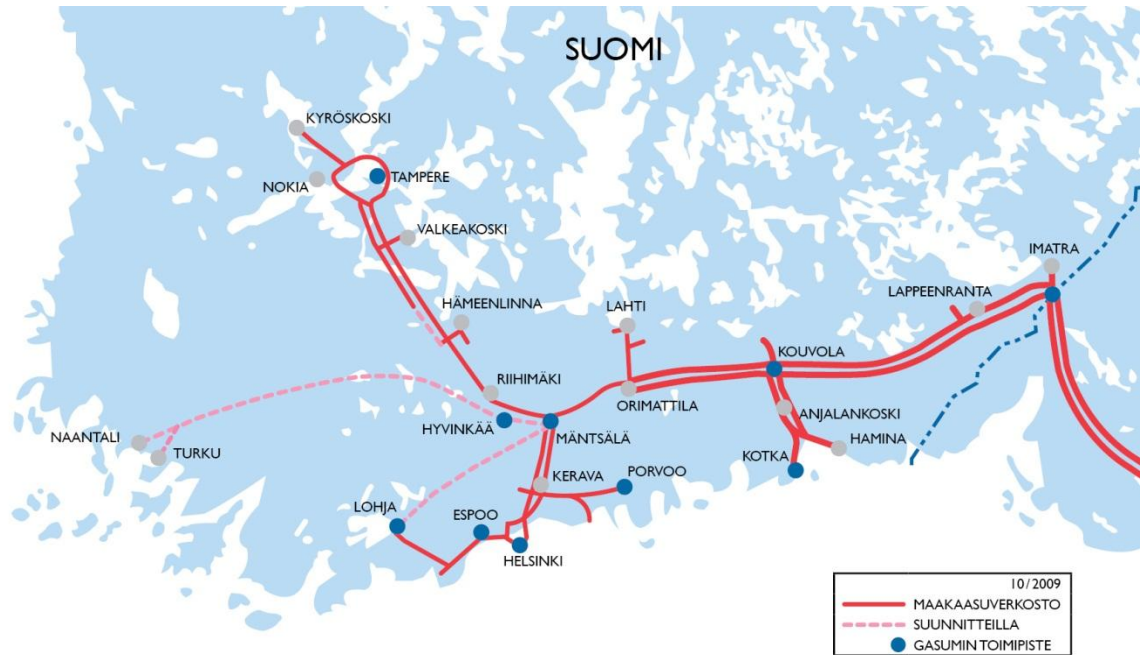


Kuva 7. Raakaöljyn ja öljytuotteiden hintakehitys (öljyalankeskusliitto)

2.3 Kaasumaiset polttoaineet

2.3.1 Maakaasu

Suomen maakaasuverkko kattaa Kaakkois- ja Etelä-Suomen. Maakaasuverkoston laajentaminen edellyttää aina laajamittaisen käyttöpotentiaalnin löytymistä samalta suunnalta. Gasum Oy:llä on ollut suunnitteilla verkoston länsilajennus, joka kattaisi suurimman osan Lounais-Suomesta. Lopullista päätöstä asiasta ei kuitenkaan vielä ole. Maakaasun hinta on pääosin sidoksissa öljyn hintaan, mikä on nostanut sen käyttökustannuksia viime vuosina. Erikokoisille kaasunkäyttäjille on maakaasutariffissa omat hinnoitteluperusteensa. Maakaasun käytön etuja lämmityksessä ovat suhteellisen alhaiset investointikustannukset ja helppo käyttö. Maakaasun päästökerroin on myös selvästi alhaisempi kuin muiden fossiilisten polttoaineiden. Maakaasua voidaan käyttää biokaasun vara- ja tukipolttoaineena, mutta käytännössä tämä on harvinaista, koska maakaasuverkon läheisyys tekee biokaasu hankkeet kannattamattomiksi (Gasum 2012).



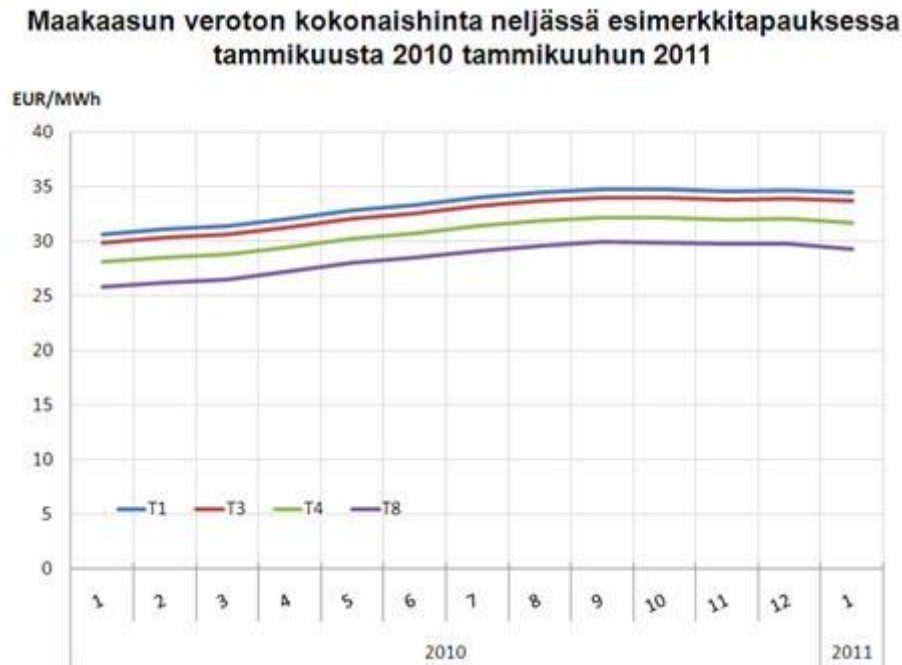
Kuva 8. Maakaasun saatavuus Suomessa (Gasum)

2.3.1.1 Maakaasun hinnan muodustuminen

Maakaasun hinta muodostuu liittymismaksusta siirtomaksusta ja energiamaksusta. seuraavaa hinnan muodostumista sovelletaan yli 1,2 MW laitoksiin. Liittymisestä maakaasuverkostoon peritään poistokelpoinen osallistumismaksu. Osallistumismaksu ja lisäosallistumismaksu, jota ei palauteta, on 18 500 €/MW + alv. Osallistumismaksu kattaa osan maakaasun jakelu- ja liittymisputken rakentamiskustannuksista sekä määrämittauslaitoksen asentamisen. Loppuosan jakelu- ja liittymisputken investoinneista sisältyy maakaasun siirtohintaan.

Maakaasun siirto- ja energiahinnoittelu perustuu Gasum Oy:n hinnoittelujärjestelmään M2010 ja sen hinnastoihin voimassaoloaikaan. Energian ja siirron kulutukseen perustuvat hinnat laskutusohjelma laskee euroa/m³n tai snt/m³n. Vastaavasti kiinteät hinnat laskutusohjelmamme laskee päivän tarkkuudella. Muutoksessa on huomioitu maakaasun energiasisältö 10 kWh/m³n.

Ostaja varaa toimituskohteessa käyttöönsä nimellistehon, jonka perusteella määritellään kohdemaksu. Seuraavassa kuvassa on esitetty neljän erilaisen kuluttajan (ns. tyyppikuluttaja) maakaasun veroton kokonaishinta 12 kuukauden aikana (Gasum 2012).



Kuva 9. Maakaasun veroton kokonaishinta (Gasum)

jossa tyyppikuluttajat ovat

T1: Pienehkö, pääasiassa lämmityskäyttöön maakaasua tarvitseva asiakas, maakaasun kokonaiskulutus 50 GWh/a (5 milj.m³/a)

T3: Keskikokoinen, pääasiassa lämmityskäyttöön maakaasua tarvitseva asiakas, maakaasun kokonaiskulutus 150 GWh/a (15 milj.m³/a)

T4: Keskikokoinen teollisuusasiakas, kaasun tarve melko tasaista ympäri vuoden, maakaasun kokonaiskulutus 150 GWh/a (15 milj.m³/a)

T8: suuri teollisuusyritys tai voimalaitos, kaasun tarve melko tasaista ympäri vuoden, maakaasun kokonaiskulutus 1000 GWh/a (100 milj.m³/a)

Kuvassa esitetty kokonaishinta sisältää maakaasun siirtohinnan ja energian myyntihinnan. Siirtohinnan osuus kokonaishinnasta vaihtelee eri käyttäjien kesken ja on keskimäärin 15-25 %.

Kohdemaksun hinta määräytyy kaavasta 1:

$$KM = 800,91 \frac{\text{€}}{\text{kk}} + \left(P \times 119,0,3 \frac{\text{€}}{\text{kk}} \right), \quad (1)$$

jossa, P = asiakkaan tilaaman liittymän teho MW

Siirron tilaustehomaksu määräytyy kaavasta 2:

$$STM = P_t \cdot STM_0 \quad (2)$$

jossa vuotuinen siirron tilausteho P , sovitaan vuosittain etukäteen ja se on koko vuoden samansuuruinen ja $STM_0 = 1940,26 \text{ €/MW/kk}$ (Gasum 2012).

2.3.1.2 Siirron kulutusmaksu (siirtomaksu) [SM]

Muuttuva siirtomaksu laskutetaan kaikesta tilattuun vuotuisen siirtotehon sisältyvästä maakaasun käytöstä. Siirtomaksun yksikköhinta on:

$SM = 6,41 \text{ snt/m}^3\text{n}$ (Gasum 2012).

2.3.1.3 Lisäsiirtomaksu [LSM]

Vuotuisen tilatun siirtotehon ylittävästä maakaasun käytöstä laskutetaan lisäsiirtomaksu. Maakaasutoimitusten jako perus- ja lisäsiirtoihin todetaan kaasuvuo-rokausittain tunnin laskentajaksoissa.

Lisäsiirtomaksu LSM on siirtomaksu SM + Gasumin lisäsiirron lisäosa + $3,36 \text{ sent/m}^3\text{n}$. (Gasumin lisäsiirron lisäosa ajalla 1.1-31.3 on $7,65 \text{ sent/m}^3\text{n}$ ja ajalla 1.4-31.10 $7,65 \text{ snt/m}^3\text{n}$ ja 1.11-31.12 on $7,65 \text{ sent/m}^3\text{n}$) (Gasum 2012).

2.3.1.4 Maakaasun myynti ja sen hinnoittelu

Energiamaksu on itse polttoaineesta muodostuva maksu, joka myydään muotoa $\text{snt/m}^3\text{n}$. Koska yritykselle on kannattavampaa myydä suurempia määriä kaasua, alenee yksikköhinta tilaustehon kasvaessa gasumin sopimuskohtaisen energiamaksun yksikköhinnan asiakkaille voi lukea taulukosta 3.

Taulukko 3. Maakaasun energiahinnoittelu kulutuksen mukaan

| Energiankulutus [GWh/vuosi] | <10 | 10-30 | 30-100 | >100 |
|--|-------|-------|--------|-------|
| Energiamaksu EM_{01} [snt/m ³ n] | 12,81 | 12,62 | 12,42 | 12,23 |

Energiamaksu EM_{01} on sidottu indeksiin ja se tarkistetaan kuukausittain.

Sopimuskohtaista energiamaksun yksikköhintaa sovelletaan Ostajan tilaamaan maakaasun käyttöön myyntitehoon saakka (Gasum 2012).

2.3.1.4 Energian kiinteä myyntitehomaksu [ETM]

Energian kiinteä myyntitehomaksu ETM määräytyy kuukausittain voimassaolevan myyntitehon ja indekseillä korjatun tehomaksun yksikköhinnan mukaan kaavasta 3.

$$ETM = ETM_1 \times P \left[\frac{\text{€}}{\text{kk}} \right], \quad (3)$$

jossa Energian myyntitehomaksun ETM_1 yksikköhinta on 1742,00 €/MW/kk

Energian myyntitehomaksun yksikköhinta on sidottu indeksiin kohdan 2.3 mukaisesti ja se tarkistetaan kuukausittain.

Ostajalla on mahdollisuus tarkistaa ja muuttaa neljännesvuosittain kuluvan vuoden loppuosan kuukausittaista myyntitehoa (Gasum 2012).

2.3.1.5 Lisäkaasu ja lisäkaasumaksu [LKM]

Ostajan kuukausittain tilatun myyntitehon ylittävä maakaasun käyttö on lisäkaasun käyttöä. Lisäkaasuksi todetaan yhden (1) tunnin laskentajakson aikana toimitettu kaasumäärä, joka ylittää Ostajan kuukausittaisen myyntitehon.

Lisäkaasumaksu on Gasumin kulloinkin ilmoittama lisäkaasumaksu + 3,36 snt/m³n. Kuitenkin vähintään EM₁ + 3,36 sent/m³n (Gasum 2012)

2.3.1.6 Verot

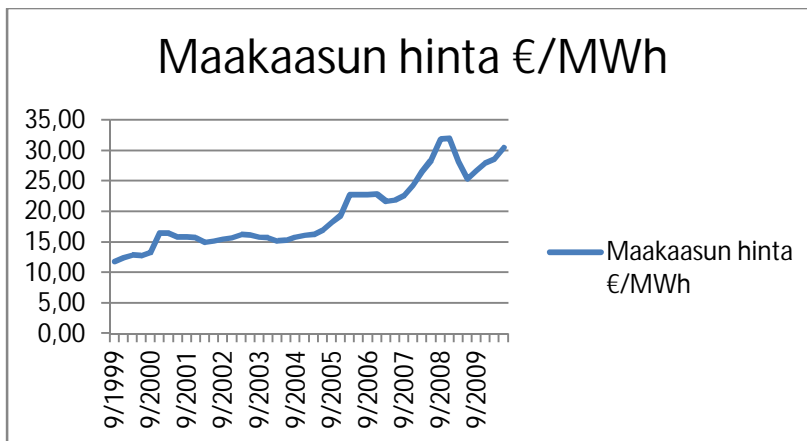
Maakaasun verot vuonna 2011 ovat energiasisältövero, hiilidioksidivero ja loppusummasta laskutettava arvonlisävero 23% joka on yrityksille verovähennyskelpoinen. Veroluonteisiamaksuja ovat huoltovarmuusmaksu ja velvoitevarastointimaksu. Verot ja veroluonteistenmaksujen määrät lueteltuina taulukossa 4.

Taulukko 4. Maakaasun verot

| vero/veroluonteinen maksu | €MWh | snt/m ³ n |
|---------------------------|--------|----------------------|
| Energiasisältövero | 3,00 | |
| Hiilidioksidivero | 5,94 | |
| Huoltovarmuusmaksu | 0,084 | |
| velvoitevarastointimaksu | 0,0169 | 1,69 |

2.3.1.7 Maakaasun hinnankehitys

Maakaasun hinta on polttoaineen toimitussopimuksessa sidottu indekseillä öljyn hintaan. Koska öljy ja kaasu ovat toisiaan korvaavia polttoaineita, noudattaa kaasun hinta öljyn hintaa. Maakaasun hinta kasvoi kolminkertaiseksi 2000-luvun aikana, kuva 10. Tulevan hinta kehityksen uskotaan olevan maltillisempaa, vaikka kaasunkulutuksen uskotaan Euroopassa lisääntyvän öljyvarojen hiipumisen myötä. Siperian maakaasukenttien on arvioitu riittävän 80 vuodeksi eteenpäin. Maakaasun hintaa on viimevuosina muuttanut verotuksen kiristyminen. Koska maakaasu on fossiilinen polttoaine, tulee sen hinta tulevaisuudessa nousemaan EU:n lisätessä ilmastotavoitteitaan ja sitä kautta maakaasun verotusta. Lisäksi fossiilisten polttoaineiden niukkuus tarkoittaa kiristyvää kilpailua energiantuotannon ja kemianteollisuuden välillä. Kilpailu johtaa maakaasun hinnan nousuun.



Kuva 10. Maakaasun hinnankehitys

2.3.2 Biokaasu

Biokaasu on metaania ja mätänemiskaasuja, joita syntyy eloperäisen aineksen hajotessa. Biokaasulla voidaan korvata maakaasua lämmitys- ja liikennekäytössä. Biokaasun raaka-aineiksi soveltuvat varsin erilaiset orgaaniset massat. Koska metaani bakteerit toimivat parhaiten vesipitoisessa ympäristössä, menetelmä soveltuu erityisen hyvin lietemäisen

jätteen käsittelyyn. Tällaisia jätteitä muodostuu maataloudessa, kuntien jäteveden puhdistamoissa ja elintarviketeollisuudessa. Tuotanto tapahtuu suurehkoissa lämpöeristetyissä reaktoreissa metaanibakteerien aiheuttaman mätänemisen avulla.

Biokaasua voidaan myös tuottaa keräämällä sitä kaatopaikoikoilta. Kaatopaikalle rakennetaan keruuputkisto ja pumppaamo, jossa biokaasu otetaan talteen ja puhdistetaan vedestä. Tämän jälkeen biokaasu on valmis käyttäväksi polttamalla tai vaikkapa sähkön ja lämmön yhteistuotantoon mikroturbiinissa.

Verrattaessa biokaasua maakaasun on lämpöarvo suoraan verrannollinen biokaasussa olevaan metaanin määrään. Normaalisti biokaasun metaanipitoisuuden ollessa n.50-60% on siis biokaasun lämpöarvo 5-6 kWh/m³n. Kustannuksiltaan biokaasun tuottaminen vaihtelee tapauskohtaisesti, mutta maakaasuun verrattuna se on aina kalliimpaa (Alakangas 2000).

2.3.3 Nestekaasut

Nestemäisistä kaasuista merkittävämpiä ovat nestekaasu ja nestemäinen maakaasu LNG (Liquified Natural Gas). Nestekaasu on nesteytettyä propaania C₃H₈, jonka kuljetus tapahtuu pulloissa ja tankeissa 14bar:n paineessa. Nestekaasu on suosittua sytytyspolttoaineena raskaanpolttoöljyn laitoksissa, mutta viimeaikoina nousseen öljynhinnan vuoksi on sitä alettu käyttää myös lämmöntuotannossa.

LNG on nesteytettyä maakaasu jonka höyrytymispiste on -163 °C . LNG:tä ei käytetä lämmöntuotantoon kuin pilottikohteissa.

3 POLTTOAINEIDEN KUSTANNUSTEN OPTIMOINTI

3.1 Teknologiset reunaehdot

Nestemäisiä- ja kaasumaisiapolttoaineita käyttää samoissa lämmöntuotantolaitoksissa, koska niiden polttotekniikat ovat samanlaiset. Polttimet on usein rakennettu niin, että ne voivat käyttää molempia polttoaineita, kun taas kiinteämpolttoaineen polton yhteydessä esimerkiksi arinan lisäksi öljy tarvitsee omat polttimet.

Kiinteillä polttoaineilla kuten hakkeella ja turpeella voidaan korvata toisiaan vain tiettyyn polttoainesuhteeseen asti. Uusissa biopolttoaineita käyttävässä kattilassa voi näiden polttoaineiden suhde olla esimerkiksi 70% hakkeelle 30% turpeelle. Hiili on kiinteistä polttoaineista erikoinen. Sitä pystytään polttamaan arina- tai leijupetikattiloissa ja näin ollen korvaamaan esim turpeella, hakkeella tai jätepolttolaitteella. Mikäli hiilikattila on suunniteltu pölypolttotekniikalla on sen muuntaminen useita polttoaineita käyttäväksi laitokseksi vaikeaa ilman mittavia investointeja. Polttoaineiden mahdollisuuksia korvata toisia polttoaineita on esitelty taulukossa 5.

Kattiloita käytettäessä riippuu myös sen säätöalue käytettävästä polttoaineesta. Esimerkiksi kiinteämpolttoainetta käyttävä lämpölaite ei yleensä pysty ajamaan alle 30% kuormaa suhteessa huippukuormaan. Ajaminen huippukuorman alapuolella alkaa vaikuttaa prosessin hyötysuhteeseen jo aikasemmilla osakuormilla. Säätöalueiltaan polttoteknisesti paras polttoaine on kaasu. Öljy häviää hieman kaasulle polttimien osakuorma hyötysuhde vertailussa. Kaasun säätöalue onkin vaikuttanut sen suosioon huippu- ja varalaitoksina. Lämpöä tuottavista yrityksistä parhaassa asemassa polttoainekustannusten optimoinnin kannalta ovat ne joilla on sekä kiinteitä-, nestemäisiä- ja kaasumaisiapolttoaineita hyödyntäviä polttotekniikoita samassa kaukolämpöverkossa.

Taulukko 5. Polttoaineiden kyky korvata toisiaan

| | Kivihiili | Öljy | Maakaasu |
|---------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Biopolttoaine | | | |
| Hake | Muissa paitsi arinassa | vaatii oman polttimen | vaatii oman polttimen |
| Turve | Muissa paitsi arinassa | vaatii oman polttimen | vaatii oman polttimen |
| Kierrätys | Muissa paitsi arinassa | vaatii oman polttimen | vaatii oman polttimen |
| Biokaasu | | x | x |

Kaukolämmöntuotanto onkin usein rakennettu niin, että 50% huippukuormasta tuotetaan kiinteällä polttoaineella (Koskelainen & al s.42). Kesällä pienen kaukolämpökuorman takia kiinteitä polttoaineita käyttävän laitoksen ollessa pois päältä ja toisaalta talvella kaukolämpökuorman ylittäessä kiinteän laitoksen tuottaman tehon. Tuotetaan lämpö kesäkuukausina ja talven kylmimpinä aikoina lämpö kaasu- tai öljykattiloilla.

3.2 Markkinahintojen vaihtelut

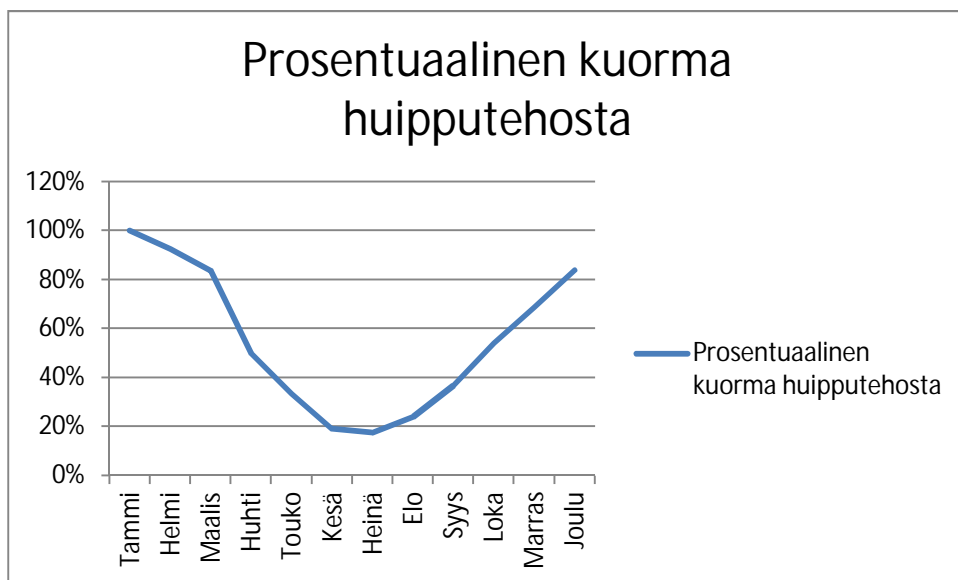
3.2.1 Polttoaineen saatavuuden vaihtelut

Polttoaineen saatavuuteen vaikuttavat monet tekijät. Fossiilisista polttoaineista öljyllä ja kaasulla suurimmat vaikuttavat tekijät johtuvat eri maiden harjoittamasta politiikasta ja pienemmiltä osin luonnonmullistuksista. Esimerkiksi Lähi-Idän levottomuudet vähentävät öljyn tarjontaa tietyltä alueelta ja näin nostavat öljyn hintaa. Maakaasun hinta seuraa indeksien mukaan öljyn hintaa, joten öljyn hinnan nousu vaikuttaa myös siihen. Luonnon mullistuksista voidaan mainita esimerkiksi hirmumyrsky Katriina, joka lamautti Yhdysvaltojen öljynjalostuksen ja tätä kautta nosti öljyjalosteiden hintaa.

Puuperäisillä polttoaineilla hintaan voivat vaikuttaa vuosittaiset sääilmiöt. Esimerkkinä kelirikot, jotka hankaloittavat polttoaineen korjaamista metsistä ja nostavat hakkeen ja muiden puuperäisten polttoaineen hintaa.

3.2.2 Vuodenajasta riippuvat vaihtelut

Vuodenajat vaikuttavat eritavoin polttoaineen saatavuuteen. Esimerkiksi kiinteäpolttoainetta käyttävissä laitteissa kannattaa talvikuukausina lisätä turpeen polttoa suhteessa hakkeeseen, koska turpeen hinta laskee siirryttäessä siirryttäessä neljänneltä kvartaalilta ensinmäiselle. Kun taas hakkeen hinta nousee talven myötä. Tämä johtuu Logistiikasta. Metsässä maan kantavuus on huono loppusuksyksystä, joka vaikeuttaa kuljetuskaluston pääsyä metsää. Vaihteluita pyritään tasaamaan hakettamalla polttoainetta tienvarsille varastoon. Tämä ei silti aina riitä, kun kysyntä polttoaineilla kasvaa talven aikana huomattavasti kesään verrattuna. Tämä johtuu Suomen lämpötilaeroista, jotka vaikuttavat kulutukseen. Kysynnän ja tarjonnan lailla kysynnän kasvaessa myös hinta kasvaa. Kuva 11 esittelee kaukolämpökuormaa eri vuoden aikoina ja havainnollistaa kysynnän kasvua talvikuukausina verrattuna kesäkuukausiin.



Kuva 11. Kaukolämmön prosentuaalinen kuorma huipputehosta

3.2.3 Suhdanteista johtuvat vaihtelut

Suhdanteet vaikuttavat eri tavoilla eri polttoaineisiin. Maailmantalouden supistuessa raakaöljyn hinta laskee sen kulutuksen laskiessa. Sen myötä öljytuotteiden hinnat laskevat ja myös maakaasu, joka on indekseillä sidottu raakaöljyn hintaan. Suomessa puupolttoaineet ovat pääasiassa metsäteollisuuden korjuujäätteitä ja saha ja- selluteollisuuden hukkavirtoja. Metsäteollisuuden viennin supistuessa hakkuut vähenevät, joka vähentää tarjolla olevan puupolttoaineen määrää ja nostaa puupolttoaineiden hintaa.

4 ESIMERKKIOPTIMOINTI: LISÄKAASUN KIPURAJA

Otetaan esimerkkinä lämpökeskus, jossa on kaksi kuumavesikattilaa molemmat teholtaan 9,5 MW. Kattiloiden pääpolttoaine on maakaasu ja varapolttoaine kevytpolttoöljy. Lasketaan raja-arvo lisäkaasun hinnalle, jolloin on taloudellisesti kannattavaa vaihtaa toinen kattila polttamaan kevyttä polttoöljyä.

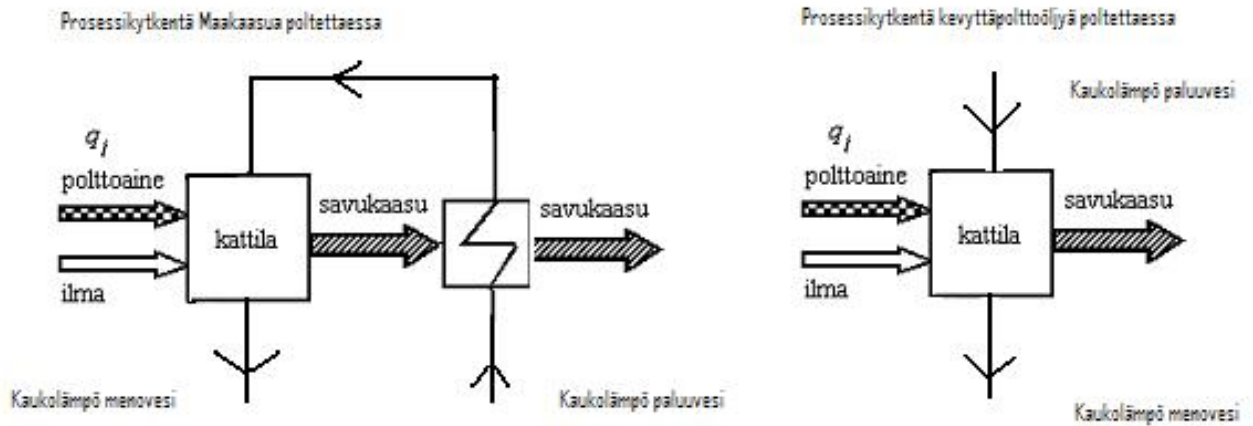
4.1 Lähtökohdat

Lämpöä tuottava yritys on tilannut Gasum Oy:ltä siirtotehoa 12MW edestä tammikuulle. Tästä prosessiteollisuudelle on suoramyyntiä 4 MW ja loput 8 MW on budjetoitu lämmöntuotantoon. Koska kattiloita on kaksi voidaan kaasulla ajaa niin suuri kuorma kuin on taloudellisesti kannattavaa ja loput lämpöverkon tarvitsemasta tehosta kattaa vaihtamalla toinen kattila polttoöljylle mikäli lisäkaasu on liian kallista. Rajaarvona täytyy kuitenkin muistaa, että kattilan ollessa mitoitettu huipputeholtaan 9 MW tehoiseksi ei sillä hyötysuhteen takia kannata ajaa alle 4 MW teho kuormaa. Jotta raja molempien kattiloiden ajon kannattavuudelle täytyisi täytyy tehokuormaa verkossa olla siis kahdelle kattilalle molemmille 4 MW eli yhteensä 8MW.

4.2 Lämmöntalteenoton vaikutus kannattavuuteen

Käytettäessä lämpölaitosta maakaasulla voidaan savukaasut ajaa savupiippuun matalammassa lämpötilassa kattilan jälkeisen lämmöntalteenoton ekonomaiserin kautta. Tämä johtuu siitä ettei maakaasu palaessaan tuota muita palamiskaasuja kuin vesihöyryä ja hiilidioksidia. Kevyen polttoöljyn palamistuotteina tulee vesihöyryn ja hiilidioksidin lisäksi epäpuhtaampia palamistuotteita joiden ei haluta muodostavan vesihöyryn kanssa kastepistettä savupiipussa. Kun lämpölaitoksella ajetaan toisella kattilalla kevyellä polttoöljyllä on ekonomaiserin lämpöpintojen puhtaanapysymisen ja sitä kautta lämmönsiirtokyvyn säilyttämisen kannalta järkevämpää ajaa savukaasut suoraan ekonomaiserin ohi savupiippuun. Savupiippuun ajetaan siis kuumempaa savukaasua, josta jää energiaa ottamatta talteen. Tämä laskee lämmöntuotannon hyötysuhdetta jota merkitään

symbolilla η arvosta 0,92 arvoon 0,87. Lämmöntuotto prosessin kytkentää maakaasulla ja kevyelläpolttoöljyllä havainollistaa kuva 12.



Kuva 12. Prosessikytkentä eri polttoainetta käytettäessä

4.3 Laskennan perusteet

Tuotetun lämmön hinta maakaasulla käyttöpaikalla ϵ_{mk} polttoaineen osalta saadaan kaavasta 4.

$$\epsilon_{mk} = \frac{EM_{01} + SM + LKM + LSM + V_{mk}}{\eta_{kaasu}}, \quad (4)$$

jossa η_{kaasu} on kattilahiötysuhde kaasulla 0,92 ja V_{mk} maakaasulle säädetyt verot.

Laskestusta hinnasta jää pois aiemmin esitelty KM joka maksetaan joka tapauksessa maakaasua käytettäessä eikä lisäkaasun korvaaminen polttoöljyllä vähennä maksun määrää.

Polttoaineeseen liittyvät verot ja maksut jotka ovat muotoa snt/m^3 saadaan muutetuksi €MWh kaavalla 5

$$\epsilon_{MWh} = \frac{\frac{\text{snt}}{\text{m}^3} q_i \cdot 100 \text{snt}/\text{€}}{1000 \text{kWh}/\text{MWh}}, \quad (5)$$

jossa q_i on maakaasun lämpöarvo 10 kWh/m^3

Maakaasulle säädettyjen verojen kokonaismäärä V_k saadaan laskettua kaavasta 6.

$$V_k = V_{CO_2} + V_{HV} + V_{ES} + V_{VVM}, \quad (6)$$

jossa V_{CO_2} on maakaasun hiilidioksidivero V_{HV} ,on huoltovarmuusmaksu V_{ES} ,on energiasisältövero ja V_{VVM} on velvoitevarastomaksu.

Tuotetun lämmön hinta polttoöljyllä käyttöpaikalla ϵ_{oil} polttoaineen osalta saadaan kaavasta 7.

$$\epsilon_{oil} = \frac{\epsilon_{kpö} \cdot q_{oil} \cdot 1000 \text{ kWh/MWh}}{\eta_{oil} \cdot ALV}, \quad (7)$$

jossa $\epsilon_{kpö}$ on verollinen kevyen polttoöljyn hinta kohteelle toimitettuna , q_{oil} on polttoöljyn lämpöarvo 10 kWh/l , η_{oil} on prosessin hyötysuhde öljyä poltettaessa $0,87$ ALV on arvonlisäveron osuus hinnasta (yrityksille verovähennyskelpoinen) $1,23$.

Kaavoista 4,5, 6, ja 7 saadaan johdettua kaava 8, jonka avulla saadaan laskettua raja-arvo sille lisäkaasun hinnalle, jolloin lämpöyhtiölle tulee kannattavammaksi vaihtaa polttoaine maakaasulta öljylle.

$$LKM = \frac{\epsilon_{kpö} \cdot q_{oil} \cdot 1000 \text{ kWh/MWh} \cdot \eta_{kaasu}}{\eta_{oil} \cdot ALV} - EM_{01} - SM - LSM - V_{mk} \quad (8)$$

4.4 Laskenta

Lasketaan maakaasun kokonaisveromäärä V_k sijoittamalla lukuarvot kaavaan 8.

$$\begin{aligned} V_k &= 3,00 \text{ €/MWh} + 5,94 \text{ €/MWh} + 0,084 \text{ €/MWh} + 0,0169 \text{ €/MWh} \\ &= 9,0409 \text{ €/MWh} \end{aligned}$$

Lasketaan raja-arvo lisäkaasun hinnalle sijoittamalla lukuarvot kaavaan 8:

$$\begin{aligned} LKM &= \frac{1,1 \text{ €/l} \cdot 1000 \text{ kWh/MWh} \cdot 0,92}{0,87 \cdot 1,23 \cdot 10 \text{ kWh/l}} - \frac{12,42 \text{ €}}{\text{MWh}} - \frac{6,41 \text{ €}}{\text{MWh}} - \frac{7,65 \text{ €}}{\text{MWh}} - \frac{9,041 \text{ €}}{\text{MWh}} \\ &= 59,05 \text{ €/MWh} \end{aligned}$$

kevyenpolttoöljyn hintana käytetään tammikuun 2012 keskimääräistä hintaa. Lisäkaasun hinnan raja-arvoksi muodostuu siis 59,05 €/MWh. Hinta on aika korkea. Eikä lisäkaasun hinta kovin montaa kertaa vuodessa ylitä raja-arvoa.

5 YHTEENVETO

Lämmöntuotannossa käytetyt polttoaineet voidaan jakaa kolmeen ryhmään kiinteät, nestemäiset ja kiinteät. Kiinteisiin polttoaineisiin kuuluu kivihiili turve, kierrätyspolttoaineet ja puuperäiset polttoaineet. Nestemäisiin polttoaineisiin kuuluu öljypohjaiset polttoaineet ja biopohjaiset nestemäiset polttoaineet. Kaasumaisiin polttoaineisiin kuuluvat kaasusta nesteytetyt polttoaineet, maakaasu ja biokaasu. Polttoaineet voidaan myös jakaa uusiutuviin ja uusiutumattomiin eli fossiilisiin polttoaineisiin.

Polttoaineiden verotuksen päättää valtio. Nykyinen trendi on, että uusiutumattomien polttoaineiden verotus on raskaampi kuin uusiutumattomien. Tyypillisiä veroja polttoaineille ovat energiasisältövero, hiilidioksidivero ja velvoitevarastointi maksu. Viime vuosina polttoaineiden verotusta on muuteltu osin paljonkin. Lämmöntuotannon alalla tämä aiheuttaa huolta, koska investointien kannattavuus lasketaan moniksi vuosiksi eteenpäin.

Polttoaineiden hinnat muodostuvat lähinnä niiden niukkuuden, hankinta- ja kuljetuskustannusten perusteella. Myös edellä mainitut verot vaikuttavat loppuhintaan. Hinnat vaihtelevat polttoaineen alkuperästä riippuen joko maailmanmarkkinahintojen tai suhdanteiden perusteella.

Polttoaineiden kustannuksia optimoitaessa suurin huomioon otettava asia on lämmöntuotannon rakenne ja mihin polttotekniikoihin se perustuu. Yleensä polttoaineita voidaan korvata toisillaan sen pohjalta ovatko ne kiinteitä, nestemäisiä vai kaasumaisia. Kahta jälkimmäistä voidaan käyttää usein korvaamaan toisiaan. Kiinteäpolttoaine on hankalin eikä edes kaikkia kiinteitä polttoaineita voi korvata toisillaan.

Tuntemalla polttoaineiden markkinahintojen käyttäytyminen voidaan ennakoida niiden hintoja ja varata toista polttoainetta korvaamista varten. Tästä esimerkkinä hakkeen korvaaminen turpeella talviaikaan ja maakaasun korvaaminen kevyellä polttoöljyllä lisäkaasun ollessa kallista.

LÄHTEET

Elinkeinoelämän keskusliitto [Elinkeinoelämän www-sivuilla]. [Viitattu 2.5.2011]. Saatavissa : http://www.ek.fi/yritysten_energiaopas/fi/energiaverotus/index.php

Finlex [Finlexin www-sivuilta]. [Viitattu 4.5.2011] Saatavissa: http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/_19941472#a1472-1994

Tilastokeskus [Elinkeinoelämän www-sivuilta]. [Viitattu 4.5.2011] Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/ehi/>

Gasum [Gasumin www-sivuilta]. [Viitattu 11.12.2012] Saatavissa <http://www.gasum.fi/palvelut/Documents/Tehotempo%201%201%202012%20alkaen.pdf>

Öljyalan keskusliitto. 2011. [Öljyalan keskusliiton www-sivuilla]. [viitattu 8.11.2011]. Saatavissa: http://www.oil.fi/files/983_valmisteverot2011_2012.pdf

Alakangas Eija, 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: VTT. 172s. VTT tiedotteita 2045.

Öljyalan keskusliitto. 2011. [Öljyalan keskusliiton www-sivuilla]. [viitattu 8.11.2011]. Saatavissa: http://www.oil.fi/files/728_Kuluttajahintaseuranta.pdf

Tulli [Tullin www-sivuilta]. [Viitattu 11.12.2012] Saatavissa: http://www.tulli.fi/fi/suomen_tulli/julkaisut_ja_esitteet/asiakasohjeet/valmisteverotus/tiedostot/021.pdf

Koskelainen & al. 2006. Kaukolämmön käsikirja Energiateollisuus. s.556 ISBN 952-561-508-1 (nid.), 978-952-561-508-1

Vakkilainen, Esa. 2010. Kurssin BH50A0800 Höyrykattilatekniikka Luentomateriaali,
LUT 2010