

Hiilidioksidin talteenotto ja sitominen – katsaus menetelmään

Sanna Tyni, epäorgaanisen kemian tohtori, erityisasiantuntija, kiertotaloushanke, Lapin ammattikorkeakoulu

Asiasanat: hiilidioksidin talteenotto ja varastointi, CCS-tekniikka

Johdanto

Hiilidioksidin (CO₂) muodostuminen on yksi suurimmista haasteista tämän päivän teollisuudessa, alasta riippumatta, ympäri maapallon. Hiilidioksidi on merkittävä kasvihuonekaasu ilmakehässä paitsi suuren määränsä mutta myös nopean pitoisuuden nousunsa vuoksi. Hiilidioksidi on osa hiilen kiertokulkua maapallolla mutta tilanteen on muuntanut ongelmalliseksi ihmisten vaikutus. Syinä pitoisuuden hälyttävään kasvuun ovat muun muassa fossiilisten polttoaineiden hyödyntäminen energian tuotannossa ja eri teollisuuden alojen voimakas kasvu. Tällä hetkellä käytössä olevat hiilidioksidin sitomiseen ja varastointiin soveltuvat menetelmät ns. CCS-menetelmät eivät ole edelleenkään riittäviä pitämään hiilidioksidipitoisuutta tasapainossa vapautumisen ja sitomisen suhteen. (Sipilä, 2008)

Euroopan unioni on asettanut jäsenmailleen mm. hiilidioksidipäästöjen tavoiteraja-arvot vuodelle 2020 ja unionin jäsenmaana myös Suomi sitoutuu noudattamaan laadittua ilmasto- ja energiapolitiikkaa. Vuonna 2007 UNFCCC:lle (YK:n ilmastonmuutoskonventti, United Nations Framework Convention on Climate Change) raportoitiin Suomen kasvihuonepäästöiksi 78,3 Mt CO₂-eq, joista 66,1 Mt oli fossiilista hiilidioksidia. Päästömäärästä suurin osa (62 %) muodostui energian- ja lämmöntuotannosta ja toiseksi suurin osa (16 %) oli peräisin rauta- ja terästuotannosta. Suomessa metsät muodostavat tärkeän linkin hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin suhteen koska biomassat sitovat hiilidioksidia fotosynteesillä. Biopolttoaineita pidetäänkin hiilineutraaleina energian lähteinä. Jos tuotantoprosessissa eroteltu hiilidioksidi hyödynnetään esim. paperiteollisuuden raaka-

aineena, on kyse hiilidioksidinegatiivisesta päästöstä. Nykyinen energiapolitiikka tosin ei vielä huomioi tuotantolaitosten negatiivisia hiilidioksidipäästöjä osaksi päästölaskelmia. (Teir S. H., 2010)

Taustaa

Hiilidioksidin varastoinnin kannalta potentiaalisina menetelminä pidetään varastointia maaperän geologisiin esiintymiin (esim. ehtyneet öljy- ja kaasukenttien onkalot), meriin (kaasun vapauttaminen meriveteen tai varastointi meren pohjaan) ja hiilidioksidin kemiallista muokkaamista epäorgaanisiksi karbonaateiksi. (IPCC, 2005)

Talteenotto

Teollisuudessa hiilidioksidi pyritään keräämään talteen tuotannon eri vaiheissa. Menetelmät ovat käytössä ennen tai jälkeen polttamisen tai vaihtoehtoisesti hyödynnetään happipolttomenetelmää.

- Polton jälkeinen talteenotto (post-combustion)
 - o CO₂ poistetaan pesureiden avulla piippuun menevästä savukaasusta.
 - o Ekonomisesti tehokas menetelmä, käytössä jo valtaosassa tuotantolaitoksia.
- Talteenotto ennen polttoa (pre-combustion)
 - o Kiinteä polttoaine muutetaan kaasumaiseksi ennen polttoprosessia, ja CO₂ erotetaan kaasusta ennen polttokattilaa.
 - o Polton jälkeen CO₂ poistetaan savukaasusta pesemällä.
 - o Hyödynnetään erityisesti lannoiteteollisuuden puolella sekä vetytuotannossa.
 - o Menetelmänä kalliimpi kuin talteenotto polton jälkeen mutta hyötysuhde suurempi. Korkeammat CO₂-konsentraatiot ja korkeampi paine tekevät erotuksesta helpompaa.
- Happipolttoto (oxy-fuel combustion)
 - o Poltossa hyödynnetään korkean puhtausasteen omaavaa O₂.
 - o CO₂-pitoisuus savukaasussa jopa yli 80 %.
 - o Helpottaa CO₂:n erotusta mutta O₂:n erotus ilmasta kuluttaa paljon energiaa, mikä nostaa kustannuksia. (IPCC, 2005)

Uusimmilla käytössä olevilla metodeilla päästään jo jopa 90 % talteenottoasteelle mutta ikävä kyllä prosessi tuplaa energiakustannukset (Teir S. H., 2010) Edellä esitettyihin jo käytössä oleviin menetelmiin voidaan yhdistää myös lisäkäsittelymenetelmiä kuten absorptiota, kryogeenista tislausta, membraaneja, kaasumaisia hydraatteja tai CLC-polttotekniikkaa (chemical looping combustion). Lisäkäsittelymenetelmät ovat pääsääntöisesti vielä kehitysasteella ja paljon tutkimustyötä on tehtävä ennen kuin tutkijat ovat ratkoneet menetelmien ja materiaalin hyödyntämiseen laajassa tuotantomittakaavassa liittyvät ongelmat, kuten kustannus- ja energiatehokkuuden. Pisimmällä olevat menetelmät hyödyntävät hiilidioksidin erottamiseksi CLC-polttotekniikkaa tai hydraatiota. (D'Alessandro, 2010)

Menetelmät varastoinniseksi ja sitomiseksi

Hiilidioksidin sitomiseksi ja varastoinniseksi käytetään muutamia toimiviksi ja kustannustehokkaiksi havaittuja menetelmiä kuten mereen tai maaperään siirtoa ja varastointia. Siirto tapahtuu suoraan tehtaasta kiinteää putkea pitkin tai merien tapauksessa hyödyntämällä laivoja siirroissa. Tämä tosin on mahdollista vain sellaisilla alueilla, jotka täyttävät vaatimukset sijainnin, maaperän tai tehtaan hiilidioksidin tuotantomäärien suhteen. Menetelmät perustuvat fysikaalisiin ja geokemiallisiin tekijöihin, jotka sitovat kaasun maaperään/mereen ja estävät sitä karkaamasta. Ajan kanssa hiilidioksidista tulee osa luonnollista hiilisykliä. Teollisuus voisi hyödyntää talteenotettua nestemäistä tai kaasumaista hiilidioksidia omissa prosesseissaan. Kyseessä katsotaan olevan kuitenkin verrattain pieni hyödynnysaste, koska varastointi on lyhytaikaista. (IPCC, 2005) Esimerkiksi paperinvalmistuksessa hyödynnetty hiilidioksidi vapautuu uudelleen ympäristöön paperin käyttöön täytyessä.

Mineraalikarbonaatio on vaihtoehtoinen varastointimenetelmä erityisesti alueilla, joilla ei ole sopivia varastointipaikkoja maaperään tai meren. Karbonaatioreaktiossa hiilidioksidi reagoi alkalimetallimineraalin kanssa muodostaen stabiileja karbonaattiyhdisteitä. Menetelmää pidetään kuitenkin vielä liian kalliina ja energiaa kuluttavana teollisessa mittakaavassa toteutettavaksi. Kehitystyö menetelmän parissa jatkuu kuitenkin aktiivisesti. (Sipilä, 2008) Menetelmän suurin etu on hiilidioksidin ns. pysyvä sitoutuminen muodostuneeseen yhdisteeseen, minkä vuoksi karbonaattien sijoittamisella ympäristöön ei tutkimusten mukaan ole haitallisia ympäristövaikutuksia. Toimivan ja energiatehokkaan karbonaatioreaktion kehittäminen hiilidioksidin sitomiseksi voisi myös mahdollistaa teollisuuden sivuvirtamineraalien hyödyntämisen reaktiossa. Lisäksi tuotetuille karbonaatille olisi mahdollista kehittää myös hyödynnystarkoituksia. (Teir, 2006) (Lavikko, 2017)

Suomi

Suomen osalta hiilidioksidin varastointi maaperään tai meriin ei ole vaihtoehto. Suomen kallioperä koostuu kiteisestä kivimateriaalista, joka ei sovellu varastointiin. Lähimmät varastointiin soveltuvat merialueet löytyvät Suomen rajojen ulkopuolelta eteläiseltä Itämereltä, jotka sijaitsevat Ruotsin hallinta-alueella. (Teir S. H., 2010) Suomen maaperässä sijaitsee magnesiumrikasta ultramafista kiveä kuten peridotiittia, duniittia, sarvivälkettä, pyroksiniittia, komatiittia ja näiden metamorfeja. Sopivaa kivimateriaalia karbonaattien raaka-aineeksi on maaperässä runsaasti mutta toistaiseksi materiaalin louhinta vain mineraalikarbonaatiota varten ei houkuttele teollisuutta. (Teir S. H., 2010) Mineraalikarbonaatio lienee kuitenkin Suomen tämänhetkisistä vaihtoehtoista potentiaalisin ja sen parissa tutkimustyötä on jo teikeillä mm. Åbo Akademiassa. (Sipilä, 2008) (Lavikko, 2017)

Mahdollisuudet

Ajantasaista tietoa hiilidioksidin talteenotosta ja varastoinnista löytyy mm. *Carbon Capture Journal*:n Internetsivustolta, jossa esitellään tuoreimmat aiheeseen liittyvät uutiset ympäri maailman. Syyskuun 2017 uutisia ovat mm. Kanadan 950000\$ investointi hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin keskittyvään instituuttiin sekä *CO₂ Solutions* toteuttaa alustavan tutkimuksen, jolla arvioidaan entsyymaattisen hiilidioksidin varastointitekniikan potentiaalia kaivos- ja metalliteollisuudessa. (Carbon Capture Journal, 2017) Vastaavasti *Energy Procedia* on koostanut 13th *International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*-konferenssin julkaisuista oman numeron, joka sisältää tuoreimmat tutkimustulokset alalta. (GHGT-13, 2017) Tutkimustulosten julkaiseminen on helpottunut ja nopeutunut digitalisaation myötä, mikä myös antaa mahdollisuuden entistä nopeammalle kehitykselle. Digitaaliset työkalut ovat mahdollistaneet uudenlaisen lähestymistavan tutkimusongelmien ratkaisemiseksi. Lisäksi yhteistyön tekeminen vaikkapa maapallon toisella laidalla olevan tutkimusryhmän kanssa on täysin mahdollista uusien menetelmien vuoksi. Uusien CCS-menetelmien käyttöönotto vaatii vielä paljon tutkimustyötä ja erityisesti useiden eri alojen yhtistyötä ongelmien ratkaisemiseksi. Tällä hetkellä käytössä olevat CCS-menetelmät ovat ikävä kyllä ikääntyneitä ja uusia menetelmiä niiden rinnalle tai tilalle tarvittaisiin. (D'Alessandro, 2010)

Yhteenveto

Teollisuuden toimijoilla ja tutkijoilla on käsissään ongelmakimppu, jonka ratkaisijalle on tarjolla maineen ja mammonan lisäksi titteli ”Maapallon pelastaja”. Vaikka lausahdus kovin lennokas onkin, niin taustalla piilee kuitenkin totuus. Hiilidioksidipitoisuus, ja erityisesti pitoisuuden voimakas kasvu ilmakehässä, on luonut ongelman, jonka ratkaisemiseksi tarvitaan yhteistyötä ja luovia ajatuksia. Kestävää kehitystä ajatellen teollisuudessa on jo otettu käyttöön erilaisia menetelmiä, joiden avulla on mahdollista hallita tuotantoprosessien pää- ja sivuvirtoja, siten että tuotanto on yhtä aikaa tehokasta, taloudellista mutta myös ympäristöä säästävää. Samalta ajatuspohjalta meidän tulee lähestyä myös hiilidioksidin talteenottoa ja sitomista. Toteutuskelpoisilla menetelmillä on mahdollista samanaikaisesti sitoa hiilidioksidia, hyödyntää raaka-aineena sivuvirtoja sekä tuottaa uusia materiaaleja jatkohyödynnystä ajatellen. Näin siirrytään keskustelemaan ongelman sijaan uusien menestystuotteiden kehittämisestä. Yksittäisenä tavoitteena ehkä suuri ja saavuttamaton mutta pienempiin osiin pilkottuna hallittavissa sekä ratkaistavissa oleva haaste.

Lähteet

Carbon Capture Journal. 2017. Future Energy Publishing Ltd. Viitattu 18. 9 2017. <http://www.carboncapturejournal.com/allnews.aspx>

D'Alessandro, D. M., Smit, B., ja Long, J. R. 2010. *Carbon dioxide capture: Prospects for new materials*. Angewandte Chemie International Edition. Viitattu 14. 9 2017. https://infoscience.epfl.ch/record/200571/files/6058_ftp.pdf

GHGT-13. 2017. *13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies* Energy Procedia. Viitattu 18. 9 2017. <http://www.sciencedirect.com/science/journal/18766102/114/supp/C?sdc=1>

IPCC [Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Metz, B., O. Davidson, H. C. de Coninck, M. Loos, and L. A. Meyer (eds.)]. 2005. *IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage*. Cambridge University Press. Viitattu 14. 9 2017. https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srccs/srccs_wholereport.pdf

Lavikko, S. 2017. *Geological and mineralogical aspects on mineral carbonation*. Åbo Akademi University. Viitattu 14. 9 2017. https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/130096/lavikko_sonja.pdf?sequence=2

Sipilä, J., Teir, S., Zevenhoven, R.. 2008. *Carbon dioxide sequestration by mineral carbonation, Literature review update 2005-2007*. Åbo Akademi University. Viitattu 14. 9 2017. <http://users.abo.fi/rzevenho/MineralCarbonationLiteratureReview05-07.pdf>

Teir, S., Eloneva, S., Fogelholm, C.-J., Zevenhoven, R. 2006. *Stability of calcium carbonate and magnesium carbonate in rainwater and nitric acid solutions*. Elsevier. Viitattu 14. 9 2017. <http://lib.tkk.fi/Diss/2008/isbn9789512293537/article7.pdf>

Teir, S. Hetland, J., Lindeberg, E., Torvanger, A., Buhr, K., Koljonen, T., Gode, J., Onarheim, K., Tjernshaugen, A., Arasto, A., Liljeberg, M., Lehtilä, A., Kujanpää, L., ja Nieminen, M. 2010. *Potential for carbon capture and storage (CCS) in the Nordic region*. VTT. Viitattu 14. 9 2017. http://www.sintef.no/globalassets/project/nordiccs/vtt_t2556.pdf