

Betonimurskeen piilevä potentiaali

Tia Härkönen, toimittaja

Ympäristöhaasteiden jatkuvasti kasvaessa ja kiertotalouden yleistyessä CO₂-crete Solution -tutkimushankkeessa selvitetiin, millaisia uusia ratkaisuja betonin karbonatisoituminen voisi tuoda tullessaan ilmastonmuutoksen torjumiseksi.

Betonin karbonatisoituminen on ilmiönä tunnettu jo pitkään. Silti siitä puhutaan edelleen liian vähän, ottaen huomioon, miten merkittävä vaikutus betonin karbonatisoitumisella voi olla ilmastonmuutoksen torjumisessa.

EU:n Life-ohjelmasta CANEMURE-hankkeen osana rahoitusta saaneessa Rakennusteollisuus RTT ry:n koordinoimassa CO₂-crete Solution -projektissa on valokeilaan nostettu betonirakenteiden ja -rakennusten hiilensidontakyky. Projektin päättyessä lokakuun lopussa on betonista erinomaisena hiilinieluna yhä enemmän näyttöä. Ilmastonmuutoksen torjumisen kannalta karbonatisaatio ilmiönä on oikeasti merkittävä, koska koko olemassa oleva betonirakennekanta sitoo jatkuvasti hiilidioksidia siltä osin, kun se on kosketuksissa ilmaan.

”Hiilidioksidi pääsee betoniin vain ilmakontaktissa olevasta pinnasta ja koska karbonatisoituminen siirtyy rakennusten pinnasta syvemmälle, ilmiö hidastuu ajan myötä, joten esimerkiksi betonikerrostalo sitoo noin 10–15 % käytetyn betonin kalsinoinnin päästöistä käyttökänsä aikana. CO₂-crete Solution -projektissa näkymää lavennettiin, sillä kun betonirakenteen käyttökäsi syystä tai toisesta loppuu, päätyy purettu betonimateriaali yleensä murskeeksi. Tällöin paljastuu jopa yli 1000-kertaisesti lisää betonipintaa, joka voi karbonatisoitua ja sitoa itseensä hiilidioksidia. Eli huomattavasti suurempi määrä hiilidioksidia saadaan sidottua pois ilmakehästä”, kertoo projektipäällikkö *Tommi Kekkonen*.

Tarkat tilastot Suomen betonikannasta autoivat mallinnuksessa

Projekti alkoi vuonna 2018 kartoittamalla aiemmin tehtyjä tutkimuksia betonin hiilensidonnasta ja niiden laskentamenetelmistä.

”Betonin kierrätysvaihe on useassa tutkimuksessa tunnistettu oleelliseksi hiilensidonnann vaiheeksi, mutta laskenta on jäänyt hyvin teoreettiseksi ja kevyeksi paremman tutkimustiedon puuttuessa”, Kekkonen avaa.

Suomalaistutkimuksen yksi valttikortti oli tarkat tilastot Suomen rakennetusta ympäristöstä, joten betonikantaa päästiin analysoida tarkasti. Suomen betonikanta vuonna 2018 oli noin 340 miljoonaa kuutiota betonia, josta 241 miljoonaa kuutiota oli raken-

1 Kuvituskuva. Kierrätysbetonia tehokkailla kierrätystavoilla.

2 Kuvituskuva, Betonimursketta voidaan käyttää kivikoreissa tukirakenteena

3 Kuvituskuva, Betonimurske toimii hienosti maanrakennuksessa myös pientaloprojekteissa

2
3

Tommi Kekkonen



Maritta Kõivisto / Betoniteollisuus ry

1



Betonin hiilensidonta



4

nuskannassa ja 98 miljoonaa infrastruktuurissa. Mallinnuksen teki Forecon Oy Suomen rakennus- ja infrastruktuurikannan kullekin vuosikymmenelle tyypillisten rakenteellisten elementtien mukaan. Tätä vertailtiin Suomen sementtimyyntitilastoihin. Mallinnuksen korrelaatio osoittautui erinomaiseksi, ja saadut tulokset voidaan katsoa erittäin tarkoin.

”Tuloksena saimme, että Suomen betonikanta sitoo pysyvästi noin 3,8 miljoonaa tonnia hiilidioksidia. Luku kasvaa vuosittain, eli betonikannan hiilinielu on suunnilleen 56 000 tonnia hiilidioksidia, mikä vastaa seitsemää prosenttia Suomen sementtiteollisuuden vuosipäästöistä”, Tommi Kekkonen toteaa.

Laskenta ei sisältänyt vielä purkubetonin osuutta, jonka vuotuinen hiilensidontapotentiaali on noin 76 000 tonnia.

Murskekasoista mittaa

Konkreettisen tekemisen äärelle päästiin syksyllä 2021 Turun Topinojalle rakennetussa tutkimusympäristössä, jossa selvitettiin karbonatisoitumisen olosuhteita betonimurskekasassa. Tutkimusalue oli käytössä Lounais-Suomen Jätehuollon hallinnoimalta Topinpuiston Kierrätyskeskukselta. Betonimurskeen toimitti alueella toimiva Ekopartnerit. Tutkimuslaitteisto oli VTT:n suunnittelema ja rakentama. Tutkimuksen mittausjakso kesti vuoden ja päättyi syyskuun lopussa 2022.

Neljästä erilaisesta kasasta mitattiin hiilidioksidipitoisuutta, lämpötilaa, kosteutta ja painetta, kustakin neljältä eri syvyydeltä. Koostumukseltaan kaksi kasaa olivat 0–90 mm raekoolla ja kahdesta hienempi aines oli seulottu pois, jolloin sen raekoko oli 20–90 mm. Kaksi kasoista suojattiin suoralta sateelta. Kaksi metriä korkeissa kasoissa mittauspisteet olivat 0,25 m, 0,5 m, 1 m ja 2 m etäisyydellä kasan pinnasta.

”Katteella vaikutettiin betonin sisäiseen kosteuteen, mikä vaikuttaa merkittävästi karbonatisoitumisen etenemiseen. Poistamalla murskeesta hienoaines pyrittiin puolestaan parantamaan ilmankiertoa kasassa, jotta suurempi osa betonipinnoista pääsisi kosketuksiin ilman kanssa”, Kekkonen huomioi.

Tavanomaisen 0–90 mm murskekasan sisäinen hiilidioksidipitoisuus oli mittaus­syvyydestä riippuen 20–130 ppm, eli odotetun selkeästi ilmasta mitatun referenssipitoisuuden alapuolella. Syvyyksillä 0,25 m–1 m CO₂-pitoisuus pysyi 100 ppm:n tuntumassa ja aivan kasan pohjallakin oli selkeästi hiilidioksidia.

”Karbonatisaatiolle oleellista hiilidioksidia siis löytyi myös syvältä murskemassasta, vaikka alhainen pitoisuus hidastaakin reaktiota ja 20 ppm:n pitoisuus vastaa ”vain” 20 prosentin karbonatisaationopeutta suoraan ilmakontaktiin verrattuna.

4 Infograafissa kuvataan hiilidioksidin matkaa kalkkikivilouhoksesta, sementtiuunin kautta aina takaisin betoniin.

5 Topinojan mittausympäristössä käytetty anturi, jolla mitattiin mm. hiilidioksidipitoisuuksia betonimurskekasan eri syvyyksiltä.

6–7 Topinojan mittausympäristön rakentamista. Kaksi kasoista oli fraktiltaan 0–90 mm ja kaksi kasaa olivat 20–90 mm. Kaksi kasaa oli suojattu suoralta sateelta (kuva 7). Hiilidioksidipitoisuuttamitattiin kustakin kasasta neljältä eri syvyydeltä.

Tommi Kekkonen



5

Tommi Kekkonen

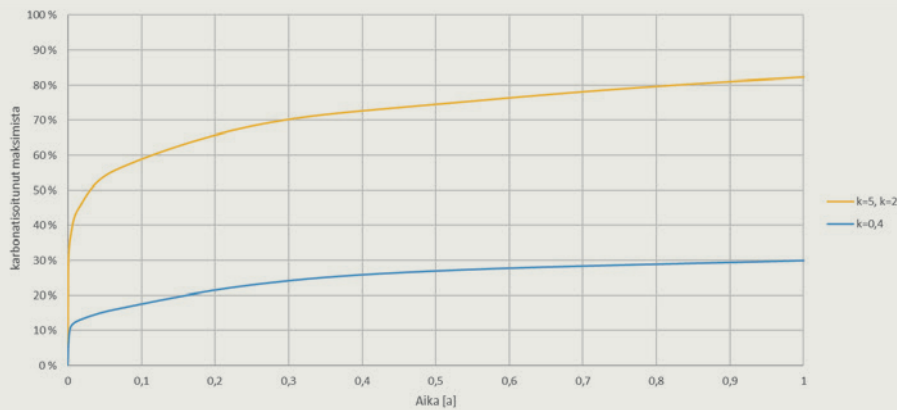


6

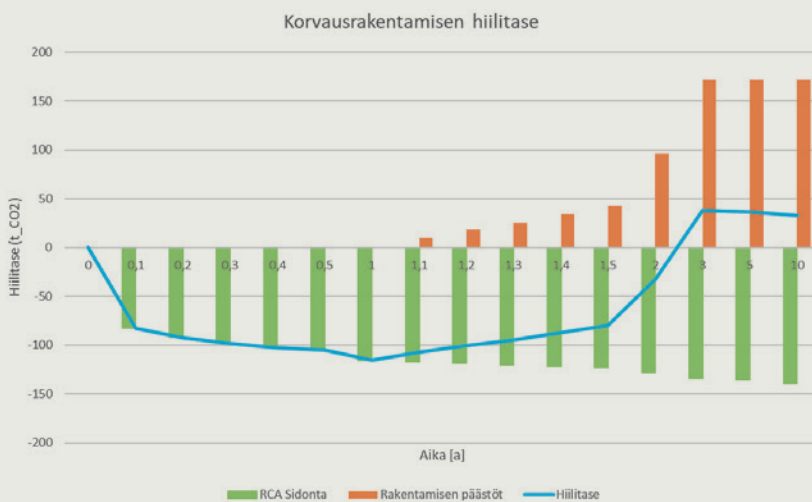
Tommi Kekkonen



7



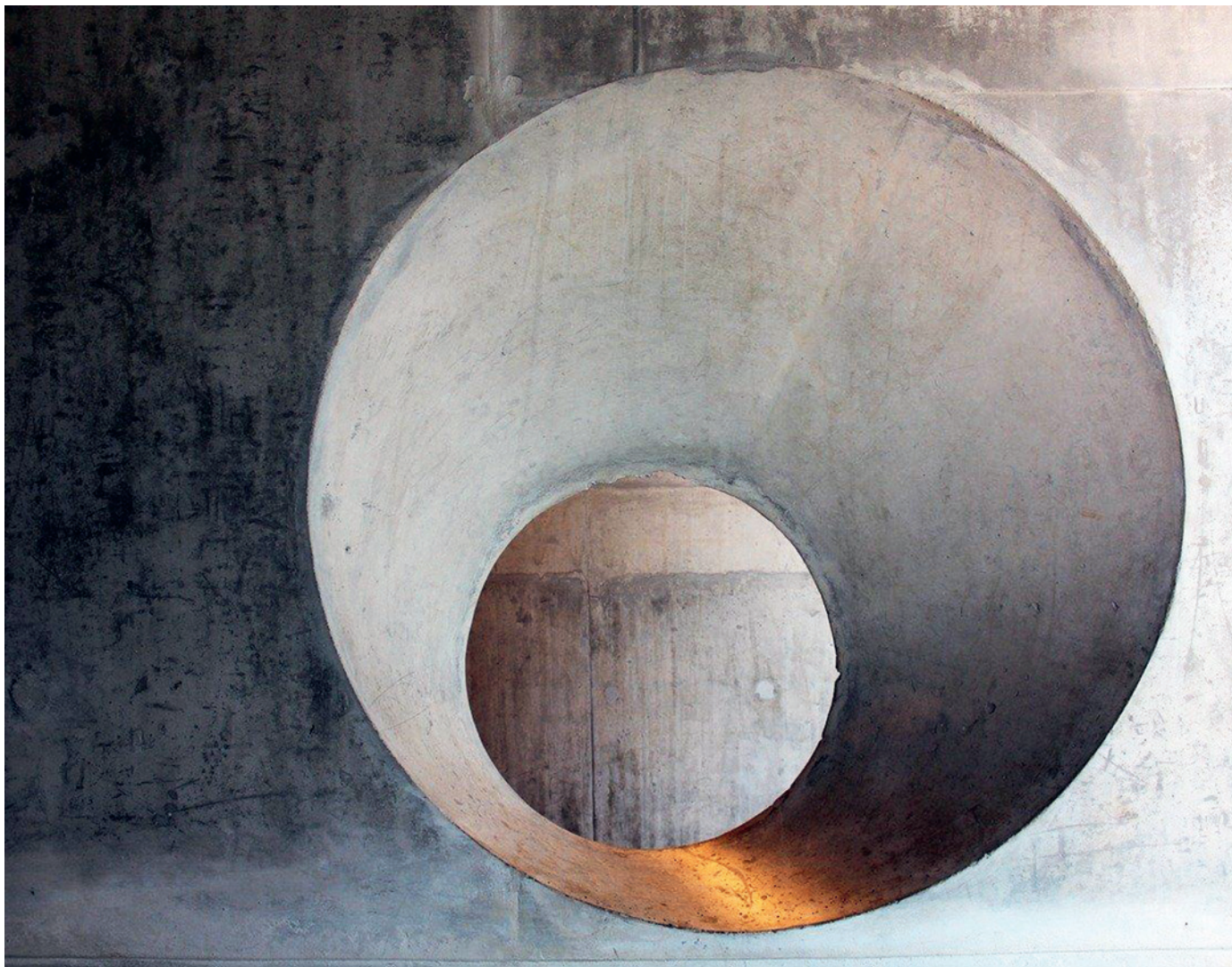
8 Kuvaajassa on mallinnettuna sinisellä käyrällä tavanomaisesti, isossa massassa taivasalla varastoidun 0–45 mm betonimurskeen hiilensidontaa suhteessa sen maksimaaliseen hiilensidontakykyyn. Keltainen käyrä kuvaa projektissa kehitetyllä metodilla (pienet (<8 mm) ja suuret (<8 mm) fraktiot seulottu ja säilötty erillään suojassa suoralta sateelta) varastoidun vastaavan murskeen hiilensidontaa ensimmäisenvuoden ajalta.



9 Skaalan hahmottamisen avuksi kuvaajassa on mallinnettu korvaavan rakentamisen tilannetta, jossa vanha, stereotyyppinen (Foreconin betonikanta-analyysin mallin mukainen) asuinkerrostalo on purettu ja sen purkubetoni on kierrätetty projektissa kehitetyllä metodilla. Purettu rakennuksen tilalle rakennetaan uusi identtinen asuinkerrostalo vähähiilisellä (CEM III/B) betonilla. Vihreä pylväikkö kuvaa purkubetonin hiilensidontaa. Punainen pylväikkö kuvaa rakentamisen aiheuttamia päästöjä. Sininen käyrä on rakennushankkeen hiilitase, joka jää n. 23 %:in rakentamisen aiheuttamasta hiilipiikistä projektin lopussa.

Tiesitkö?

Hiilen sitoutumisen aiheuttavaa ilmiötä kutsutaan karbonatisoitumiseksi. Karbonatisaatioissa betonin sideaine, sementti, reagoi ilman hiilidioksidin kanssa muuttuen takaisin lähtöaineekseen, kalkkikiveksi, joka sitoo hiilen takaisin. Karbonatisoituminen alkaa heti betonirakenteen valmistuttua ja jatkuu koko rakenteen käyttöajan ajan. Kun rakennus puretaan, paljastuu murskattaessa betonista merkittävästi karbonatisoitumatonta pinta-alaa lisää ja hiilen sidonta tehostuu huomattavasti. Ilmiö on tunnettu jo vuosikymmeniä, mutta sitä ei ole juuri osattu ottaa huomioon ilmahan hiilidioksidipitoisuutta alentavana tekijänä. Ilmastonmuutoksen torjumisen kannalta ilmiö voi olla merkittävä, koska koko olemassa oleva betonirakennekanta sitoo jatkuvasti hiilidioksidia siltä osin, kun se on kosketuksissa ilmaan. Myös monessa muussa rakennusmateriaalissa tapahtuu karbonatisoitumista, mutta betonissa se on ilmiönä merkittävä.



10

10 Betoniteollisuus ry:n koordinoimassa CO₂crete Solution -projektissa tutkittiin hiilidioksidin sitoutumista betonirakenteisiin.

Tuore betonimurske on erittäin "imukykyinen"

Seulotussa murskekasassa ilma kiersi selkeän tehokkaasti ja kaikilta syvyyksiltä mitatut CO₂-pitoisuudet olivat lähellä referenssiä. Kun hienompi aines oli seulottu pois, olivat käytännössä kaikki partikkelit ilmakontaktissa ja näin optimiolosuhteissa hiilensidonnan kannalta.

"Hienomman aineksen seulominen sai aikaan homogeeniset olosuhteet karbonatisoitumiselle koko massa. Ensimmäisen kuukauden tuoreen betonimurskeen aiheuttama "tiheä imu" näkyi tuloksissa selkeästi", Kekkonen kertoo.

Kekkonen kuvailee, miten tiheän imun -vaihe tuoreessa seulotussa betonimurskekasassa reagoi todella herkästi sitoen ilmakehän hiilidioksidia, jolloin pitoisuus putosi väliaikaisesti lähelle nollaa. Kun uusi ilmassa taas tuulen mukana pääsi kiertämään kasaan, nousi CO₂-pitoisuus taas hetkeksi, kunnes betoni satoi sen jälleen itseensä. Tämä vaihe kesti noin kuukauden, jonka jälkeen pitoisuudet stabiloituivat vakiotasolle.

"Betonimurskemassan sisällä olevat hiilensidonnalle oleelliset olosuhteet, eli hiilidioksidipitoisuus ja kosteus, ovat olleet enemmän tai vähemmän tuntemattomia. Tämä on kuitenkin tärkeää tietoa, kun optimoidaan kierrätysbetonin varastointia ja käyttöä myös hiilinieluna. Topinojalla selvitimme juuri näitä olosuhteita murskemassassa sekä miten näitä olosuhteita voisi helposti parantaa. Suomessa ilmankosteus on keskimäärin 80 %, mikä on karbonatisaatiolle optimaalinen. Aiheesta tehdyn kirjallisuuskartoituksen perusteella saatoimme myös huomioida, että suoralta sateelta suojaaminen nopeuttaa karbonatisaatiota 2,5-kertaisesti verrattuna suorassa sateessa köllöttelyyn", hän sanoo.

Kaikkiin mittapisteisiin oli asetettu tunnettu betoninäyte, josta mitattiin karbonatisoituneen kalsiumkarbonaatin pitoisuus. Vuoden altistumisaika näytteille oli varsin lyhyt ja näytteitä oli vähän, mutta saatu data tuki olosuhdemittausten tulosta. Seulottujen kasojen referenssinäytteet olivat sitoneet



11

enemmän hiilidioksidia kuin hienoaineksen sisältävien kasojen.

”Manipuloimalla betonimurskeen partikkelijakaamaa suuressa massassa pystytään vaikuttamaan kasan sisäisiin olosuhteisiin ja näin edistämään karbonatisaatiota. Myös tavanomaisessa murskeessa, jossa koko partikkelijakaama on läsnä, hiilidioksidia on massan syvemmissäkin kerroksissa selkeästi, joskin karbonatisoituminen on hitaampaa”, Tommi Kekkonen summaa.

Murskebetonin muitakin käyttötapoja selvitetään

CO₂ncrete Solution -projektissa selvisi, että Suomessa noin 10 prosenttia sementtiteollisuuden päästöistä sitoutuu vuosittain raken-

nuskantaan, ja tällä hetkellä Suomen olemassa olevaan betonirakennuskantaan on sitoutunut pysyvästi lähes 4 megatonnia hiilidioksidia. Sikäli tutkimus haastaa käsityksen betonista ”ilmastopahiksena” ja tuo uutta näkökulmaa keskusteluun betonirakentamisen ympäristövaikutuksista.

”On selvää, että rakennetun ympäristön betonikanta toimii merkittävänä hiilivarastona ja -nieluna ja että myös purkubetonilla on todistetusti huomattava hiilensidontapotentiaali. Lisäksi selvisi, että betonimurskeen hiilensidontaan voidaan varsin yksinkertaisesti vaikuttaa ja tehostaa sitä huomattavasti hyvinkin yksinkertaisesti.”

Saatujen tulosten perusteella on herännyt kysymyksiä, miten betonimursketta voisi hyö-

dyntää muullakin tavalla kuin tutusti rakenteiden kantavissa ja jakavissa kerroksissa sekä erilaisissa täyttötöissä.

Yksi sellainen on betonirakennuksesta betonimurskeena kiertoön saadun aineksen käyttö esimerkiksi maanparannukseen.

”Åbo Academiassa on jo tekeillä jatkotutkimus, jossa selvitetään betonimurskeen hienoaineen käyttöä maaperän neutraloinnissa ja stabiloinnissa”, Tommi Kekkonen hymyilee.

Betoniteollisuus ry:n koordinoimassa **CO₂ncrete Solution** -projektissa tutkittiin hiilidioksidin sitoutumista betonirakenteisiin sekä kehitettiin uusia kierrätysmenetelmiä, joissa voidaan hyödyntää betonin karbonisoitumista. Osana projektia analysoitiin Suomen olemassa oleva betonikanta ja laskettiin siihen sitoutunut hiilidioksidi. CO₂ncrete Solution (2018–2024) on ollut osa EU:n Life-ohjelmasta rahoitusta saanutta *Kohti hiilineutraaleja kuntia ja maakuntia (CANEMURE)* -hanketta, jonka tavoitteena on edistää ilmastonmuutoksen hillinnän käytännön toimia Suomessa.

Lisätietoja: <https://concretesolution.fi/> ja <https://hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Canemure>

11 Betoniteollisuudessa hyödynnetään omien tehtaiden betonihukkaa ja sekundatuotantoa kierrätysmurskeena uusien pihakivien valmistukseen. Betonirakennuksen tultua elinkaarensa päähän betoni murskataan uutta käyttöä varten. Murskauksen seurauksena betonin karbonatisoitumiselle altis pinta-ala kasvaa, minkä vuoksi hiilidioksidin sitoutuminen betoniin jatkuu nopeutuen merkittävästi.

12 Betonin murskausta ja kierrätystä.



12

The hidden power of recycled concrete to take on climate change

The CO₂ncrete Solution project investigated novel solutions for concrete to work as a carbon sink and storage.

The carbonation of concrete has been known as a phenomenon for a long time but is still somewhat unknown in general – especially when it comes to climate change. The CO₂ncrete Solution sub-project, coordinated by RTT, and part of the CANEMURE-project by EU's Life-program, focused on the carbon sequestration capacity of concrete structures and recycled concrete.

Accurate statistic on Finland's concrete stock

The project was begun in 2018 by mapping previous studies on the carbon sequestration of concrete and associated calculation methods. The recycling phase of concrete has been identified in several studies as an essential phase of carbon sequestration, but computation has remained very theoretical and light due to the lack of better research data.

An accurate statistic on the Finnish built environment enabled the modeling of the Finnish concrete stock on a previously unseen level. Forecon Oy analyzed the built environment according to different building types and structures typical of each decade to determine the amounts and environments of concrete in Finland. Data from the analysis was used to calculate the carbon storage and sink of the Finnish concrete stock.

As a result, Finland's concrete stock permanently binds approximately 3.8 million tons of carbon dioxide. The figure is growing every year, meaning the carbon sink of the concrete stock is approximately 56 000 tons of CO₂ per year.

Measuring carbonation conditions inside masses of crushed concrete

In the autumn of 2021, a research environment was built in Topinoja, Turku, where the conditions of carbonation in a pile of crushed concrete were studied. Simple procedures to enhance carbonation conditions were carried out to optimize carbon sequestration.

"The sheltering affects the internal moisture of the concrete, which has a significant impact on the progress of carbonation. By removing the finer material from the crushed concrete, the aim was to improve air circulation in the pile for more concrete surfaces to be in contact with air," Project Manager Tommi Kekkonen explains.

The studies revealed that the air clearly circulated efficiently in the screened piles and the CO₂ concentrations measured at all depths were close to the reference value. Once the finer material had been screened out, practically all particles were in contact with air and thus in optimal conditions for carbon sequestration.

"By manipulating the particle distribution of crushed concrete in a large mass, it is possible to influence the internal conditions of the pile and thus promote carbonation. Even in conventional

crushed concrete, where the entire particle distribution is present, CO₂ is clearly present even in the deeper layers of the mass, although carbonation is slower," Kekkonen sums up.

Other uses of crushed concrete are being investigated

The CO₂ncrete Solution project revealed that in Finland, approximately 7% of the cement industry's emissions are sequestered annually into the building stock. About 4 Mt of CO₂ is permanently stored in Finland's existing concrete stock. In this respect, the study challenges the notion of concrete as a "climate villain" and brings a new perspective to the discussion on the environmental impacts of concrete construction.

Based on the results obtained, questions have arisen about how crushed concrete could be utilized in other ways apart from conventional land construction applications.

One example is the use of material recycled from a concrete building as crushed concrete for soil improvement. Åbo Akademi is already conducting a follow-up study to investigate the use of crushed concrete fine matter for soil neutralization and stabilization.

A more extensive article about the study will be published in October in *Betoni Magazine* No. 3/2024.

Link tip:

Read more about the project <https://concretesolution.fi/>