

ITSETIIVISTYVÄT ERIKOISLUJAT BETONIT 150 – 200 MPa

Camilla Vornanen, Andrzej Cwirzen ja Vesa Penttala
Teknillinen korkeakoulu
Rakennusmateriaalitekniikka

Erikoisluja betoni poikkeaa merkittävästi tavanomaisesta betonista. Sille on ominaista hyvin alhainen vesi-sideainesuhde ja vesi-sementtisuhte, suuri sementti-, seosaine- tai silikamäärä sekä pieni runkoaineen maksimiraekoko. Yleensä erikoislujan betonin runkoaineen maksimiraekoko on alle 1 mm.

Kovettuneella erikoislujalla betonilla on erittäin tiivis mikrorakenne ja sen vuoksi hyvät lujuus- ja säilyvyysominaisuudet. Suuri sementtimäärä (yleensä 800-1000 kg/m³) tekee betonista kuitenkin kalliin ja sen ekologinen tase/betoni-m³ on huonompi verrattuna normaalilujuuksiseen betoniin.

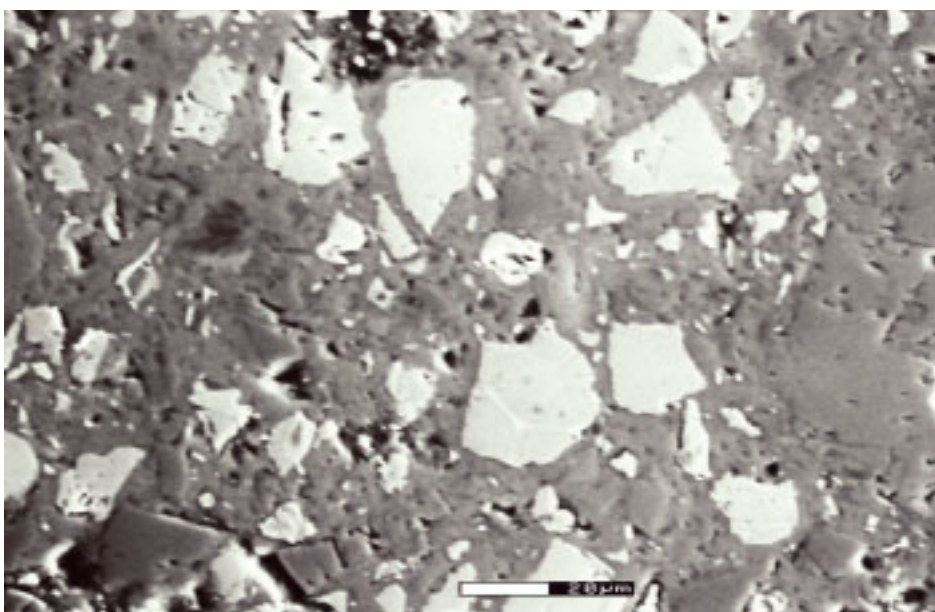
Erikoislujan betonin ajasta riippuvat muodonmuutosominaisuudet ovat suurempia kuin normaalilujuuksisella betonilla. Erityisesti näiden betonien suuri autogeeninen kutistuma voi aiheuttaa mikrohalkeilua, joka heikentää betonin muuten hyviä säilyvyysominaisuuksia. Ongelmia ovat myös tavanomaiseen betoniin verrattuna lyhyt työstettävyyssaike ja korkea ilmamäärä.

Teknillisen korkeakoulun Rakennusmateriaalitekniikan laboratoriossa tutkittiin erikoislujia betoneita vuosina 2004-2007, [1]. Tavoitteena oli optimoida erikoislujien betonien koostumus siten, että ne olisivat itsetiivistyviä, ja muutenkin parantaa erikoislujien betonien työstettävyyso-
minaisuuksia niin, että ne olisivat vastaavanlaisia kuin tavanomaisilla betoneilla. Tutkimuksessa sovellettiin ja kehitettiin yksinkertaisia koemenetelmiä, joilla optimaalinen betonin koostumus voitaisiin määrittää tavanomaisessa betonilaboratoriossa. Lisäksi selvitettiin sideaineiden ja mikrofillerin määrän vähentämisen mahdollisuuksia kasvattamalla runkoaineen suurin raekoko 6-8 mm:iin sekä tutkittiin kehitettyjen betonikoostumusten mikrorakennetta, mekaanisia ja säilyvyysominaisuuksia sekä käyttöä hybridirakenteena yhdessä tavanomaisen betonin kanssa. Myös teräskuitujen käytön vaikutuksia erikoislujien betonien ominaisuuksiin tutkittiin.

Tässä artikkelissa tarkastellaan erityisesti runkoaineen maksimiraekoon kasvattamisen vaikutuksia sekä verrataan lämpökäsitellyn ja lämpökäsittelemättömän itsetiivistyvän, erikoislujan betonin ominaisuuksia.

ERIKOISLUJIIEN BETONIIEN KOOSTUMUKSET

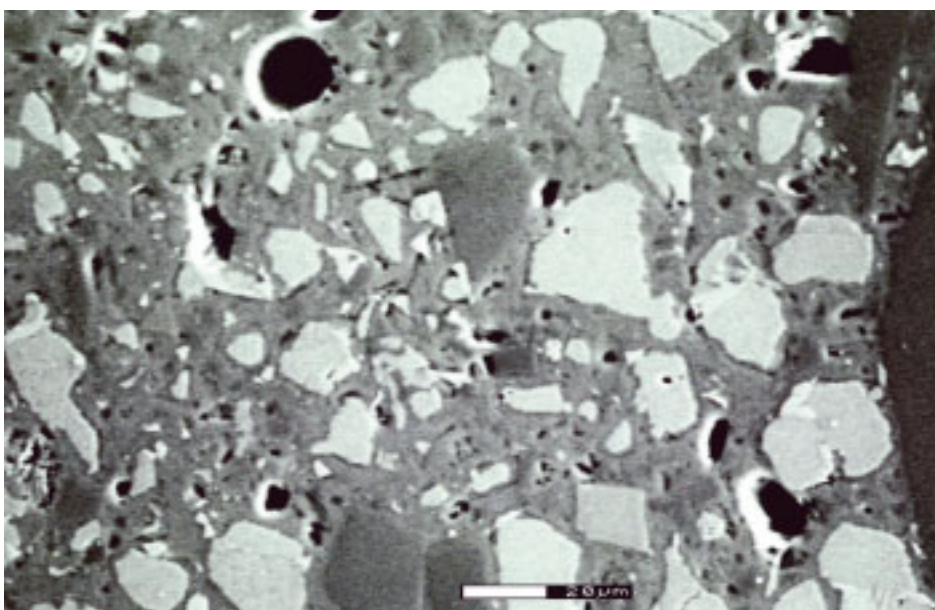
Tutkittavien betonien koostumukset optimoitiin esimillä korrelaatiot betonimassan vedentarpeen, betonia sekoitettaessa tapahtuvan kastumisen ajankohdan ja mekaanisten ominaisuuksien välille.



1

1

Lämpökäsittelemätön koebetoni F26/022/N.
Kuvan oikeassa reunassa on suurempi runkoainepartikkeli.



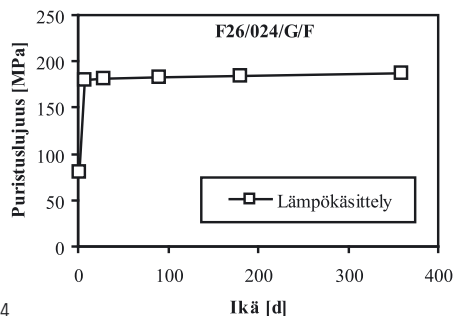
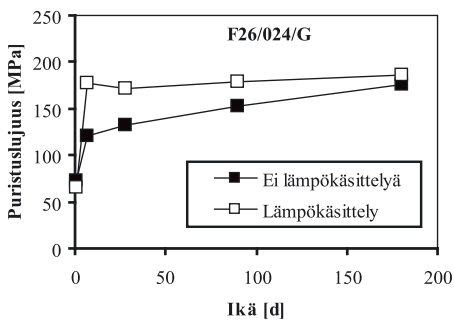
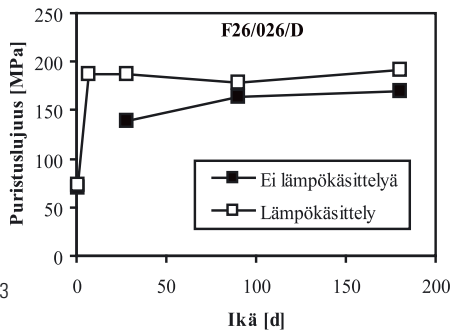
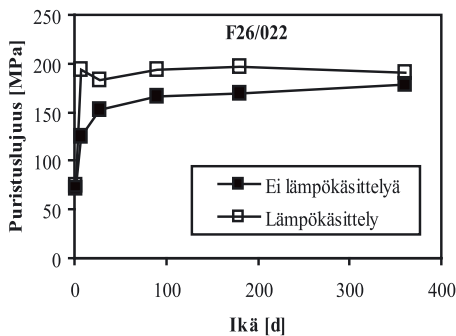
2

2

Lämpökäsitelty koebetoni F26/022/H.
Kuvan oikeassa reunassa on suurempi runkoainepartikkeli.

Taulukko 1.
Kehitettyjen itsestivistävien erikoislujien koebetonien koostumuksia, kun sementin paino-osuus on 1.

Koebetoni	Silika- jauhe	Hiekka 160- 600 [μm]	Rakeisuudeltaan suurimmat runkoainefraktiot			Teräs- kuidut	Kvartsi- filleri	Vesi/ sementti
			Diabaasi 3-6 [mm]	Graniitti 2-5 [mm]	Graniitti 5-8 [mm]			
F26/022/N	0.25	0.8					0.2	0.22
F26/022/H	0.25	0.8					0.2	0.22
F26/024/G/F/H	0.25	0.8		1		0.1	0.2	0.24
F26/024/G/3/H	0.25	0.8			2		0.2	0.24
F26/024/G/3/N	0.25	0.8			2		0.2	0.24
F26/026/D/H	0.25	0.8	2				0.2	0.26
F26/026/D/N	0.25	0.8	2				0.2	0.26



Kastumisajalla tarkoitetaan sitä sekoitusaikaa, jolloin seos muuttuu kuivasta märäksi. Alustavat koeket tehtiin *Puntken* [2] menetelmällä, jossa periaatteena on betonin tiiveimmän pakkautuvuusasteen eli pienimmän tarvittavan vesimäärän määrittäminen erilaisilla erikoislujan betonin kuiva-ainesten suhteilla. Näitä tuloksia sovellettiin betonin valmistukseen.

Tuloksena löydettiin yhteys sementtikiven puristuslujuuden ja sideaineiden, kvartsijauheen ja hiekan seoksen vedentarpeen välille ja optimaalisten erikoislujien betonien osa-aineiden koostumusten vaikutus tuoreen betonimassan painuma-leviämäkokeen tuloksiin ja betonin vedentarpeeseen. Laboratoriokokeiden tulosten perusteella määritettiin koostumukset tutkimuksen erikoislujille betoneille. Seuraavassa vaiheessa testattiin vielä runkoaineen maksimiraekoon kasvattamisen vaikutus betoneihin.

Työstettävyydeltään ja mekaanisilta ominaisuuksiltaan parhaimmat erikoislujat betonit saatiin, kun sementtinä käytettiin sulfaatinkestävää SR-sementtiä CEM I 42,5 N (SR), mikrofillerinä hienoa kvartsijauhetta (maksimiraekoko 60 μm), hienoa mikrosilikaa 983 U (Elkem, Norja) sekä polykarboksylaattipohjaista tehonotkistinta. Runkoaineena käytettiin hienoa hiekkaa (maksimiraekoko 600 μm). Lisäksi osaan betoneista lisättiin karkeampaa runkoainetta (graniittia tai diabaasia, max # 6-8 mm) ja osaan 12 mm:n pituisia teräskuituja. Karkean runkoaineen määrät sekä veden ja tehonotkistimen määrät vaihtelivat betonista riippuen muiden osa-aineiden suhteellisten osuuksien ollessa vakioita. Taulukossa 1 on esimerkkejä koebetonien koostumuksista.

Puolet koekappaleista säilytettiin 95 %:n suhteellisessa kosteuspitoisuudessa koestukseen saakka ja puolet lämpökäsiteltiin 90 °C:een lämpötilassa 48 tunnin ajan ennen RH 95 %:iin siirtämistä.

3 Itsetiivistävien erikoislujien betonien puristuslujuuden kehittyminen. Koebetonissa F26/022 ei ole kuituja ja runkoaineen maksimiraekoko on 0,6 mm ja koebetonissa F26/026/D ei ole kuituja ja karkein runkoainefraktio (max # 6 mm) on diabaasia.

4 Itsetiivistävien erikoislujien betonien puristuslujuuden kehittyminen. Koebetonissa F26/024/G ei ole kuituja ja karkein runkoainefraktio (max # 8 mm) on graniittia ja koebetonissa F26/026/D/F on teräskuituja ja karkein runkoainefraktio (max # 8 mm) on graniittia.

TUOREEN BETONIN OMINAISUUDET

Koebetonien sekoituksessa kastumisaika oli 3-7 minuuttia, kun runkoaineen maksimiraekoko oli alle 1 mm, ja karkeampaa runkoainetta sisältäneillä betoneilla 1,6-3 minuuttia. Koebetonien leviämätulos vaihteli 580 mm:stä 870 mm:iin ja T_{50} -aika oli 2 ja 13 sekunnin välillä. Kaikki optimoidut erikoislujat betonit olivat itsestivistäviä. Kun betonien runkoaineen maksimiraekoko kasvatettiin 6-8 mm:iin, vesi-sementtisuhdetta jouduttiin hieman suurentamaan hyvien työstettävyysominaisuuksien takaamiseksi. Betonin käsittely tuoreena oli huomattavasti helpompaa, kun siihen oli lisätty karkeaa runkoainetta. Erikoislujien betonien ilmamäärä oli noin 4 % ja, kun maksimiraekoko oli 6-8 mm, ilmamäärä oli alle 2 %.

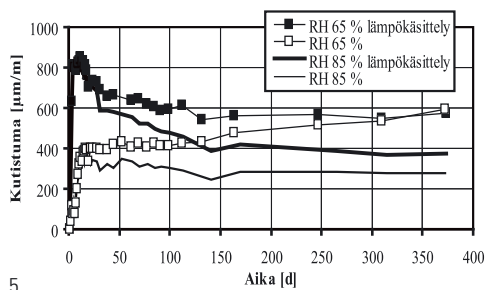
Teräskuitujen lisääminen (20-30 % sementin määrästä) ei heikentänyt tavallisten erikoislujien betonien (max # 0,6 mm) työstettävyysominaisuuksia merkittävästi, mutta kun runkoaineen maksimiraekoko oli 6-8 mm, jo 10 %:n teräskuitujen lisäys haittasi huomattavasti tuoreen betonin työstettävyyttä. Tällöin teräskuidut estivät karkeimpien runkoainepartikkelien pakkautuvuutta.

MEKAANISET OMINAISUUDET JA SÄILYVYYS

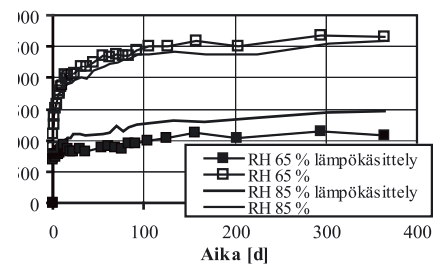
Kaikkien betonien mikrorakenne osoittautui tiiviiksi ja homogeeniseksi lämpökäsittelystä tai runkoaineen maksimiraekoon kasvattamisesta riippumatta.

Puristuslujuus testattiin 100 mm:n särmäisillä betonikuutioilla. Kuukauden iässä saavutettu paras tulos oli 202 MPa ja se aikaansaatii lämpökäsittelöllä erikoislujalla betonilla (max # 0,6 mm) teräskuituja käytettäessä. Lämpökäsittelöllä erikoislujilla betoneilla, joiden maksimiraekoko oli 6-8 mm, paras tulos oli 187 MPa, kun karkein runkoainefraktio oli diabaasia. Teräskuidut paransivat puristuslujuutta myös betoneilla, joiden maksimiraekoko oli 6-8 mm, mutta työstettävyyden heikkeneminen rajoittaa tällöin kuitujen käyttöä. Puristuslujuus kasvoi lämpökäsittelemättömillä betoneilla 180 vrk:n ikään asti enemmän kuin lämpökäsittelöllä betoneilla, mutta loppulujuus jäi matalammaksi. Lämpökäsittelemättömillä erikoislujilla betoneilla 28 vrk:n puristuslujuus oli 130-140 MPa, puolen vuoden ikäisinä puristuslujuudet olivat yleensä 160-170 MPa.

Teräskuiduilla voidaan parantaa lähinnä tyyppillisen erikoislujan betonin (max # 0,6 mm) taivutusvetolujuutta. Lisättäessä kuituja 30 % taivutusvetolujuus parani 13 MPa:sta 36 MPa:iin. Kun maksimiraekoko oli 6-8 mm, taivutusvetolujuus kasvoi vain marginaalisesti.



5



Erikoislujien betonien kimmomoduulit vaihtelivat 41-52 GPa:n välillä. Suurin kimmomoduulitulos 52 GPa saavutettiin koebetonilla, jossa oli diabaasia (max # 6 mm). Graniittia käytettäessä tulos oli hieman alempi (45-47 GPa), sillä graniitilla on diabaasia heikommät mekaaniset ominaisuudet. Kun runkoaineen maksimiraekoko oli 0,6 mm, saavutettiin noin 41 GPa:n kimmomoduulituloksia, ja teräskuituja käytettäessä kimmomoduuli oli 45 GPa. Lämpökäsittelyllä ei ollut merkittävää vaikutusta erikoislujien betonien kimmomoduuleihin.

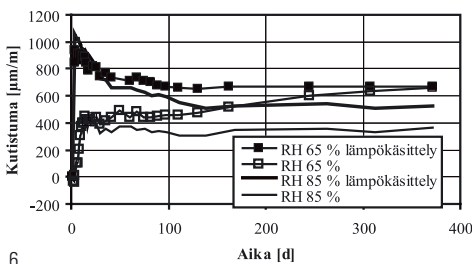
Pakkasenkestävyyttä tutkittiin CIF- ja CDF-kokeilla. CIF-kokeessa jäätyvänä nesteenä on ionivaihdettu vesi. CDF-koe on suolapakkakoe, jossa jäätyvä vesiliuos sisältää 3 % NaCl:a. Kokeissa käytettiin 56 jäädytyskyläisyklyä. Pinnan rapautuman ja sisäisen vaurioitumisasteen lisäksi määritettiin koekappaleeseen imeytyneen veden määrä.

Erikoislujien betonien pakkasenkestävyys oli erinomainen kaikissa kokeissa lukuun ottamatta pinnan rapautumista suolapakkasrasisutuskokeessa, jossa se oli vain tavanomainen. CDF-kokeessa erikoislujien betonien pinnan rapautuma oli 180-220 g/m² 56 jäädytyskyläisyklyn jälkeen. Betoninormien 2004 mukaan nämä tulokset täyttävät 50 vuoden käyttöiän vaatimukset pakkasrasisutusluokassa XF4 ja 100 vuoden käyttöiän vaatimukset pakkasrasisutusluokassa XF2. Suolapakkaskokeen vaatimattomien tulosten syiksi arvioitiin käytetty sulfaatinkestävä sementti, jossa C3A-pitoisuus oli vain 1 %. Tämä sementtityyppi ei pysty estämään kloridien tunkeutumista betoniin vastaavalla tavalla kuin muut Portlandsementit.

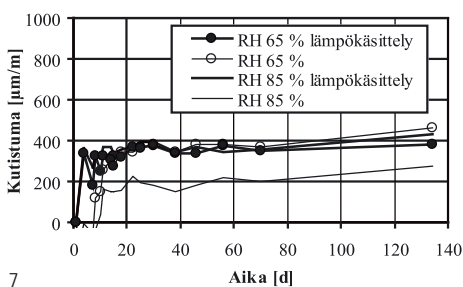
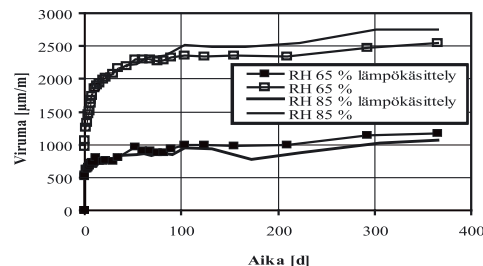
Sisäistä vaurioitumista ei betoneilla tapahtunut. Vedenimeytyminen oli molemmissa kokeissa samaa luokkaa, noin 0,12 % koekappaleen painosta. Runkoaineen maksimiraekoon kasvattaminen vähensi pinnan rapautumista. Teräskuidut lisäsivät hieman pinnan rapautumista mutta vähensivät sisäistä vaurioitumista.

KUTISTUMINEN JA VIRUMINEN

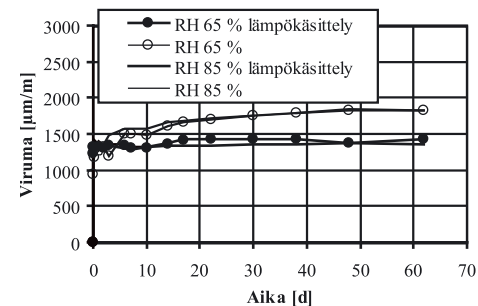
Kutistumista ja virumista tutkittiin kahdella tyypillisellä erikoislujalla betonilla (max # 0,6 mm) vuoden ajan ja karkeampaa runkoainetta sisältäneellä betonilla (max # 6-8 mm) 70 vuorokauden ajan. Koekappaleet olivat lieriömäisiä, niiden korkeus oli 200 mm ja halkaisija 50 mm. Koebetoneita säilytettiin 95 % suhteellisessa kosteuspitoisuudessa 7 vrk:n ikään saakka ja sen jälkeen 65 % tai 85 % RH:ssa +20 °C:een lämpötilassa. Virumakuormitus oli 30 %



6



7



7 vrk:n murtolujuudesta ja tämä kuormitus vaikutti koko kokeen ajan.

Suurin alkukutistuma (~1000 µm/m) mitattiin lämpökäsittelyllä betonilla, jossa ei käytetty kvartsiifillieriä. Kun betonissa oli kvartsiifillieriä, vastaava arvo oli noin 800 µm/m. Kuten kuvista 5-7 havaitaan, nopean alkukutistuman jälkeen lämpökäsittelyjen erikoislujien betonien kutistuminen palautui noin kolmasosan molemmissa säilytysolosuhteissa. Suhteellisesta kosteuspitoisuudesta riippuen loppukutistuma oli 300-600 µm/m. RH 85 %:ssa kutistuminen oli hieman pienempi.

Lämpökäsittelyn alkukutistumista ja sen jälkeistä paisumista lisäävä vaikutus voidaan selittää autogeenisen kutistuman, kiihtyneen hydrataation ja sitä kautta lisääntyneen hydrataatiokutistumisen sekä edelleen hydratoituneen sementtipastan ja karkean runkoaineen lämpölaajenemisen yhteisvaikutuksella.

Kun runkoaineen maksimiraekoko oli 6-8 mm, erikoislujilla betoneilla ei havaittu nopeaa ja suurta alkukutistumista lämpökäsittelyn jälkeen ja sen jälkeen tapahtuvaa palautumista. Sen sijaan kutistuminen tapahtui suurimmaksi osaksi lämpökäsittelyn aikana ja kasvoi vain vähän seuraavien 70 vrk:n aikana. Loppukutistuma jäi vain noin 400 µm/m:iin. Pieni kutistuma-arvo johtuu sementtipastan pienemmästä tilavuusosuudesta, runkoaineen kutistumista rajoittavasta vaikutuksesta sekä kosteammassa säilytysolosuhteessa aiheutuvasta paremmasta jälkihoidosta. Tämä havaittiin myös pakkasenkestävyysskoekoiden yhteydessä.

5 Itsetiivistyvien erikoislujien betonien kutistuminen ja viruminen. Betonissa F26/022 oli kvartsiifillieriä, runkoaineen maksimiraekoko oli 0,6 mm ja betonin vesi-sementtisuhde oli 0,22.

6 Itsetiivistyvien erikoislujien betonien kutistuminen ja viruminen. Betonissa F3/022 ei ollut kvartsiifillieriä, runkoaineen maksimiraekoko oli 0,6 mm ja betonin vesi-sementtisuhde oli 0,22.

7 Itsetiivistyvien erikoislujien betonien kutistuminen ja viruminen. Betonin F26/024/G/3 karkein runkoaineefraktio (max # 8 mm) oli graniittia ja betonin vesi-sementtisuhde oli 0,24.

Korkeampi suhteellinen kosteuspitoisuus vähensi kaikkien betonien kutistumaa 100-200 $\mu\text{m}/\text{m}$ keeen kestosta riippuen. Silti kaikkien erikoislujien betonien kutistuminen oli 4-8 kertaa suurempaa kuin tavanomaisella betonilla, joka kutistuu keskimäärin 40-100 $\mu\text{m}/\text{m}$. Tähän vaikuttaa erikoislujan betonin tiiviys ja vähäinen huokosmäärä, joiden takia vettä ei pääse imeytymään betoniin ulkopuolelta ja betoni kuivuu sisäisesti, mikä aiheuttaa autogeenista kutistumista.

Kun erikoislujan betonin runkoaineen maksimiraekoko oli 0,6 mm, lämpökäsittelyjen betonien loppuviruma oli noin 1000 $\mu\text{m}/\text{m}$ ja lämpökäsittelmättömien noin 2500 $\mu\text{m}/\text{m}$. Suurin osa lämpökäsittelyjen erikoislujien betonien virumasta tapahtui ensimmäisten päivien aikana ja lämpökäsittelmättömillä betoneilla viruminen tapahtui pääosin noin kolmen kuukauden aikana. Kosteuspitoisuuden vaikutus viruman suuruuteen ei ollut merkittävä. Normaallilujuuksisten betonien vastaava viruma on noin 700 $\mu\text{m}/\text{m}$, joten lämpökäsittelmättömien erikoislujien betonien viruma on noin 3,5-kertainen normaallilujuuksiin betoneihin verrattuna. Lämpökäsittelyjen erikoislujien betonien viruma on vastaavasti noin 40 % suurempi verrattuna normaallilujuuksiin betoneihin.

Betonin runkoaineen maksimiraekoon kasvattaminen 6-8 mm:iin vaikutti lähinnä lämpökäsittelmättömien betonien virumiseen, joka väheni alle 2000 $\mu\text{m}/\text{m}$:iin. Suhteellisella kosteuspitoisuudella ei ollut tässä tapauksessa merkittävää vaikutusta viruman suuruuteen lämpökäsittelystä riippumatta.

HYBRIDIRAKENTEET

Tutkimuksessa testattiin myös erikoislujien betonien ja tavanomaisen (K35) betonin toimivuutta samassa rakenteessa, ns. hybridirakenteena. Näitä betoneita valettiin kerroksittain ("märkkää märeille") erilaisiin palkki- ja pilarirakenteisiin, joista testattiin taivutus- ja leikkauslujuuksia sekä eri kerrosten kutistumista. Tarkastelun kohteena oli lähinnä eri betonikerrosten välinen rajakohta. Ero eri betonien kutistuman suuruudessa näkyi mittauksissa hyvin, mutta näkyvää vaikutusta koekappaleisiin esimerkiksi halkeiluna ei havaittu. Rajakohtaan muodostuu kuitenkin heikompi vyöhyke, mutta esimerkiksi palkin taivutuslujuutta voidaan tulosten mukaan parantaa tapauksessa, jossa alapinta valetaan erikoislujasta betonista ja yläpinta tavanomaisesta. Runkoaineen maksimiraekoon kasvattamista tai kuitu-

jen vaikutusta ei hybridirakenteissa kokeiltu. [3]

PALONKESTÄVYYS

Palokokeita varten valmistettiin neljää erityyppistä erikoislujaa betonia. Kahdessa koebetonissa käytettiin diabaasia, jonka suurin raekoko oli 6 mm. Toinen näistä koebetoneista oli lämpökäsittely ja toinen lämpökäsittelmätön. Molemmat koebetonit valmistettiin lisäämällä niihin 0,4 % polypropyleenikuituja.

Kaksi palokoebetonisarjaa tehtiin lämpökäsittelyllä erikoislujalla betonilla, jonka runkoaineen maksimiraekoko oli 0,6 mm. Toisessa betonissa oli 0,4 % polypropyleenikuituja ja toinen valmistettiin ilman kuituja.

Kolme koebetonia neljästä oli lämpökäsittelyjä, jolloin niiden mikrorakenne oli hyvin tiivis. Tällöin katsottiin, että huokosveden höyrystyessä syntyvät paineet olisivat palonkestävyyden kannalta lämpökäsittelyissä betoneissa vaarallisempia kuin lämpökäsittelmättömissä betoneissa. Kolmessa erikoislujassa koebetonissa neljästä oli polypropyleenikuituja, joiden oletettiin sulaessaan noin 170 °C:ssa muodostavan betoniin tiehykeitä, joita pitkin vesihöyry pääsee palotilanteessa purkautumaan rakenteesta sitä vaurioittamatta.

Palokokeet tehtiin Rostockin teknillisessä korkeakoulussa Saksassa professori *Ullrich Diederichsin* johdolla [6]. Yksikään erikoislujaa koebetoni ei murtunut palokokeessa räjähdysmenomaisesti tai edes lohjennut. Kun betonin runkoaineen suurin raekoko oli 0,6 mm, koebetonien kantokyky pieneni hallitusti ja melkein lineaarisesti niin, että puristuslujuus oli 850 °C:n lämpötilassa noin 20 % keeen alkutilanteeseen verrattuna. Diabaasia sisältäneiden koebetonien (max # 6 mm) puristuslujuus oli 20 % alkuperäisestä noin 650 °C:n lämpötilassa. Lämpökäsittelyn ja lämpökäsittelmättömän erikoislujan koebetonin puristuslujuuden aleneminen palokokeessa oli varsin lähellä toisiaan. On ilmeistä, että suuren sideainemäärän aiheuttama hydrataatio oli kuivannut betonin siinä määrin, etteivät huokosveden höyrystymispaineet aiheutta neet palonkesto-ongelmia.

ERIKOISLUJAN BETONIN KÄYTTÖMAHDOLLISUUKSIA

Itsetiivistyvien erikoislujien betonien puristuslujuus on 150-200 MPa, taivutusvetolujuus 15-30 MPa ja niillä on erinomainen tai suolapakkasrasituksessa ainoastaan tavanomainen pakkasenkestävyys. Eri-

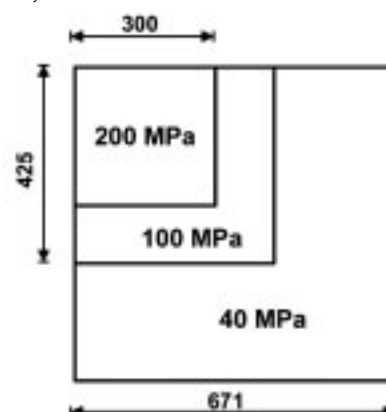
koislujien betonien kutistuma ja viruma ovat suurempia kuin normaali- tai korkealujuuksisella betonilla. Kuitenkin normaalibetonien K25-K40 materiaalikustannukset ovat ainoastaan murto-osa erikoislujien betonien materiaalikustannuksista erityisesti teräskuituja käytettäessä.

On selvää, että erikoislujien betonien käyttösovellukset eivät ole tavanomaisissa rakenteissa. Poikkeuksen muodostavat erittäin suuren kuormituksen alaiset pilarit. Tällöin sovelluskohteita voivat olla korkeat rakennukset tai tehdasrakennusten vahvasti kuormitetut pilarit. Kuvassa 8 on verrattu keskeisesti kuormitetun pilarin poikkileikkausdimensioita puristuslujuuden funktiona. Pienempien pilaridimensioiden aikaansaama hyötypinta-alan kasvu ylittää selvästi suuremman materiaalikustannuksen.

Taloudellisesti erikoislujat betonit voivat kilpailla rakenteissa, joissa niiden ominaisuudet mahdollistavat rakenteiden tilavuuden ja painon oleellisen pienentämisen. Tällaisia rakenteita voivat olla pitkäjänneväliset sillat, joissa omanpainon osuus voi olla yli 90 % kokonaiskuormituksesta. Erityisesti silloin erikoislujaa betoni on kilpailukykyinen, kun esimerkiksi jänneteräksiä lisäämällä sillan jänneväliä voidaan kasvattaa pitämällä rakenteen poikkileikkaus samanlaisena. Kuitenkin tällöin jänneteräsmäärää on lisättävä samassa suhteessa kuin betonin puristuslujuuskapasiteetti kasvaa. Erikoislujaa betoni kilpaileekin teräsrakenteiden kanssa. Myös ohuissa kuorirakenteissa erikoislujalla betonilla on etuja.

8

Keskeisesti kuormitetun pilarin poikkileikkausdimensioiden vertailu, kun kuormitus on vakio. Dimensiot ovat millimetreja.





9, 10

Etelä-Koreassa, Soulissa sijaitseva kevyen liikenteen silta, jossa on käytetty erikoislujaa betonia. Silta yhdistää Seonyu-saaren kaupunkiin. Sillan on suunnitellut arkkitehti Rudy Ricciotti.



9

10

SELF-COMPACTING ULTRA-STRENGTH CONCRETE 150-200 MPA

Ultra-strength concrete grades were investigated in the Laboratory of Building Materials Technology at the Helsinki University of Technology in 2004-2007. The objective was to optimise the composition of ultra-strength concrete to make it self-compacting, and to improve its workability in general to make it as easy to work with as ordinary concrete grades.

The project focused on applying and developing simple test methods by means of which the optimum composition of concrete could be determined in a conventional concrete laboratory. The possibility of reducing the amount of binders and micro-fillers by increasing the maximum grain size of the aggregate to 6-8 mm was also studied. The microstructure, as well as the mechanical and durability properties of the developed concrete grades were investigated, as well as their use together with ordinary concrete grades as a hybrid structure. The impact of steel fibres on the properties of ultra-strength concrete was another focal area in the project.

A method based on compression theory was used successfully in the determination of the composition of optimum ultra-strength concrete. Ultra-strength concrete grades are special grades for which the properties of the different components need to be known more accurately than for normal concrete grades. The changes in the chemistry and granularity of the components have to be known in quality control.

Heat treatment influences the strength as well as the shrinkage and creep properties of ultra-strength concrete significantly. The possibility of increasing the maximum grain size of ultra-strength concrete was studied in the project, and it could be shown that this can be done without impairing the good workability, the tight microstructure or the excellent strength and durability properties. Ultra-strength concrete is more expensive than conventional concrete, which is a disadvantage from the point of view of the end-users. If the maximum grain size of the aggregate is increased, the price can be lowered. The shrinkage and creep deformation tendency of ultra-strength concrete can also be limited by increasing the maximum grain size.

This new and expensive concrete material could best be utilised by only using it in structural areas where high strength or good durability is required, while the rest of the concrete structure could be implemented using normal or high-strength concrete. More detailed investigation of hybrid structures is required. Ultra-strength concrete is different from normal concrete as a material, but successful combination of the two could produce savings in many applications, not just in bridge and shell structures.

YHTEENVETO

Tutkimuksessa onnistuttiin hyödyntämään pakkautuuusteorian mukaista menetelmää optimaalisten erikoislujien betonien koostumusten määrittämiseen. Erikoislujat betonit ovat erikoisbetoneita, joiden osa-aineiden ominaisuudet on tunnettava normaalibetoneja tarkemmin. Laadunvalvonnassa on tiedettävä osa-aineiden kemialliset ja rakeisuuden muutokset.

Lämpökäsittely vaikuttaa merkittävästi erikoislujan betonin lujuusominaisuuksiin sekä kutistumis- ja virumisominaisuuksiin. Tutkimuksessa selvitetiin erikoislujan betonin suurimman raekoon kasvattamista ja pystyttiin osoittamaan, että tämä on mahdollista betonin hyvän työstettävyyden, tiiviin mikrorakenteen tai erinomaisten lujuus- ja säilyvyysominaisuuksien heikkenemättä. Erikoislujien betonien käytön haitta on sen kallis hinta tavanomaiseen betoniin verrattuna. Kasvattamalla runkoaineen suurinta raekokoa sideainemäärää voidaan vähentää, jolloin hinta alenee. Erikoislujien betonien suurista kutistuma- ja virumamuodonmuutoksia voidaan myös pienentää maksimirakokoa kasvattamalla.

Paras hyöty tästä uudesta ja kalliista betonimateriaalista saataisiin käyttämällä sitä vain niissä rakenteen kohdissa, joissa suurta lujuutta tai hyviä säilyvyysominaisuuksia tarvitaan, ja muu osa betonirakenteesta olisi normaali- tai korkealujuuksista betonia. Hybridirakenteista tarvittaisiin lisää yksityiskohtaisempaa tutkimusta. Erikoisluja ja tavanomainen betoni ovat erilaisia materiaaleja, mutta niiden onnistuneella yhdistelyllä voitai-

siin säästää kustannuksia miuissakin kuin silta- ja kuorirakenteissa.

LÄHTEET

1. Cwirzen, A., Penttala, V., Vornanen, C., Junna, K. 2006. Self-compacting ultra-high-strength concrete containing coarse aggregates. Helsinki University of Technology, Report 20. 95 s. + liitt. 34 s.
2. Puntke, W. 2002. Wasseranspruch von feinen Kornhaufwerken, Beton (5/02), s. 242-248.
3. Vornanen, C. 2006. Erikoislujien betonien ajasta riippuvat muodonmuutokset ja käyttö hybridirakenteissa. Diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja ympäristötekniikan osasto, Rakennusmateriaalitekniikka. 92 s. + liitteitä 42 s.
4. Cwirzen, A., Penttala, V. 2006. Effect of increased aggregate size on the mechanical and rheological properties of RPC. Proceedings of Second International Symposium on Advances in Concrete through Science and Engineering, Quebec, Canada, (CD)
5. Penttala, V., Junna, K., Tikkanen, J., Cwirzen, A. 2007. Freeze-thaw durability and evolved ice amounts of self-compacting ultra high-strength concretes. Proceedings of the 5th International Conference on Concrete Under Severe Conditions, Environment and loading. CONSEC'07, Toim. Toutlemonde, F., Vol. 1, s. 709-716.
6. Diederichs, U., Gratz, U., Mertzsch, O. 2006. Untersuchung des Hochtemperaturverhaltens von Superhochfestem Beton. Rostocker Berichte aus dem Institut für Bauingenieurwesen, Heft 16, Rostock.