

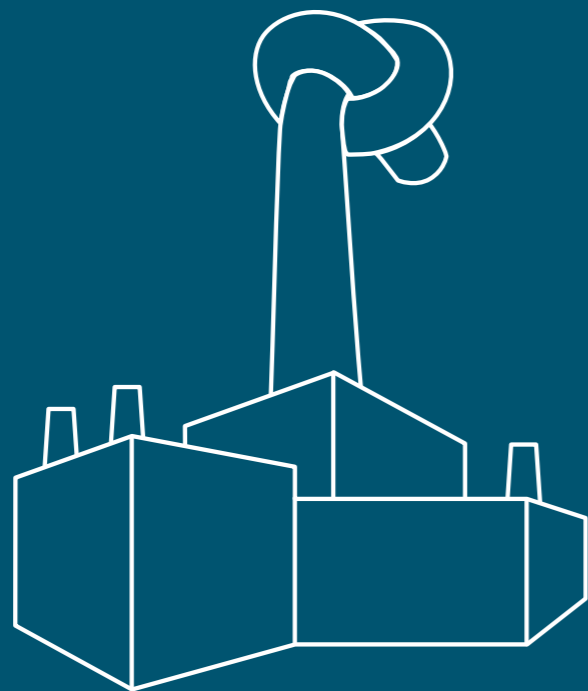


ccsp

Carbon Capture and Storage Program

HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTTO JA VARASTOINTI



**JOHDANTO**

Hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin tutkimusohjelma

4

6

TUTKIMUKSEN TAUSTA

Hiilidioksidi talteen ja varastoon

**TUTKIMUSALUEET
JA PÄÄTULOKSET**

Vankkaa tiedettä ja sovelluksia

10

18

**TUTKIMUSTULOKSET –
TILANNE SUOMESSA**

Hiilidioksidin talteenotto laskee vähähiilisen tulevaisuuden kustannuksia

**TUTKIMUSTULOKSET – TEKNOLOGIAA
KANSAINVÄLISILLE MARKKINOILLE**

Talteenotolle optimoitu kattila valmiina koekäyttöön
Päästöjen mittaus uudelle tasolle
Hiilidioksidi talteen energiaa tuhlaamatta
Teollisuuden sivutuotteet hyötykäyttöön

22

31

**TUTKIMUSTULOKSET –
HAASTEET JA MAHDOLLISUUDET**

Hiilidioksidin talteenotto voi tuhlata biomassan ympäristöedut
Päästöleikkauksia kohti – esteiden yli

HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTON JA VARASTOINNIN TUTKIMUSOHJELMA

SUOMELLA ON HYVÄT MAHDOLLISUUDET KEHITTÄÄ JA SOVELTAA MENETELMIÄ, JOILLA HIILIDIOKSIDIA VOIDAAN OTTAA TALTEEN ENERGIANTUOTANNOSTA JA MUUSTA TEOLLISUUDESTA. TÄMÄ NÄKEMYS VAHVISTUI SUOMALAISTEN YRITYSTEN JA TUTKIMUSLAITOSTEN YHTEISESSÄ TUTKIMUSOHJELMASSA CARBON CAPTURE AND STORAGE PROGRAM (CCSP), JOKA KESKITTYI HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTTOON JA VARASTOINTIIN.

Hiilidioksidin talteenotolla ja varastoinnilla pyritään leikkaamaan hiilidioksidipäästöjä ja hillitsemään siten ilmakehän lämpenemistä sekä vesien happamoitumista. Tämä tulee maailmassa suorastaan välttämättömäksi, jos aiomme saavuttaa kansainväliset ilmastotavoitteet.

Tutkimusohjelman perimmäisenä tavoitteena oli selvittää, miten hiilidioksidin talteenottomenetelmiä voidaan soveltaa erityyppisissä kohteissa ja mitä uusia menetelmiä on tarjolla lähitulevaisuudessa sekä vahvistaa alan kotimaista teknologiaosaamista ja yritysten kilpailukykyä kansainvälisillä teknologiamarkkinoilla. Esittelemme tässä raportissa esimerkkejä tutkimusohjelman saavutuksista sekä hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin perustaa ja toimintaympäristöä. Teknisten ratkaisujen ohella tutkijat loivat ajankohtaisen kokonaiskuvan siitä, miten hiilidioksidin talteenotto ja varastointi huomioidaan Suomen ja EU:n ilmastopolitiikassa ja mikä edistäisi alan kehitystä.

Suomessa on hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin liittyvää osaamista, jolla on kansainvälises-

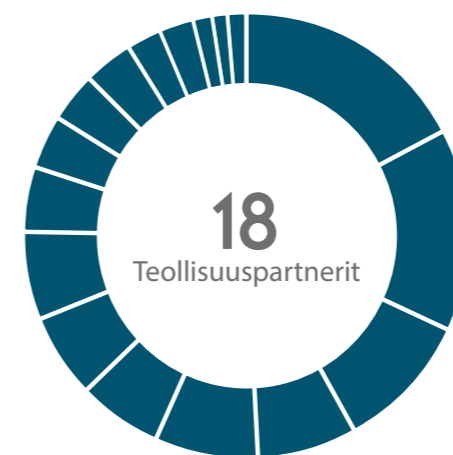
ti merkittävä asema. Suomalaistutkijoita on alan kärjessä yksittäisten talteenottomenetelmien kehittäjinä sekä niiden ympäristövaikutusten seurajina. Tutkimusohjelma vahvisti edelleen suomalaisia osaamista sekä kansainvälistä yhteistyötä, ja osa menetelmistä hyppäsi mallinnuksen ja koekäytön avulla kaupallistamisen kynnykselle. Suomessa on nyt yhä vankempi tieteellinen perusta, johon menetelmien ja laitosten kehittäjät voivat nojata.

Viisi vuotta kestänyt tutkimusohjelma CCSP päättyi lokakuussa 2016. Ohjelmaan osallistui 18 yritystä ja 9 tutkimuslaitosta. Tutkimuksen kokonaisarvo oli noin 15 miljoonaa euroa, josta yritykset maksoivat 30 prosenttia, julkiset tutkimuslaitokset 11 prosenttia sekä Tekes 59 prosenttia.

Tutkimusohjelmaan kuului CLEEN Oy:n hankekokoaisuuteen. CLEEN oli strategisen huipputaustaan keskittymä (SHOK) energia- ja ympäristöalan yrityksille ja tutkimusyhteisöille vuosina 2008–2015. Syyskuussa 2015 CLEEN ja biotalouden keskittymä FIBIC yhdistyivät CLIC Innovation Oy:ksi.

CCSP-OHJELMAN BUDJETTI: 15 M€ 2011–2016

CCSP-konsortion jäsenet



Teollisuuspartnerit 52 %

Fortum Oyj 19 %, Ramboll Finland Oy 14 %, Vibrometric Oy 12 %, Helen Oy 8 %, Gasum Oy 6 %, Amec Foster Wheeler Energia Oy 6 %, Neste Jacobs Oy 5 %, Neste Oil Oyj 5 %, ÅF-Consult Oy 5 %, Fortum Power and Heat Oy 4 %, SSAB Europe Oy 3 %, Oil and Natural Gas Corporation (ONGC) Ltd 3 %, Nordkalk Oy 3 %, Oulun Energia 2 %, Stora Enso Oyj 2 %, Tapojärvi Oy 1 %, Andritz Oy 1 %, Outotec Oyj 1 %



Tutkimuspartnerit 48 %

VTT Technical Research Centre of Finland 44 %, Aalto University 14 %, Lappeenranta University of Technology 13 %, Geological Survey of Finland 7 %, Åbo Akademi University 5 %, Tampere University of Technology 5 %, University of Oulu 5 %, University of Tampere 4 %, Finnish Environment Institute 2 %

SEBASTIAN TEIR

Ohjelmapäällikkö, CCSP-tutkimusohjelma, (2012–2016), Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

ANTTI ARASTO

Ohjelmapäällikkö, CCSP-tutkimusohjelma, (2011), Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

RISTO SORMUNEN

Johtoryhmän ja ohjausryhmän puheenjohtaja, CCSP-tutkimusohjelma, Fortum Power and Heat Oy

JATTA JUSSILA-SUOKAS

Teknologiajohtaja, CLEEN Oy/CLIC Innovation Oy (2008–2015)

PIA SAARI

Teknologiajohtaja, CLIC Innovation Oy (2016–)

HIILIDIOKSIDI TALTEEN JA VARASTOON

ENERGIANTUOTANNOSTA JA MUUSTA TEOLLISUUDESTA VAPAUTUVAA HIILIDIOKSIDIA ON OTETTAVA TULEVAISUUDESSA TALTEEN, JOS EU AIKOO PÄÄSTÄ ILMASTOTAVOITTEISIINSA. TEKNISESTI SE ONNISTUU JO, MUTTA KORKEIN KUSTANNUKSIIN.

Valtiot sopivat vuonna 2015 Pariisin ilmastokokouksessa, että ilmahan lämpötilan nousu tulee rajoittaa alle kahteen asteeseen leikkaamalla hiilidioksidipäästöjä. Kukin valtio päättää pitkälti itse, miten se päästöjään hillitsee, mutta keinovalikoima on yhteinen – ja rajallinen. Hiilidioksidipäästöjä voidaan hillitä vähentämällä energiankulutusta ja valitsemalla energiantuotantoon päästöttömiä tai vähäpäästöisiä menetelmiä.

”Meidän on lisäksi otettava talteen osa energiantuotannon ja teollisuuden prosessien hiilidioksidipäästöistä. Ilman talteenottoa olisi huomattavasti kalliimpaa, eikä välttämättä edes mahdollista, päästä kansainvälisesti sovittuihin tavoitteisiin”, sanoo CCSP-tutkimusohjelman päällikkö **Sebastian Teir** VTT:ltä. Hän pitää hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia erityisen tärkeinä alueilla, jotka tarvitsevat fossiilisia polttoaineita ja kalkkikiveä raaka-aineina tuotannossa.

”Tietyillä teollisuudenaloilla hiilidioksidin talteenotto on jopa ainoa ratkaisu”, Teir sanoo.

TEKNISESTI KUNNOSSA – TALOUDELLISESTI VAIHEESSA

Hiilidioksidin talteenottoa energiantuotannosta on kehitetty 1990-luvulta alkaen ja entistä monipuolisemmin viime vuosikymmenen aikana.

”On olemassa erittäin hyviä menetelmiä, jotka ovat teknisesti käyttökunnossa, mutta taloudellisesti ne eivät ole vielä kohtuullisella tasolla suuren mittaka-

van soveltamiselle”, kertoo CCSP-ohjelman johtoryhmän puheenjohtaja **Risto Sormunen** Fortumilta. Nyky menetelmillä esimerkiksi lämpöä ja sähköä tuottavan voimalaitoksen hiilidioksidipäästöistä voidaan saada energiatehokkaasti talteen jopa 90 prosenttia. Paljon energiaa käyttävä talteenotto pienentäisi kuitenkin laitoksen hyötysuhdetta noin 5-10 prosenttiyksikköä ja vähentäisi erityisesti sähköntuotantoa.

Osa talteenottomenetelmistä on jo käytössä öljynjalostuksessa sekä pienimuotoisesti teollisissa prosesseissa, joissa hiilidioksidia tarvitaan raaka-aineena.

HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJÄ VOIDAAN LEIKATA

- vähentämällä energiankulutusta
 - parantamalla energiatehokkuutta energiantuotannossa sekä energiaa kuluttavissa laitteissa, rakennuksissa ja teollisuuden prosesseissa
 - luopumalla jostakin energiaa kuluttavasta toiminnasta
- valitsemalla energiantuotantoon
 - päästöttömiä menetelmiä, kuten ydinvoimaa sekä aurinko-, vesi- ja tuulivoimaa
 - uusiutuvia polttoaineita, kuten biomassaa
 - hiilen tilalle vähempipäästöinen maakaasu
- välttämällä hiilidioksidipäästöjä tuottavia teollisuusprosesseja
- ottamalla hiilidioksidi talteen ja varastoimalla se tai käyttämälle se hyödyksi



Lupaavimmat voimalaitoksia koskevat ratkaisut kypsyvät edelleen kehitysprojekteissa, pienissä koelaitoksissa sekä muutamassa kymmenessä laitoksessa eri puolilla maailmaa.

”Alan seuraava ratkaiseva askel on menetelmien kattava testaaminen täyden mittakaavan koelaitoksissa. Vasta silloin voidaan vakuuttaa sijoittajat sekä suuri yleisö hiilidioksidin talteenoton käyttökelpoisuudesta ja todellisesta kustannustasosta”, Sormunen sanoo.

TURVALLINEN VARASTO MEREN POHJAN ALLE

Jotta hiilidioksidin talteenotto voitaisiin ottaa käyttöön, tarvitaan talteen otetulle hiilidioksidille varastointipaikka, joka pitäisi hiilidioksidin ilmakehän ulottumattomissa pysyvästi.

Riittävän suuret varastointipaikat ovat maaperän tai kallioperän huokoisissa kivimuodostumissa. Kan-

CCS	Carbon Capture and Storage = Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi
CCU	Carbon Capture and Utilization = Hiilidioksidin talteenotto ja hyötykäyttö
Bio-CCS	Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi biomassan poltosta tai jalostuksesta biopolttoaineeksi

sainvälisten selvitysten mukaan käyttökelpoisimmat varastoalueet sijaitsevat kallioperässä merenpohjan alla yli 800 metrin syvyydessä. Syvyyden synnyttämä paine pitää nesteytetyn hiilidioksidin nesteenä, eikä se pääse maan pinnalle tai veteen ja edelleen ilmakehään. Nestemäistä hiilidioksidia voidaan pumpata esimerkiksi tyhjennettyihin öljy- ja maakaasukenttiin, hyödyntämättömiin hiiliesiintymiin sekä kallioperässä oleviin suolaisiin vesikerrostumiin.

ISOT MARKKINAT MAAILMALLA

Tällä hetkellä maailmalla on käynnissä tai käynnistymässä 45 hanketta, joissa hiilidioksidin talteenottoa kokeillaan suuressa mittaluokassa, pääasiassa pelkkää sähköä tuottavissa voimalaitoksissa. Yhteensä näissä laitoksissa kyetään ottamaan talteen 80 miljoonaa tonnia hiilidioksidia vuodessa, joka on koko Suomen vuotuinen hiilidioksidin päästö määrä puolitoistakertaisena. Hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin keskittyvä kansainvälinen järjestö Global CCS Institute on arvioinut, että vuosittaisen talteenottokyvyn pitäisi nousta 4 000 miljoonaan tonniin eli 50 kertaiseksi vuoteen 2040 mennessä, jotta maailma voisi saavuttaa ilmastotavoitteen.

”Hiilidioksidia on pumpattu öljyesiintymiin jo vuosikymmenten ajan, koska se helpottaa öljyn liikkeelle saamista. Samalla osa hiilidioksidista jää kallioperään”, Teir kertoo. Suomen tiivis kallioperä ei sovellu geologiseen varastointiin, vaan varastointi edellyttää hiilidioksidin kuljettamista putkia pitkin välivarastoihin ja edelleen laivoilla lopulliseen varastoon.

”Teknologian kehityksen ohella hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin vaikuttaa pitkälti se, miten päästökauppaa koskevat lait ja säännökset kehittyvät”, Teir toteaa. Tällä hetkellä päästökaupan piiriin hyväksytään hiilidioksidin talteenotto vain silloin, kun poltetaan fossiilisia polttoaineita, eli biopolttoaineet eivät toistaiseksi kuulu päästökaupan piiriin. Hiilidioksidin kuljetukseen hyväksytään tällä hetkellä ainoastaan putket ja varastointiin geologiset varastot.

HIILIDIOKSIDI HYÖTYKÄYTTÖÖN

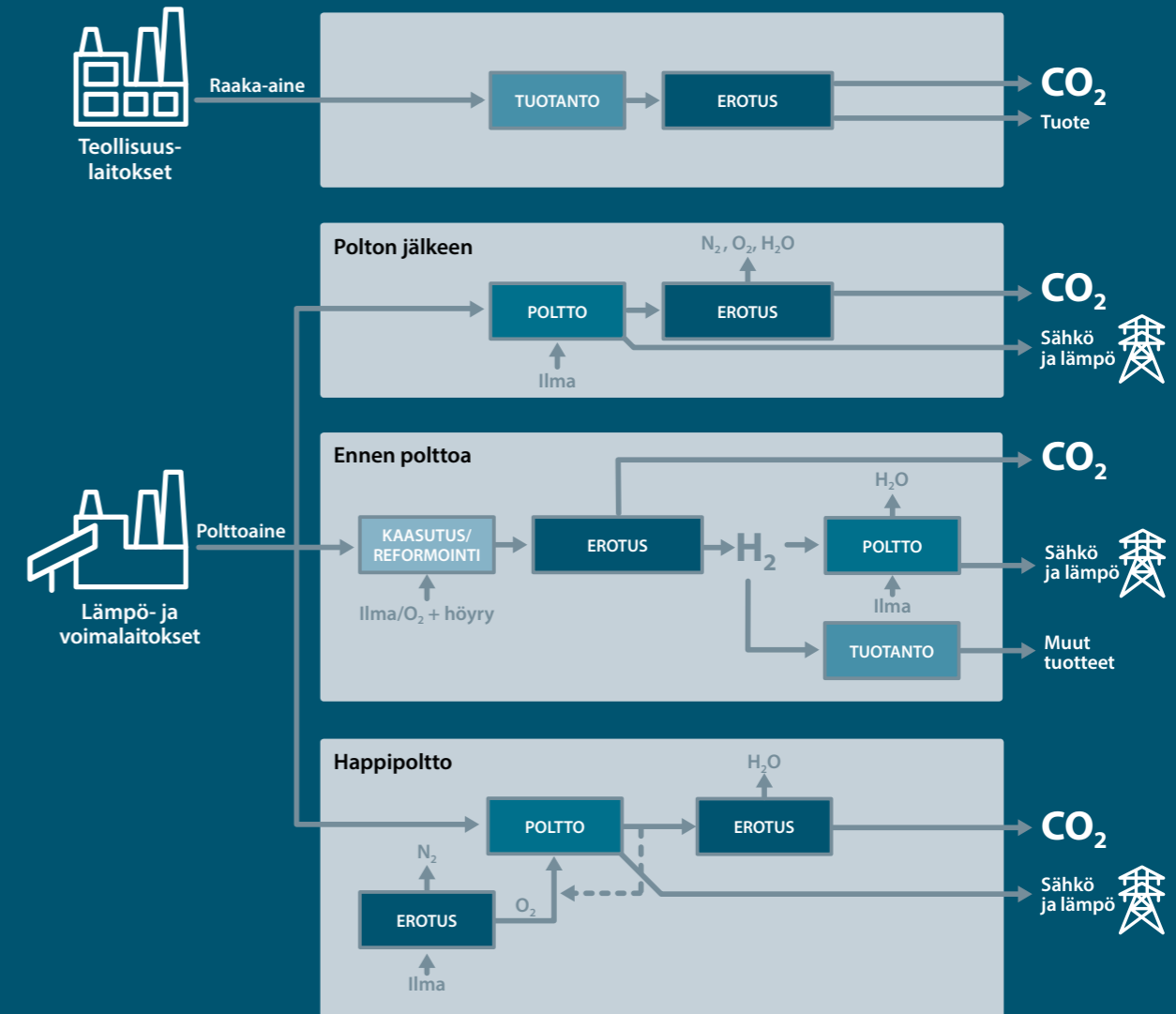
Varastoinnin sijaan pieni osa hiilidioksidista voitaisiin käyttää raaka-aineena, kun valmistetaan muita – varastoitavia tai käyttökelpoisia – aineita. Hiilidiok-

sidia voidaan esimerkiksi sitoa mineraaleihin niiden luonnollista rapautumista jäljitellen ja nopeuttaen tai hyödyntää raaka-aineena muun muassa paperin täyteaineita valmistettaessa.

Hyötykäytön kohdalla herää kysymys, miten kauan tuotteen pitäisi sitoa hiilidioksidia, jotta se todella leikkaisi hiilidioksidipäästöjä.

”Hiilidioksidin hyötykäytön ei odoteta vaikuttavan paljon päästöjen vähentämiseen, mutta sillä voisi olla merkittävä rooli tulevaisuuden uusiutuviissa energiajärjestelmissä”, Teir toteaa. Näissä talteenotettu hiilidioksidi muunnetaan sähköllä hiilivedyiksi, joita voidaan käyttää esim. liikennepolttoaineina tai eri kemian prosessin raaka-aineina. Jos talteenotettu hiilidioksidi olisi bioperäistä, se vähentäisi fossiilisten polttoaineiden tarvetta.

HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTTO – RUNSAASTI MENETELMIÄ TARJOLLA



Hiilidioksidia syntyy kaikkia hiiltä sisältäviä polttoaineita poltettaessa, ja se pääsee tavallisesti sellaisenaan piipusta ilmakehään. Hiilidioksidi voidaan kuitenkin erottaa ja ottaa talteen. Menetelmät voidaan jakaa kolmeen luokkaan:

1. Hiilidioksidi erotetaan ennen polttoa polttoaineesta. Menetelmää käytetään lannoitteiden ja vedyn tuotannossa.
2. Poltossa käytetään puhdasta happea ilman sijaan, jolloin savukaasu on lähes puhdasta vesihöyryä ja hiilidioksidia, jotka on helppo erottaa toisistaan. Menetelmää kutsutaan happipoltoksi. Happipoltoksi voidaan lukea myös kehitteillä oleva menetelmä, joka käyttää puhtaan hapen sijaan metallioksidin sisältämää happea.
3. Hiilidioksidi erotetaan polton jälkeen savukaasusta. Menetelmää käytetään voimalaitoksissa ja muissa teollisuuslaitoksissa tavoitteena tuottaa hiilidioksidia teolliseen käyttöön.

VANKKAA TIEDETTÄ JA SOVELLUKSIA

CCSP-TUTKIMUSOHJELMA SYVENTYI YKSITYISKOHTAISESTI VALITTUJEN HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTTOMENETELMIEN TEKNOLOGIAAN JA MAHDOLLISUUKSIIN SOVELTAA NÄITÄ MENETELMIÄ VOIMALAITOKSISSA JA MUUSSA TEOLLISUUDESSA.

Ohjelmassa selvitettiin myös hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin edellytyksiä, vaikutuksia, kehitystä ja kustannuksia. Tutkimusalueet valittiin suomalaisen teknologiakehityksen ja sitä hyödyntävän teollisuuden ydinalueilta.

SOVELLUKSIA ENERGIANTUOTANTOON JA MUUHUN TEOLLISUUTEEN

Suomessa on vahvaa osaamista erityisesti happipoltosta, jota voidaan käyttää hiilidioksidin talteenottoon. Happipolton menetelmät soveltuvat muun muassa kiertoleijupolttoon, joka on energiantuotannossa yleinen polttomenetelmä ja jonka kehittäjänä ja soveltajana Suomi sijoittuu kansainväliseen kärkeen. Yhdistämällä nämä osaamisalueet alan yritykset voivat saavuttaa tulevaisuudessa huomattavan aseman hiilidioksidin talteenottomenetelmien markkinoilla.

Tulokset sivuilla 22–24, 26–27

MENETELMIÄ YMPÄRISTÖVAIKUTUSTEN ANALYSOINTIIN JA SEURANTAAN

Ympäristövaikutusten seuranta on alue, jonka erityisosaamisella suomalaisyritykset voivat vaikuttaa merkittävästi hiilidioksidin talteenoton yleistymiseen ja saavuttaa merkittävän aseman teknologiamarkkinoilla. Analysointi- ja seurantamenetelmät edistävät hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin luotettavuutta ja turvallisuutta.

Tulokset sivulla 25

MENETELMIÄ HIILIDIOKSIDIN HYÖTYKÄYTTÖÖN Suomessa on runsaasti mineraaleja sekä teollisuuden mineraalipohjaisia sivutuotteita ja jätettä, jotka voivat reagoita hiilidioksidin kanssa ja muodostaa karbonaatteja. Laadultaan parhaita karbonaatteja voidaan käyttää raaka-aineena esimerkiksi paperiteollisuudessa. Suomi on myös menetelmän johtava kehittäjä Euroopassa. Näin Suomi sopii poikkeuksellisen hyvin koko arvoketjun testaajaksi.

Tulokset sivulla 28–30

ASEMA SUOMEN TULEVISSA ENERGIARATKAISUISSA

Poliittiset linjaukset ohjaavat hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia niin Suomessa kuin EU:ssakin. Vaihtoehtoisten ilmastoskenaarioiden avulla on selvitetty miten hiilidioksidin talteenoton menetelmät sopivat Suomen oloihin.

Tulokset sivulla 18–21

MERKITTÄVIMMÄT ESTEET JA RAJOITUKSET

Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi voidaan saada laajamittaiseen käyttöön vasta, kun menetelmän soveltamiseen liittyvät esteet on selvitetty ja purettu. Selvitystyö palvelee myös tukimekanismien luontia.

Tulokset sivulla 31–34

38

VERTAISARVIOITUA
TIETEELLISTÄ
LEHTIARTIKKELIA

24

DIPLOMITYÖTÄ

84

KONFERENSSI-
JULKAISUA

8

VÄITÖSKIRJAA

YLI 90

TEKNISTÄ
RAPORTTIA

Luotiin aktiivinen yhteistyösuhde ennen kaikkea pohjoismaihin ja Baltian.

Vahvistettiin pitkäjänteisen tutkimuksen perustaa ja luotiin uusia koelaittevalmiuksia.

Vahvistettiin yhteyksiä kansainvälisiin tutkimusohjelmiin ja järjestöihin.

POLTTAMISEN KAUTTA BIOMASSOJEN JA JÄTTEIDEN YHÄ TEHOKKAAMPAAN HYÖTYKÄYTTÖÖN

”Fortum siirtyy määrätietoisesti fossiilista polttoaineista uusiutuviin, ja olemme jo Itämeren alueen suurimpia energiapuun hyötykäyttäjiä. Energiapuun ohella hyödynämme lähivuosina yhä enemmän myös jätteitä. Tämän vuoksi meille on erityisen tärkeää, miten biomassan ja jätteiden polttoon ja erityisesti jalostamiseen arvokkaimmiksi lopputuotteiksi suhtaudutaan tulevaisuudessa niin Suomessa kuin muuallakin maailmassa. Myös hiilidioksidin talteenotto ja varastointi kiinnostaa meitä ennen kaikkea biopoltton näkökulmasta.

Tällä hetkellä bio-CCS ei ole kannattavaa, koska biopoltosta vapautuva hiilidioksidi ei ole mukana päästökaupassa, mutta seuraamme aktiivisesti, miten EU-säädökset kehittyvät. Suomen kannalta olennaista on myös talteen otetun hiilidioksidin välivarastointi ja kuljetus sen lopulliseen varastointipaikkaan. Tämä vaatii edelleen jatkoselvityksiä.”

RISTO SORMUNEN

Teknologiapäällikkö, Fortum Power and Heat Oy

CCS VÄLTTÄMÄTÖNTÄ – JA TOISTAISEKSI KALLISTA

”CCSP-tutkimusohjelma vahvisti näkemystä, jonka mukaan tulevaisuuden suuret päästövähennykset edellyttävät Suomessa kaikkia mahdollisia keinoja, myös hiilidioksidin talteenottoa. Hiilidioksidin talteenotto vaatii kuitenkin suuria investointeja, joita sähkön edullinen hinta ja päästökaupan rakenne eivät tällä hetkellä tue. Se ei siis ole meille energiantuottajana ajankohtainen kehityshanke samalla tavoin kuin esimerkiksi biomassan käytön lisääminen.

CCSP-tutkimusohjelma tarjosi meille kuitenkin hyvän mahdollisuuden oppia lisää aiheesta, etenkin suomalaisesta näkökulmasta. Suomessa erityistä on muun muassa sähkön ja lämmön yhteistuotanto. Siinä voimalaitoksen lisääntynyt lämmöntuotanto voi kuitata osan energiatappioista, joita talteenotto aiheuttaa sähköntuotannolle. Mallinsimme hiilidioksidin talteenottoa omiin voimalaitoksiimme ja omaan energiajärjestelmäämme ja katsoimme lähivuosia kauemmas. Saimme tutkimustietoa, jota ei saa vain ulkomaisia tutkimuksia seuraamalla.

Suomen kannalta mielekkäimpiä alkuja hiilidioksidin talteenotolle vaikuttaisi tarjoavan bio-CCS. Tämä edellyttää kuitenkin sitä, että myös bio-CCS hyväksytäisiin päästövähennystoimeksi päästökaupassa. Investointivaltaisuus edellyttää luotettavaa ja ennakoitavaa toimintaympäristöä. On tärkeää kiinnittää huomiota jo nyt koko talteenoton ja varastoinnin ketjuun sekä siihen liittyviin markkinoihin ja sääntelyyn, jotta menetelmä voidaan aikanaan ottaa käyttöön.”

TIMO ARPONEN

Ryhmäpäällikkö, energiajärjestelmän kehitys, Helen Oy



VAHVA PERUSTA JATKOTUTKIMUKSELLE

”CCSP-tutkimusohjelma edisti ansiokkaasti tieteellistä tutkimusta ja teknologian kehitystä koskien hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia. Lisäksi se tarjosi alasta syvällisen teknistaloudellisen arvi- on, joka tukee kansallista päätöksentekoa. Yritykset osallistuivat tutkimukseen vahvasti tutkimuslaitosten rinnalla, minkä ansiosta tieteellinen tutkimus linkittyi hyvin teollisiin tarpeisiin.

Tutkijat tekivät kansainvälistä yhteistyötä laajalti, ja yhteistyöhön nojaavat myös mahdollisuudet menestyä tulevaisuudessa. Kansainvälinen yhteishanke voisi edistää erityisesti menetelmien koekäyttöä suuressa mittakaavassa.

CCSP-ohjelman nyt loppuessa hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin liittyvä tutkimus on kriittises-

sä vaiheessa Suomessa. Tutkimusohjelma nosti selkeästi esille hiilidioksidin talteenoton ja hyötykäytön menetelmiä, joiden kehittäjänä ja testajana Suomi voi nousta alan kärkeen. Menetelmien kaupallistaminen edellyttää kuitenkin, että jatkotutkimus ja -kehitys keskittyy yhä tiukemmin lupaavimpiin vaihtoehtoihin. Mahdollisuudet ovat hyvät, mutta alalta puuttuu jatkorahoitus sekä selkeä polku koekäyttöä kohti.

Suosittellemme lupaavimpien hiilidioksidin talteenottomenetelmien jatkotutkimusta painottaen erityisesti mallinnusta ja bio-CCS:ää. Suosittelemme myös, että Suomessa valitaan yksi tai kaksi lupaavinta menetelmää hiilidioksidin hyötykäyttöön ja kehitetään niitä kaupallistamista kohti.”

MOHAMMAD ABU ZAHRA

Apulaisprofessori, Masdar Institute

WILLIAM MITCH

Apulaisprofessori, Stanford University

BEN ANTHONY

Professori, Cranfield University



Tieteellinen neuvottelukunta tutustui toukokuussa 2016 CCSP-ohjelman ohjausryhmän ja tutkijoiden kanssa koelaitokseen, jolla kehitetään hapenkantajiin perustuvaa polttoa VTT:n Bioruukki-testikeskuksessa.



JOHTOPÄÄTÖKSET

MAHDOLLISUUDET

- Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi (CCS) voisi kannattavasti kattaa kolmanneksen Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksistä vuoteen 2050 mennessä. Yli 80 prosenttia hiilidioksidin talteenotosta kohdistuisi biomassan polttoon tai jalostukseen (bio-CCS) ja loput hiili-intensiiviseen teollisuuteen.
- Ilman hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia päästöoikeuksien arvioitu hinta nousisi Euroopas-

sa yli kaksinkertaiseksi vuoteen 2050 mennessä verrattuna tilanteeseen, jossa hiilidioksidin talteenotto otettaisiin käyttöön.

- Hiilidioksidin hyötykäyttö voi osoittautua käyttökelpoiseksi tavaksi tuottaa hiilineutraaleja polttoaineita ja muita tuotteita sähkön avulla. Tietyt menetelmät, kuten tuhkien ja kuonien sitominen mineraaleihin, vaikuttavat kaupallisesti toteuttamiskelpoisilta jo nyt.

EHDOTUKSET

- Ylläluetelluista syistä Suomessa kannattaa jatkaa hiilidioksidin talteenottoon, varastointiin ja hyötykäyttöön liittyvää tutkimusta ja koetoimintaa.
- Suomessa kannattaa ottaa hiilidioksidin talteenottoa testikäyttöön erityisesti sähkön- ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa, jotka polttavat biomassaa ja turvetta, sekä sellu- ja paperitehtaissa. Varhainen bio-CCS:n soveltaminen tarjoaa mahdollisuuden päästöoikeuksien sekä teknologian ja palvelujen vientiin.

Ohjelman tutkimusraportteja ja julkaisuja on saatavissa täältä:
<http://ccspfinaalreport.fi/>



EDELLYTYKSET

- Eurooppaan luodaan taloudellisia kannustimia hiilidioksidin talteenoton käynnistämiseksi. Teknisesti useimmat talteenottomenetelmät ovat jo valmiita sovellettaviksi.
- Bio-CCS tunnustetaan ns. hiilinieluna EU:n päästökaupassa tai näille "negatiivisille päästöille" luodaan jokin tukimekanismi.
- Eurooppaan rakennetaan hiilidioksidin välityskeskus.

HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTTO LASKEE VÄHÄHIILISEN TULEVAISUUDEN KUSTANNUKSIA

SUOMELLA ON TIUKAT ILMASTOTAVOITTEET, JOIDEN TÄYTTÄMINEN EDELLYTTÄÄ SUURIA INVESTOINTEJA NIIN ENERGIANTUOTANTOON KUIN TEOLLISUUTEENKIN. HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTTO LASKISI URAKAN KOKONAISKUSTANNUKSIA JA TUKISI TEOLLISUUDEN KILPAILUKYKYÄ.

Suomi on hyvää vauhtia saavuttamassa vuoden 2020 ilmastotavoitteet ja valmistautumassa vuoden 2030 tavoitteisiin. On kuitenkin jo nyt selvää, että vuoden 2050 tavoitteita on mahdotonta saavuttaa ilman suuria muutoksia energiantuotannossa ja muussa teollisuudessa.

CCSP-tutkimusohjelmassa selvitettiin, millaisia muutoksia vähähiilinen tulevaisuus edellyttää. Tutkijat rakensivat nykylinjausten rinnalle kolme vaihtoehtoista reittiä, jotka johtavat tavoiteltaviin 80 prosentin päästövähennyksiin vuoteen 2050 mennessä.

”Skenaarioita vertailtuamme vaikuttaa siltä, että hiilidioksidin talteenotto ja varastointi kuuluu väis-

tämättä vähähiiliseen yhteiskuntaan. Jos sitä ei ole käytössä, erityisesti teollisuuden prosessien täytyy muuttua tai vaihtoehtoisesti päästöintensivisen teollisuuden tuotantoa joudutaan ajamaan alas”, toteaa tutkimustiimin päällikkö **Tiina Koljonen** VTT:ltä.

SUOMESTA PÄÄSTÖOIKEUKSIEN MYYJÄ

Tutkijat selvittivät kustannustehokkainta reittiä päästövähennystavoitteisiin arvioimalla ennen kaikkea Suomen asemaa EU:n päästäkaupassa. Pelkistettynä skenaariotarkastelun lopputulos oli se, että hiilidioksidin talteenotto ja varastointi tekee Suomesta päästöoikeuksien nettomyyjän, kun taas ilman talteenottoa Suomi päätyy päästöoikeuksien netto-ostajaksi. Nämä johtopäätökset sisältävät oletuksen, että bio-CCS eli hiilidioksidin talteenotto biomassan poltosta sekä jalostuksesta liikenteen biopolttoaineeksi hyväksytään tulevaisuudessa päästäkauppaan.

”Silloin biovoimalaitoksista ja metsäteollisuuden prosesseista talteen otettava hiilidioksidi lasketaan

päästäkaupassa negatiiviseksi päästoksi, mikä olisi meille merkittävä kilpailuetu”, Koljonen sanoo.

Jyrkintä muutosta luonnehtiva skenaario sisälsi oletuksen, että Suomi luopuu fossiilisista polttoaineista kokonaan energiantuotannossa ja uudistaa myös suuria hiilidioksidipäästöjä tuottavan teollisuuden, kuten terästeollisuuden, prosesseja radikaalisti. Lisäksi teollisuuden jalostusasteen oletettiin kasvavan ja toisaalta tuotettujen tonnimäärien pienenevän. Jopa siinä tapauksessa hiilidioksidin talteenotto biomassan poltosta ja jalostuksesta osoittautui kannattavaksi.

”Bio-CCS osoittautui niin kannattavaksi, että fossiiliset polttoaineet syrjäytyivät taloudellisista syistä niistäkin skenaarioista, joissa olimme ne sallineet”, Koljonen kertoo.

KOEKÄYTTÖSTÄ KAUPALLISEEN KÄYTTÖÖN

Koljonen odottaa hiilidioksidin talteenottoa ja varastointia suurta nousua vuosina 2040–50. ”Jotta talteenottomenetelmät olisivat vuoden 2030 jälkeen kaupallisesti käytössä, meidän pitäisi panostaa niihin voimakkaasti nyt. Menetelmiä on demonstroitava suuren kokoluokan laitoksissa, ja tarvitsemme myös selkeät linjaukset hiilidioksidin kuljetukseen ja varastointiin”, Koljonen sanoo. Hänen mukaansa kehitykseen ei vaikuta ratkaisevasti se, otetaanko hiilidioksidia talteen biopolttolaitoksista, biojalostamoista tai fossiilisia polttoaineita

hyödyntävistä laitoksista, koska menetelmät ovat pitkälti samoja. Suomalaisessa biopolttolaitoksessa testattu menetelmä sopii siis vaikkapa sekapolttota suosiville vientimarkkinoille.

PÄÄSTÖOIKEUDEN HINTA OHJAA

Tutkijat arvioivat ohjelmassa myös erilaisten hiilidioksidin talteenottomenetelmien kannattavuutta energiantuotannon ja teollisuuden prosesseissa. He selvittivät muun muassa, kuinka paljon päästöoikeuksien pitäisi maksaa, jotta olisi kannattavampaa investoida hiilidioksidin talteenottoon kuin ostaa päästöoikeuksia. Menetelmiä vertailtaessa huomioitiin myös hiilidioksidin kuljetuksesta ja varastoinnista aiheutuvat kustannukset. Päästöoikeuksien vuoden 2016 hintatasolla, joka on selvästi alle kymmenen euroa hiilidioksiditonnilta, mikään tarkastelluista CCS-tapauksista ei osoittautunut kannattavaksi. Osa talteenottokonsepteista voisi kuitenkin kannattaa jo 20 euron hinnalla, kun hiilidioksidin varastointikustannukset jätetään huomioimatta ja oletetaan hyvin maltilliset kuljetuskustannukset. Nämä voisivat olla ensimmäisiä hiilidioksidin hyötykäyttökohteita.

”Edullisesti hyötykäyttöön saatavien päästöjen volyymi ei ole kuitenkaan tehdyissä tarkasteluissa kovin iso. Puhutaan maksimissaan miljoonasta tonnista vuositasolla”, sanoo tutkimustiimin päällikkö **Janne Kärki** VTT:ltä. Suomen vuosittaiset hiilidioksidipäästöt ovat olleet viime vuosina noin 50 miljoonan tonnin luokkaa.

SUOMEN JA EU:N TAVOITTEET

Suomen energia- ja ilmastostrategia seuraa EU:n tavoitteita, joiden mukaan Suomi ja muu EU vähentävät kasvihuonekaasupäästöjään vuoden 1990 tasoon verrattuna

- 20 prosenttia vuoteen 2020 mennessä
- 40 prosenttia vuoteen 2030 mennessä
- 80–95 prosenttia vuoteen 2050 mennessä

Suomen lainsäädäntö ulottuu tällä hetkellä vuoden 2020 tavoitteisiin ja perustuu Suomen energia- ja ilmastostrategiaan vuodelta 2013. Hiilidioksidin talteenottoa ei ole siinä huomioitu. Valmisteilla on vuoden 2016 strategia, joka ulottuu vuoteen 2030. Uudessa strategiassa huomioidaan EU:n Suomelle asettamat uudet ilmastotavoitteet.

EU:n ilmasto- ja energiavoitteet perustuvat siihen, että ilmakehän lämpötilan nousu rajoitetaan kahteen asteeseen. Pariisin ilmastokokouksessa sovittiin kuitenkin vuonna 2015, että lämpötilan nousu tulee rajoittaa alle kahteen asteeseen. Sitran tilaama selvitys osoitti 2016, että Suomi ja EU eivät yllä Pariisin ilmastotavoitteisiin vuosien 2030 ja 2050 päästösitoumuksillaan.

KANNATTAVUUSTYÖKALUJA NETISSÄ

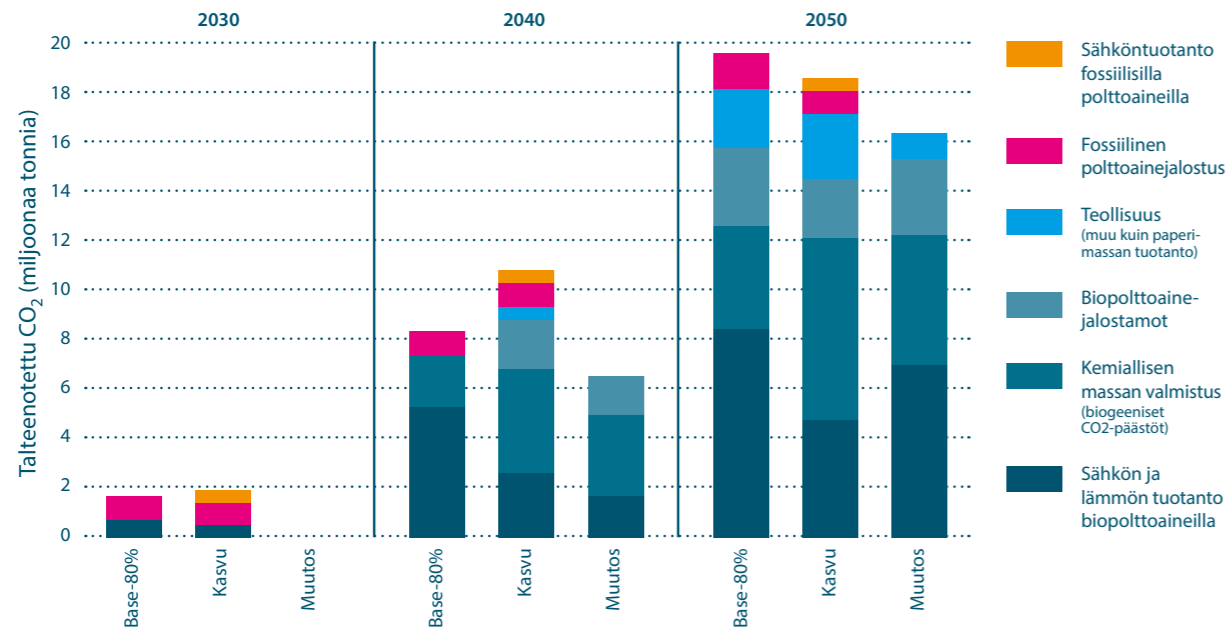
CCSP-tutkimusohjelman kotisivuilla on työkalu, jolla kuka tahansa saa kokeilla, miten hiilidioksidin talteenoton kannattavuus riippuu markkinatilanteesta. (<http://ccspfinalreport.fi/>)

Jos halutaan talteen suuruusluokkaa 10 miljoonan tonnin hiilidioksidipäästöt, päästöoikeuden rajahinta nousee 50 euron tasolle sisältäen hiilidioksidin kuljetus- ja varastointikustannukset. Silloin talteenottajien joukkoon mahtuu myös suuria sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksia sekä teollisuuslaitoksia. Kuljetus- ja varastointikustannukset muodostavat CCS:n kokonaiskustannuksista merkittävän osan, sisämaasta kuljetettuna jopa useita kymmeniä euroa per tonni. Rannikon suurimmista kohteista kuljetuskustannukset ovat huomattavasti edullisemmat.

Tehtyjen tarkasteluiden perusteella kustannustehokkaimmat sovelluskohteet löytyvät biomassaa käyttävistä CHP-laitoksista, nestemäisten biopolttolaitosten tuotannosta sekä prosessiteollisuudesta.

SUURILLA PÄÄSTÄJILLÄ SUURI VAIKUTUS

Suomen päästökaupparektorin hiilidioksidipäästöistä yli 50 prosenttia tulee yhteensä vain kymmenestä teollisuuslaitoksesta. Esimerkiksi Suomen suurin yksittäinen fossiilisen hiilidioksidin lähde on SSAB:n terästehdas Raahessa noin neljän miljoonan tonnin päästöillä vuodessa.



CCSP-OHJELMAN SKENAARIOT

- Perusskenaario otti huomioon Suomen päästötavoitteet vain vuoteen 2030 asti eikä siten onnistunut toteuttamaan vuoden 2050 ilmastotavoitteita.
- Perus-80% otti huomioon 80 prosentin päästövähennystavoitteen, mutta oletti Suomen teollisen rakenteen säilyvän nykyisen kaltaisena.
- Kasvu- ja Muutos-skenaariot olettivat, että teollisuus uudistuu voimakkaasti ja uutta teknologiaa kehitetään ja otetaan käyttöön nopeasti. Muun muassa aurinko- ja tuulivoiman kustannukset laskevat nopeasti. Kasvu-skenaariossa yhdyskuntarakente tiivistyi, kun taas Muutos-skenaariossa se hajaantui hieman verrattuna nykyrakenteeseen.
- Sellaisia vähähiiliskenaarioita ei tarkasteltu, joissa uutta teknologiaa ei juurikaan hyödynnetä, koska ne rajaavat hiilidioksidin talteenoton lähtökohtaisesti pois. Perus-80%-skenaariossa uuden teknologian käyttöönotto oli kuitenkin hitaampaa kuin Kasvu- ja Muutos-skenaarioissa.

Suurimmissa laitoksissa hiilidioksidin talteenotto toimi nopeasti suuren hyödyn ilmaston kannalta, mutta kannattavuutta tarkasteltaessa tilanne on epäselvämpi. Kärki korostaa, että etenkin energiantuotannossa päästöjä voidaan vähentää myös tuotantotapaa vaihtamalla, kun taas esimerkiksi teräs- ja sementtiteollisuudessa hiilidioksidin talteenotto on yksi harvoista vaihtoehtoista.

Hiilidioksidin talteenoton kannattavuus riippuu päästöoikeuksien lisäksi muista suurista muuttujista, kuten sähkön ja polttoaineiden hinnasta.

”Siksi teimme interaktiivisia työkaluja, joilla kannattavuutta voidaan tarkastella erilaisissa markkinatilanteissa”, Kärki kertoo.

SKENAARIOT AJAN TASALLE

Suomen energia- ja ilmastotiekartta 2050 hahmotteli vuonna 2014 matkaa kohti hiilineutraalia Suomea ja punnitsi erilaisia vaihtoehtoja, joilla Suomi voisi päästä vuoden 2050 tavoitteisiin kilpailukykyssä säilyttäen. Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi nousivat esille merkittävänä keinona, ja tiekartta korosti ennen kaikkea sen kaupallistumisen tärkeyttä.

Tiekartan laatimisessa hyödynnettiin skenaarioita, joita tuotettiin Low Carbon Finland 2050 platform-hankkeessa VTT:n, Valtion taloudellisen tutkimuskeskuksen, Metsäntutkimuslaitoksen (nyk. Luonnonvarakeskus) sekä Geologian tutkimuskeskuksen yhteistyönä.

CCSP-tutkimusohjelma puolestaan päivitti skenaariot vuonna 2016 ja tutki niitä erityisesti hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin näkökulmasta.

TALTEENOTOLLE OPTIMOITU KATTILA VALMIINA KOEKÄYTTÖÖN

HAPPIPOLTTO TUKEE HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTTOA PARHAITEN SILLOIN, KUN VOIMALAITOKSEN KATTILA ON SIIHEN OPTIMOITU. ALAN ASiantuntemus keskittyy vahvasti Suomeen ja Suomessa kehitettyyn kattilateknologiaan.

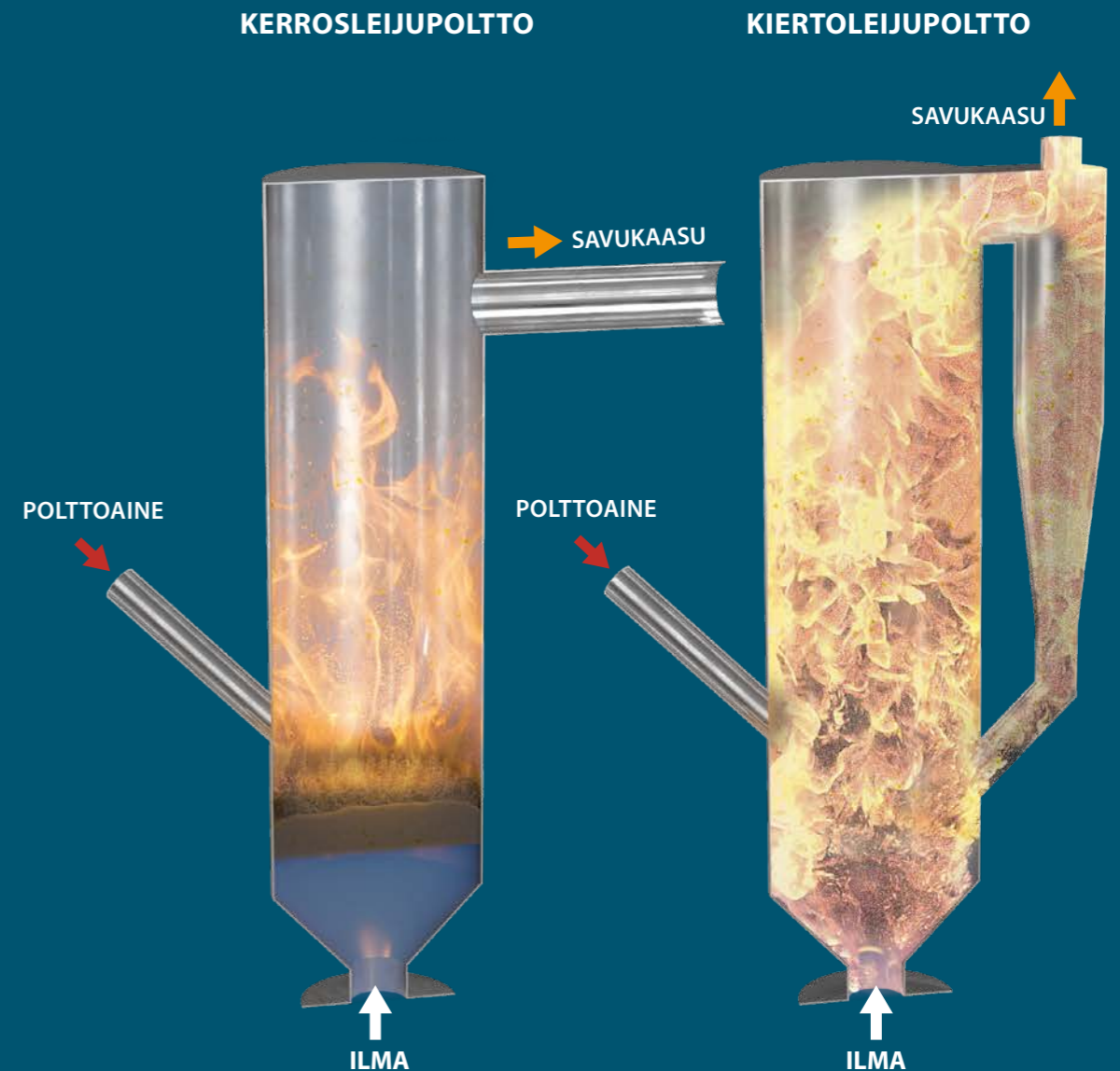
Kun polttoaine palaa ilmassa, syntyy savukaasua, joka sisältää hiilidioksidin lisäksi muita palamiskaasuja sekä palamisilman tyyppiä. Jos ilman sijasta käytetään puhdasta happea, savukaasu koostuu pitkälti hiilidioksidista sekä vesihöyrystä, josta hiilidioksidi on helppo erottaa ennen talteenottoa. Suomessa happipolttua on tutkittu tiiviisti noin kymmenen vuoden ajan.

”Happipolttu on teknisesti valmis suuren mittaluokan koekäyttöön”, sanoo projektipäällikkö **Reijo Kuivalainen** Amec Foster Wheeler Energia Oy:stä. Yritys tunnetaan muun muassa voimalaitoksissa käytetyistä kierto-leijukattiloista, ja niihin happipolttua Suomessa sovitetaan.

CCSP-tutkimusohjelma jatkoi luontevasti yhteistyötä, jonka yritykset ja tutkimuslaitokset olivat aloittaneet EU-rahoitteisissa tutkimusohjelmissa.

”On tärkeää, että tutkimusta voidaan jatkaa suurin piirtein samojen kumppaneiden kanssa pitkään. Näin voimme säilyttää ja kehittää suomalaista osaamista, vaikka kaupallistaminen ei olisikaan vielä ajankohtaista”, Kuivalainen toteaa.

Tutkimusohjelmassa keskityttiin mallintamaan, mitä kattilassa tapahtuu, kun palamisilma korvataan hapella. Eri tutkimuslaitosten malleja yhdistämällä tutkijat rakensivat simulointityökalun, jonka avulla happipolttua voidaan soveltaa erikokoisiin kierto-leijukattiloihin. ”Työkalut auttavat arvioimaan happipolttokattilan termistä käyttäytymistä ja päästöjen muodostusta ja tarjoavat siten aiempaa luotettavamman tietopohjan kattilan suunnitteluun ja toiminta-arvojen määrittämiseen”, kertoo johtava tutkija **Kari Myöhänen** Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta.



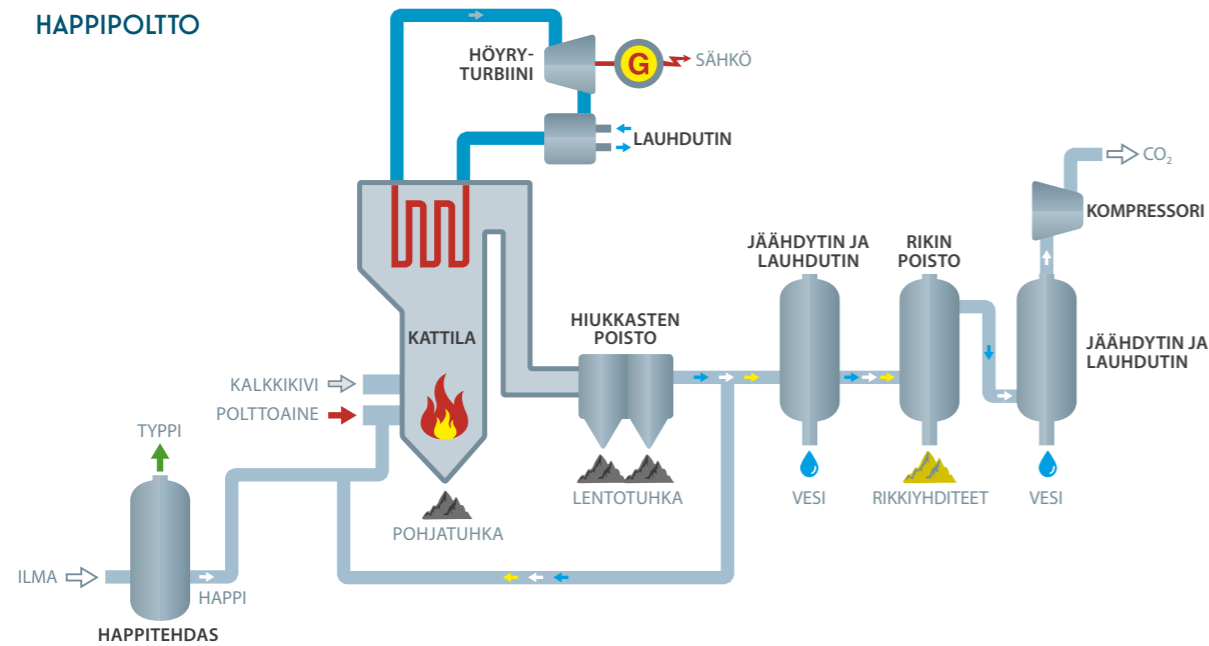
ENERGIANTUOTANNON MENETELMÄ:

Leijupolttossa polttoaine syötetään kattilaan kuuman petimateriaalina toimivan hiekan sekaan, jolloin aineen ja lämmön siirtyminen tehostuvat. Lisäksi rikinpoisto on helppoa ja typenoksidipäästöt vähäisiä johtuen alhaisesta palamislämpötilasta ja palamisilman vaiheistuksesta. Leijupolttu onkin yksi tärkeimmistä ja ympäristön kannalta kestävimmistä menetelmistä kiinteän polttoaineen poltossa. Koska menetelmä ei aseta mainittavia vaatimuksia polttoaineen laadulle, kuten kosteudelle tai lämpöarvolle, sitä hyödynnetään erityisesti voimalaitoksissa, joissa polttoaineita vaihdellaan tai sekoitetaan toisiinsa. Kattiloihin sopivat niin hiili, biomassassa kuin yhdyskuntajätekin.

Biomassan monipuolisina hyödyntäjinä suomalaiset voimalaitokset ovat leijupolton edelläkävijöitä. Menetelmä sopii erityisesti sähkön ja lämmön yhteistuotantoon. Suomessa on myös menetelmän merkittäviä kehittäjiä sekä kansainvälisesti menestyviä laitetoimittajia.

Leijupolttua toteutetaan kahdella eri menetelmällä. Kerrosleijukattilassa käytetään matalaa kaasun virtausnopeutta, jolloin hiekka pysyy kuplivana petinä, kun taas kierto-leijukattilassa virtausnopeus on suurempi, jolloin hiekka kulkeutuu pois tulipesästä ja palautetaan erottimen kautta takaisin tulipesän pohjalle. Kerrosleijupolttua hyödynnetään tyypillisesti märille sekä lämpöarvoltaan heikoille polttoaineille melko pienissä laitoksissa, kun taas kierto-leijupolttu sopii suuriinkin laitoksiin ja lähes kaikille polttoaineille.

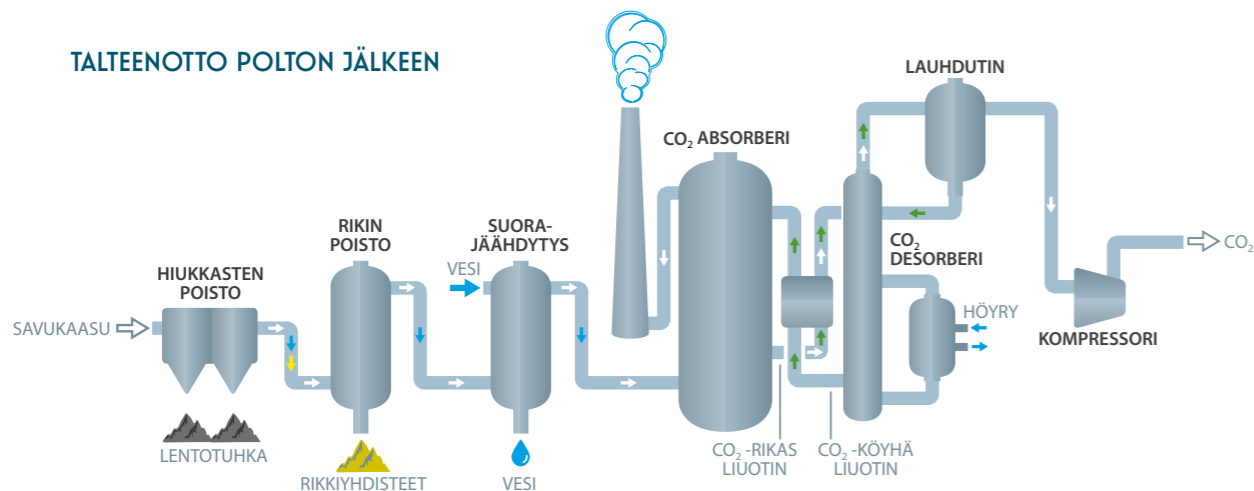
HAPPIPOLTTO



HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTON MENETELMÄ:

- Palamiseen tarvittava puhdas happi tuotetaan erottamalla se typpeä sisältävästä ilmasta, ja se tuodaan kattilaan sekoitettuna poltossa syntyneisiin savukaasuihin. Näin tavoitellaan samankaltaisia palamisolosuhteita kuin ilmalla poltettaessa. Tällöin kattila voidaan suunnitella toimimaan sekä ilma- että happipoltossa. Jos kattila optimoidaan pelkkään happipolttoon, happipitoisuutta voidaan nostaa ja tulipesää sen johdosta pienentää, mikä säästää kustannuksia.
- Puhdalla hapella poltettaessa savukaasut koostuvat pääasiassa puhtaasta hiilidioksidista ja vesihöyrystä, jolloin hiilidioksidikaasu on helppo erottaa lauhduttamalla vesihöyry. Myös muut epäpuhtaudet poistetaan lauhduttamalla, mikä ei ole mahdollista tavallisessa ilmapoltossa.
- Happipolttota hyödyntäviä menetelmiä ei ole vielä kaupallisessa käytössä, mutta koelaitoksia on rakennettu ja testattu aina 30 MW:n kokoluokkaan asti.

TALTEENOTTO POLTON JÄLKEEN



HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTON MENETELMÄ:

- Piippuun nousevat savukaasut johdetaan pesurikoloniin, jossa hiilidioksidi sidotaan liuottimeen, joka on tavallisesti amiini. Liuos kuumennetaan, jolloin hiilidioksidi vapautuu. Tämän jälkeen liuotin palautetaan pesuriin.
- Teollisen mittakaavan sovelluksia on vasta suhteellisen vähän, mutta koelaitoksia on käytössä eri puolilla maailmaa, ja lähivuosina on alkamassa ainakin seitsemän pilottihanketta.

PÄÄSTÖJEN MITTAUS UUDELLE TASOLLE

KUN HIILIDIOKSIDI OTETAAN TALTEEN POLTON JÄLKEEN, VOI SYNTYÄ AMMONIAKKI- TAI AMIINIPÄÄSTÖJÄ. SUOMESSA KEHITETYT PÄÄSTÖMITTAUSMENETELMÄT TUKEVAT TALTEENOTON YLEISTYMISTÄ MAAILMANLAAJUISESTI.

Hiilidioksidin talteenottolaitos voidaan rakentaa lähes jokaisen olemassa olevan voimalaitoksen kattilan perään. Menetelmä kuluttaa kuitenkin runsaasti energiaa ja voi tuottaa karsinogeenisia nitrosoamiineja. Hiilidioksidi sidotaan nimittäin prosessissa kiertäviin liuottimiin, kuten ammoniakkiin tai amiineihin, jotka voivat hajota ja muodostaa edelleen nitrosoamiineja. Siksi CCSP-tutkimusohjelma tarttui menetelmän energiankulutuksen ohella ympäristön ja ihmisten turvallisuuteen.

Tutkijat arvioivat menetelmän ympäristöhaittoja ennen kaikkea amiinipäästöjä tarkastelemalla. Jo ennen tutkimusohjelmaa oli selvää, että nitrosoamiinien pitoisuudet savukaasuissa ovat hyvin pieniä. Tiedettiin myös, että osa yhdisteistä on varsin epävakaita ja että niitä on hyvin monenlaisia. Tämän vuoksi ohjelmassa kehitettiin näytteenottomenetelmiä ilmaan vapautuvalle poistokaasulle sekä yksittäisten yhdisteiden analysoinnille. Varsinainen läpimurto oli menetelmä, jolla voidaan mitata nitrosoamiinien yhteismäärä savukaasusta tarkemmin kuin koskaan ennen. Mittausmenetelmä sai myös kansainvälisesti tunnustetun akkreditoinnin.

”Tutkimuksen myötä pääsimme kansainvälisessä verkostossa sellaiseen asemaan, että meitä pyydetään aina mukaan, kun tutkijat tai teknologiakehittäjät järjestävät analyysilaboratorioiden välisiä vertailukoikeita”, kertoo ilmanlaatuosaston päällikkö **Eerik Järvinen** Ramboll Finland Oy:stä.

Tutkimusohjelmassa pureuduttiin myös hiilidioksidin erotukseen tarkastelemalla erilaisten amiiniliuottimien soveltuvuutta sekä reaktio-olosuhteita pesurikolonissa. Perimmäisenä tavoitteena oli leikata energiankulutusta prosessin eri vaiheissa.

Tuloksena syntyi Aalto yliopiston ja VTT:n tutkimuksia yhdistämällä malli, jota voidaan hyödyntää jatkossa liuottimien valinnassa sekä laitteiston kehittämisessä.

”Halusimme mallin, jonka avulla voidaan hypätä suoraan laboratoriosta suuren mittakaavan laitokseen, rakentamatta kallista tutkimuspilottia. Voidaan sanoa, että tulokset vievät vahvasti siihen suuntaan”, toteaa jaospäällikkö **Jussi Laitio** Neste Jacobs Oy:stä. Hänen mukaansa tulokset ovat hyödyllisiä myös muilla teollisuudenaloilla, joilla pestään happamia kaasuja amiiniliuottimilla.

NITROSOAMIINEJA TEHTAASSA JA KODISSA

Nitrosoamiinit ovat karsinogeenisiä yhdisteitä, joita syntyy muun muassa amiinien hajotessa ja reagoiessa savukaasujen typenoksidien kanssa. Nitrosoamiineja syntyy myös silloin, kun nitriitit tai nitraatit ovat läsnä aminohappojen kanssa, esimerkiksi joissakin elintarvikkeissa. Nitrosoamiineja tutkitaan säännöllisesti myös kosmetiikkatuotteista. CCSP-ohjelmassa todennettiin, että antioksidantit, kuten C-vitamiini, estävät nitrosoamiinien muodostumista. Vaikka hankkeessa ei tutkittu asiaa lääketieteelliseltä kannalta, havainto kannustaa lisäämään kasviksia ateriaan, joka sisältää lihajalosteita.

HIILIDIOKSIDI TALTEEN ENERGIAA TUHLAAMATTA

HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTTO KULUTTAA ENERGIAA. HAPENKANTAJIIN PERUSTUVA MENETELMÄ LUPAA KUITENKIN MALTILLISTA ENERGIANKULUTUSTA.

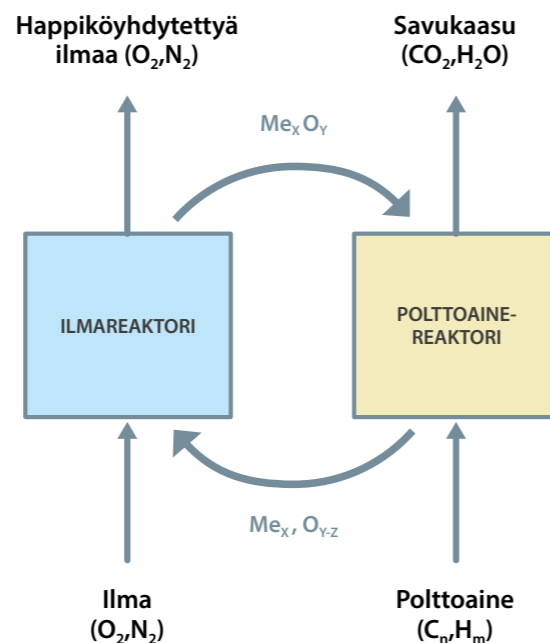
Hiilidioksidin erottaminen ja talteenotto helpottuvat, kun polttoaine palaa kaasuseoksessa, jossa ei ole ilman mukana tulevaa typpeä. Puhtaan hapen tuottaminen ilmasta vaatii kuitenkin runsaasti energiaa. Siksi happipolton tutkijoita kiinnostaa, miten hapen voisi tuoda kattilaan sidottuna johonkin kantaja-aineeseen, kuten metallioksiidiin.

”Metallioksideja käyttämällä menetetään energiantuotannon hyötysuhdetta vain noin neljä prosenttiyksikköä. Muilla menetelmillä hyötysuhteen menetyks on kaksinkertainen, jopa kolminkertainen”, sanoo erikoistutkija **Toni Pikkarainen** VTT:ltä. Hänen mukaansa hapenkantajia hyödyntävä menetelmä sopii hyvin laajalle polttoainevalikoimalle.

Lappeenrannan teknillisen yliopiston tutkijat kehittivät CCSP-tutkimusohjelmassa reaktorimallin, jolla voidaan tarkastella, miten laboratoriossa menestynyt hapenkantajia hyödyntävä menetelmä voisi sopia suuren mittakaavan energiantuotantoon ja eri polttoaineiden yhteyteen. Mallinnuksessa hyödynnettiin tutkijavaihdossa saatuja itävaltalaisien ja espanjalaisten tutkimuslaitosten koetuloksia. Näin suomalaistutkijat saavuttivat valmiuden simuloida hiilidioksidin talteenottoa teollisessa kokoluokassa ja verrata menetelmää muihin talteenottomenetelmiin. Lisäksi ohjelmassa vertailtiin erilaisia hapenkantajia: metalleja sisältäviä luonnonmineraaleja sekä synteettisiä materiaaleja.

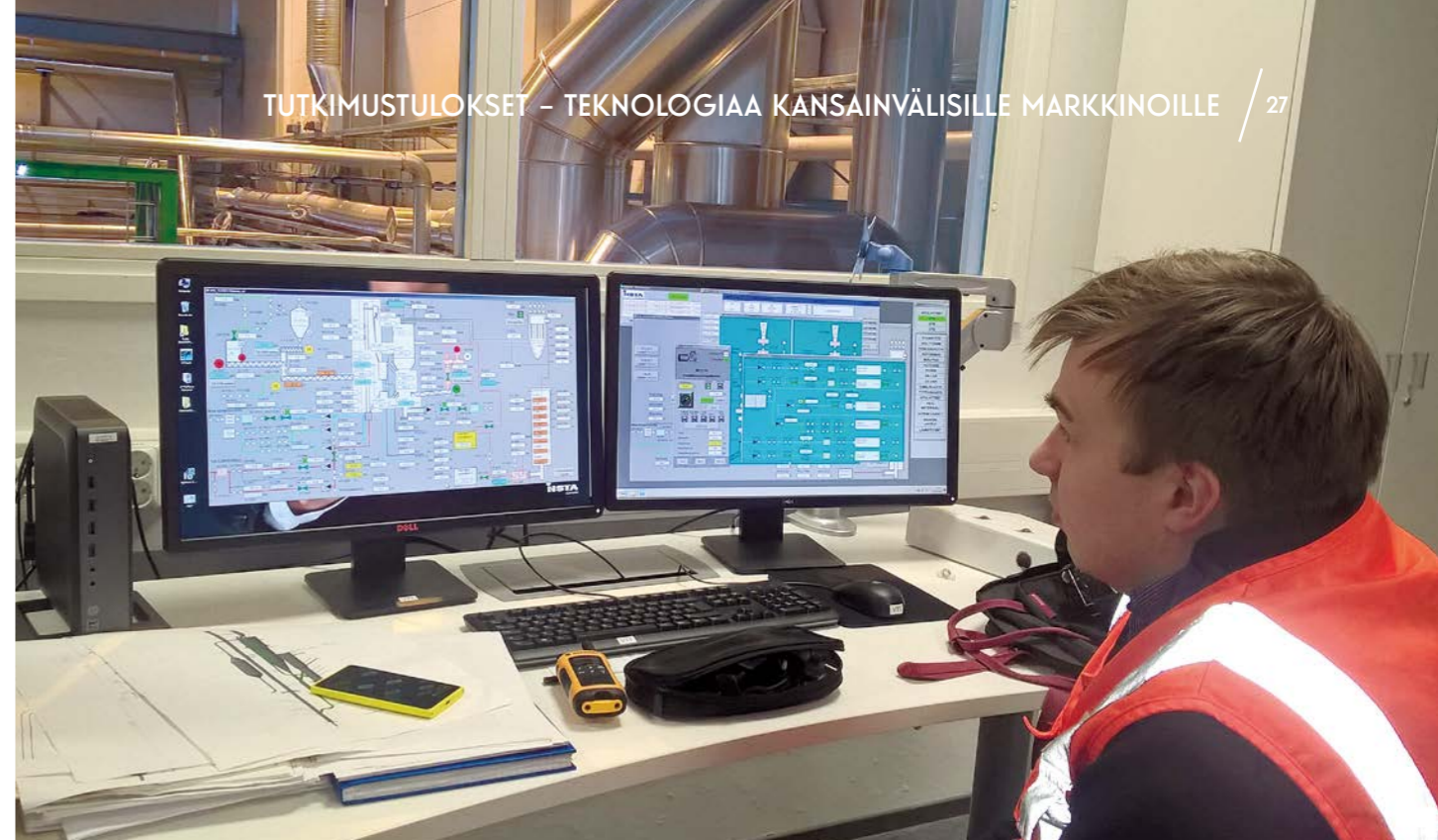
Tutkimustyö huipentui kerrosleijupolttoon perustuvan koelaitoksen rakentamiseen VTT:n uuteen Bioruukki-keskukseen. Kokeissa poltettiin puupellet-

tejä ja hapenkantajana käytettiin luonnossa esiintyvää rautatitaanioksidia, ilmeniittä.



”Saimme osoitettua, että hapenkantajiin perustuva prosessi toimii biomassoilla. Tulokset ovat lupaavia, joskin prosessia ja olosuhteita optimoimalla saavutamme varmasti vielä parempia tuloksia”, Pikkarainen kertoo.

Puupellettien testaaminen Bioruukin koelaitoksessa oli maailmassa ainutlaatuista. Hiilidioksidin talteenottomenetelmiä ei tavallisesti liitetä biomassalaitoksiin, koska ne eivät ole mukana päästökaupassa eivätkä siis hyödy talteenotosta taloudellisesti. Pikkaraisen mukaan hapenkantajiin perustuva happipolttovoisi



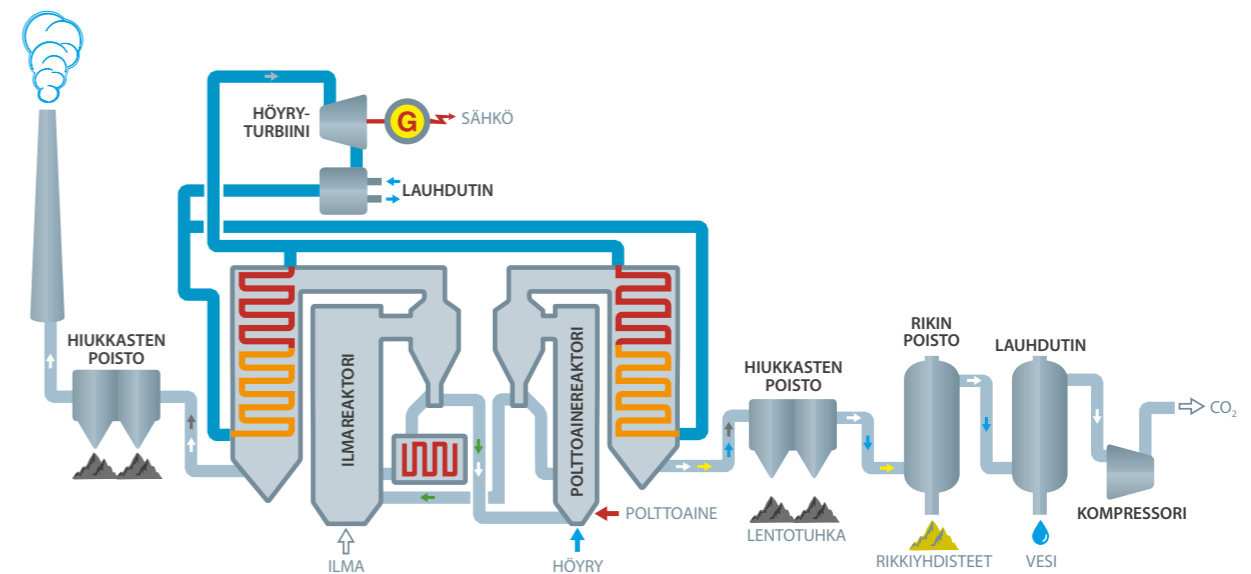
VTT:n Bioruukki-testikeskuksen päällikkö Ilkka Hiltunen ohjasi helmikuussa 2016 ensimmäistä biomassan testipolttota hapenkantajilla.

kuitenkin kannattaa nimenomaan biopolttolaitoksissa jopa ilman hiilidioksidin talteenottoa.

”Menetelmä parantaa sähköntuotannon hyötysuhdetta biopolttolaitoksessa parantamalla kattilan korroosionkestävyyttä ja mahdollistamalla siten tavallista korkeammat höyryn lämpötilat”, Pikkarai-

nen perustelee. Hän uskoo, että suomalaiset biopolttolaitokset voisivat toimia menetelmän edelläkävijöinä. Tähän tähtää myös vuonna 2016 alkanut pohjoismainen yhteistyöhanke, jossa testataan menetelmän soveltuvuutta biomassalle koelaitoksessa, joka on suurusluokaltaan satakertainen Bioruukin laitokseen verrattuna.

HAPPIPOLTTO HAPENKANTAJIEN AVULLA



HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTON MENETELMÄ:

- Happi tuodaan reaktoriin kiinteään metallioksiidiin sidottuna. Kun happi on irronnut metallioksidista ja reagoinut polttoaineen kanssa, pelkistynyt hapenkantaja palautetaan erilliseen reaktoriin, jossa se hapetetaan ilman avulla.
- Savukaasut koostuvat pääasiassa puhtaasta hiilidioksidista ja vesihöyrystä, josta hiilidioksidi ja muut epäpuhtaudet ovat helppo erottaa.
- Hapenkantajia hyödyntäviä menetelmiä ei ole vielä kaupallisessa käytössä

TEOLLISUUDEN SIVUTUOTTEET HYÖTYKÄYTTÖÖN

TERÄSTUOTANNOSSA SYNTYNYT HIILIDIOKSIDI VOIDAAN SITOA TUHKIIN JA KUONIIN SITEN, ETTÄ LOPPUTUOTTEENA SYNTYY VAIKKAPA ARVOKASTA PAPERIN TÄYTEAINETTA. SUOMEEN SOPISI LUONTEVASTI KOKO TUOTANTOKETJU.

Terästeollisuus on yksi suurimmista hiilidioksidin päästäjistä energiateollisuuden rinnalla. Pieni osa terästehtaiden tuottamasta hiilidioksidista voidaan sitoa terästuotannossa syntyviin kuoniin ja tuhkiin ilman, että sitä tarvitsee ensin erottaa savukaasuista. Kun kalsiumia sisältävät kuonat reagoivat hiilidioksidin kanssa syntyy hyvin vakaita yhdisteitä, kalsiumkarbonaatteja, joista hiilidioksidi ei varastoitaessa karkaa. Laadultaan parhaita kalsiumkarbonaatteja voidaan käyttää jopa raaka-aineena, esimerkiksi paperin täyteaineena. Hieman huonompilaatuiset karbonaatit sopivat rakennusmateriaaleiksi.

”Suomessa terästeollisuus voisi tuottaa suurin piirtein saman verran kalsiumkarbonaattia kuin Suomen paperiteollisuus tarvitsee”, arvioi professori **Ron Zevenhoven** Åbo Akademiasta.

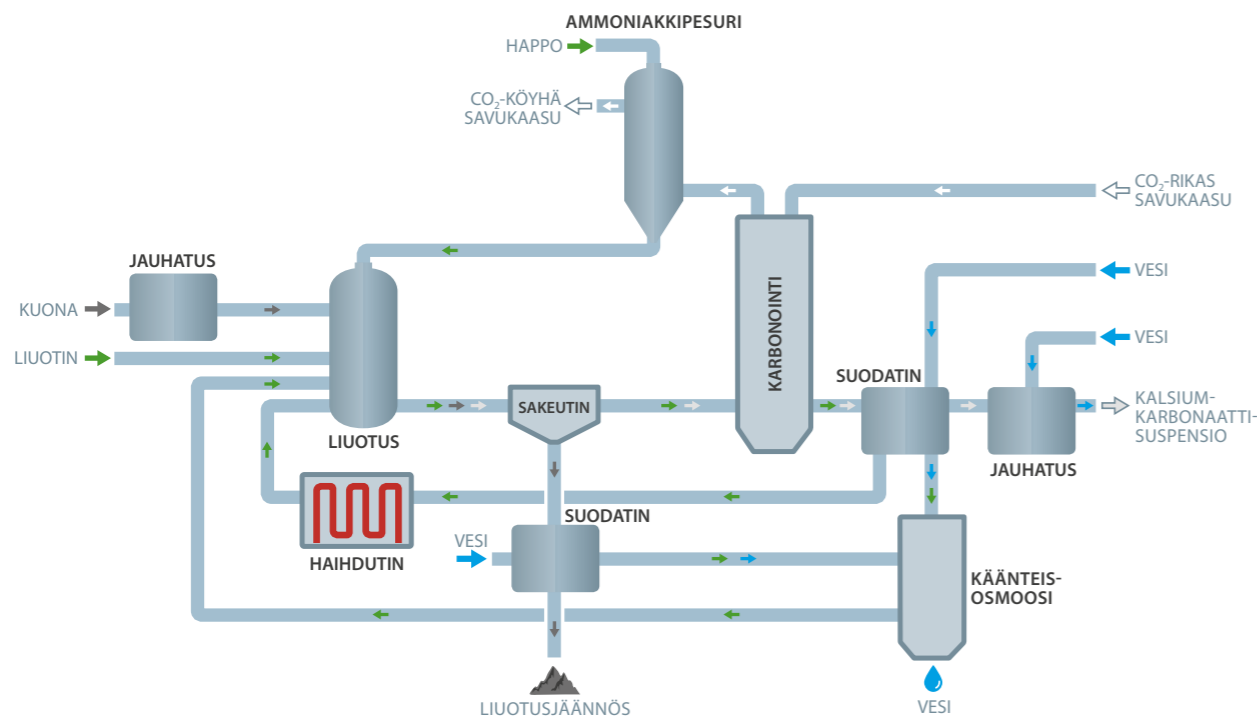
”Tutkimus tarjosi vahvistusta teknologian toimivuudesta.”

KALSIMUMKARBONAATTIA KALKKIKIVESTÄ VAI KUONASTA?

Paperiteollisuuden käyttämä kalsiumkarbonaatti valmistetaan kalkkikivestä, mikä edellyttää mineraalien louhimista sekä runsasta energiankäyttöä. Ympäristön kannalta kestävämpi ratkaisu voisi olla kierrättäminen, esimerkiksi valmistamalla kalsiumkarbonaattia terästeollisuuden kuonasta. Tällä hetkellä terästeollisuuden kuonaa hyödynnetään muun muassa tienparannuksessa, ja osa kuonasta päätyy edelleen myös kaatopaikoille. Kalsiumkarbonaatin arvo on noin kaksikymmenkertainen verrattuna kuonan arvoon.



Aalto-yliopiston koelaitos sitoo hiilidioksidia tuottamalla kalsiumkarbonaattia teräskuonasta.



HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTTO VOI TUPLATA BIOMASSAN YMPÄRISTÖEDUT

ILMASTON KANNALTA HIILIDIOKSIDI ON HIILIDIOKSIDIA RIIPPUMATTA SEN LÄHTEESTÄ. SIKSI HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTTO ON PERUSTELTUA MYÖS HIILINEUTRAALISSA BIOMASSAN POLTOSSA JA JALOSTUKSESSA – JA ENNEN PITKÄÄ MYÖS KANNATTAVAA.

HYÖTYKÄYTTÖÖN VAI PYSYVÄÄN VARASTOON?

Terästeollisuuden sivutuotteena valmistettu korkealaatuinen kalsiumkarbonaatti sopii paperin täyteaineeksi. Samalla se sitoo hiilidioksidia ja kierrättää kalsiumia ympäristön kannalta kestäväällä tavalla. Hyötykäyttö ei kuitenkaan tarjoa nykyisen päästökaupan näkökulmasta ratkaisua hiilidioksidin pitkäaikaiseen varastointiin, koska hiilidioksidi vapautuu paperia poltettaessa – muutamien viikkojen tai vuosisatojen jälkeen. Vaikka päästökauppa tukisi hyötykäyttöä, terästeollisuuden kuonilla saisi sidottua vain hyvin pienen osan maailman hiilidioksidipäästöistä.

Samankaltaista karbonointimenetelmää voidaan kuitenkin käyttää sitomaan suuria määriä hiilidioksidia suuriin määriin luonnonmineraaleja, kuten magnesiumsilikaatteja, joita etenkin Suomessa esiintyy runsaasti. Menetelmä jäljittelee mineraalien luonnollista rapautumista, ja kemiallisesti vakaat tuotteet, karbonaattit, sopivat maaperään varastoitaviksi ilman seurantaa.

Riittävän reaktionopeuden aikaansaamiseksi vaaditaan kuitenkin energiaa ja kemikaaleja. CCSP-tutkimusohjelmassa on onnistuttu vähentämään molempien tarvetta merkittävästi.

Hiilidioksidin talteenotto tuskin innostaa biomassan polttajia ja jalostajia tällä hetkellä, koska EU:n päästökauppa ei tunnista negatiivisia päästöjä.

”Negatiiviset päästöt tarjoavat kuitenkin houkuttelevan takaportin ihmiskunnalle, joka näyttää lähestyvän ilmastotavoitteita melko hitaasti. Pelkästään Suomessa vuosittaiset päästöt voisivat vähentyä kymmeniä miljoonia tonneja, jos bioenergian tuottajat ottaisivat hiilidioksidin talteen”, sanoo liiketoiminnan kehityspäällikkö **Antti Arasto** VTT:ltä. Suomen vuosittaiset hiilidioksidipäästöt ovat olleet viime vuosina 50 miljoonan tonnin luokkaa. Tästä runsas puolikas kuuluu päästökaupan piiriin.

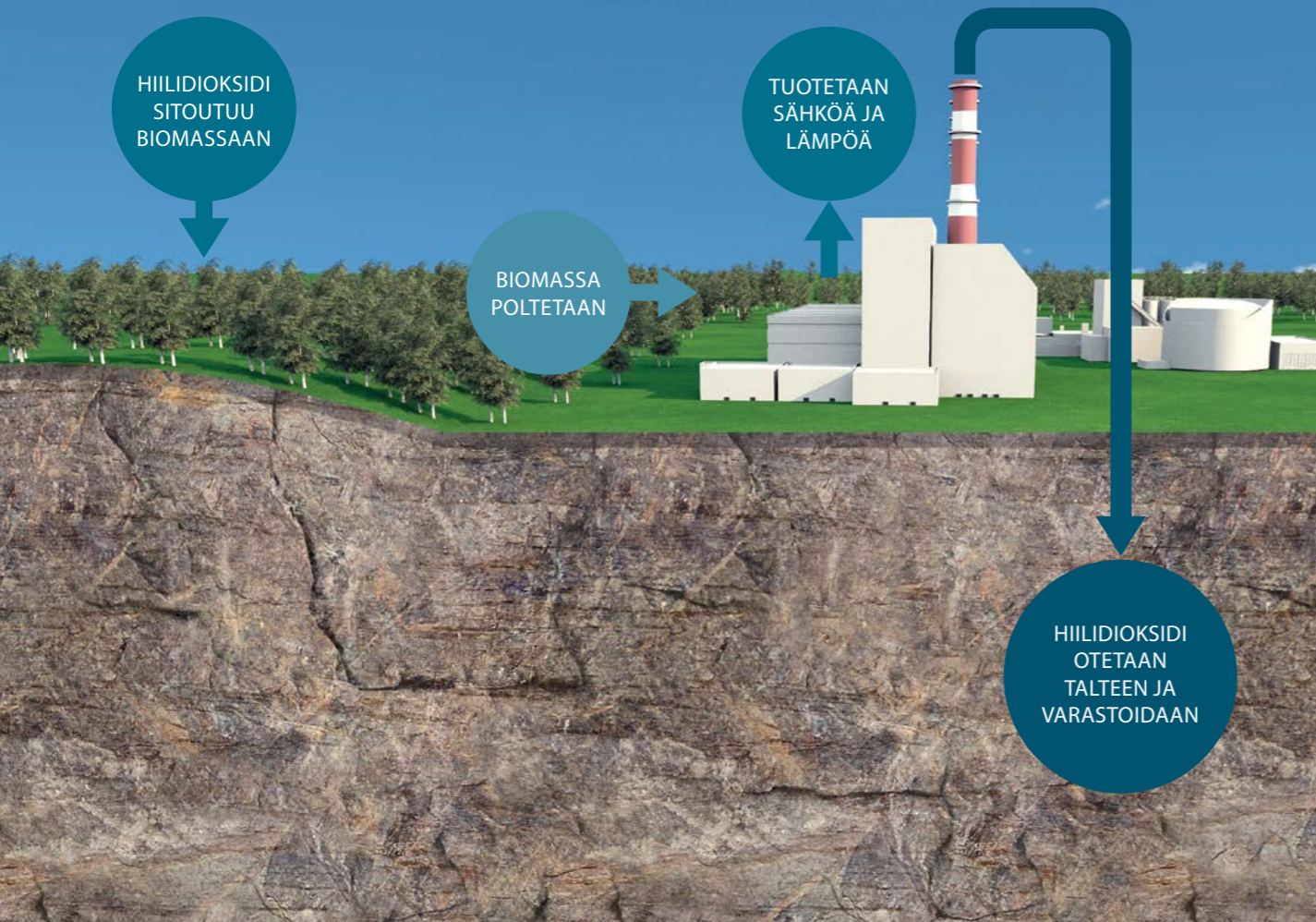
Arasto uskoo, että bio-CCS eli hiilidioksidin talteenotto biomassan käytöstä nousee väistämättä esille viimeistään siinä vaiheessa, kun hiilidioksidipäästöjen hinta nousee EU:ssa merkittävästi. Hän korostaa, että teknisesti hiilidioksidin talteenotto sopii biopolttolaitokseen siinä missä fossiilisiikin polttoainetta hyödyntävään laitokseen. Haasteena hän pitää lähinnä sitä, että biopolttolaitokset ovat tavallisesti melko pieniä, koska niiden on sijaittava kohtuullisen lähellä biomassan lähteitä. Näin talteenottoon liittyvät investoinnit ovat suhteessa suurempia kuin isommissa voimalaitoksissa.

”Menetelmän kaupallistuminen edellyttää myös uskottavia, pitkän aikavälin tavoitteita päästöjen vähentämiseksi”, Arasto toteaa.

Arasto pitää yhtenä luontevana edelläkävijänä nestemäisten biopolttoaineiden valmistajia, siis biomassan jalostajia.

”Puolet hiilestä menee polttoaineeseen ja karkeasti puolet tulee joka tapauksessa ulos puhtaana hiilidioksidina. Siitä se on hyvin helppo ottaa talteen”, Arasto sanoo. Hänen mukaansa Suomi voisi näyttää tietä myös kokeneena biomassan polttajana. Suomalahan on pitkät perinteet biomassan käytöstä sähkön ja lämmön yhteistuotannossa, kun taas eteläisemmässä Euroopassa biopoltto viittaa lähinnä biomassan rinnakkaispolttoon hiilikattiloissa. Arasto pitää tärkeänä, että VTT pääsi CCSP-tutkimusohjelman avulla vahvistamaan kansainvälistä yhteistyötään ja kartoittamaan biomassan käytön näkymiä EU-maissa.

”Nyt työ jatkuu VTT:n ja CCSP:n luotsaamana Kansainvälisen energiajärjestön, IEA:n, ja Euroopan komission kanssa.”



NEGATIIVISET PÄÄSTÖT – HIILINIELU

Polttoaineen palaessa syntyy hiilidioksidipäästöjä. On kuitenkin tapana laskea, että biomassaa poltettaessa ilmakehään päätyvä hiilidioksidi sitoutuu uudestaan biomassaan sen kasvaessa. Tästä syystä biomassaa pidetään hiilineutraalina polttoaineena, ja vain fossiilisen polttoaineen käyttäjän on maksettava hiilidioksidipäästöistään tai otettava ne talteen. Jos biomassaa poltettaessa tai jalostettaessa syntynyt hiilidioksidi otetaan kuitenkin talteen ja varastoidaan, sitä itse asiassa poistuu ilmakehästä. Bio-CCS voi siis tuottaa negatiivisia päästöjä ja kirittää maailmaa kohti kansainvälisiä ilmastotavoitteita. Tällä hetkellä päästökauppa ei kuitenkaan tunnista negatiivisia päästöjä.

TARJOAAKO TALTEENOTTO LISÄAIKAA FOSSIILISILLE VAI UUDEN HIILINIELUN?

Hiilidioksidin talteenotto ja varastointi tarjoaa fossiilisten polttoaineiden polttajille keinon vähentää päästöjä. Jotkut kuitenkin epäilevät, että se lisää fossiilisten polttoaineiden käyttöä. CCSP-tutkimusohjelma osoittaa, että fossiilisten lisääminen tuskin houkuttelee Suomessa. Analyysien perusteella hiilidioksidin talteenotto olisi nimittäin Suomessa huomattavasti kannattavampaa biomassaa käyttäville laitoksille kuin fossiilista polttoainetta polttaville laitoksille.

PÄÄSTÖLEIKKAUKSIA KOHTI – ESTEIDEN YLI

HIILIDIOKSIDIN TALTEENOTTO JA VARASTOINTI HILLITSEE HIILIDIOKSIDIPÄÄSTÖJÄ MERKITTÄVÄSTI, JOS KEINO OTETAAN KÄYTTÖÖN JA YLEISTYY. MIKÄ VIELÄ JARRUTTAA?

Hiilidioksidin talteenotosta ja varastoinnista voi tulla merkittävä keino hiilidioksidipäästöjen leikkaamiseen, kunhan rajoitukset ja esteet saadaan purettua. CCSP-tutkimusohjelmassa selvitettiin eri menetelmien kestävyyttä ottamalla huomioon niiden ekologiset, taloudelliset ja sosiaaliset vaikutukset. Sosiaaliseen kestävyysluettiin muun muassa lainsäädäntö sekä yleinen asenneilmapiiri.

”Lainsäädännön puutteet on korjattavissa. Isoin haaste on taloudellinen kannattavuus”, summaa erikoistutkija **Eemeli Tsupari** VTT:ltä.

EKOLOGISET VAIKUTUKSET HALLITTAVISSA

Miten hiilidioksidin talteenotto vaikuttaa ympäristöön, riippuu pitkälti talteenottomenetelmästä. Yhteistä menetelmille on, että talteenoton kuluttama energia lisää polttoaineen kulutusta ja vaikuttaa siten päästöihin joko samalla laitoksella tai muualla energiajärjestelmässä. Lisäksi, silloin, kun hiilidioksidin erotukseen käytetään liuottimia, liuottimista syntyviä yhdisteitä voi päästä savukaasujen mukana ympäristöön. Sen sijaan silloin, kun hiilidioksidin erotukseen pyritään sen pitoisuutta kasvattamalla, esimerkiksi happipoltolla, myös epäpuhtauksien pitoisuudet kasvavat savukaasuissa, vaikka absoluuttiset määrät säilyisivät samalla tasolla. Molemmat erotustavat johtavat siihen, että epäpuhtauksia on poistettava tehokkaasti ennen hiilidioksidin talteenottoa. Siksi on todennäköistä, että hiilidioksidin talteenoton myötä laitoksen monet muutkin ilmapäästöt vähenevät, mutta jotkut päästöt saattavat kasvaa.

”Kysymys on pitkälti siitä, mitkä ovat hyväksyttäviä päästömääriä, miten erilaisia ympäristövaikutuksia arvotetaan ja miten tiettyjä päästöjä pystytään mittaamaan ja hallitsemaan luotettavasti”, Tsupari sanoo. Hän korostaa, että monet talteenottoon liittyvät kemikaalit ovat entuudestaan tuttuja eri teollisuudenaloilta. Tuttuja ovat myös onnettomuusriskit, jotka liittyvät liuottimien ja puhtaan hapen käsittelyyn.

”Kun hiilidioksidin talteenottoa tarkastellaan ekologisesti näkökulmasta, on erittäin tärkeää ottaa huomioon koko elinkaari, joka sisältää vaikutukset energijärjestelmään ja muihin päästöihin hiilidioksidipäästöjen ohella”, Tsupari sanoo.

TALOUDELLISET TAPPIOT OSIN PAIKATTAVISSA

Energiantuotannon hyötysuhdetta punnitaan ennen kaikkea silloin, kun arvioidaan hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin taloudellista kannattavuutta.

”Talteenoton aiheuttama hyötysuhdetappio vaikuttaa vahvasti sähköntuotannon kannattavuuteen, kun taas yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto pystyy hyödyntämään osan talteenoton synnyttämästä lämmöstä ja paikkaamaan sillä hyötysuhdetappiota”, Tsupari sanoo. Hän korostaa, että hyötysuhdetappiot vaihtelevat eri menetelmien ja sovelluskohteiden välillä. ”Kannattavuus voi parantua merkittävästi myös, jos hiilidioksidi saadaan hyötykäyttöön varastoinnin sijaan.”

PÄÄSTÖKAUPAN ESTEET PURETTAVISSA

Euroopassa hiilidioksidin talteenoton ja varastoinnin kannattavuutta sanelee pitkälti päästökauppa. Tsuparin mukaan päästökaupan lainsäädännössä on ainakin kaksi kohtaa, joiden uudistaminen voisi merkittävästi edistää hiilidioksidin talteenottoa Suomessa. Nämä liittyvät polttoaineisiin sekä hiilidioksidin kuljetukseen.

Päästökauppa keskittyy tällä hetkellä hiilidioksidipäästöihin, jotka syntyvät fossiilisia polttoaineita poltettaessa. Biopolttolaitoksen ei ole taloudellisesti kannattavaa hillitä päästöjään ottamalla hiilidioksidia talteen.

Tällä hetkellä päästökauppa jättää hiilidioksidin talteenoton huomiotta myös silloin, kun hiilidioksidi kuljetetaan varastoonsa laivalla eikä putkia pitkin.

”Niin biopolttoon kuin laivakuljetuksiinkin liittyvät puutteet vaikuttavat erityisesti Suomen asemaan, koska Suomessa on runsaasti biopolttoa eikä mahdollisuuksia varastoida hiilidioksidia omassa kallioperässä.”

EHDOTUKSIA PÄÄSTÖKAUPAN LAINSÄÄDÄNTÖÖN

Tutkijat tarjoavat ratkaisumallia päästökaupan puutteisiin. ”Päästökaupassa liikkeelle laskettavia päästöoikeuksia voitaisiin antaa hiilidioksidin varastojalle ilmaiseksi varastoidun määrän perusteella. Näin hiilinielusta hyvitetäisiin siellä, missä nielu syntyy. Silloin varastojalle syntyisi tarve ostaa hiilidioksidia päästökauppaan kuuluvilta hiilidioksidin päästäjiltä, joita ei tässä mallissa muuten hyvitetäisi talteenotosta. Näin kuljetustavoista tai negatiivisista päästöistä sekä niiden valvonnan yksityiskohdista ei tarvitsisi lainsäädännössä sopia erikseen”, Tsupari sanoo.

Tsuparin mukaan tilannetta selkeyttäisi myös hiilidioksidin hyötykäytön salliminen varastoinnin vaihtoehtona siinä tapauksessa, että käyttökohde sitoisi hiilidioksidin vuosikymmeniksi tai sadoiksi.

”Esimerkiksi paperin täyteaineeseen, kalsiumkarbonaattiin, sidottuna hiilidioksidi pysyy poissa ilmakehästä melko pitkän ajan. Ehkä siitä voisi jonkin hyödyn laskea”, Tsupari tuumaa.

IHMISILLE ETÄISTÄ, PITKÄLTÄ MYÖNTEISTÄ

Tutkimusohjelmassa selvitettiin myös, miten suuri yleisö suhtautuu Suomessa hiilidioksidin talteenottoon ja varastointiin. Tutkimus keskittyi sidosryhmähaastatteluihin ja valtamedian artikkeleihin viimeisen kymmenen vuoden ajalta. Näistä valtaosa käsitteli aihetta myönteisesti tai neutraalisti.

”Aihe on suomalaisille melko etäinen eikä se herätä voimakkaita tunteita”, Tsupari toteaa. Esimerkiksi Saksassa asukkaita säikäytti takavuosina ajatus siitä, että hiilidioksidi varastoitaisiin kallioperään manteelelle eikä merenpohjan alle. Suomen kallioperässä varastointi ei olisi edes mahdollista.

Suomessa kielteinen huomio kohdistui lähinnä kustannuksiin, varastoinnin haasteisiin sekä siihen, että hiilidioksidin talteenotto ja varastointi mahdollistaa fossiilisten polttoaineiden käyttämisen myös tulevaisuudessa, ja voisi jopa lisätä sitä.

”Puolustajat sen sijaan arvostivat sitä, että voimme päästä ilmastotavoitteisiin nopeammin ja kustannustehokkaammin, jos fossiilisia polttoaineita voidaan polttaa lisäämättä hiilidioksidipäästöjä”, Tsupari kertoo. Hänen mukaansa myönteisenä pidettiin myös sitä, että monet talteenoton menetelmät ja osa varastoinninkin menetelmistä perustuvat teknologiaan, joka on jo tuttua muusta teollisuudesta.

SEBASTIAN TEIR

Ohjelmapäällikkö, CCSP-tutkimusohjelma, Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
sebastian.teir@clcinnovation.fi, +358 40 4878 117

RISTO SORMUNEN

Johtoryhmän ja ohjausryhmän puheenjohtaja, CCSP-tutkimusohjelma, Fortum Power and Heat Oy
risto.sormunen@fortum.com, +358 50 453 4615

PIA SAARI

Teknologijaohhtaja, CLIC Innovation Oy
pia.saari@clcinnovation.fi, +358 40 1949 932



Partner of
**CLEANTECH
FINLAND**

<http://ccsp.fi>
<http://ccspfinalreport.fi/>
<http://clcinnovation.fi/>