

BORÅSIN KENTTÄKOKEET KERTOVAT BETONIN TODELLISEN KESTÄVYYDEN

Erkki Vesikari, tekn.lis.
VTT Rakennus ja yhdyskuntatekniikka



1a, 1b
Koekappaleiden sijainti Rv40:n varrella. Pienempi koekappale on pakkasrapautumisen ja isompi kloridien tunkeutumisen ja raudoituksen korroosion seuranta varten /3/.

Vuonna 1996 käynnistettiin Ruotsissa laajoja kenttäkokeita betonin todellisen rapautumisnopeuden selvittämiseksi sekä kenttä- ja laboratoriokokeiden välisen korrelaation määrittämiseksi. Boråsin koekentällä moottoritie Rv40:n varrella tehtiin tutkimuksiin osallistui myös suomalainen osapuoli (*Oy Lohja Rudus Ab, Finnsementti Oy, Tiehallinto ja VTT Rakennustekniikka*). Siellä testattiin noin 180 betonireseptiä, joissa vesisementtisuhteet, ilmamäärät ja sideainelaadut vaihtelivat. Kenttäkokeiden lisäksi tehtiin suuri määrä laboratoriokokeita samoilla betoniresepteillä.

Tässä artikkelissa esitetään keskeisiä tuloksia Boråsin kenttäkokeista seitsemän vuoden ajalta. Näistä nk. BTB-kokeista on valmistunut myös laajempi suomenkielinen yhteenvetoraportti /1/.

KOEKENTTÄ

Koekenttä perustettiin syksyllä 1996 moottoritien Rv40 varrelle lähelle Boråsin kaupunkia. Sen muodostaa noin 200 metrin pituinen ja muutamien metrien levyinen sorakenttä pitkin moottoritien vartta. Koekappaleet asennettiin tien tasoon metallikehyksiin. Koekenttä on erotettu liikenteestä suojakaitteella, joka kuitenkin ei estä koekappaleita saamasta päälle suolaroiskeita. Koekappaleet altistuvat talvella kosteudelle, alhaisille lämpötiloille ja liukkaudentorjuntasuoloille, mitkä yhdessä muodostavat olosuhdeluokkaa XF4 vastaavat olosuhteet.

Rv40 johtaa Göteborgista itään Boråsin läpi ja suuntautuu kohti Jönköpingiä. Päivittäinen vuorokausiliikenne koekentän kohdalla on noin 12000 ajoneuvoa, mistä runsaat 10 % on raskaita ajoneuvoja.

Turvallisuuden takaamiseksi tiepinnoille levitetään talvisin liukkaudentorjuntasuolaa (natriumkloridia).

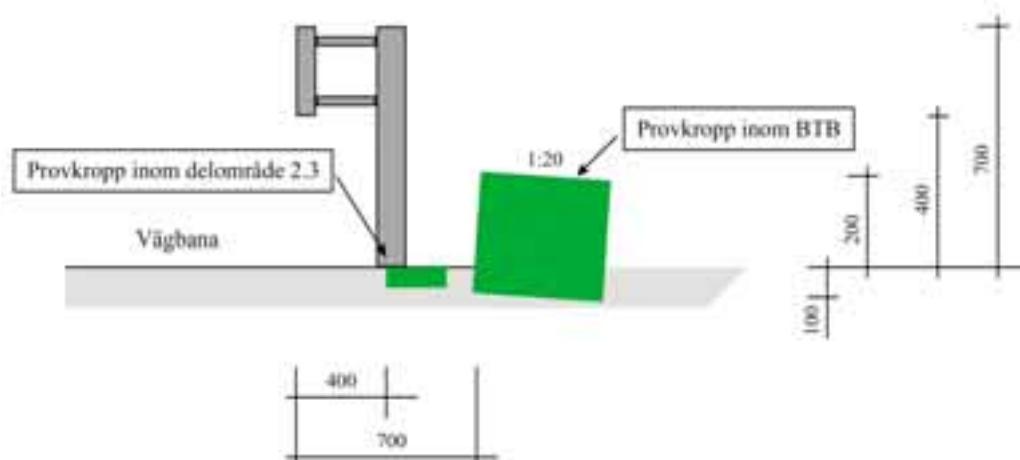
Päätutkimuksessa, joka käynnistettiin vuonna 1996, oli 118 betonilaatua. Täydelliset sarjat viidellä vesisideainesuhteella (0,3, 0,35, 0,4, 0,5 ja 0,75) ja kolmella tavoiteilmapitoisuudella (luonnollinen, 3 % ja 4,5 %) tehtiin seitsemällä sideaineella/sideaineyhdistelmällä. Nämä olivat:

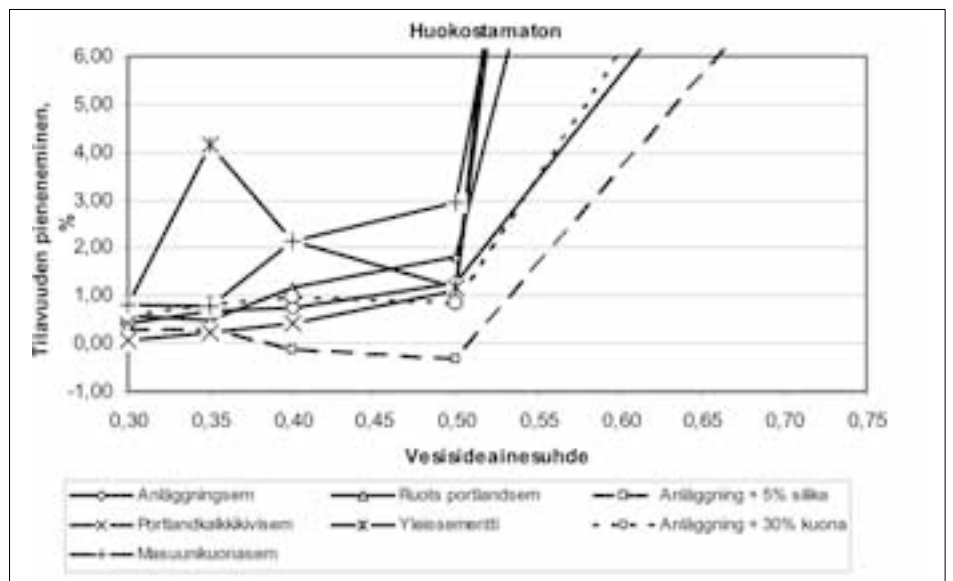
- Anläggningsementi
- Ruotsalainen portlandsementi (Slite std)
- Anläggningsementi + 5 % silikaa
- Portlandkalkkikivisementi
- Suomalainen yleissementi
- Anläggningsementi +30 % masuunikuonaa
- Hollantilainen masuunisementi (70 % masuunikuonaa)

Pienempiä koesarjoja tehtiin muilla sideaineilla kuten suomalaisella SR-sementillä ja Rapid-sementillä.

Vuonna 1997 käynnistettiin täydentävä tutkimus, jota varten tehtiin yli 60 koebetonia. Täydentävät tutkimukset tehtiin lähinnä notkistin - huokostin - kombinaatioiden vaikutusten selvittämiseksi, koska päätutkimuksessa eräillä notkistetuilla ja huokostetuilla betoneilla rapautuminen oli ollut odotettua suurempaa jo yhden talvikauden jälkeen.

Koekappaleiden tilavuuden muutos ja ultraäänien läpimenoaika mitattiin vuosittain kenttäkokeen aikana. Näiden perusteella voitiin tehdä päätelmiä sekä betonin ulkoisesta että sisäisestä pakkasrapautumisesta. Ulkoisella pakkasrapautumisella tarkoitetaan betonipintojen rapautumista. Sisäinen pakkasrapautuminen tarkoittaa betonin sisäistä halkeilua ja säröilyä.





3 Huokostamattomien betonilaatujen tilavuuden muutokset seitsemän vuoden jälkeen.

ULKOINEN PAKKASRAPAUTUMINEN

Ulkoisen pakkasrapautumisen mittana käytettiin koekappaleiden tilavuuden pienenemistä alkupe- räisestä tilavuudesta. Seitsemän talvikauden jäl- keen havaittiin merkittäviä eroja betonien ulkoises- sa pakkasrapautumisessa. Huokostamattomien ja huokostettujen (tavoiteilmamäärä 4,5%) tulokset esitetään kuvissa 3 ja 4.

Kaikilla huokostamattomilla betonilaaduilla, joi- den vesisideainesuhde oli 0,75, rapautuminen oli huomattavan suuri. Tilavuuden muutos riippui kui- tenkin sideainetyypistä. Rapautuminen oli suurinta masuunisementillä (70% kuonaa), suomalaisella yleissementillä ja ruotsalaisella portlandsementillä (Slite). Pienen vesisideainesuhteen omaavilla be- tonilaaduilla rapautuminen ei ollut niin suurta, mut- ta kuitenkin edellä mainituilla sideaineilla tilavuudenmuutos oli merkittävä myös vesisideainesuh- teilla 0,35–0,5. Sideaineella Anläggning + 5 % sili- kaa havaittiin tilavuuden kasvua erityisesti vesisi- deainesuhteilla 0,5 ja 0,4. Tämä tilavuuden kasvu johtuu betonin sisäisestä vaurioitumisesta (sisäi- sistä mikrosäröistä).

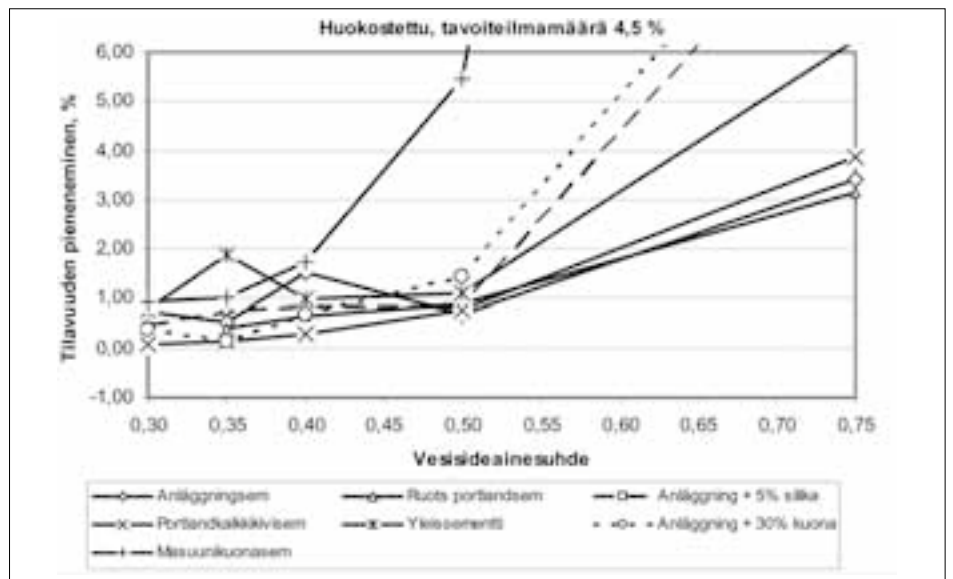
Huokostetuilla betoneilla rapautuminen oli vä- häisempää kuin huokostamattomilla. Kuitenkin huokostuksen merkitys oli selvästi pienempi kuin vesisideainesuhteen. Erot eri sementtilaaduilla oli- vat selvät myös huokostetuilla betoneilla. Runsaas- ti masuunikuonaa sisältävillä betoneilla huokostuk- sella ei näyttänyt olevan suurta vaikutusta rapautu- misnopeuteen.

Eräillä betoneilla poikkeuksellisen suuren rapau- tumisen todettiin johtuvan vääristä lisäaineyhdis- telmistä. Vuonna 1997 aloitetuissa lisätutkimuksis- sa, joissa aikaisemmin käytetty naftaleenipohjai- nen notkistin vaihdettiin melamiinipohjaiseksi, ra- pautuminen on ollut huomattavasti vähäisempää.

SISÄINEN PAKKASRAPAUTUMINEN

Sisäinen pakkasrapautuminen mitattiin ultraäänen läpimenoajan suhteellisenä pienentymisenä. Ultra- äänen läpimenoajan kasvu johtuu betonin sisäisestä halkeamista, jotka ultraääni joutuu kiertämään. Eräissä tapauksissa koekappaleiden pintojen rapau- tuminen hankaloitti ultraäänimittausta siten, että äärimmäisessä tapauksessa mittausta ei voitu tehdä ollenkaan. Mittaustulokset huokostamattomilla ja huokostetuilla betoneilla on esitetty kuvissa 5 ja 6.

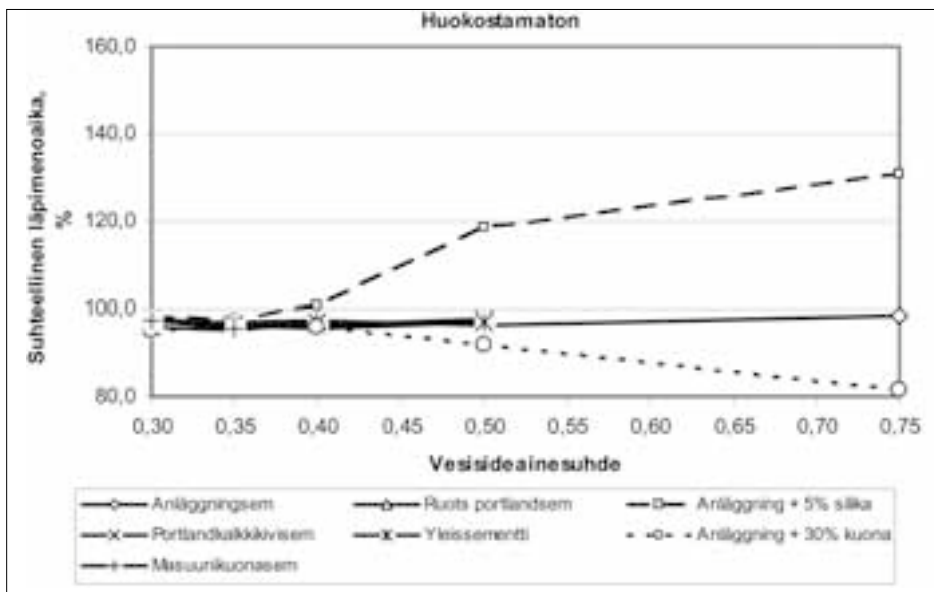
Sisäistä pakkasrapautumista havaittiin vain huo-



4 Huokostettujen betonilaatujen tilavuudenmuutokset kent- täkokeissa seitsemän vuoden jälkeen.

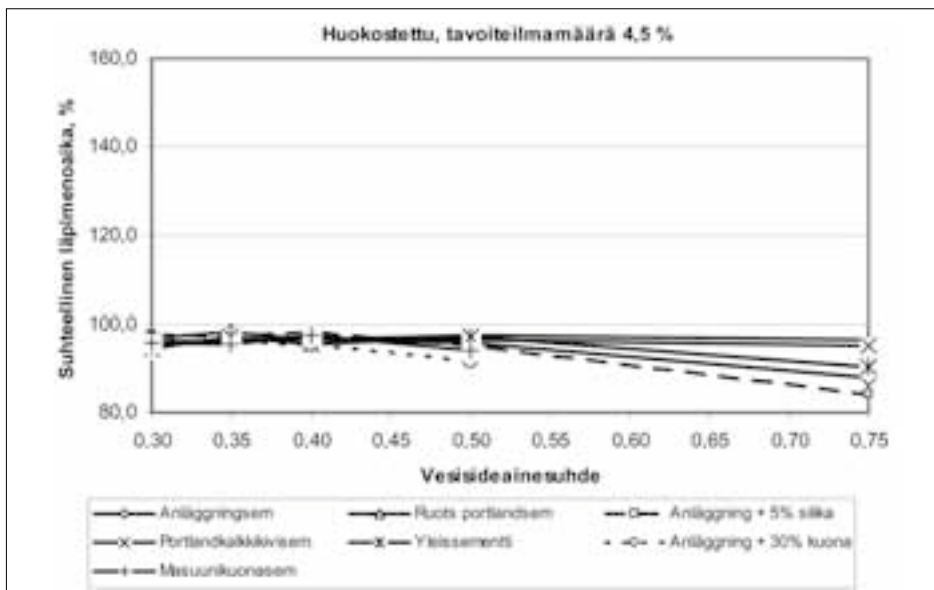
2 Betonikoekappaleet teräksisessä kehyksessä koekentällä /2/.





5

Huokostamattomien betonien ultraäänen läpimenoaika koekentällä seitsemän vuoden jälkeen.



6

Huokostettujen betonien ultraäänen läpimenoajan mittaustulokset koekentällä seitsemän vuoden jälkeen.

kostamattomilla betonilaaduilla erityisesti silloin kun vesisideainesuhde oli korkea. Kuitenkin betonilaaduilla, joissa sideaineena oli Anläggningsementti + 5 % silikaa, sisäistä vaurioitumista havaittiin pienilläkin vesisideainesuhteilla, jopa 0,4:llä. Tämä saattaa olla osoituksena silikan sisäistä vaurioitumista lisäävästä vaikutuksesta, mitä on havaittu myös eräissä laboratorionkokeissa. Huokostetuilla betoneilla ei tätä ilmiötä havaittu kuitenkaan kenttäkokeissa.

KORRELAATIO LABORATORIONKOEIDEN TULOSTEN KANSSA

Kaikilla kentällä oleville betoneille tehtiin myös nk. laattakoe ruotsalaisella standardimenetelmällä SS 137244. Siten ko. kokeen validiteettia todellisen rapautumisnopeuden suhteen voitiin selvittää. Kuvassa 7 esitetään kaikkien vuonna 1996 kentälle asetettujen betonien rapautuma kentällä seitsemän vuoden jälkeen laboratorionkokeessa saadun rapautumatuloksen kanssa ristiintaulukoituna. Kuvaan on myös merkitty korrelaatio-suora, joka parhaiten kuvaa ko. yhteyttä. Korrelaatio-suora on pakotettu kulkemaan origon kautta. Kuvaan on merkitty suoran kulmakertoimen ja Pearsonin korrelaatiokerroin.

Lasketun korrelaatioiden perusteella standardikokeen SS 137244 validiteettia todellisen rapautumisen suhteen ei voida pitää kovin hyvänä. Toisaalta pakkaskokeissa yleisesti todetun suuren hajonnan huomioon ottaen sitä ei voida pitää kuitenkaan aivan huononakaan. Korrelaatiota heikentävät eräät huokostamattomat vesisideainesuhteilla 0,35 – 0,5 valmistetut betonit, joilla rapautuma laboratorionkokeessa oli pienempi kuin korrelaatio-suoran edellyttämä rapautuma. Samoin eräät huokostetut suurilla vesisideainesuhteilla valmistetut betonit, joilla rapautuma laboratorionkokeessa oli suurempi kuin korrelaatio-suoran edellyttämä rapautuma, heikensivät korrelaatiota.

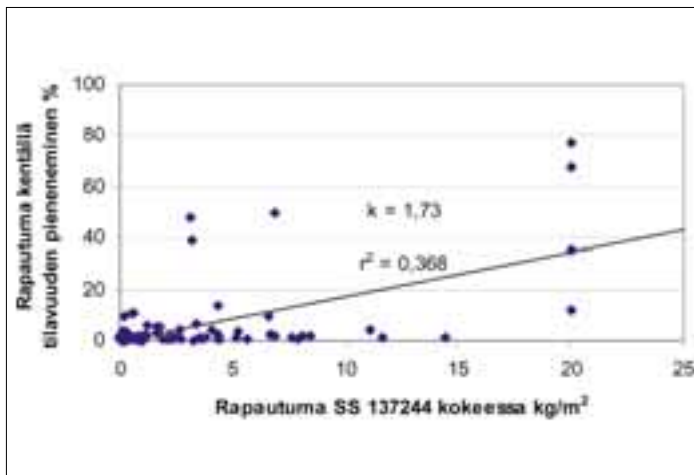
KORRELAATIO BETONIN KOOSTUMUSPARAMETRIEN KANSSA

Ruotsissa tehdyt kenttäkokeet antoivat mahdollisuuden tutkia betonin koostumusta kuvaavien parametrien vaikutusta betonin todelliseen rapautumisnopeuteen rasiusluokkaan XF4 (suuri vedelläkylästyminen + jäänsulatusaineet) kuuluvilla rakenteilla. Tehdyissä selvityksissä tutkittiin mm. seuraavien tekijöiden korrelaatiota kenttäkokeiden tulos-



9

Koekenttä talvella.



7

Rapautuminen kentällä seitsemän talvikauden jälkeen vs. rapautuma ruotsalaisessa standardikokeessa. Vuonna 1996 kentälle asetetut koekappaleet.

ten kanssa:

- vesisideainesuhde
- tehollinen vesisideainesuhde
- ilmapitoisuus
- huokosjako
- P-luku
- puristuslujuus jne.

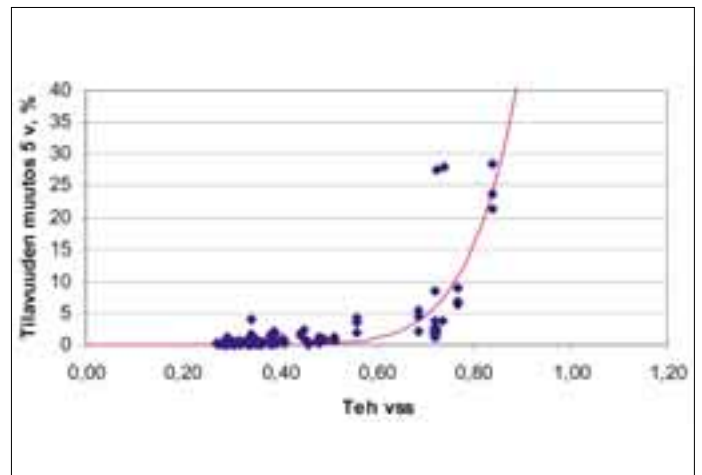
Parhaiten korreloivia suureita olivat tehollinen vesisideainesuhde ja P-luku. Betonin puristuslujuus ja ilmahuokosparametrit korreloivat suhteellisen heikosti kenttäolosuhteissa mitatun rapautumisen kanssa. Kuvassa 8 esitetään rapautuma viiden vuoden jälkeen yhdessä tehollisen vesisideainesuhteen kanssa. Tehollinen vesisideainesuhde laskettiin uusien normien mukaisesti ottamalla huomioon kiviaineksiin imeytyvän veden määrä ja soveltamalla norneissa määriteltäviä seosaineiden tehokkuuskertoimia.

YHTEENVETO

Vuonna 1996 käynnistettiin Ruotsissa laajoja kenttäkokeita betonin todellisen rapautumisnopeuden selvittämiseksi ja kenttä/laboratoriokokeiden välisen korrelaation määrittämiseksi. Boråsin koekentällä moottoritie Rv40:n varrella tutkittiin betonin kestävyyttä normien rasitusluokkaa XF4 vastaavissa olosuhteissa (suuri vedelläkylästyminen ja jäänsulatusaineet). Tutkituissa betoniresepteissä, joita oli kaikkiaan noin 180, vaihtelivat vesisementtisuhteet, ilmamäärät ja sideainelaadut. Kenttäkokeiden lisäksi tehtiin suuri määrä laboratoriokokeita samoilla betoneilla.

Tulosten perusteella voitiin tehdä mm. seuraavat päätelmät:

- Ulkoiseen (pinnan) rapautumiseen vaikuttavat vesisideainesuhde, sideainelaatu ja huokostus. Yleisesti tunnettu sääntö, että rapautuminen kasvaa vesisideainesuhteen kasvaessa, oli selvä kaikilla betonilaaduilla.
- Huokostus pienensi ulkoista rapautumista kaikilla betonilaaduilla, mutta sen vaikutus rapautumiseen ei ollut yhtä suuri kuin vesisideainesuhteen. Vesisideainesuhteella 0,3 erot huokostettujen ja huokostamattomien betonien välillä eivät olleet merkittävät.
- Sideainelaadun vaikutus ulkoiseen rapautumiseen oli selvä. Rapautuminen oli pienintä portlandsementeillä. Masuunikuonasementillä rapautuminen oli huomattavan suurta ja lähes riippumatonta huokostuksesta.



8

Tilavuuden muutos (5 v) tehollisen vesisideainesuhteen funktiona.

- Sisäistä pakkasrapautumista havaittiin vain huokostamattomilla betonilaaduilla ja yleensä vain korkeilla vesisideainesuhteilla. Kuitenkin betoneissa, joissa sideaineena oli Anläggningsementti + 5 % silikaa, sisäistä vaurioitumista havaittiin pienilläkin vesisideainesuhteilla, jopa 0,4:llä. Huokostetuilla betoneilla ei tätä ilmiötä kuitenkaan havaittu.
- Laskettujen korrelaatioiden perusteella standardikokeen SS 137244 validiteettia todellisen rapautumisen suhteen ei voida pitää kovin hyvänä. Toisaalta pakkaskokeissa tyypillisen suuren hajonnan huomioon ottaen sitä ei voida pitää aivan huononakaan.
- Betonin koostumusta kuvaavista suureista parhaiten korreloivat tehollinen vesisideainesuhde ja P-luku kenttäkokeiden rapautumisen kanssa.
- Tulevissa pakkaskestävyystutkimuksissa on kiinnitettävä entistä enemmän huomiota kenttätutkimuksiin.

KIRJALLISUUS

1. Vesikari E., 2004, BTB-projekti. Yhteenvetoraaportti. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka RTE40-IR-16/2004. 50 s. + liitteet.
2. Utgenannt P., Provkroppar tillverkade 1996- Resultat från uppmätning av volym och ultraljudshastighet före utplacering samt efter en vintersäsong. BTB Rapport 1998, Delområde 2.3. CD.
3. Utgenannt P., Fältprovplats vid Rv40. Register över utplacerade provkroppar och utförda provningar till och med hösten 1997. BTB Rapport 1998. Delområde 2.3. CD.
4. Utgenannt P. The influence of ageing on the salt-frost resistance of concrete. Lund Institute of Technology. Division of Building Materials. Report TVBM-1021. Doctoral Thesis. 2004. 346 s + liitteet 110 s.

BORÅS FIELD TESTS REVEAL TRUE DURABILITY OF CONCRETE

In 1996, extensive field tests were started in Sweden to establish the true weathering rate of concrete and to determine the correlation between field tests and laboratory tests. At best, the test results are based on measurements conducted over a period of seven years. The tests were carried out in the Borås test field on motorway Rv40, and one of the participants was a Finnish consortium (Oy Lohja Rudus Ab, Finnsementti Oy, Road Administration and State Technical Research Centre/ Construction Engineering).

Some 180 different concrete batchings were tested in the Borås test field. The water/binding agent proportions of the batchings varied from 0.3 to 0.75, and three different air contents were used – 4.5%, 3.0% and non-air-entrainment. In the actual main study, seven different binding agents or compounds of binding agents were used, including one Finnish cement. The test bodies were exposed to moisture, lower temperatures and antiskid treatment salts in the winter. Together these created conditions corresponding to an XF4 environment.

The change in the volume of the test bodies and the penetration time of ultrasound were measured on an annual basis during the field test. The results could be used to draw conclusions on both internal and external frost weathering of concrete.

The results show that external weathering is influenced by the water/binding agent proportion, the quality of the mixing agent and the air-entrainment. The commonly applied rule of weathering increasing as the water/binding agent proportion increases, was clear with all grades of concrete. Air-entrainment reduced external weathering in all concrete grades, but did not affect weathering as much as the water/binding agent proportion. With a water/binding agent proportion of 0.3 the differences between air-entrained and non-air-entrained concrete grades were not significant.

The quality of the binding agent was found to clearly influence external weathering.

Internal weathering was only found in non-air-entrained concrete grades and in most cases only at high water/binding agent proportions. However, in certain concrete grades internal weathering appeared at quite low water/binding agent proportions, even as low as 0.4. In non-air-entrained grades, however, this phenomenon did not occur.

In addition to the field tests, the same concrete batchings were subjected to a large amount of laboratory tests. A so-called slab test (or Borås test) was also carried out on all the concrete grades tested in the field, based on the Swedish standard method SS 137244. This made it possible to compare the frost resistance determined by tests with the resistance recorded in natural conditions.

On the basis of the calculated correlations, the validity of the standard test SS 137244 with respect to true weathering cannot be considered very high. On the other hand, taking the typically great dispersion of results in frost tests into consideration, the standard cannot be considered completely invalid, either. Of the parameters that describe the composition of concrete, the useful water/binding agent proportion and the P number were found to correlate best with the weathering determined in field tests.

The results indicate that in future frost resistance studies more attention shall be paid to field tests.