



1 (8)



CCSP -tutkimusohjelma

# Hiilitalteenoton kannattavuusarvio

Markku Raiko



20.9.2011

## HIILITALTEENOTON KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI

### Sisällysluettelo

HIILITALTEENOTON KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI .....	2
1 JOHDANTO.....	3
2 HIILITALTEENOTTO PÄÄSTÖKAUPASSA .....	3
3 MAAPERÄN PARANTAMINEN HIILEN AVULLA.....	4
4 HIILEN POLTTOAINEKÄYTTÖ .....	5
4.1 Kivihiilen korvaus .....	5
4.2 Polttoöljyn korvaus maakaasuhiilellä .....	5
4.3 Polttoöljyn korvaus biomassahiilellä .....	6
5 HIILEN TEOLLISUUSKÄYTTÖ .....	6
6 YHTEENVETO .....	7



20.9.2011

## 1 JOHDANTO

VTT:n tiedotteen No 2576 ”Hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin (CCS) soveltaminen Suomen olosuhteissa” yhteenvedossa todettiin, että CCS on kannattavaa vasta päästöoikeuden hintatasolla 70 -100 €/CO<sub>2</sub>ton. Tässä esiselvityksessä arvioidaan karkealla tavalla kannattavuuksia menettelylle, jossa vetyä sisältävien polttoaineiden sisältämän hiili otettaisiin osaksi tai täydellisesti talteen hiilenä hiilidioksidin sijasta. Menetelmänä olisi polttoaineen terminen hajotus hiiltä sisältäviin kiinteisiin komponentteihin ja vetyä sisältäviin kaasumaisiin komponentteihin ennen vetyä sisältävän jakeen erotusta ja polttoa. Etuna menettelylle olisi talteenoton yksinkertaisuus ja haittana se, että hiileen sitoutunut osa polttoaineen energiasta jää ainakin ko. käyttökohteessa hyödyntämättä. Hiilikomponentilla olisi kuitenkin taloudellista arvoa, jos se olisi mahdollista käyttää hyödyksi muualle kuljetettuna. Arvo voi syntyä hiilikomponentin käytöstä polttoaineena tai muulla teollisella tavalla, jolloin hiilitalteenottoon energiahäviön taloudellinen merkitys pienenesi tai jopa poistuisi kokonaan.

Polttoaineen sisältämän hiilen ja vedyn erotusmenetelmänä tarkastellaan käyttökohteessa tapahtuvaa ja siihen integroitua termistä esikäsitteilyä. Tällaisia menetelmiä ovat mm. tislauksen, pyrolyysin ja kaasutuksen maakaasun termiseen hajotukseen soveltuvia prosesseja, joita käytetään mm. noen valmistuksessa. Lisäksi CCSP – ohjelmassa menossa erillinen hanke maakaasun termisen hajotuksen energiantuotantosovellutusten tutkimisesta ja kehittämisestä.

Etukäteen on arvioitu, että hiilitalteenotto täydentäisi päästöttömyyteen tähtäävää energiatuotantojärjestelmää ja soveltuisi hiilidioksidin talteenottoa yksinkertaisempaan sitä paremmin mm. hajautettuun pienkäyttöön sekä lyhytaikaiseen käyttöön. Hiilitalteenotto tarjoaisi helpon ja nopeasti käyttöön otettavan teknologiavaihtoehdon polttoainesta talteen otetun hiilen loppu- ja välivarastoinnille, kuljetukselle ja kestäväälle hyötykäytölle.

## 2 HIILITALTEENOTTO PÄÄSTÖKAUPASSA

Polttoaineiden sisältämän hiilikoksin lämpöarvoksi on tässä yhteydessä arvioitu 31,3 MJ/kg. Hiilikoksin poltettaessa syntyy hiilidioksidipäästöjä 422 kg/MWh. Päästökaupan aiheuttama lisäkustannus jäisi siis polttoaineen käyttäjältä pois tai olisi saatavissa nieluhyötynä menetetyn polttoaine-energia lisäksi. Seuraavassa on esitetty päästökaupan rajahinnat, joiden yläpuolella hiilitalteenotto olisi kannattavampaa kuin päästömaksujen maksaminen.

Maakaasun kemiallisesta energiasta on tässä esiselvityksessä arvioitu, että siitä voidaan erottaa hiilenä 40 % ja vastaavasti biomassasta 20 %.

Hiilitalteenoton kannattavuuden rajahinnat päästökaupassa ovat seuraavat:

- maakaasu 40 €/MWh, päästökaupan rajahinta 94,8 €/CO<sub>2</sub>ton

20.9.2011

- biomassa 20 €/MWh, päästökaupan rajahinta 47,5 €/Cton

Verrattuna VTT:n tiedotteen kannattavuuskriteereihin, voidaan todeta, että hiilitalteenoton kannattavuus on samaa tasoa kuin hiilidioksiditalteenotonkin Suomen olosuhteissa, vaikka talteen otetulle hiilelle ei laskettaisikaan kaupallista hyötyä. On myös todennäköistä, että hiilidioksiditalteenoton ominaiskustannukset kasvaisivat jopa moninkertaisiksi pieneen kokoluokkaan siirryttäessä tai käyttöajan lyhentyessä.

Talteen otettu hiili voidaan jauhaa ja liettää pumpattavaksi vesislurryksi, jota voidaan siirtää ja varastoida turvallisesti ja edullisesti perinteisten öljyn käyttöön soveltuvien laitteiden avulla. Myös geologinen loppusijoitus kaivoksiin ja öljylähteisiin olisi mahdollista, mutta EOR hyöty öljylähteiden tyhjentämisessä jäisi todennäköisesti saavuttamatta hiilidioksidia pienemmän tiheyden vuoksi.

### 3 MAAPERÄN PARANTAMINEN HIILEN AVULLA

Jo usean vuoden ajan on monen toimijan puolelta esitetty, että hitaan pyrolyysiprosessin sivutuotteena syntyvä ns. biohiili kannattaisi käyttää maaperän parannukseen jopa kokonaan ilman energiahyötykäyttöä. Biomassan koksaminen ja kaksin sijoittaminen maaperään olisi suoraviivainen keino estää biomassan ilmakehästä sitomaa hiiltä palautumasta takaisin ilmakehään. Maaperän parannushyötyä on arvioitu monessa maassa, mm. Suomessa. Australiassa tehtyjen tutkimusten (CSIRO) mukaan vehnän viljelyssä keskimääräinen lisäkasvu oli 20 % ja lannoitteiden tarve laski 50 %. Tällöin maaperään lisättiin biohiiltä 10 ton/ha.

Tässä selvityksessä käytetään CSIRO:n tuloksia hyötyarvion oletuksina. Suomen olosuhteissa vastaava kasvulisä on saavutettavissa todennäköisesti vain osassa peltoviljelymaita ja karuimmilla metsäalueilla. Arviointiperuste toteutuu, kun koksinkäytön kohdealueet valitaan optimaalisesti ja aikaa myöten muu aiheeseen liittyvä teollinen osaaminen karttavat.

Myös maakaasukoksin maaperäsijoittamisen on tässä esiselvityksessä oletettu lisäävän kasvua samalla tavalla kuin biohiili.

Kun kasvun arvo viljan tuotannossa on 1000 €/ha, v, olisi lisäyksen arvo 200 €/ha, v, joka voidaan diskontata 5 vuoden kertymän ajalta nykyarvoksi 1000 €/ha. Tällöin agrohiilitonnin arvo viljelyssä 100 €/Cton.

Lannoitesäästöhyödyn taloudellista arvo on n. 50 €/ha, v. Viiden vuoden hyöty nykyarvoksi diskontattuna on 250 €/ha, mikä lisää hiilihyötyä 25 €/Cton.

Maaperän parantamisesta olisi edellä tehtyjen oletuksien mukaan mahdollista saada päästökaupan hiilinielun lisäksi lisähyötyä niin, että hiilitalteenoton kannattavuus arvot hieman paranevat seuraavalla tavalla:

- maakaasu 40 €/MWh, päästökaupan rajahinta 60,7 €/Cton
- biomassa 20 €/MWh, päästökaupan rajahinta 13,3 €/Cton



20.9.2011

## 4 HIILEN POLTTOAINEKÄYTTÖ

### 4.1 Kivihiilen korvaus

On luontevaa ajatella, että termisessä hajotuksessa syntyvä hiili myydään polttoainemarkkinoille kivihiilen arvoisena polttoaineena käytettäväksi. Tällöin hiili voidaan käyttää sellaisissa suurissa yksiköissä, joissa hiilidioksidin talteenotto olisi kannattavaa.

Kannattavuus on arvioitu siten, että korvattaessa termisen hajotuksen avulla talteen otetulla hiilellä markkinahinnaltaan 15 €/MWh arvoista kivihiiltä, muodostuisivat päästökaupan rajahinnoiksi kannattavalle toiminnalle seuraavat arvot:

- maakaasu 40 €/MWh, päästökaupan rajahinta 59,2 €/CO<sub>2</sub>ton
- biomassa 20 €/MWh, päästökaupan rajahinta 11,8 €/CO<sub>2</sub>ton

### 4.2 Polttoöljyn korvaus maakaasuhiilellä

Hiilestä voidaan valmistaa jauhamalla ja liettämällä pumpattavaa polttoöljyä. Tämä tuote voisi korvata polttoöljyä vara- ja huippukattiloissa. Maakaasun koksi on tuhkatonta ja siksi siitä tuotetun hiilislurryn avulla voidaan korvata kevyttä polttoöljyä.

Maakaasun ostaja ja siitä tuotetun vedyn käyttäjä saa merkittävä myyntihyödyn, kun korvataan maakaasukoksista tuotetun slurryn avulla markkinahinnaltaan 80 €/MWh:n arvoista kevyttä lämmitysöljyä (ominaispäästön muuttuminen öljystä hiileksi on huomioitu päästökaupan kautta). Saadaan seuraavat arviot polttoaineen käyttökustannusten alentumiselle:

- maakaasu 40 €/MWh
  - polttoainekustannus 16,4 €/MWh, kun päästökaupan hinta 30 €/CO<sub>2</sub>ton
  - polttoainekustannus 23,5 €/MWh, kun päästökaupan hinta 100 €/CO<sub>2</sub>ton

Edellisessä esimerkissä on laskennallisesti otettu huomioon hiilidioksidipäästön lisäys siirryttäessä öljyn poltosta hiilislurryn polttoon päästökaupan määrittämän arvon mukaisesti.

Maakaasusta tuotetun hiilislurryn energiakäyttö saattaisi olla taloudellisesti perusteltua ilman hiilidioksidin talteenottoakin, mutta ilmastomuutoksen hillinnän kannalta hyöty jäisi kuitenkin varsin pieneksi. Hiilidioksidipäästö vähenisi vain ominaispäästön vähenemän vuoksi, kun öljyn käytöstä siirrytään maakaasun käyttöön.



20.9.2011

### 4.3 Polttoöljyn korvaus biomassahiilellä

Kun biopolttoaineen koksista tuotetaan biotuhkaa sisältävää hiilislurryä, voidaan sen avulla korvata markkinahinnaltaan 50 €/MWh:n arvoista raskasta polttoöljyä, joka myös sisältäisi tuhkaa. Tällöin biomassan käyttäjä saa jalostushyödyn itselleen, mikä näkyy polttoainekustannuksen alentumisena:

- biomassassa 20 €/MWh
  - polttoainekustannus 12,5 €/MWh

Biohiilislurryn käyttö olisi kannattavaa bioöljynä sekä taloudellisesti että ilmastomuutoksen hillinnänkin kannalta, koska toiminnan seurauksena fossiilisen polttoöljyn käyttöä olisi mahdollista vähentää.

## 5 HIILEN TEOLLISUUSKÄYTTÖ

Hiilivetyypolttaineiden termisessä hajotuksessa syntyvää hiiltä voidaan polttoainekäytön lisäksi käyttää myös teollisuuden raaka-aineena monella eri tavalla. Teollinen käyttö voi joissain tapauksissa toimia myös tehokkaana hiilinieluna. Teollisuuskäytössä hiilen arvo voi olla hyvinkin korkea, jolloin energiantuotannon hyöty kasvaisi huomattavasti jo aiemmin esitetyistä arvoista. Hiilen teollisia raaka-ainekäyttökohteita ovat mm. seuraavat:

- Renkaiden valmistus:
  - black carbon n. 1 000 €/ton,
  - 70 % renkaiden valmistukseen
  - valmistus maakaasusta
  - tarve on suhteellisen pieni.
- Aktiivihiili
  - 1 000 - 2 000 €/kg
  - tarve suhteellisen pieni
- Nanokuitutuotteet
  - suuri mahdollisuus
  - 5 000 000 €/ton
  - tarve kasvava.
- Raudan valmistus
  - korkealaatuinen maakaasuhiili antaisi ehkä lisäarvoa
  - hinta lähellä kivihiilen hintaa ehkä n. 200 €/ton



20.9.2011

- o suuri tarve

Maakaasun hajotuksessa syntyvä hiili olisi arvokkaimmillaan, jos hiili erottuisi nanokuituna. Nanokuidun hinnan halventuessa edullisen tuotantotavan vuoksi lisääntyisi hiilikuitujen teollinen käyttö laitteissa ja rakentamisessa niin, että raudan tarvetta olisi mahdollista vähentää.

Tuotantoyksiköt, jotka tuottavat hiiltä teollisuustuotteiden raaka-aineeksi, on edullista integroida energiatuotantosysteemeihin.

## 6

### YHTEENVETO

Vetyä ja hiiltä sisältävien polttoaineiden hiilitalteenotto on todennäköisesti mahdollista toteuttaa monella eri tavalla. Talteen otettu hiili voidaan loppu sijoittaa maaparannuskäyttöön, geologisiin varastoihin tai se voidaan hyödyntää teollisuudessa monella eri tavalla. Hiilitalteenottoon liittyvä selkeä taloudellinen hyöty on potentiaalisesti olemassa. Termisen hajotuksen käytännön toteutustavoista eri kokoluokissa ei vielä syntynyt selkeää kuvaa. Termisen hajotuksen laiteratkaisusta riippuu, miten suuri kiinteä käyttökustannus syntyy laiteinvestoinnista, jota tässä ei siis ole huomioitu.

Jos termisen hajotuksen prosessien hallintaan voidaan kehittää pieneen kokoon soveltuvia ratkaisuja, olisi hiilitalteenotto tehokas lisä ilmastomuutoksen hillinnässä ja saattaa aikanaan muodostaa merkittävän osan energiantuotantosysteemeistä ja CCS -logistiikasta.

Nykyisin polttoon päätyvästä hiilivetyjen hiilestä olisi merkittävää hyötyä ilmastohillinnässä hiilinieluinä toimivina teollisuustuotteina.

Biomassasta tuotettu hiilislurry voisi olla turvallinen ja helppo biopoltoneste.

Maakaasusta tuotettu hiilislurry puolestaan sopisi hyvin pieniin happipolttosovellutuksiin, joihin olisi mahdollista toteuttaa yksinkertainen hiilidioksidin talteenotto joko paineistamalla polttoprosessi.

Hiilitalteenoton kehitysreitit päässä on nähtävissä myös mahdollisuus teollisuudessa käytetyn raudan korvaamisesta hiilikuiduilla.

Termisen hajotuksen osaprosessien, laitetekniikan ja sovellutusten kehittämiseen panostaminen näyttäisi olevan perusteltua entistä nopeampien ja tehokkaampien keinojen löytämiseksi ilmastomuutoksen hillintään. Teknologian kehittämiseen liittyy suuri innovaatio- ja liiketoimintapotentiaali.

Hiilitalteenotto muodostaisi toteutuessaan ympäristöverotukselle ja päästökaupalle uuden haasteen, koska polttoaineisiin liittyvät ympäristörasitukset ja niihin liittyvä verottaminen jakautuvat polttoaineen termisessä hajotuksessa, joka voi siis tapahtua voimalaitoksen sisäisenä prosessina.



8 (8)

20.9.2011

**Viite** 1. CSIRO:n arvio biohiilen maanparannusvaikutuksista Australiassa.