

Hiilidioksidin talteenotto ja termodynamiikan laskuoppi

10.11.2026

Termodynamiikka ei lue lehdistötiedotteita. Tämä on Regeneranssi-podcastin kolmannen jakson koko sisältö yhteen lauseeseen tiivistettynä, ja loppu on sen perustelemista. Hiilidioksidin talteenotosta puhutaan usein kuin se olisi imuri, joka vain käynnistetään, kun poliittinen tahto löytyy. Todellisuudessa kyse on aineen erottamisesta, puristamisesta, kuljettamisesta ja pysyvästä sijoittamisesta paikkaan, josta se ei palaa ilmakehään seuraavassa suhdannekäänteessä. Jokainen näistä verbeistä tarkoittaa energiaa, investointeja ja häviöitä.

CCS tarkoittaa tässä yhteydessä hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia, ei sähköautojen latausstandardia, vaikka jakson alussa tästä hetken naurettiinkin. Aihe on minulle kaksijakoinen. Teknologia toimii ja sillä on aitoja käyttökohteita. Samaan aikaan se on fossiiliteollisuuden lempilapsi juuri siksi, että se lupaa mahdollisuuden jatkaa polttamista. Molemmat asiat ovat totta yhtä aikaa, ja siksi tästä aiheesta on niin vaikea keskustella järkevästi. Jos CCS:ää vastustaa kategorisesti, jättää huomiotta sementin, kalkin, teräksen ja tietyt biogeeniset päästöt, joihin ei ole eleganttia sähköistysratkaisua. Jos taas CCS:stä tekee ilmastopolitiikan päästrategian, hyväksyy käytännössä sen, että ensin sotketaan ilmakehä ja sitten pyritään siivoamaan jäljet teknologialla, jonka kustannus- ja energialasku on valtava.

Miksi hiilidioksidin kerääminen on niin

kallista?

Tässä kohtaa kemisti pyytää hetken kärsivällisyyttä, koska asian ydin on yhden kappaleen mittainen. Polttaminen vapauttaa energiaa siksi, että hiilidioksidi ja vesi ovat erittäin matalan energian molekyylejä. Ne ovat kemian pohjakerros, stabiileja ja tyytyväisiä olotilaansa. Kun hiilidioksidi halutaan kerätä ja muuttaa joksikin muuksi, tuo sama energiamäärä pitää maksaa takaisin, ja häviöiden takia käytännössä moninkertaisena. Tämän päälle tulee vielä toinen lasku: ilmakehässä hiilidioksidia on noin 420 miljoonasosaa, eli molekyylit pitää ensin erotella valtavasta ilmamassasta. Laimean seoksen väkevöinti maksaa aina, ja sen minimihinnan määrää fysiikka, ei insinöörin taitotaso. Parempi tekniikka voi lähestyä teoreettista minimiä mutta ei alittaa sitä. Tässä on syy, miksi suoraan ilmasta tapahtuva talteenotto näyttää paperilla yksinkertaiselta ja käytännössä raivostuttavan tehottomalta. Puhallin, sorbentti ja lämpösykli eivät ole taikuutta, vaan erotusprosessi, jossa käsitellään suuria ilmamääriä pienen molekyylimäärän vuoksi.

Siksi luvut näyttävät siltä miltä näyttävät. Climeworksin uusin laitos Islannissa keräsi ensimmäisen toimintakautensa alussa varsin vaatimattomia määriä suhteessa nimelliskapasiteettiin, vaikka laitos itsessään on teknisesti kiinnostava ja perustuu järkevään ajatukseen: uusiutuvaa geotermistä energiaa, suora talteenotto ilmasta ja hiilidioksidin mineralisointi basalttiin. Yhtiön Mammoth-laitoksen nimelliskapasiteetti on 36 000 tonnia vuodessa, mutta ensimmäiset raportoidut toteumat ovat olleet lähempänä koelaitoksen kuin teollisen ratkaisun mittakaavaa. Jos koko Islannin päästöt, 12,4 megatonnia vuodessa, haluttaisiin imeä ilmasta vastaavalla teknologialla, sähkönkulutuksesta tulisi valtava. Se ei ole pieni optimointiongelma, vaan mittakaavaongelma. Laitos siis toimii, mutta sen toimivuus ei vielä tarkoita, että se olisi ilmastopolitiikan päätyökalu. Este ei ole pelkästään kehitysvaiheessa vaan energiataseessa.

Tässä keskustelussa menevät usein sekaisin kolme aivan eri asiaa: hiilidioksidin talteenotto savukaasusta, hiilidioksidin talteenotto suoraan ilmasta ja hiilidioksidin hyötykäyttö. Ensimmäinen voi olla teollisuuden kannalta välttämätön paha. Toinen on kallis vakuutus tilanteisiin, joissa päästöjä ei saada muuten alas. Kolmas taas ei automaattisesti ole hiilenpoistoa lainkaan. Jos hiilidioksidista tehdään synteettistä polttoainetta, joka poltetaan kuukauden päästä lentokoneessa, hiili käy vain kierroksen talouden kautta ilmakehään. Se voi olla hyödyllistä fossiilisen raaka-aineen korvaamista, mutta se ei ole sama asia kuin pysyvä varastointi.

Missä sama teknologia muuttuu järkeväksi

Kaikki muuttuu, kun hiilidioksidi otetaan väkevänä suoraan piipusta. Sementtiuuni, terästehdas ja bioetanolikäymö tuottavat savukaasua, jossa pitoisuus on kymmeniä prosentteja eikä miljoonasosia. Erottelutyö putoaa murto-osaan. Suomen ilmastopaneelin haarukka pysyvälle talteenotolle on silti noin 120-240 euroa tonnilta koko arvoketjussa talteenottokohteesta riippuen, eli halpaa tämä ei ole missään muodossa. Mutta se on mittakaavaltaan mahdollista. Tämä ero on aivan keskeinen: jos lähtöpitoisuus on korkea, prosessi taistelee vähemmän entrooppista vastatuulta vastaan. Silloin kysymys siirtyy kemiasta ja fysiikasta enemmän logistiikkaan, luvitukseen, varastointikapasiteettiin ja siihen, kuka maksaa laskun.

Tukholman Exergin biolämpölaitoksen BECCS-hanke antaa hintalapun konkretialle: Ruotsin valtion tuki on

noin 20 miljardia kruunua eli noin 1,8 miljardia dollaria enintään 15 vuoden aikana, ja laitoksen tavoitteena on ottaa talteen noin 800 000 tonnia biogeenistä hiilidioksidia vuodessa. Tämä on jo oikeaa teollista mittakaavaa, ei PowerPoint-mittakaavaa. Samalla se näyttää, miksi markkina ei synny itsestään. Tarvitaan julkista tukea, pitkäaikaisia ostosopimuksia ja uskottava varastointiketju. Tekninen suunta, jota kannattaa seurata, on myös happipoltto: kun poltetaan lähes puhtaassa hapessa, savukaasun hiilidioksidipitoisuus nousee entisestään ja talteenotto halpenee. Ei valmista, mutta fysiikan suunta on oikea.

Mitä tästä pitäisi ajatella Suomessa?

Suomen erityispiirre on biogeeninen hiilidioksidi. Meillä syntyy paljon hiiltä virroissa, jotka eivät ole fossiilisia: metsäteollisuudessa, energiantuotannon biomassoissa ja erilaisissa bioprosesseissa. Jos tällainen hiilidioksidi otetaan talteen ja varastoidaan pysyvästi, syntyy teoriassa negatiivisia päästöjä. Mutta sana teoriassa on tässä tärkeä. Negatiivinen päästö ei synny siitä, että laskentataulukkoon kirjoitetaan miinusmerkki. Se syntyy vain, jos biomassan alkuperä on kestävä, talteenotto ei aiheuta kohtuuttomia lisäpäästöjä, kuljetusketju on hallittu ja varastointi on geologisesti pysyvää. Muuten kyse on parhaimmillaankin osittaisesta päästöjen siirtämisestä paikasta toiseen.

Tästä syystä CCS kannattaa sijoittaa ilmastokeskustelussa oikeaan lokeroon. Se ei ole ensimmäinen toimi, vaan viimeisten vaikeiden prosenttien työkalu. Ensin kannattaa lopettaa turha polttaminen, sähköistää se mikä voidaan, parantaa energiatehokkuutta ja korvata fossiilisia raaka-aineita siellä missä korvaaminen on teknisesti järkevää. Vasta tämän jälkeen jää jäljelle joukko päästöjä, joiden poistaminen on kallista, hidasta tai prosessikemian vuoksi vaikeaa. Siellä CCS voi olla välttämätön. Mutta jos sitä käytetään tekosyynä olla tekemättä helpompia päästövähennyksiä, se muuttuu ilmastoratkaisusta moraaliseksi pesukoneeksi.

Nyrkkisääntö kotiin vietäväksi

Kun joku tarjoaa hiilidioksidin talteenottoa selvästi alle sadan euron tonnihintaan, hinnasta puuttuu jotain. Yleensä pysyvä varastointi, mittaus, todentaminen, kuljetus tai pääoman kustannus. Islannin basalttiin mineralisointi on aidosti pysyvää, koska hiilidioksidi reagoi kiveksi. Moni halvempi ratkaisu on kirjanpidollisesti hiilensidontaa ja fysikaalisesti jotain muuta. Tämä ei tarkoita, että kaikki halpa olisi huijausta, mutta se tarkoittaa, että väitteen rajaukset pitää lukea ennen hintalappua. Onko kyse talteenotosta vai poistosta? Onko hiili fossiilista vai biogeenistä? Varastoidaanko se pysyvästi vai käytetäänkö se tuotteessa, joka hajoaa tai palaa myöhemmin? Ja ennen kaikkea: verrataanko hintaa siihen, että sama päästö jätettäisiin kokonaan syntymättä?

Ja se tärkein: talteenotto on täydennys päästövähennyksille, ei vaihtoehto. Halvin ikinä kerätty hiilidioksiditonni on se, jota ei koskaan päästetty. Tämä lause kuulostaa iskulauseelta, mutta se on myös melko hyvä teknistaloudellinen analyysi. Ilmakehän siivoaminen jälkikäteen on lähes aina kalliimpaa kuin päästön estäminen etukäteen. CCS:n järkevä rooli löytyy vasta, kun tämä asetelma hyväksytään. Silloin se ei ole hopealuoti eikä viherpesun oikopolku, vaan kallis mutta mahdollisesti tarpeellinen osa työkalupakkia. Fysiikka antaa sille paikan, mutta ei vapauta meitä vähentämästä päästöjä ensin.

Kuuntele Regeneranssi-podcastin jaksot täällä: Regeneranssi podcast**Juho Heiska**
TkT, tutkimus- ja kehittämispäällikkö
SEAMK

Kirjoittaja toimii SEAMKin Tulevaisuuden ajoneuvoteknologiat -tutkimusryhmässä ja on väitellyt akkututkimuksen alalta.