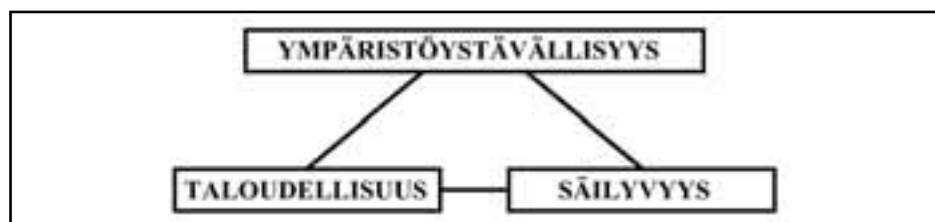


Mika Tulimaa, dipl.ins., Abetoni Oy
Leif Wirtanen, tekn.lis., VTT
Erika Holt, Ph.D., VTT
Heikki Kukko, tutkimusprofessori, VTT
Vesa Penttala, professori, TKK



JOHDANTO

Ympäristöystävällisyys, taloudellisuus ja säilyvyys ovat ominaisuuksia, jotka on helppo määritellä. Betonin osalta ne on myös kohtalaisen helppo saavuttaa erikseen ja kahden ominaisuuden yhdistämisenkin on kohtuudella mahdollista. Tilanteeseen, jossa kaikki kolme ominaisuutta ovat voimassa yhtä aikaa, ei välttämättä päästä ainakaan ilman ennalta todettuja reunaehtoja. Portlandsementistä (CEM I-luokan sementti, jonka klinkkeripitoisuuden on oltava vähintään 95 %) valmistetun betonin kohdalla taloudellisuus voidaan arvioida sementin määränä suhteessa haluttuun ominaisuuteen, esimerkiksi säilyvyyteen/käyttöikään. Karkeasti voidaan todeta, että taloudellisuus saavutetaan vähentämällä sementtimäärää, kun pitkä käyttöikä saavutetaan puolestaan kasvattamalla sementtimäärää, joten kyseeseen tulee näiden osalta asetettujen reunaehtojen mukainen kompromissi. Kun käyttöikä huolto- ja korjaustoimenpiteiden tarve mukaan lukien on tarpeeksi pitkä, on myös ympäristöystävällisyyden tavoite helpommin saavutettavissa. Tämä on mahdollista, koska hyvin säilyvän rakenteen kohdalla kunnostusta vaativien toimenpiteiden taajuus on pieni, ja ympäristöystävällisyys saavutetaan näin säästyneinä korjauspanoksina eli vältetään korjausmateriaalien valmistuksesta syntyneet päästöt, liikenteen päästöt, niihin liittyvä energian tarve.

Ympäristöystävälliset ja hyvin säilyvät betonit -tutkimuksessa, joka toteutettiin vuosina 2002 - 2004, pyrittiin optimoimaan edellä mainitut muuttujat, eli ympäristöystävällisyys, taloudellisuus ja säilyvyys haluttiin saavuttaa samanaikaisesti. Tähän tavoitteeseen voidaan päästä hyödyntämällä muun kotimaisen teollisuuden sivutuotteita, joiden hinta ja ympäristövaikutus ovat sementin vastaavia pienemmät. Käytetyt sivutuotteet olivat lentotuhka ja masuunikuona. Lentotuhkan ja masuunikuonan vaikutusta mm. betonin säilyvyyteen on tutkittu aikaisemminkin, mutta tutkimusta, jossa kaikki kolme ominaisuutta ovat yhtä aikaa voimassa, ei ole Suomessa tässä laajuudessa tehty. Osalla koebetoneista seosaineiden määrissä ylitettiin Betoninormit 2004:ssä sallitut määrät. Tällä haluttiin selvittää seosaineiden käytölle ne rajat, joilla säilyvyyttä ei vaaranneta.

Tutkimus on kotimainen rinnakkaisprojekti EU:n rahoittamalle CONLIFE-tutkimukselle, joka toteutet-

tiin vuosina 2001 - 2004. CONLIFE-tutkimus ja sen tärkeimmät tulokset on esitetty *Betoni*-lehdessä 4/2004. Nyt esitettävän tutkimusprojektin rahoittivat *TEKES* ja *alan teollisuus* ja se toteutettiin *TKK:n rakennusmateriaalitekniikan laboratorion ja VTT:n rakennus- ja yhdyskuntatekniikan yhteistyönä*. TKK toimi hankkeen vastuullisena organisaationa.

TUTKIMUKSEN KOKONAISUUS

Tutkimus oli jaettu neljään osakokonaisuuteen, jotka olivat: tietopankkiaineiston ja käytännön rakenteiden rakennusnäytteiden kerääminen; materiaalitutkimukset; laboratoriossa tehtävät säilyvyyskokeet sekä kenttäkokeet; tutkimuksessa kehitettyjen betonien ympäristötekijöiden arvioiminen. Tutkimukseen sisällytettävät betonit puolestaan jaettiin valmisbetoniin, elementtibetoniin sekä jäykkiin massoihin. Materiaali- ja säilyvyyskokeet tehtiin valmis- ja elementtibetoneille. Jäykkien massojen osuus tehtiin käytännön tehdaskokeina. Tutkitut jäykät massat olivat kattotiili- ja betonikivimassoja. Näissä kokeissa tutkittiin murskatun hienon kivai-neksen ja lentotuhkan käyttömahdollisuuksia betoni-tuoteteollisuudessa.

1
Tutkimuksen tavoite: ympäristöystävällisyys, taloudellisuus ja säilyvyys.

2
Otaniemen koekenttä.





3
Kuva sillan vaurioituneesta reunapalkista. Silta on valmistunut vuonna 1983.

Tietopankki-osassa koottiin yhteen käytettävissä oleva suomalainen teoriatieto seosainebetonin ominaisuuksista ja säilyvyydestä sekä kerättiin niiden käytössä olevien rakenteiden betoneita koskevat tiedot, joissa tiedettiin käytetyn seosainebetonia. Tulokset saatiin VTT:n tekemistä kuntotutkimusraporteista sekä tätä tutkimusta varten tehdyistä seosaineita sisältävien rakenteiden rakennekokeista, joissa rakenteista poratut koekappaleet koestettiin laboratorioissa säilyvyysominaisuuksien määrittämiseksi. Koekappaleille tehtiin mikrorakenneanalyysit sekä lujuus- ja pakkasenkestävyysskoheet.

Materiaalikoikeissa kehitettiin ekologisten seosainebetonien suhteitukset ja selvitettiin niiden lujuudenkehitys ja loppulujuudet sekä mikrorakenneominaisuudet. Laboratorioissa tehtävissä säilyvyyskoikeissa koebetoneille tehtiin eri pakkasenkestävyysskoheet. Nämä olivat ruotsalainen laattakoe (Borås-koe) ionivaihdetulla vedellä ja suolaliuoksella, saksalainen CIF-koe (ionivaihdettu vesi) ja suomalainen pakkas-suolakestävyyskoe. Koska kokeuksia laattakokeesta ja CIF-kokeesta on Suomessa vielä vähän, näin saatiin arvokasta vertailutietoa

eri kokeiden vastaavuudesta toisiinsa nähden. Pakkaskestävyys määritettiin lisäksi huokosanalyyseillä ohuthieistä. Yhä edelleen jatkuvissa kenttäkokeissa koebetoni pakkasenkestävyys ja muu säilyvyys tutkitaan luonnonolosuhteissa. Samassa yhteydessä tutkitaan koekappaleiden karbonatisoituminen erillisillä koekappaleilla laboratoriossa sekä kenttäkokeissa. Koekentät sijaitsevat Espoon Otaniemessä sekä Sodankylässä. Kenttäkokeet jatkuvat vielä vuosia, joten lopullisia tuloksia niistä joudutaan odottamaan.

Tutkimuksen kehitettyjen betonien ympäristötekijöiden arviointi -osassa tarkasteltiin betonien käyttöikää Betoninormit 2004 mukaisesti ja koebetoneille laskettiin käyttöiät pakkasenkestävyyden ja karbonatisoitumisen suhteen. Lisäksi tutkimuksen tässä osassa arvioitiin koebetoni ominaisuuksia elinkaarilaskennan menetelmien mukaisesti. Lopuksi betoneista on esitetty kustannuslaskelmat ja näin koebetoni taloudellisuutta on voitu vertailla toisiinsa.

TUTKIMUKSEN KOKEELLINEN OSUUS

Koebetoni lujuusluokiksi valittiin K30 ja K45. Nämä lujuusluokat ovat betoniteollisuudessa eniten käytetyt lujuusluokat ja ne näin edustavat parhaiten suomalaista betonia. Valmisbetoniteollisuutta edustamaan valittiin lujuusluokka K30 ja elementiteollisuutta lujuusluokka K45. K30-betoneissa seosaineena käytettiin lentotuhkaa ja K45-betoneissa seosaineena käytettiin masuunikuonaa. Koebetoneilla tutkittiin seosaineiden ja niiden määrien ja jälkihoidon vaikutukset betonien lujuudenkehitykseen, loppulujuuteen sekä säilyvyyteen. Jälkihoidon seurauksena eri tapaukset: lämpökäsittely, työmaaolosuhteet ja kosteusuonesäilytys. Seosainebetonien vertailubetoneina olivat vastaavan lujuusluokan seosaineettomat betonit. Betonien vertailuikä oli 91 vrk. Tämä johtui siitä, että betoneissa käytettävät seosainemäärät olivat osassa betoneja normien antamaa tasoa huomattavasti suuremmat eli niin suuret, että materiaalilouden kannalta tarkasteltuna tarvittavaa lujuudenkehitystasoa ei olisi voitu saavuttaa lyhyemmässä ajassa ilman kustannusten nousua. Kaikki koebetoni olivat huokostettuja. Koebetoni suhteitukset on esitetty taulukoissa 1 ja 2.

Sementtimäärä K30-lujuusluokan vertailubetonissa oli 250 kg/m³ ja sementtinä käytettiin Rapid-

Taulukko 1.
Suhteitustiedot toisen valusarjan betoneista, joilla tutkittiin betonien pakkasenkestävyyttä ja huokosrakennetta. Lujuusluokat K30 ja K45. Lujuudenarvosteluaikä oli 91 vrk.

[kg/m ³]	K30	L20	L40	L60	K45	M25	M50	M70
Sementti	250	231	208	173	343	253	170	102
Lentotuhka	-	58	139	259	-	-	-	-
Masuunikuona	-	-	-	-	-	84	170	239
Vesi	144	139	136	129	167	165	167	168
Runkoaine	1907	1839	1781	1677	1786	1748	1755	1761
Notkistin	1,5	4,1	5,9	10,8	-	-	-	-
Huokostin	0,05	0,15	0,35	0,65	0,27	0,12	0,10	0,09

Taulukko 2.
Suhteitustiedot kolmannen valusarjan betoneista, jotka valmistettiin kenttä- ja karbonatisoitumiskokeita varten. Niistä määritettiin lisäksi yhden vuoden puristuslujuus.

[kg/m ³]	K30	L20	L40	L60	K45	M25	M50	M70
Sementti	253	233	209	173	340	256	168	102
Lentotuhka	-	58	139	260	-	-	-	-
Masuunikuona	-	-	-	-	-	85	168	238
Vesi	145	140	138	132	166	167	165	168
Runkoaine	1926	1859	1786	1678	1768	1767	1741	1756
Notkistin	2,5	4,7	6,3	10,8	-	-	-	-
Huokostin	0,04	0,08	0,21	0,39	0,17	0,12	0,10	0,06

sementtiä. Vastaavasti seosaineena käytetyt lentotuhkamäärät olivat 20, 40 ja 60 % sideaineiden yhteismäärästä (sementti+lentotuhka). Lentotuhkan jäännöshiilen määrä oli tarkoituksella korkea eli n. 7,5 %. Korkealla jäännöshiilimäärällä haluttiin tutkia heikompilaatuisen lentotuhkan käytön vaikutusta betonin ominaisuuksiin. 7,5 % jäännöshiilimäärä saatiin sekoittamalla kahta eri lentotuhkalajitetta. K45-lujuusluokan vertailubetonissa sementtimäärä oli 340 kg/m³ ja sementtinä käytettiin Pikasementtiä. Seosaineena käytettiin suomalaista masuunikuonaa. Koebetonien masuunikuonamäärät olivat 25, 50 ja 70 % sideaineiden yhteismäärästä (sementti+masuunikuona). K30- ja K45-lujuusluokien seosaineita sisältävien betonien sementtimäärien lähtökohtina olivat vertailubetonien sementtimäärät ja vesi-ilma-sementtisuhteet, jotka pidettiin seosainemäärästä riippumatta vakiona. Kaikki koekappaleet jälkihoidettiin kosteushuoneessa ennen koestuksen alkua silloin, kun tutkittiin pakkasenkestävyyttä. Lujuudenkehityskokeita varten koekappaleita jälkihoidettiin kosteushuoneessa (vertailukoekappaleet) ja työmaaolosuhteita vastaavissa olosuhteissa. Lisäksi jälkihoitona käytettiin joidenkin betonien kohdalla normaalia alempaa lämpötilaa eli 10 °C. Kaikista betoneista tehtiin lämpökäsittelymättömät ja lämpökäsittelyt koemassat. Lujuudenkehityksen seurannassa työmaaolosuhteiden koekappaleiden jälkihoito tehtiin pitämällä koekappaleet muovikalvoon tiiviisti suljettuina. Jälkihoito lopetettiin, kun 60 %:n nimellislujuuksa oli saavutettu. Lämpökäsittelylämpötila oli 50 °C ja käsittelyn kesto oli kaksi vuorokautta. Niillä betoneilla, joiden lujuudenkehitystä seurattiin 10 °C:ssa, oli aluksi kaksi vuorokautta kestävä lämpökäsittely 40 °C:ssa. Tämä sen vuoksi, että koekappaleille haluttiin jonkin asteinen varhaislujuus, jotta voitiin olettaa, että lujuudenkehitys jatkuisi myös viileässä.

KOETULOKSIA

Suurilla seosainemäärillä on betonin lämpökäsittely käytännössä pakollinen, jotta muotipurkulujuus saavutetaan kohtuullisessa ajassa. Lämpökäsittelyn ja -käsittelymättömän betonin muotipurkuajankohdan ero on esimerkiksi 70% masuunikuonamäärällä jopa yksi viikko.

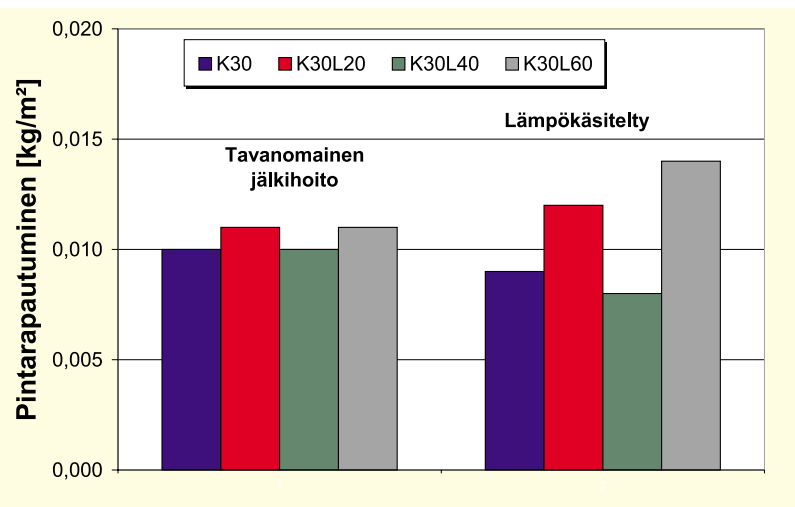
Säilyvyyskokeet käsittivät kolme koetta, jotka kaikki liittyvät betonin pakkasenkestävyyteen. Nämä olivat: laattakoe, CIF-koe ja pakkas-suolakes-

tävyyskoe. Laattakoe ja pakkas-suolakestävyyskoe tehtiin sekä lentotuhkabetoneilla että masuunikuonabetoneilla. Laattakokeessa käytettiin lentotuhkabetonien osalta jäätyminenesteenä ionivaihdettua vesijohtovettä. Masuunikuonabetonien kohdalla käytettiin ionivaihdetun veden lisäksi sulalieuosta. CIF-koe tehtiin ainoastaan tavanomaisesti jälkihoidetuilla lentotuhkabetoneilla ja jäätyminenesteenä käytettiin ionivaihdettua vesijohtovettä.

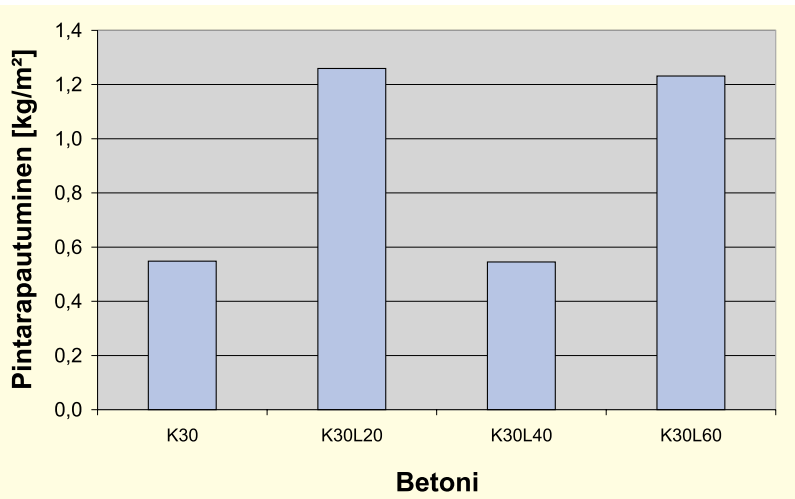
Lähes kaikkien koebetonien pakkasenkestävyys oli erinomainen laattakokeen tulosten perusteella sekä pintarapautumisen että sisäisen vaurioitumisen suhteen. Poikkeuksen tästä muodosti 70 % masuunikuonaa sisältävä betoni, joka rapautui yli 500 g/m² 56 jäädytys-sulatuskierroksen jälkeen. Pakkas-suolakestävyyskokeessa betonien tilavuuden muutos oli yli 3,3 % kaikilla lentotuhkabetoneilla ja kaikilla masuunikuonabetoneilla tavanomaisesti jälkihoidettua vertailubetonia ja 25 % masuunikuonaa sisältävää betonia lukuun ottamatta. Lentotuhkabetoneita ei valitun lujuusluokan perusteella ole tarkoitettu suolarasitettuun ympäristöön, joten kokeen tuloksia hyödynnettiin lähinnä eri pakkasenkestävyyskokeiden tulosten vertailussa. CIF-kokeessa kaikki betonit rapautuivat yli 500 g/m², mikä osoittaa kokeen rasittavuuden laattakokeeseen verrattuna. Kaikkien koebetonien sisäinen vaurioituminen laboratorikoekkeissa oli hyvin vähäistä.

Laboratoriossa valmistettujen koebetonien mikrorakenne määritettiin mikroskoopilla ja elohopeaporosimetrialaitteistolla. Näiden lisäksi koekappaleista valmistettiin ohuthieet ja niille tehtiin kapillaarinen vedellä imeytyskoe. Koebetonien mikrora-

4



5

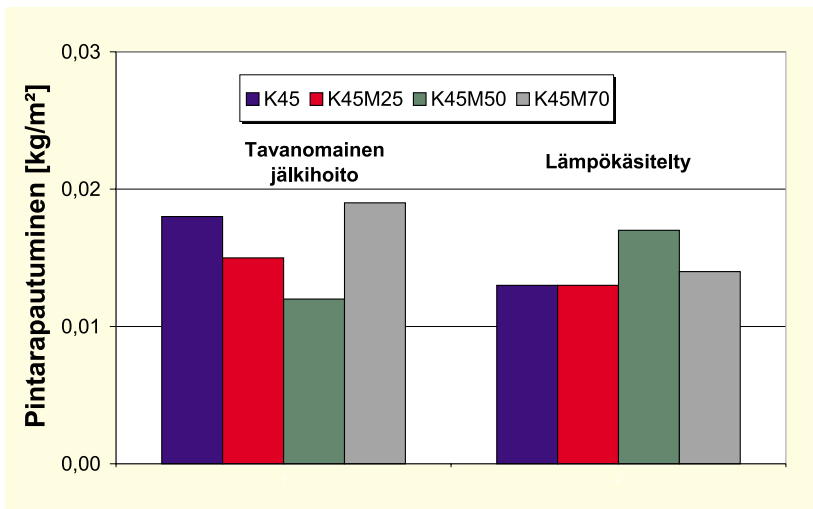


4

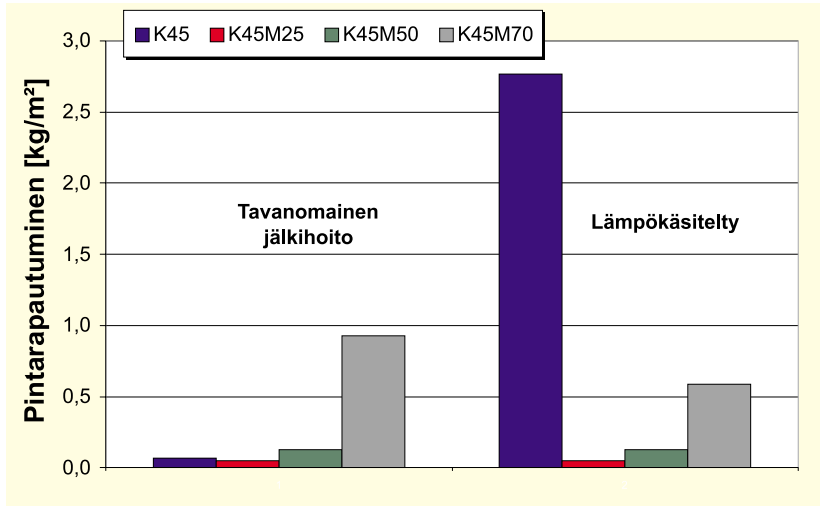
Lentotuhkabetonien pintarapautuminen laattakokeessa. Jäätyminenesteenä käytettiin ionivaihdettua vesijohtovettä.

5

Lentotuhkabetonien pintarapautuminen CIF-kokeessa. Jäätyminenesteenä käytettiin ionivaihdettua vesijohtovettä.



6

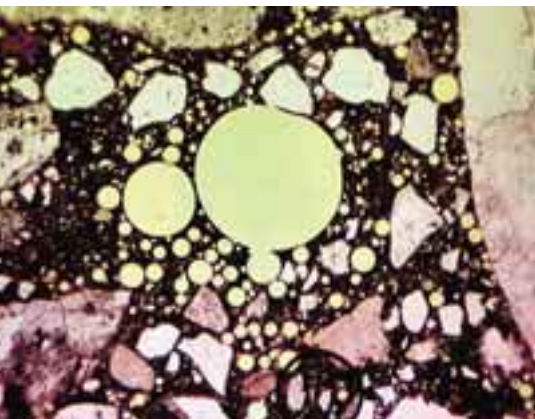


7

6 Masuunikuonabetonien pintarapautuminen laattakokeessa. Jäätymisnesteenä käytettiin ionivaihdettua vesijohtovettä.

7 Masuunikuonabetonien pintarapautuminen laattakokeessa. Jäätymisnesteenä käytettiin suolaliuosta.

8 Ohuthiekkuva, jossa esiintyy huokosten agglomeroitumista.



kenteen eri analyysimenetelmät antoivat keskenään hyvin samansuuntaisia tuloksia ja niiden perusteella oli myös mahdollista selvittää betonien vaurioitumiseen johtaneet syyt. Yleisesti voitiin todeta, että koebetonien suojahuokokset olivat usein tavanomaisista pienempiä ja ne sijaitsivat hyvin lähellä toisiaan. Joillakin betoneilla esiintyi lisäksi huokosten agglomeroitumista ja ilmataskuja runkoainepartikkelien alla.

Kenttäkokeissa, jotka kattoivat yhden talvikauden ja käsittivät noin 50 jäätymis-sulamiskierrosta, koebetonien pinta- ja sisäinen vaurioituminen oli hyvin vähäistä. Tulos oli odotettu, sillä kyseessä oli pakkasrasitus ilman suolarasitusta.

Tehdaskokeet, jotka tehtiin Lemminkäisen betonikivitehtaalla ja Lafarge Tekkinin kattotiilitehtaalla, osoittivat, että ympäristöystävällisiä betoneita voidaan käyttää myös tehdasvalmistuksessa. Molemmissa tehtaissa voitiin betonin suhteitusta muuttaa hyödyntämällä perinteisten osa-aineiden lisäksi mineraalisia seosaineita tai murskattua hienoa kiviainesta, jotka molemmat pienentävät ympäristölle kohdistuvaa rasitusta.

Käyttöikälaskelmat osoittivat, että kaikki koebetonit olivat pitkäikäisiä pakkasrasituksessa ilman suolarasitusta eli laskennallisesti yli 100 vuotta kestäviä. Suolarasituksessa ennakoitua käyttöikä oli 50 vuoden luokkaa, kun betonin vedellä kylästyminenaste on kohtalainen ja 30 vuoden luokkaa, kun betonin vedellä kyllästyminenaste on suuri. Lentotuhkamäärän lisäys ei vaikuttanut merkittävästi käyttöikäarviointiin. Masuunikuonan lisäys vaikutti selvästi käyttöikäarviota pienentävästi.

Koebetonien ympäristövaikutusten tarkastelu

osoitti, että mitä vähemmän käytetään sementtiä, sen pienempi ympäristörasitus betoniseoksella on joka suhteessa, eli materiaaleissa, energiankulutuksessa ja ilmastomuutoksessa. Sementin ympäristörasitus johtuu pääasiassa sementtiklinkkerin poltossa käytettävistä korkeista lämpötiloista. Laskelmat osoittivat, että masuunikuonan lisäyksellä pienennetään betonin ympäristökuormaa tehokkaammin kuin lentotuhkan lisäyksellä. Tämä johtuu näiden kahden seosaineen erilaisesta aktiivisuudesta. Lentotuhkaa käytettäessä joudutaan lentotuhkan alempi aktiivisuus ottamaan huomioon suhteituksessa ja käyttämään seoksessa suhteessa enemmän sementtiä kuin käytettäessä masuunikuonaa.

Koebetonien kustannustarkastelu tehtiin ympäristöanalyysin periaatteiden mukaisesti. Tarkastelu tehtiin siten, että materiaali- ja kuljetuskustannukset laskettiin kullekin betonille erikseen. Betonit oletettiin laskelmissa toimitetuksi työmaalle. Massan sekoituksesta tai mahdollisesta lämmityksestä johtuvia kustannuksia ei otettu huomioon. Tulokset osoittivat, että lentotuhkabetonien materiaali- ja kuljetuskustannukset ovat vertailubetonin kanssa samaa suuruusluokkaa. Masuunikuonabetonin materiaalikustannukset ovat vertailubetonin materiaalikustannuksia pienemmät, mutta kuljetuskustannukset puolestaan suuremmat. Materiaali- ja kuljetuskustannukset yhdessä tekevät masuunikuonabetonista kuitenkin vertailubetonia edullisemmän.

KÄYTTÖIKÄ – SÄILYVYYS – TALOUDELLISUUS

Lohja Ruduksen esittämän arvion mukaan 65 % valmisbetonista toimitetaan kohteisiin, joissa säilyvyysvaatimuksia ei ole. Vastaava luku elementtituotteiden osalta on Rakennusteollisuus RT ry:n mukaan 75 %. Rakenteita, joilla ei ole säilyvyysvaatimuksia, ovat lähes kaikki sisätiloissa sijaitsevat betonirakenteet. Tällöin taloudellisesti edullisempien seosaineiden määrää voidaan huomattavasti lisätä, jolloin betoneista saadaan samalla ympäristöystävällisempiä. Lentotuhka ja masuunikuona ovat energiateollisuuden ja raudan valmistuksen sivutuotteita ja niiden valmistuksesta johtuvat päästöt ovat syntyneet jo kyseisten teollisuudenalojen prosesseissa. Seosaineiden hyödyntämisellä saavutetaan myös muita merkittäviä etuja. Näitä ovat energian säästö, päästöjen vähentyminen ja betonin valmistuskustannusten aleneminen. Suunnitte-

lijan on kuitenkin otettava huomioon betoninormien vaatimukset, joista ei saa poiketa, kun kyseessä on rakennebetoni (Betoninormit 2004).

Kun betonin lujuusluokkaa korotetaan sen ympäristökuormitus kasvaa, mutta tällöin on myös arvioitava korkeamman lujuusluokan vaikutus tuotteen käyttöikään ja erityisesti se kuinka paljon rakenteen dimensioita voidaan pienentää eli betonimäärää ja raudoitusta vähentää. Vasta näiden kokonaisvaikutusten perusteella voidaan arvioida rakennekohtaisesti tuotteen ympäristötase.

Niissä Suomessa valetuissa betoneissa, joissa on säilyvyysvaatimus, se on yleisimmin pakkasenkestävyysvaatimus. Tutkimustulokset osoittavat, että jopa suurien seosainemäärien käyttö betonissa on mahdollista ilman, että betonin säilyvyys vaarantuu. Seosainemäärää lisättäessä yleensä betonin materiaalitekniikan vastus karbonatisoitumiselle pienenee, mutta rakenteiden suunnittelussa tämä voidaan ottaa huomioon käyttökäkelmällä, jolloin esimerkiksi betonipeitteen paksuutta voidaan tarvittaessa kasvattaa. Kuitenkin tutkimuksen tulosten perusteella voidaan havaita, että suuria seosainemääriä käytettäessä betonin säilyvyyden epävarmuustekijät voivat lisääntyä. Esimerkiksi suurten seosainemäärien betonien huokostaminen ei ole yhtä helppoa kuin puhtaan portlandsementtibetonin huokostaminen. Kuten ympäristöystävällisten betonien lujuudenkehitysnopeudenkin osalta myös säilyvyysominaisuuksista tarvitaan enemmän tietoa ja kokemuksia käytettäessä suuria seosainemääriä betonin valmistuksessa, erityisesti silloin, jos on syytä poiketa nykyisten betoninormien vaatimuksista.

Tutkimuksessa on osoitettu lämpökäsittelyn myönteinen vaikutus seosaineita sisältävien betonien varhaislujuuden kehitykseen, eri pakkasenkestävyyskokeiden keskinäinen korrelaatio ja eri huokosanalyysimenetelmien keskinäinen korrelaatio ja soveltuvuus betonin pakkasenkestävyyden arviointiin. Tutkimustulokset ovat lisäksi osoittaneet kiihdytettyjen laboratoriokokeiden ja kenttäkokeiden välisen yhteyden pakkasenkestävyyden osalta. Näitä kokeita on kuitenkin syytä täydentää vielä tulevaisuudessa, jotta saadaan selkeä yhteys laboratoriokokeiden perusteella tehtävien käyttöikäarvioiden ja kenttäkokeiden antamien tulosten välille.

Ympäristöystävällisten, hyvät säilyvyysominaisuudet omaavien ja taloudellisten betonien kehittä-

minen on aina rakenne- ja tuotekohtainen tehtävä, joka on osa yrityksen tuotekehitystyötä. Tämä tutkimus antaa perusteita ja lisäinformaatiota tämän tuotekehitystyön pohjaksi. Täten betoniteollisuus voi omalta osaltaan edesauttaa maailmanlaajuisessa kestäväan kehitykseen johtavien suunnittelu- ja rakentamiskäytäntöjen muodostumisessa ja edelleen kehittämisessä.

Tutkimushanke on raportoitu täydellisenä julkaisussa:

Tulimaa, M., Wirtanen, L., Holt, E., Kukko, H. ja Penttala, V. *Ympäristöystävälliset ja hyvin säilyvät betonit*. 2005. Julkaisu 18. Espoo. Teknillinen korkeakoulu, rakennusmateriaaliteknikan laboratorio. 135 s. liitteet 22 s.

Artikkelin kirjoittajat dipl.ins. Mika Tulimaa (vv. 2002 - 2003) ja tekn.lis. Leif Wirtanen (v. 2004) ovat olleet yllämainittuina vuosina TKK:n tutkijoita tässä tutkimuksessa.

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY AND DURABLE CONCRETE GRADES

The purpose of this study, conducted in 2002 – 2004, was to determine and link ideal environmental friendliness, economy and durability for concrete. The objective can be reached by utilising industrial by-products, which are more inexpensive and less environmentally harmful than cement. The by-products on which the study focused include fly ash and furnace slag. In some of the tested concrete grades the levels of admixtures exceeded the limits specified in the Finnish concrete norms 2004. The idea was to establish the limits of admixtures that will not endanger durability.

The study is a parallel Finnish project with the EU-financed CONLIFE study realised in 2001 – 2004.

The study was divided into four sections: - gathering data bank material and samples of practical structures; - material studies; - durability tests carried out on the field and in the laboratory; - assessing the environmental impact of the concrete grades developed in the study.

In the data bank section the available Finnish theoretical knowledge of the properties and the durability of admixture concrete was assembled, and information was gathered of realised concrete structures, in which admixture concrete had been used.

In material studies the focus was on the development of proportions for ecological admixture concrete grades, on determining the development of their strength and their final strength, and on microstructural properties.

In the laboratory durability tests the concrete grades were tested using the slab test (Borås test), the CIF test and the frost/salt resistance test. Frost resistance was also determined on thin sections using pore analyses. In field tests that still continue the frost resistance and other durability properties of the tested concrete grades are determined in natural conditions.

In the study section where the environmental impact of the developed concrete grades was assessed the focus was on the length of the service life. Using the concrete norms 2004 as the basis, the service life of the concrete grades was calculated with respect to frost resistance and carbonisation. In addition, the properties of the tested concrete grades were assessed utilising the methods of life cycle analysis.

Cost calculations were also performed on the concrete grades.

STUDY RESULTS

At high admixture levels, heat treatment of the concrete is in practice compulsory in order to achieve stripping strength within a reasonable time.

Almost all the tested concrete grades displayed excellent frost resistance properties in the slab test, with respect to both surface weathering and internal damage. In the CIF test, on the other hand, the degree of weathering was considerable on all the grades, which shows how much more demanding this test is than the slab test.

In laboratory tests all the tested concrete grades displayed very little internal damage.

The field tests conducted over one winter season showed very little surface and internal damage in the tested concrete grades.

The factory tests conducted at a concrete stone plant and a roof tile plant indicated that environmentally friendly concrete grades can also be used in industrial fabrication.

According to the service life analyses all the tested concrete grades had long service lives: when subjected to frost, without salt stress, the theoretical service life of concrete was more than 100 years. Salt stress reduced the expected service life (50/30 years).

The analyses of the environmental impact of the tested concrete grades showed that the adding of furnace slag reduces the environmental load of concrete more effectively than adding of fly ash.

In the cost analyses it was established that the material and transport costs of concrete, in which fly ash has been added, are of the same magnitude as those of the reference concrete. The material costs of concrete, in which furnace slag is added, are lower than those of the reference concrete, but the transport costs are higher. When the material and transport costs are combined, concrete, in which furnace slag has been added, is still more economical than the reference concrete.