

LOIKKA – Tavoitteena puolittaa betonin hiilidioksidipäästöt



Jouni Punkki

Professori (POP), Betonitekniikka
Aalto-yliopisto
jouni.punkki@aalto.fi

Loikka on Aalto-yliopiston ja teollisuuden yhteishanke betonin CO₂-päästöjen vähentämiseksi. Tavoitteena hankkeessa on ollut puolittaa betonin valmistuksesta aiheutuvat CO₂-päästöt. Nopein ja tehokkain tapa vähentää betonin päästöjä on sideaineiden päästöjen vähentäminen.

Helmikuun 2024 lopussa päättyi betonialan yhteinen LOIKKA-hanke, jonka tavoitteena oli betonin hiilidioksidipäästöjen puolittaminen. Päästöjen näin merkittävä vähentäminen tulee viemään aikaa ja siten tavoitteena on saavuttaa tämä 50% vähennys vuoteen 2028 mennessä. Tavoitteen saavuttaminen tälläkin aikataululla on haasteellista, tarkoitathan se noin 600 000 tn vuosittaista päästövähennystä.

Koska LOIKKA-hankkeen tavoitteena oli saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä varsin nopeasti, tarvitaan toimenpiteitä, jotka voidaan ottaa nopealla aikataululla käyttöön ja lisäksi toimenpiteitä on voitava hyödyntää hyvin laajalti betonialalla. Siten katsottiin, että selvästi potentiaalisin vaihtoehto merkittäviin päästövähennyksiin on masuunikuonan laajamittainen hyödyntäminen. Muilla vaihtoehtoilla ei saavutettaisi riittävän suurta päästövähennystä ja esimerkiksi uusien sideaineiden käyttöön otossa menisi vuosia.

Perinteisen portlandklinkkerin valmistus aiheuttaa valtaosan betonin aiheuttamista päästöistä. Masuunikuonalla voidaan korvata portlandklinkkeriä ja näin vähentää betonin päästöjä. Masuunikuonaa on verrattain hyvin saatavilla, sillä voidaan saavuttaa merkittäviä päästövähennyksiä ja lisäksi masuunikuonan käyttö on nykyisten betoni- ja sementtistandardien mukaista. Eurooppalaiset standardit sallivat korvata jopa 95% portlandklinkkeristä masuunikuonalla. Masuunikuonaa on käytetty betonissa jo kymmeniä vuosia, Keski-Euroopassa 100 vuotta. Toisaalta masuunikuonan

käyttömäärät ja -tavat eivät ole olleet vastaat kuin mitä vähähiilinen betoni edellyttää. Siten masuunikuonan käyttö vähähiilisessä betonissa vaikuttaa betonin ominaisuuksiin, erityisesti betonin alkulujuuden kehitykseen. Lisäksi masuunikuonalla on vaikutuksia betonin säilyvyysominaisuuksiin, erityisesti betonin pakkasuolakestävyyteen. LOIKKA-hankkeen keskeisenä tavoitteena olikin ratkaista edellä mainittuja masuunikuonan tuomia haasteita ja siten helpottaa kuonabetonien laajamittaista käyttöä rakentamisessa.

LOIKKA-hanke koostui Aalto-yliopiston julkisesta tutkimushankkeesta sekä viidestä yrityshankkeesta. Osallistuneet yritykset olivat:

- Betolar Oy
- Elematic Oy
- Finnsementti Oy
- Lammin Betoni Oy
- Joutsenon Elementti Oy

Aalto-yliopiston tutkimushanke ja yrityshankkeet muodostivat yhteisen Business Finland Co-innovation hankkeen, yrityshankkeiden tarkempi sisältö on yritysten sisäistä, luottamuksellista tietoa.

Hankkeen päärahoittaja oli Business Finland RRF ja hanketta rahoitettiin *Vähähiilinen rakennettu ympäristö*-ohjelman kautta. RRF-rahoitus tulee EU:n elpymisvälineestä. Hanketta rahoittivat myös osallistuivat yritykset ja Aalto-yliopiston tutkimushanketta rahoittivat myös Betoniteollisuus ry, Talonrakennusteollisuus ry sekä Väylävirasto. Hank-

keen kokonaiskustannukset olivat 3,4 milj. € ja hanke kesti 2 vuotta.

Viisi osaprojektia

Aalto-yliopiston tutkimushanke jakautui viiteen osaprojektiin:

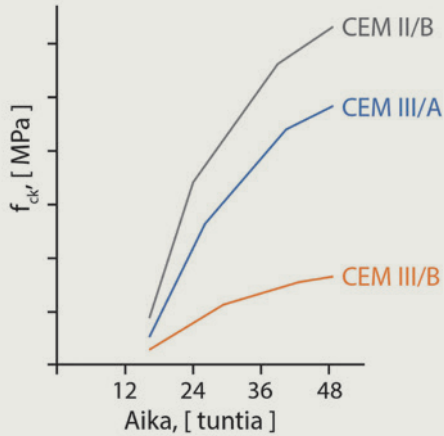
1. Vähähiilisten betonien lujuudenkehitys
2. Vähähiilisten betonien säilyvyysominaisuudet
3. Betonien optimointi CO₂-päästöjen kannalta
4. Vähähiilisten betonien tuotantotekniikka
5. Tulevaisuuden ratkaisut betonin CO₂-päästöjen vähentämiseksi

Kahdessa ensimmäisessä osaprojektissa keskityttiin masuunikuonan käytön aiheuttamiin käytännön haasteisiin. Miten kuonabetonin lujuudenkehitys saataisiin vastaamaan nykyisten rakentamistapojen vaatimuksia. Mikäli vähähiilisen betonin käyttö olennaisesti hidastaa rakentamisprosesseja, vähähiilistä betonin voidaan käyttää vain joissakin käyttökohteissa ja siten vähähiilisen betonin käyttö ei tule

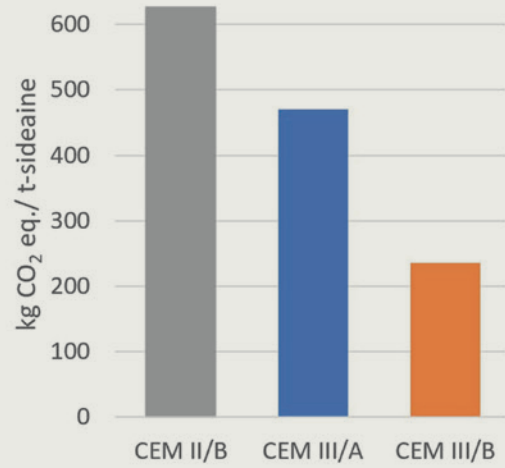
1 LOIKKA-hankkeessa tavoitteena on vähentää betonin CO₂-päästöjä eri betonialan valmistajilla. Kuvassa Lammin Betoni Oy:n harkkojen valmistusta, jossa on tehty toimia vähähiilisyys edistämiseksi.



1



2 Periaatteellinen kuva LOIKKA-hankkeessa tutkittujen sementtien alkulujuuden kehityksestä. CEM II/B edustaa vertailutasoa ja CEM III/A ja CEM III/B tutkittavia vähähiilisiä kuonasementtejä.



3 Tutkittujen sementtien hiilidioksidipäästöt. Lähde: BY-Vähähiilisyysluokitus www.vahahiilinenbetoni.fi

saavuttamaan tavoitetasoa. Myös kuonabetonien säilyvyyssominaisuuksien tuntemisen on tärkeää. On tiedossa, että masuunikuonalla on positiivisia vaikutuksia tiettyihin säilyvyyssominaisuuksiin, mutta masuunikuona tunnetusti heikentää betonin pakkasuolakestävyyttä, mikä on tärkeä ominaisuus erityisesti infra-rakenteissa. Onkin tärkeää tietää esimerkiksi maksimikuonamäärä, jota voidaan käyttää infra-rakenteissa.

Muissa osaprojekteissa keskityttiin enemmänkin muihin mahdollisiin toimenpiteisiin betonin hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Osaprojektissa 5 kartoitettiin kattavasti eri vaihtoehtoja pidemmällä aikavälillä päästöjen vähentämiseksi.

Vähähiilisten betonien lujuudenkehitys

Masuunikuonan osuuden noustessa korkeammaksi lujuudenkehitys muodostuu helposti haasteelliseksi. Normaaliolosuhteissa masuunikuona ei juurikaan anna lujuutta ensimmäisten vuorokausien aikana, lujuudenkehitys on lähes yksinomaan portlandklinkkerin varassa. Ja esimerkiksi CEM III/B-tyyppin sementissä on klinkkeriä vain noin 30% sideaineen määrästä. Myöhemmin masuunikuonalla on positiivinen vaikutus betonin lujuuteen, loppulujuudessa kuonasementti ylittää usein portlandsementin lujuuden.

LOIKKA-hankkeessa tavoitetasoksi asetettiin Finnsementin Oiva-sementin (CEM II/B) lujuudenkehitys. Kyseinen sementti ei ole lujuudenkehitykseltään nopein sementti, mutta nähtiin epärealistiselta tavoitella nopeasti kovettuvien sementtien tasoa. Tavoitteena oli että CEM III/A- (kuonaa noin 40%) ja CEM III/B-tyyppin (kuonaa noin 70%) semen-

teillä voitaisiin saavuttaa vastaava lujuudenkehitys kahden ensimmäisen vuorokauden aikana kuin valitulla vertailusementillä.

Koska masuunikuona hidastaa merkittävästi betonin lujuudenkehitystä, tarvitaan muita toimenpiteitä, joilla masuunikuonan lujuudenkehitystä voidaan nopeuttaa. Tällaisia toimenpiteitä ovat erityisesti terminen ja kemiallinen aktivointi. Myös perinteisiä kiihdyttimiä voidaan hyödyntää. Termisellä aktivoinnilla tarkoitetaan betonin lämpökäsittelyä. Lämpö nopeuttaa sementin reaktioita ja masuunikuonan tiedetään reagoivan voimakkaasti lämpöön. Kemiallisessa aktivoinnissa betoniin lisätään sellaisia kemikaaleja, jotka lisäävät masuunikuonan liukenemistä alkuvaiheessa ja toisaalta edesauttavat masuunikuona partikkulien pinnalla tapahtuvaa kiteytymistä. Lujuuden kehityksen nopeuttaminen vaatii sekä liukenemisen että kiteytymisen nopeuttamista ja siten tarvitaan yleensä useampia kemikaaleja halutun vaikutuksen aikaan saamiseksi.

Aalto-yliopiston kokeissa havaittiin, että CEM III/A-tyyppin nopeuttaminen vertailusementin (CEM II/B) tasolle onnistuu varsin helposti. Laboratoriokokeissa siihen riitti noin 15 kWh/m³ suuruinen lisälämpö ensimmäisen 10 tunnin aikana. Myös kemiallisella aktivoinnilla päästiin varsin helposti vertailusementin tasolle, esimerkiksi 1% Na₂SO₄:a riitti kiihdyttämään CEM III/A sementin vertailusementin tasolle. Toisaalta on huomattava, että CEM III/A-sementti on lujuuden kehitykseltään varsin lähellä vertailusementin tasoa.

Sementin CEM III/B osalta tilanne onkin sitten selvästi haastavampi. Sementti sisältää noin 70% masuunikuonaa ja siten vain

30% portlandklinkkeriä. Laboratoriokokeissa tavoitteeseen ei päästy lämpökäsittelyn eikä myöskään termisen aktivoinnin avulla. Kuitenkin kun yhdistettiin terminen ja kemiallinen aktivointi, tavoitetaso saavutettiin. Erityisesti kemiallinen aktivointi kaipaa vielä lisätutkimuksia ja myös kaupallisia toimijoita, betonissa käytettävät lisäaineet pitää olla hyväksytyjä.

Osaprojektin tutkimuksista ovat vastanneet post-doc tutkija Anna Antonova ja väitöskirjatutkija Ekaterina Illarionova, Osaprojektiin liittyen on lisäksi tehty kolme diplomityötä.

Vähähiilisten betonien säilyvyyssominaisuudet

Säilyvyyssominaisuuksiin osalta LOIKKA-hanke keskittyi kuonabetonien pakkasenkestävyyteen. Pakkaskestävyyden tiedetään olevan haasteellinen kuonabetoneilla, varsinkin kun kuonan osuus nousee korkeammaksi. Tutkimusten tuloksia on esitelty jo aikaisemmin Betoni-lehdessä 04/2022, Ahsan Iqbal teki diplomityönsä aiheesta.

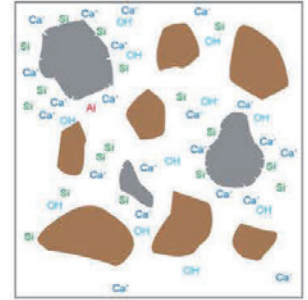
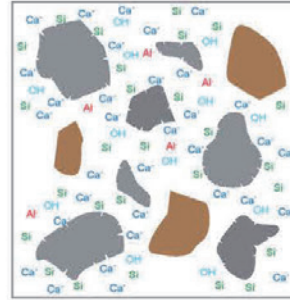
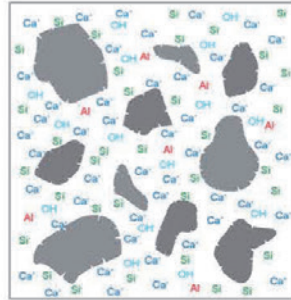
Hankkeessa tutkittiin masuunikuonan vaikutuksia betonin pakkasenkestävyyteen (XF1 ja XF3), pakkasuolakestävyyteen (XF2 ja XF4) sekä karbonatisoitumiseen. Lisäksi tutkittiin testausajankohdan sekä karbonatisoitumisen vaikutuksia laattakokeen tuloksiin.

Kriittisen kuonamäärän osalta koetulokset tukevat vallitsevaa käsitystä, yli 50% kuonamäärät heikentävät merkittävästi betonin pakkasuolakestävyyttä. 50% raja on Suomessakin käytössä, eikä sen suhteen nähdä muutostarpeita. Pakkaskestävyyteen ilman klorideja kuonalla ei ole juurikaan vaikutusta ja siten kuonabetoneita voidaan käyttää rasisitusluokissa XF1 ja XF3. Kuona kasvattaa betonin

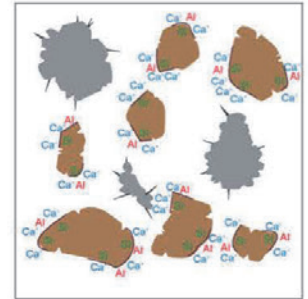
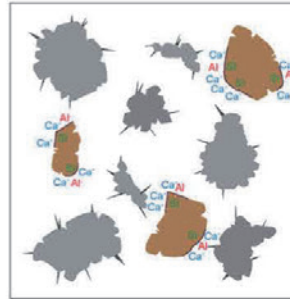
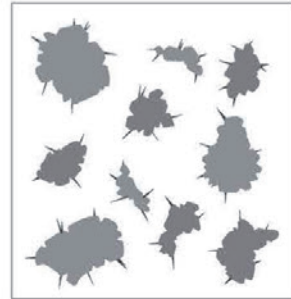
ALKUTILANNE



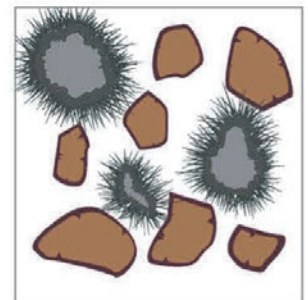
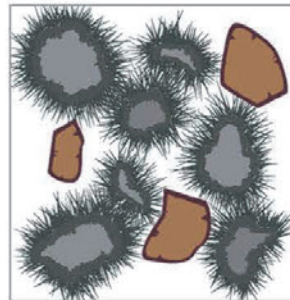
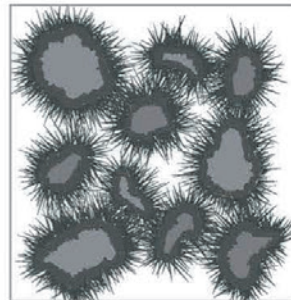
15 min jälkeen



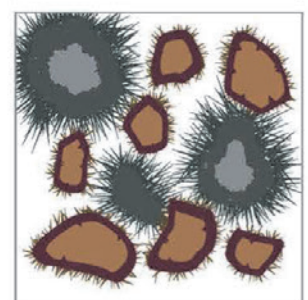
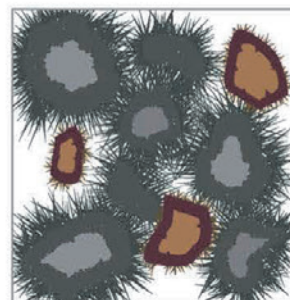
3 h jälkeen



24 h jälkeen



28 vrk jälkeen

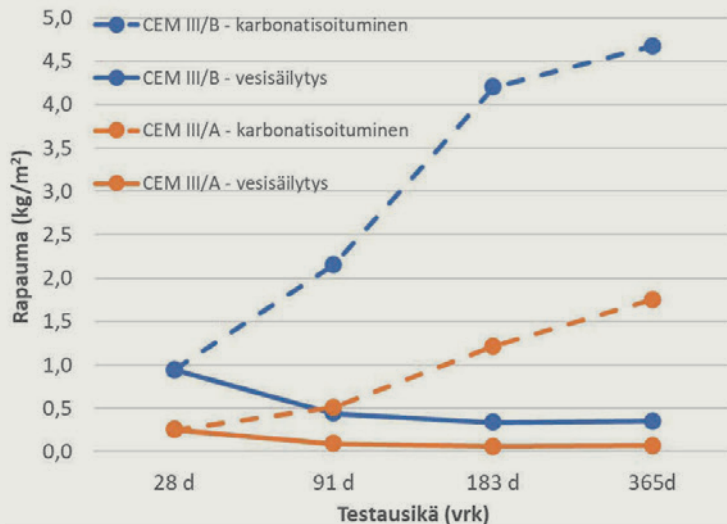


CEM I

CEM III/A

CEM III/B

4 Periaatekuva portlandklinkkerin ja masuunikuonan reaktioista. CEM I-tyyppin sementti koostuu portlandklinkkeristä, CEM III/A sisältää noin 60% portlandklinkkeriä ja 40% kuonaa ja CEM III/B-tyyppin sementti 30% klinkkeriä ja 70% kuonaa. 15 min kohdalla veden lisäämisestä klinkkeripartikkelit liukenevat nopeasti, mutta kuonapartikkelit hyvin hitaasti. Noin 3 tunnin kohdalla alkaa tapahtua kiteytymistä klinkkeripartikkelien pinnalla, mutta kuonan pinnalle kertyy ioneita, jotka entisestään hidastavat kuonan liukenemistä. 24 tunnin kohdalla klinkkeripartikkelien pinnalla tapahtuu voimakasta kiteytymistä, kun taas kuonapartikkelien pinnalla tapahtuu vain hidasta kiteytymistä. Myöhemmin myös kuonapartikkelien pinnalla tapahtuu voimakasta kiteytymistä. Malli: Dr. Anna Antonova, Aalto-yliopisto.



5 Karbonatisoitumisen sekä testausajan vaikutus kuonabetonin ($v/s = 0,45$) rapauma-arvoon laattakokeessa (väliaineena 3% NaCl-liuos). Normaaliin alkusäilytyksen jälkeen koekappaleita on säilytetty joko ilmassa (+20°C, 65% RH = Karbonatisoitunut) tai vedessä. Testauksia on tehty normaalin 28 vrk lisäksi 91, 183 ja 365 vuorokauden ikäisinä.

karbonatisoitumisnopeutta ja tämä on huomioitava terästen korroosion osalta.

Nykyvaatimusten (CEN/TS 12390-9) mukaisesti, laattakoe aloitetaan 28 vuorokauden ikäisenä riippumatta esimerkiksi betonin laadunvarmistusiästä. Hankkeessa tutkittiin testausajankohdan sekä myös koekappaleiden olosuhteiden vaikutuksia laattakokeen rapauma-arvoon. CEM III-tyyppin sementeillä testausajankohdan siirtäminen 91 vuorokauden kohdalle vaikutti merkittävästi rapauma-arvoon. Mikäli koekappaleet pääsivät karbonatisoitumaan 28 ja 91 vrk välillä, rapauma-arvo kaksinkertaistui. Vastaavasti mikäli koekappaleen säilytettiin vedessä vastaava ajanjakso, rapauma-arvo puolittui. Vuoden jälkeen karbonatisoituneiden koekappaleiden rapauma on noin 10-kertainen verrattuna vedessä säilytettyihin koekappaleisiin. Voidaan todeta, että kuonabetonit ovat erittäin herkkiä olosuhteille ennen varsinaista testausta ja asia vaatii lisätutkimuksia. Pakkaskestävyyssitutkimukset jatkuvat uudessa kansallisessa Pakkas-projektissa ja lisäksi Ahsan Iqbal on aloittanut väitöskirjatutkimuksensa liittyen betonin pakkaskestävyyteen.

Betonien optimointi CO₂-päästöjen kannalta

Masuunikuonan käytön lisäksi päästövähennyksiä voidaan saavuttaa, mikäli betonin sementtimäärää voidaan vähentää. Betonin sementtimäärään vaikuttaa olennaisesti kiviainesten vedentarve, koska vesi-sideainesuhde määrää betonin ominaisuudet. Esimerkiksi jos kiviainesten vedentarvetta pystyttäisiin alentamaan 10 dm³/m³, voitaisiin sementtimäärää alentaa noin 20 kg/m³ ja saavutettaisiin noin 15 kg-CO₂ eq/m³ päästövähennys.

Hankkeessa tutkittiin 12 eri kiviaineslaatua. Erityisesti analysoitiin kiviainesten veden-

tarpeeseen vaikuttavia tekijöitä kuten partikkelikokojakaumaa, mineraalikoostumusta, kiillemineraalien määrää, hienoaineksen ominaispinta-alaa sekä partikkelien muotoa. Vaikutuksia työstettävyyssominaisuuksiin arviointiin NZ Flow Cone-testimenetelmällä sekä laastikokeella. Tärkeimmiksi ominaisuuksiksi veden tarpeen kannalta tunnistettiin hienoaineksen määrä ja sen ominaispinta-ala. Hienoainesten määrään ja ominaispinta-alaan vaikuttaa erityisesti kiillemineraalien määrä sekä kivien metamorfoosioaste.

Kiviaineksen vedentarvetta pystytään varsin tehokkaasti mittaamaan Uuden-Seelannin suppilokokeen avulla (NZ Flow Cone), mutta jo pelkkä hienoaineksen määrä (< 63 mikronia) antaa kohtalaisen arvion.

Kiviaineksia tulisi jatkojalostaa niin, että vedentarvetta saataisiin alhaisemmaksi. Louhinnalla ja murskausprosessilla voidaan jonkin verran vaikuttaa hienoaineksen määrään, mutta merkittävämpiä muutoksia saadaan aikaiseksi hienoaineksen mekaanisella poistolla. Lisähaasteita vedentarpeen osalta tuo murskattuihin kiviaineksiin siirtyminen myös hienojen lajikkeiden osalta. Tutkimuksessa olleiden murskattujen kiviainesten vedentarpeen olivat selvästi korkeampia kuin luonnonmuovaamien kiviainesten.

Osaprojektissa ei päästy varsinaiseen reseptioptimointiin, mutta reseptioptimoinnin uskotaan antavan merkittäviä päästövähennyksiä. Osaprojektin tutkijana toimi väitöskirjatutkija Ville Repo.

Vähähiilisten betonien tuotantotekniikka

Osaprojektin alkuperäisenä tavoitteena oli kehittää tuotantotekniikka vähähiiliselle betonille. Painopiste oli vähähiilisten betonien lujuudenkehityksessä työmaaolosuhteissa ja lisäksi nähtiin tärkeäksi huomioida

vähähiilisen betonin aiheuttamat muutokset myös elementti- ja betonituotteiden valmistuksessa. Aleksi Rantala teki diplomityönsä liittyen vähähiilisten betonien hyvistä käytännöistä sekä haasteista työmaaolosuhteissa. Työ korosti alkulujuudenkehityksen merkitystä, hitaampi alkulujuudenkehitys vaikuttaa merkittävästi työmaan aikataulun hallintaan ja siten vähähiilisen betonin lujuudenkehitykseen pitää panostaa.

Tulevaisuuden ratkaisut betonin CO₂-päästöjen vähentämiseksi

LOIKKA-hanke tukeutui voimakkaasti masuunikuonan hyödyntämiseen. Kuitenkin on yleisesti tiedossa, että masuunikuona saatavuus tulee hiipumaan. Lisäksi masuunikuonan käyttö kasvaa merkittävästi. Globaalisti seosaineiden saatavuus on noin 20% sementin tuotantomäärästä. Tässä vaiheessa masuunikuona on kuitenkin selvästi kilpailukykyisin vaihtoehto vähähiilisen betonin valmistamiseksi, mutta tulevaisuudessa tarvitaan muitakin vaihtoehtoja vähähiilisen betonin valmistamiseksi.

Osaprojektissa tutkittiin tulevaisuuden mahdollisuuksia betonin hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Tutkimus toteutettiin kirjallisuustutkimuksena ja sen teki post-doc tutkija Tuomas Alapieti. Tutkimuksessa käytiin kattavasti läpi erilaisia vaihtoehtoja kuten erilaisten seosaineiden ja vaihtoehtoisia sideaineiden hyödyntämistä sekä hiilidioksidin talteenottoa, varastointia ja hyötykäyttöä. Seosaineiden ja vaihtoehtoisten sideaineiden osalta tärkeässä roolissa on raaka-aineiden riittävä saatavuus ja tasalaatuisuus, samoin uusilta seosaineilta vaaditaan riittävän suurta reaktiivisuutta sekä vähäpäästöisyyttä. Lisäksi määräysten mukaisuus on tärkeä asia. Mikäli uusi side- tai

6 Useilla paikallavaletuilla työmailla on jo käytetty vähähiilistä betonia.

Jari Härkönen



seosaine ei täytä nykyisiä määräyksiä, markkinoille tuleminen voi kestää vuosia tai jopa kymmeniä vuosia.

Selvityksen perusteella arvioitiin, että tullaan tarvitsemaan useiden eri vaihtoehtojen yhdistelmää, lyhyellä aikavälillä ei ole näköpiirissä sellaista vaihtoehtoa, joka yksinään ratkaisisi ongelman. Pidemmällä aikavälillä hiilidioksidin talteenotto sementtitehtaalla nousee hyvin merkittävään rooliin. Suomessa ollaan tämän suhteen hieman takamatkalla naapurimaihin verrattuna, Norjassa ollaan jo lähes valmiina ja Ruotsissakin suunnitelmat ovat jo pitkällä.

Vähähiilisen betonin tutkimustarpeet

LOIKKA-hanke voidaan nähdä ensimmäisenä ponnauksena vähähiilisen betonin kehityksessä, mutta edelleenkin tehtävää riittää. Tärkeimmiksi tarpeiksi nähdään:

1. Alkulujuuden kehitys
2. Säilyvyysominaisuudet
3. Tulevaisuuden vähähiiliset betonit ilman masuunikuonaa

Alkulujuutta tutkittiin paljon LOIKKA-hankkeessa, mutta edelleenkin tarvitaan tutkimustyötä. Alkulujuuden kehitys on myös hyvin kriittinen ominaisuus vähähiilisen betonin käytettävyyden kannalta. Aalto-yliopistossa aiheen tutkiminen jatkuu mm. Ekaterina Illarionovan väitöskirjaprojektissa ja myös betoniteollisuus tekee jatkuvaa kehitystyötä vähähiilisen betonin alkulujuuden osalta. Lisäaineet, erityisesti aktivaattorit, tulevat olemaan merkittävässä roolissa alkulujuuden kehityksen osalta. Aktivaattorien markkinoille tulo vaatii kaupallisia toimijoita.

Myös kuonabetonin pakkassuolakestävyys edellyttää lisätutkimuksia. Suomessa käynnis-

tellään laajempaa kansallista pakkasprojektia, missä vähähiiliset betonit ovat luonnostaan mukana. Lisäksi Ahsan Iqbalin väitöskirjaprojekti liittyen vähähiilisten betonien pakkasenkestävyyteen on juuri käynnistynyt Aalto-yliopistossa.

Tärkeää on varautua myös tilanteeseen, jossa masuunikuonan saatavuus vähenee tai loppuu kokonaan. Tämän osalta vielä on aikaa, mutta ei loputtomasti, LOIKKA-hankkeen jälkeen onkin käynnistynyt pienempi hanke, jossa kartoitetaan eri vaihtoehdot betonin päästöjen vähentämiseksi: *Vähähiilisen betonin tiekartta*. Projektissa on tunnistettu yhteensä 10 eri vaihtoehtoa betonin päästöjen vähentämiseksi. Projektia rahoittavat SBK-Säätiö ry, BY-Koulutus Oy, Finnsementti Oy ja Aalto-yliopisto ja se valmistuu vuoden -24 aikana. •

LOIKKA – Halving CO₂ emissions of concrete

LOIKKA was research & development project aiming at 50% reduction of CO₂-emissions of concrete. According to the targets, the reduction should be achieved in year 2028. The project consisted of a research project at Aalto University and 5 industrial projects. The project was financed mainly by Business Finland through RRF funding of EU.

As the CO₂-reduction will be needed in short period, extensive utilization of blast furnace slag was seen as the most potential possibility. Blast furnace slag is well available, there are lot of experiences from the use of it and slag fulfills requirements of the European cement ja concrete standards. Even though slag has been commonly used in concrete, the use of slag in low-carbon concrete will affect the properties of

concrete, especially early strength development and durability properties of concrete. Aim of LOIKKA-project was to solve challenges related to slag cement and thereby ease to use of slag cements.

The main challenge is related to early strength development of slag cement. Slag is reacting rather slowly during the first days and possibilities of thermal and chemical activation to boost strength development were investigated. With CEM III/A-type cement (40% slag) it was rather simple to achieve the same early strength level as with the reference cement. However, with CEM III/B-type this more challenging, the target was achieved only with combination of thermal and chemical activation, but more research will be needed. Salt freeze-

thaw resistance is critical for slag concrete. It was ensured that the existing limit value for the slag content (50%) is correct. It was also observed that the scaling in the slab test is very sensitive for the condition before the testing. The carbonated samples show app. 10 times bigger scaling values compared with water stored specimens (testing at 1 year).

After LOIKKA-project, the major needs for the further research are early strength development and durability properties of slag concretes. In addition, it is very important to find alternative methods for producing low carbon concretes in larger volumes. In the longer term carbon capture at cement factories is seen very important.