

Huima harppaus tulevaisuuteen

Ulla Leveelahti, dipl.ins., ympäristöpäällikkö,
Finnsementti Oy
ulla.leveelahti@finnsementti.fi

Ilmastokeskustelu käy vilkkaana ja rakentamisesta puhuttaessa, varsinkin betonin kohdalla, sen hiilijalanjälki korostuu, välillä suhteettomankin paljon. Siksi on hyvä tietää, että toimenpiteitä betonin, ja erityisesti sen pääkomponentin sementin, hiilijalanjäljen pienentämiseksi tehdään runsaasti.

Aiemmin Betoni-lehdessä 1-20, sivuilla 74-81 on käsitelty sementin valmistuksen hiilidioksidipäästöjä; mistä ne muodostuvat, mitä niille tähän mennessä on tehty ja mitä lähitulevaisuudessa vielä voidaan tehdä. Tässä artikkelissa tavoitteenani on katsoa vähän kauemmas tulevaisuuteen ja kuvata sitä kehitystyötä, joka mahdollistaa teknologioikan ja tulevaisuuden vähäpäästöisen betonin.

Hyvä, paha betoni

Yhteensä rakennusmateriaalien valmistuksen hiilidioksidipäästöt ovat alle 5 prosenttia Suomen vuosittaisista kokonaispäästöistä, sementin valmistuksen osuuden ollessa 1,6 prosenttia. Rakennusmateriaalien päästön osuus on kohtuullisen pieni ottaen huomioon, että Suomessa lähes puolet kaikesta materiaalista käytetään rakentamiseen. Tällä päästömäärällä luodaan arvokasta rakennuskantaa, kodinturvaa, viihtyisyyttä ja toimiva infrastruktuuri pitkäksi aikaa.

Me sementtiteollisuudessa otamme ilmastohaasteen hyvin vakavasti ja olemme tehneet päästövähennystyötä jo pitkään. Lyhyellä aikavälillä päästöjen vähentämiseen on neljä keino: 1) kalkkikiven osittainen korvaaminen vaihtoehtoisilla raaka-aineilla, 2) kierrätyspolttolaitteisiin, kuten biopolttolaitteisiin siirtäminen, 3) polttouunien energiatehokkuuden parantaminen sekä 4) sementtien seostaminen. Finnsementillä nämä keinot ovat jo käytössä ja jatkuvan kehitystyön kohteena.

Paljon onkin jo saatu aikaan – Suomen sementtitehtaat sijoittuvat kansainvälisissä päästövertailuissa kärkisijoille. Finnsementin Lappeenrannan tehdas on Euroopan 220 sementtitehtaasta parhaan 10 prosentin joukossa ja Paraisten tehdas parhaan 30 prosentin joukossa. Tähän mennessä Finnsementti on onnistunut vähentämään sementin ominaispäästöä 22 prosenttia vuoden 1990 tasosta.

Teknologiasta tukea päästövähennyksiin

Betonirakentamisen hiilijalanjäljestä suurin osa muodostuu sementin valmistuksesta: noin kaksi kolmasosaa kalkkikiven kalsinointireaktiosta ja kolmasosa valmistuksessa vaadittavien polttoaineiden käytöstä. Koska sementinvalmistuksen päästöistä yli puolet on peräisin raaka-aineista, joille ei ole olemassa korvaajaa, tulee hiilidioksidin talteenotto olemaan tarpeellista tulevaisuudessa. Parhaillaan tutkitaan erilaisia hiilidioksidin talteenotto-, hyötykäyttö- ja varastointimenetelmiä. Toteuttaessaan teknologioikka mahdollistaa jopa 80 prosentin päästövähennyksen vuoteen 2050 mennessä.

Teknologioikka ei tule olemaan helppo – päinvastoin, edessä on vielä monta ratkaisua vaativaa ongelmaa – mutta työ on käynnissä ja eurooppalainen sementtiteollisuus tekee hartiavoimin yhteistyötä sen eteen. Työtä tehdään yhdessä, sillä edessä oleva haaste on niin vaativa, ettei yksikään sementtitehdas voi sitä yksin ratkaista.

Kehitystyön yhdeksän kypsyystasoa

Uuden teknologian kehitystyö etenee yhdeksän kypsyystason kautta, alkaen ratkaisun periaatteen esittämisestä, ja päättyen uuden tekniikan laajamittaiseen teolliseen sarjatuotantoon. Teknologian kypsyyden arviointi (TRL, technology readiness level) on alun perin kehitetty NASA:n (National Aeronautics and Space Administration) toimesta avaruusteknologian hallintaa varten. Nykyään samaa arviointimenettelyä käytetään kaikissa julkisissa kehityshankkeissa.

Myös sementin valmistuksen teknologioikka etenee näiden yhdeksän vaiheen kautta. Lähtökohtana on tietotekniikalla tuettu kemia, josta ratkaisun avaimet löytyvät. Seuraavassa vaiheessa hahmotellaan prosessin tekniset ratkaisut. Ensimmäinen käytännön testi tehdään rakentamalla laboratorio-olosuhteissa pilottilaitos, josta jatketaan suuremman mittaluokan koelaitokseen. Jos tulokset edelleen näyttävät lupaavilta, on aika siirtyä tehdasympäristöön. Helposti liikuteltava mobiililaitos, esimerkiksi merikontissa, on usein hyvä vaihtoehto. Seuraava vaihe, ennen lopullisia täyden kokoluokan tehdasratkaisuja, ovat demonstraatiohankkeet, joilla osoitetaan tekniikan toimivuus käytännössä tehdasolosuhteissa. Sementin valmistuksen teknologioikka on nyt edennyt ensimmäisiin demonstraatiohankkeisiin.

Yksittäisen hankkeen tutkimuskustannukset, kypsyysasteella 3-6, liikkuvat useissa kymmenissä miljoonissa euroissa. Siirryttäessä demonstraatiohankkeisiin tehtaille, nousevat



1

2

EU komission käyttämä teknologian kypsyysasteen arviointi:

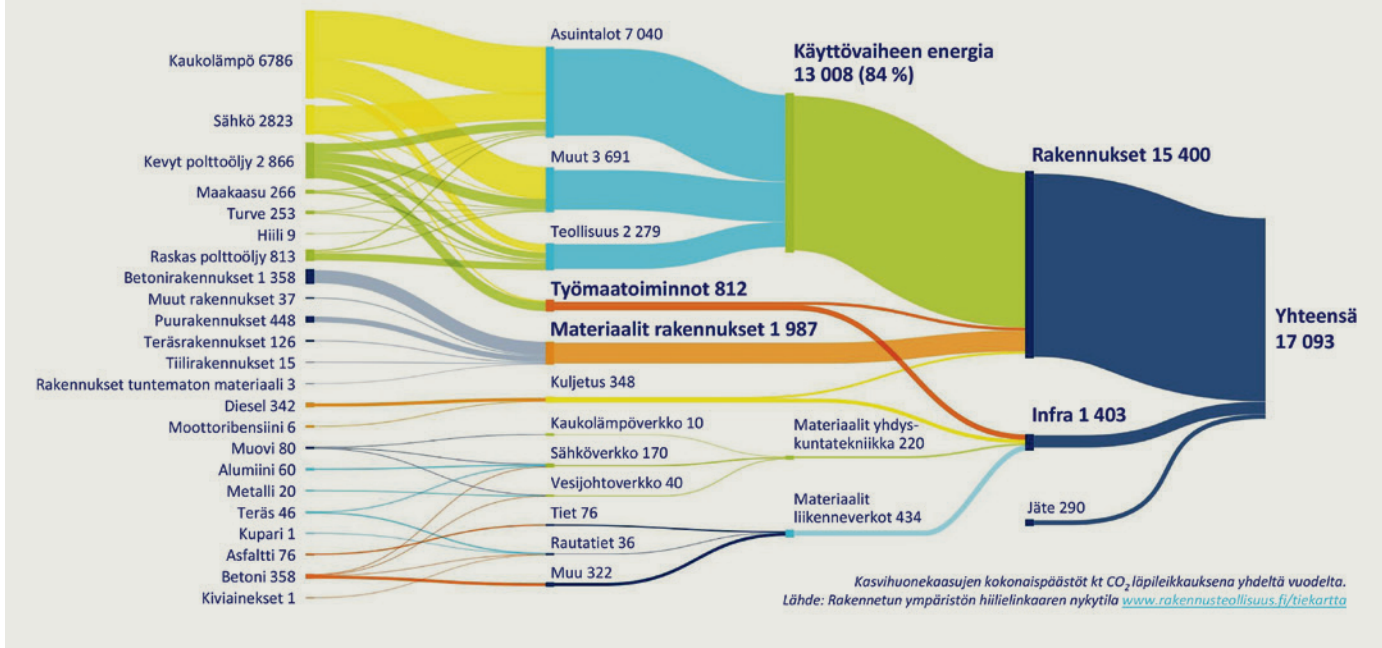
1. Peruseriaatteet havaittu
2. Teknologiakonsepti on muotoiltu
3. Teknologiakonsepti on kokeellisesti todennettu
4. Teknologian toimivuus on todennettu laboratorio-olosuhteissa
5. Teknologian toimivuus on todennettu asiaan kuuluvassa (todellisessa) ympäristössä
6. Teknologian toimivuus on demonstroitu asiaan kuuluvassa (todellisessa) ympäristössä
7. Prototyyppi on demonstroitu toimintaympäristössä
8. Ratkaisu on valmis ja toimiva
9. Ratkaisun lopullinen toimivuus on todennettu sen toimintaympäristössä (se on valmis ja kilpailukykyinen teolliseen valmistukseen)

1 Finnsementin Paraisten tehdas.

2 EU komission käyttämä teknologian kypsyysasteen arviointi. Uuden teknologian kehitystyö etenee yhdeksän kypsyystason kautta, alkaen ratkaisun periaatteen esittämisestä, ja päättyen uuden tekniikan laajamittaiseen teolliseen sarjatuotantoon.

Rakennetun ympäristön hiilijalanjäljen nykytila

Rakennusteollisuus RT



3

kustannukset vielä merkittävästi. Investointi uuteen hiilidioksidintalteenottotekniikkaan tulee arviolta olemaan yli 100 miljoonaa euroa tehdasta kohden. Kun on kyse näin suurista investoinneista, on uuden laitteiston toimivuus osoitettava erittäin luotettavasti.

Sementin valmistuksen korkeat lämpötilat asettavat erityisiä haasteita hankkeille. Valittavan tekniikan ja siinä käytettyjen materiaalien on selvitävä yli 1000 asteen lämpötilasta. Olosuhteet ovat muutenkin vaikeat; prosessilta edellytetään jatkuvatoimisuutta ja luotettavuutta tilanteessa, jossa sekä kemialliset että fysikaaliset tekijät asettavat omat haasteensa.

Ensimmäinen askel, talteenotto

Ensin on ratkaistava, miten hiilidioksidin talteenotto tehdään. Nykyisellään sementti- tehtaan savukaasun hiilidioksidipitoisuus on alle 20 %, suurimman osan ollessa polttoilman tyyppä. Tämä savukaasu on sellaisenaan liian laimeaa hyödynnettäväksi tai varastoitavaksi, joten hiilidioksidi on saatava eroteltua. Se voidaan tehdä, joko osana varsinaista polttoprosessia tai vasta polttoprosessin jälkeen. Polttoprosessin osana tehtävä talteenotto muuttaa sementin valmistusprosessia selvästi

enemmän ja soveltuu siksi parhaiten uusiin tehtaisiin. Polttoprosessin jälkeen tulevien talteenottomenetelmien etuna on se, että niitä voidaan helpommin asentaa myös olemassa oleviin tehtaisiin.

Polton jälkeisen hiilidioksidin talteenottoa varten on olemassa useita menetelmiä. Eniten tutkitut ovat absorptio kemiallisilla liuottimilla (MEA, monoetanoliamiini) ja kiinteillä sorbenteilla (CaO, kalsiumoksidi). Molemmissa menetelmissä hiilidioksidi erotetaan savukaasusta ensimmäisessä vaiheessa sitomalla tai liuottamalla se toiseen aineeseen ja toisessa vaiheessa toistetaan vastakkainen reaktio, eli vapautetaan puhdas hiilidioksidi uudelleen.

Molemmille menetelmille yhteistä on myös se, että niihin liittyvät kemialliset reaktiot tarvitsevat ylimääräistä energiaa lämmön muodossa ja että käytetty kemikaali (liuotin tai sorbentti) ajan myötä kontaminoituu ja pitää uusia.

Myös osana polttoprosessia tehtävään hiilidioksidin rikastukseen ja talteenottoon on olemassa useita menetelmiä. Itse polttoprosessia voidaan esimerkiksi muuttaa niin, että poltossa käytetään puhdasta happea tavanomaisen ilman sijaan. Tällöin muodostuvien

3 Kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt läpileikkauksena yhdeltä vuodelta. Laskennan tulos on esitetty kt CO₂-sisältäen käyttövaiheen energiapäästöt Sankey-kuviona.

Infograafin kuvaajan "rakennusluokittelu" on esitetty pääasiallisen rakennusmateriaalin mukaisesti, jolloin esimerkiksi betonirakennusten lukemaan 1358 sisältyvät tätä rakennusryhmää edustavien rakennusten kaikkien materiaalien päästöt. Tästä syystä kuvaajan pohjalta ei voida tehdä päätelmiä suoraan eri rakennusmateriaalien päästöistä. On myös huomattava, että eri rakennustyyppihin sisältyvät erilaiset määrät rakennuksia ja että eri materiaaleista tehdään tyyppillisesti erilaisia ja erilaisiin käyttötarkoituksiin tarkoitettuja rakennuksia.

4 Hiilidioksidi voidaan myös sitoa pysyvästi erilaisiin mineraaleihin tai takaisin betoniin.

Merkittävä rooli kiertotaloudessa

Finnsementti

- Raaka-aineena hyödynnetään vuosittain 260 000 t teollisuuden jätteitä tai sivutuotteita.
- Kierrätysraaka-aineiden osuus 15 %
- Polttoaineena hyödynnetään vuosittain 85 000 t kierrätyspolttoainetta
- Kierrätyspolttoaineiden osuus 40 %



5 Suomen sementtitehtaat sijoittuvat kansainvälisissä päästövertailuissa kärkisijoille. Kuvassa Finnsementin Lappeenrannan tehdas.

6 Betonin valmistuksen hiilidioksidipäästöt ovat pääosin peräisin sementin valmistuksesta. Suomen vuosittaisista kokonaispäästöistä, sementin valmistuksen osuus on 1,6 prosenttia.

savukaasujen määrä pienenee merkittävästi ja hiilidioksidin osuus savukaasussa kasvaa. Polttoaineet voidaan myös korvata kokonaan ja tuottaa prosessissa tarvittava lämpö sähkön avulla. Tällöin savukaasut sisältävät vain kalkkikiven kalsinoinnista muodostuvaa puhdasta hiilidioksidia. Nämä menetelmät muuttavat sementin valmistusprosessia merkittävästi ja todennäköisesti myös valmistettava lopputuote muuttuu tällöin jossain määrin.

Sähköllä kalsinoiminen on järkevää vain sillä edellytyksellä, että käytettävissä on riittävästi hiilivapaasti tuotettua sähköä.

Artikkelin lopussa on esitelty tarkemmin *LEILAC-hanke*, jossa tutkitaan hiilidioksidin talteenottoa osana varsinaista polttoprosessia.

Tällä hetkellä tutkitaan monia eri vaihtoehtoja, tässä artikkelissa on esitelty näistä vain muutama. Tavoitteena on löytää vähintään yksi kaupallisesti toimintakykyinen ratkaisu, mutta mielellään useita käyttökelpoisia vaihtoehtoja, jotka soveltuvat eri kokoisten ja näköisten tehtaiden käyttöön.

Toinen askel, hyötykäyttö tai pysyvä varastointi

Hiilidioksidin nesteytyminen on välivaihe, joka tarvitaan, jos hiilidioksidia ei käytetä sen syntypaikalla, vaan se siirretään muualle, joko hyötykäyttöä tai pysyvää varastointia varten. Nesteytetty hiilidioksidi voidaan kuljettaa laiva- tai maantiekuljetuksina tai siihen tarkoitukseen erityisesti suunnitellussa kaasuputkiverkostossa. Nesteytys tehdään paineistamalla kaasu nesteeksi tai jäähdyttämällä se nesteeksi perinteisessä jäähdytyspiirissä.

Hiilidioksidia voidaan hyödyntää erilaisissa käyttötarkoituksissa, joiden elinikä, eli hiilidioksidin sidonta-aika vaihtelee. Siitä voidaan valmistaa synteettistä polttoainetta, erilaisia kemikaaleja, polymeerejä, puhdasta hiiltä tai käyttää sellaisenaan kaasuna kasvi-

huoneissa tai hiilihapotetuissa juomissa. Liikennepolttoaineet ovat näistä ylivoimaisesti suurin käyttökohde.

Liikennepolttoaineena hiilidioksidin sidonta-aika on lyhyt, mutta siinä on silti merkittävä päästövähennyspotentiaali. *Mika Anttonen*, ST1:n hallituksen puheenjohtaja, on useasti esittänyt, että maailman riippuvuus öljystä säilyy ja kasvaa, niin kauan kun lentokonepolttoaine valmistetaan öljystä. Lentokerosiini valmistetaan öljyjalostuksen kevyimmistä jakeista, jolloin samasta prosessista saadaan samalla kertaa raaka-aineet kaikkiin muihinkin öljytuotteisiin, ikään kuin kaupan päälle. Maailman öljynkulutus ja niistä syntyvät päästöt, voivat vähentyä vasta sitten, kun lentämisen vähenee merkittävästi tai lentokerosiinille löytyy vaihtoehto. Hiilidioksidista valmistettu synteettinen polttoaine voi olla tähän ratkaisu.

Power-to-X (P2X) toteutettavuushankkeessa tutkitaan teollisen mittakaavan pilottilaitosta, jossa tuotettaisiin hiilineutraaleja liikennepolttoaineita. Hanketta on esitelty tarkemmin tämän artikkelin lopussa.

Hiilidioksidin hyötykäyttömahdollisuuksia on hiilidioksidin muodostumiseen verrattuna vähemmän. Näin ollen myös hiilidioksidin pysyvä varastointi on tarpeen. Hiilidioksidin geologisella varastoinnilla tarkoitetaan varastointia, jossa nestemäiseksi paineistettu hiilidioksidi pumpataan tyhjentyneisiin öljy- ja kaasuesiintymiin, satojen metrien syvyyteen.

Öljy ja maakaasu ovat vastaavalla tavalla varastoituneena nestemäisinä kallioperän huokosiin. Hiilidioksidi pumpataan vähintään 800 metrin syvyyteen, jolloin vallitseva paine ja lämpötila saavat sen pysymään nestemäisenä. Esiintymä on tiivistettävä niin, ettei hiilidioksidi pääse kohoamaan ylöspäin, sillä ylempänä kuin 800 metrin syvyydessä neste muuttuu takaisin kaasuksi. Menetelmän haasteena on, että hiilidioksidi todella saadaan eris-

tettyä kohteeseen tiiviisti ja pysyvästi, ja että kohde on seismisesti riittävän vakaata. IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) arvioi, että geologisen varastoinnin päästövähennyspotentiaali on hyvä ja että se menetelmänä "todennäköisesti" ylittää 99 prosentin CO₂-pidätyskyvyn yli 1000:n vuoden aikajaksolla.

NORCEM-hanke on maailman ensimmäisen täyden mittakaavan hiilidioksidin talteenotto- ja varastointihanke sementtitehtaalla. Hanketta tarkastellaan tarkemmin tämän artikkelin lopussa.

Hiilidioksidi sitoutuu betoniin

Hiilidioksidi voidaan myös sitoa pysyvästi erilaisiin mineraaleihin tai takaisin betoniin. Mineraaleihin sitomista haittaa toistaiseksi se, että siitä syntyy suuria määriä materiaalia, jolle ei vielä ole kannattavaa käyttötarkoitusta.

Betoni uudelleen karbonatoituu luonnostaan, kun kalkkikivestä aikanaan kalsinoitumisessa irronnut hiilidioksidi sitoutuu takaisin betoniin. Hiilidioksidilla kovettamisessa hyödynnetään tätä betonin hiiliinielumuinaisuutta heti valmistusvaiheessa, eikä vasta betonirakennuksen elinkaaren jälkeen. Tämä soveltuu menetelmänä erityisesti raudoittamattomille betonituotteille.

Betonin hiiliinielumuinaisuuden hyötykäytön optimoiminen, sekä betonin valmistusvaiheessa että murskatulle betonille, onkin betoniteollisuudelle merkittävä mahdollisuus betonin hiilijalanjäljen pienentämiseksi.

Tästä tuli tuhti tietopaketti sementin teknologioikasta. Päällimmäiseksi muistikuvaksi toivon jäävän tiedon siitä, että sementin ja betonin tulevaisuus on valoisa. Yhteistyöllä teemme huiman harppauksen kohti entistä kestävämpää yhteiskuntaa.



5

6



Liisa Takala

LEILAC

LEILAC (Low Emissions Intensity Lime And Cement) on Euroopan unionin Horizon 2020 tutkimus- ja innovaatiohanke. Kyseessä on viisivuotinen hanke (2016–2020), jonka budjetti on 21 miljoona euroa. Hankkeen isäntänä toimii Heidelberg Cement:n tehdas Lixhessä, Belgiassa. Tehtaalle on rakennettu hiilidioksidin talteenottoyksikkö, jonka avulla demonstroidaan epäsuoraa kalsinoimista.

LEILAC hankkeessa hiilidioksidin talteenotto tehdään osana varsinaista polttoprosessia. Siinä osa uuniin syötetävästä raaka-aineesta lämmitetään epäsuorasti väliseinän läpi, jolloin kalkkikiven kalsinoinnista syntyvä hiilidioksidi voidaan ottaa puhtaana talteen, muusta savukaasusta erillään. Pilottilaitoksen kautta uuniin voidaan syöttää 10 tonnia tunnissa raaka-ainetta, josta muodostuu noin 5 prosenttia tehtaan hiilidioksidipäästöstä. Laitos otettiin käyttöön kesällä 2019. Pilottihankkeessa on tähän mennessä pystytty osoittamaan teknologian ja valittujen materiaalien toimivuus. Hankkeessa on saavutettu yli 95 prosentin puhtausaste hiilidioksidille.



7

7 LEILAC hanke Lixhe, Belgia. Sementtiuunin esilämmitysjärjestelmän viereen on rakennettu 60 m korkea reaktoritorni, jonka läpi osa raaka-aineesta syötetään uuniin.

Power-to-X

LUT-yliopisto ja ryhmä yrityksiä ovat käynnistäneet synteettisten polttoainoiden pilottilaitoksen toteutettavuustutkimuksen (feasibility study). Kyseessä on power-to-x-teknologiaan (P2X) perustuva teollisen mittakaavan pilottilaitos, jossa tuotettaisiin hiilineutraaleja liikennepolttoaineita.

Pilottilaitos sijoittuisi Joutsenoon, ja suunnitellun tuotannon pääraaka-aineet ovat Finnsementin Lappeenrannan sementtitehtaan päästöistä talteen otettava hiilidioksidi ja Kemiran tehtaan tuotannon ylijäämävetä. Hiilidioksidi ja vety yhdistetään kemiallisessa synteetissä, josta saadaan synteettistä metanolia. Joutsenon pilottilaitoksen selvitystyössä tarkastellaan ensisijaisesti juuri liikennepolttoainoiden, eli bensiinin, lentokerosiinin ja dieselin valmistuksen mahdollisuutta ja kannattavuutta.

LUT vastaa selvitystyön käytännön toteutuksesta. Selvitys käsittää muun muassa laitoksen investointi- ja käyttökustannusten laskennan, tuotantoprosessien



8

mallinnuksen, hiilineutraalien polttoainoiden kysyntäennusteet, vaihtoehtoisten liiketoimintamallien suunnittelun, sekä tuotannon ja eri lopputuotteiden kestävyystarkastelun.

Yhteistyössä mukana ovat Finnsementin ja Kemiran lisäksi mm. Neste, St1, Wärtsilä ja Finnair.

8 Lappeenrannan sementtitehdas. Lappeenrannan sementtitehtaan päästöistä talteenotettu hiilidioksidi ja Kemiran tehtaan ylijäämävetä ovat kenties tulevaisuuden polttoaineen raaka-aineita.

NORCEM

Norjan Brevikissä on suunnitteilla maailman ensimmäinen täyden mittakaavan hiilidioksidin talteenotto- ja varastointihanke sementtitehtaalla. Norjan valtiolta odotetaan rahoituspäätöstä vuoden 2020–21 aikana, jolloin hankkeen toteutus voi käynnistyä vuonna 2024.

Suunnitelmissa on, että hiilidioksidin talteenotto suoritetaan polttoprosessin jälkeisellä MEA-absorptio menetelmällä. Hiilidioksidin talteenottoa ja nesteyttä-

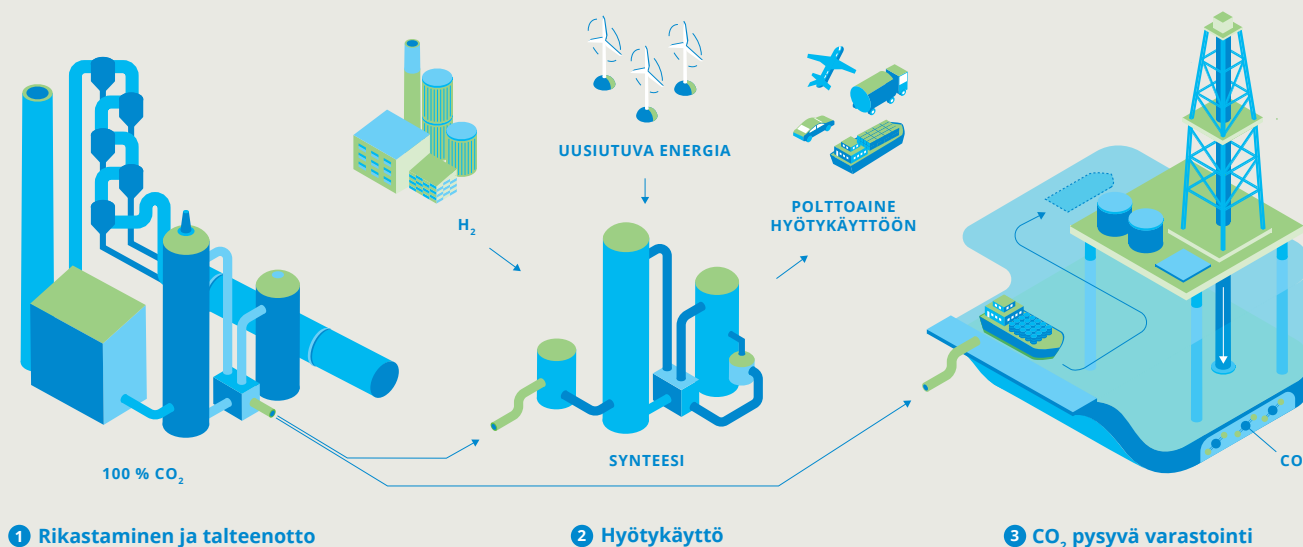
mistä varten olemassa olevan sementtitehtaan viereen rakennettaisiin lähes pienen tehtaan kokoinen uusi laitos, jonka kapasiteetti olisi 400 000 tonnia hiilidioksidia vuosittain, eli noin 50 prosenttia tehtaan päästöistä.

Nestemäinen hiilidioksidi kuljetettaisiin laivalla Norjan länsirannikolle välivarastointiin, josta se siirrettäisiin putkilinjan kautta Pohjanmeren vedenalaisiin öljykenttiin pysyvää varastointia varten.

9 Sementin valmistuksen teknologioikka koostuu monesta vaiheesta; hiilidioksidin talteenotosta, nesteyttämisestä, kuljettamisesta ja hyötykäytöstä tai pysyvästä varastoinnista. Norjassa on suunnitella maailman ensimmäinen täyden mittaluokan demonstraatiohanke sementtitehtaalla.

Sementin valmistuksen teknologioikka

Finnsementti



9

Concrete industry continues to focus efforts on reducing emissions

The emissions of carbon dioxide originating from the manufacture of building materials account for less than five percent of the total annual emissions in Finland. Cement manufacture makes up 1.6 percent of this.

Finnish cement industry has been working on reducing emissions for a long time. There are four short-term solutions to reduce emissions: Replacing part of the limestone with alternative raw materials, moving over to recycled fuels, such as biofuels, improving the energy efficiency of kilns, and compounding of cements. Finnsementti has already put these options into practice and develops them constantly. Up to now, Finnsementti has managed to reduce the specific emissions of cement by 22 percent from the 1990 level.

Since more than half of the emissions resulting from cement manufacture are related to raw materials which cannot be replaced, it will be necessary to implement the recovery of carbon dioxide in the future. Various methods are currently being studied for the recovery, utilisation and storage of carbon dioxide. When implemented, this technology leap could bring an up to 80 percent reduction in emissions by the year 2050.

The leap in technology is not easy. But the work is ongoing and the European cement industry has joined forces to make it happen.

The development process of a new technology comprises nine maturity levels, starting with the presentation of the basic principles and ending with large-scale industrial series production of the new technology. The first maturity level is based on chemistry supported

by information technology. The technical solutions of the process are then outlined at the second level. The first test in practice is implemented by building in laboratory conditions a pilot plant, which is then developed into a test plant of a larger scale. If the results continue to be promising, it is time to move over to a factory environment. Often a good alternative is provided by a mobile plant which is easy to move around. The next level, which precedes the final, full-scale factory solutions, comprises demonstration projects used to prove the functioning of the technology in practice, in factory conditions. The technology leap under way in cement manufacture has now progressed to the first demonstration projects.