

Testauslaboratorioiden tasokokeet 2023

Jouni Punkki

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

Betonin testauslaitoksille järjestetään vuosittain tasotestauksia. Vuonna 2023 vuorossa oli puristuslujuus sekä huokosanalyyssi ohut- tai pintahiehellä. Puristuslujuuden osalta hajonta oli vähäistä, mutta huokosanalyysien tuloksissa havaittiin runsaasti hajontaa. Huokosanalyysien hajontaa tulee vähentää ja tämä edellyttää toimenpiteitä huokosanalyysien tekijöiltä.

Taustaa

Betonin testauslaitoksille järjestetään vuosittain tasotestauksia. Kokeissa on aina mukana betonin puristuslujuus ja lisäksi jokin muu testaus. Vuonna 2023 tasokokeissa testattiin betonin puristuslujuutta sekä huokosanalyysejä. Tasokokeet organisoivat Aalto-yliopisto yhteistyössä Insinööritoimisto KJ Oy:n kanssa. Insinööritoimisto KJ Oy hoiti koekappaleiden valun ja niiden lähetyksen osallistujille, ja Aalto-yliopisto on hoitanut tulosten analysoinnin ja raportoinnin. Tasokokeisiin osallistui yhteensä 12 eri testauslaitosta ja joidenkin tahojen osalta kokeisiin osallistui eri toimipisteitä tai useampi puristuskoneita. Puristuslujuuden osalta eri testausyksiköitä oli yhteensä 15 kpl. Yksi osallistujista, Aalto-yliopisto, ei ole akkreditoitu testauslaboratorio.

Huokosanalyysitestauksiin osallistui yhteensä 8 testausyksikköä. Huokosanalyysi jaettiin kahteen osaan. Testausyksiköille lähetettiin kiertävä ohuthie ja siten 7 testausyksikköä analysoivat samat ohuthieet. Testausyksiköille lähetettiin myös betoninäytteet kahdesta eri betonista ja testausyksiköt valmistivat ohut- ja/tai pintahienäytteet ja analysoivat ne. Betonit valittiin niin, että ne olisivat huokostukseltaan lähellä huokosjaon vaatimustasoa.

Koejärjestelyt

Puristuslujuuskoekappaleet valmistettiin Pie-lisen Betoni Oy:n toimittamasta valmisbetonista, jonka lujuusluokka oli C40/50, raekoko #18 mm ja notkeusluokka S2. Sideaineena beto-

nissa käytettiin CEM I 52,5 N tyyppin sementtiä. Koekappaleet valettiin muovisiin lieriömuotteihin ja ne tiivistettiin tärypöydällä. Koekappaleet merkittiin valujärjestyksen mukaisesti tunnuksilla (A1...A90). Koekappaleet purettiin muoteista 1 vrk ikäisinä ja laitettiin vesisäilytykseen +20 ± 2°C. Koekappaleet otettiin pois vesialtaista 14 vrk ikäisinä ja lähetettiin osallistujille. Koekappaleet jaettiin testauslaitoksille niin, että jokainen testauslaitos testasi järjestysnumeroiltaan vaihtelevia koekappaleita.

Koekappaleiden puristus ohjeistettiin tapahtuvan 28 vrk iässä. Lisäksi ohjeistettiin, että koekappalepaketit säilytetään avaamattomana huoneenlämmössä, kunnes paketit avattiin 6 tuntia ennen puristuskoetta. Puristuskoetta tehtiin standardin SFS-EN 12390-3 mukaisesti ja ennen puristuskoetta määritettiin koekappaleiden tiheys. Standardista poiketen tiheys pyydettiin ilmoittamaan 1 kg/m³ tarkkuudella. Puristuspinnaat voitiin hioa tai rikittää ja tämä raportoitettiin tulosten ilmoittamisen yhteydessä. Puristuslujuustulokset on analysoitu lieriölujuuksina, koska koekappaleet ovat lieriöitä.

Puristuslujuuskokeissa testattiin kaikkiaan 90 koekappaletta. Puristuslujuuden tasokokeeseen osallistuivat seuraavat testauslaitokset:

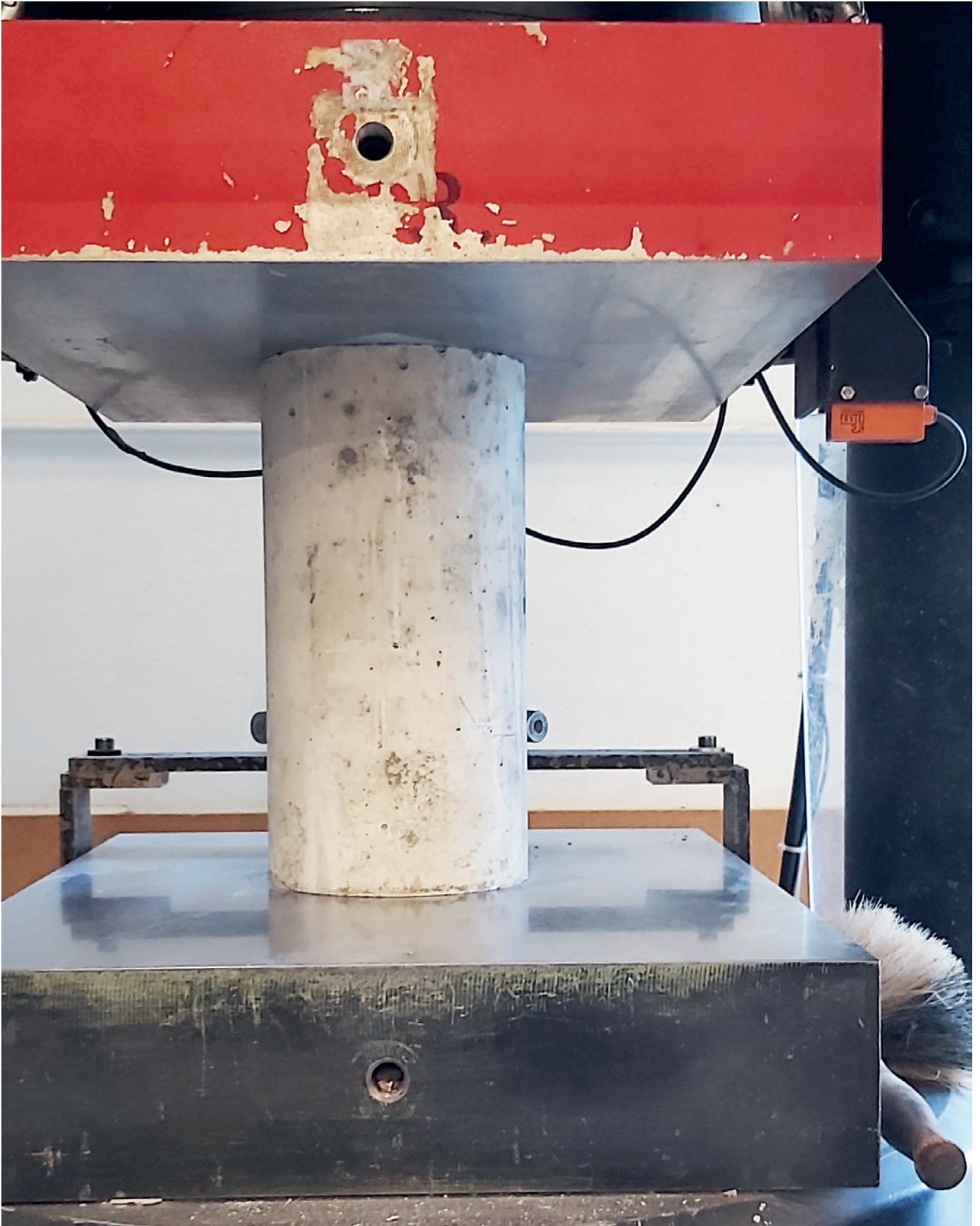
- Sweco Finland Oy, 2 toimipistettä
- Insinööritoimisto KJ Oy
- Jyväskylän ammattikorkeakoulu Oy, 2 puristinta
- Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy / KymiLabs, 2 puristinta

- Karelia-ammattikorkeakoulu Oy
- Labroc Oy, 3 toimipistettä
- Pohjois-Suomen Betoni- ja Maalaboratorio Oy
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu Oy
- AFRY Buildings Finland Oy
- Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos (ei-akkreditoitu testauslaboratorio)

Yksittäisiä testausyksiköitä oli siten kaikkiaan 15 kpl. Koetulosten osalta testausyksiköt on esitetty anonyymisti kirjaimilla A...O, jotka ovat eri järjestyksessä kuin ylläesitetystä listauksesta.

Huokosanalyysin osalta valettiin kolme betonia eri ilmamäärillä. Kaikkien betonien osalta lujuusluokka oli C30/37, notkeusluokka S2, kiviaineksen maksimiraekoko 18 mm ja vesi-sideainesuhde 0,52. Betonin toimitti Pie-lisen Betoni Oy. Betonin ilmamäärää säädettiin sekoitusaikaa muuttamalla. Kaikki kolme

1 Lieriön puristuskoetta.



Taulukko 1

Testibetonien tuoreen betonin ilmamäärät sekä huokosjaot ohuthienalalyysissa. Betonit 1 ja 2 valittiin tasokokeisiin.

Betoni	Tuoreen betonin ilmamäärä	Huokosjako, mm
Betoni 1	4,5%	0,29
Betoni 2	5,2%	0,23
Betoni 3	6,0%	0,20

betonia lähetettiin yhdelle testausyksikölle, joka valmisti ohuthieet ja teki ohuthieanalyysit kaikille kolmelle betonille. Betonien mitatut ilmamäärät sekä huokosjaot on esitetty taulukossa 1.

Tulosten perusteella valittiin tasokokeeseen betonit 1 ja 2, koska haluttiin testata betoneita, joiden huokosjaot ovat mahdollisimman lähellä vaatimustasoja. Betoneista 1 ja 2 lähetettiin betonilieriöt testausyksikölle, koekappaleet merkittiin A (=Betoni 2) ja B (=Betoni 1). Testausyksiköt valmistivat betoninäytteistä ohut- ja/tai pintahieet sekä tekivät huokosanalyysit. Lisäksi betonista 1 valmistettu ohuthiepari lähetettiin kiertämään yhteensä seitsemään testausyksikköön. Kaksi testausyksikköä analysoi betoninäytteet sekä ohut- että pintahieillä, yksi testausyksikkö vain pintahieillä ja loput ohuthieillä. Ohut- ja pintahieet on eritelty tulosten analysoinnissa. Molemmista betoninäytteistä saatiin yhteensä 12 tulosta. Näytteiden valmistus ja ohuthieanalyysit pyydettiin tekemään BY72 mukaisesti lukuun ottamatta pintahieitä.

Huokosanalyysin tasokoe oli käytännössä kolmiosainen:

- Kiertävän ohuthieen analysointi
- Kahden betoninäytteen analysointi (ohut- tai pintahieen valmistus + analysointi)
- Neljän aikaisemmin valmistetun näytteen ristiintestaus

Huokosanalyysin tasokokeeseen osallistuivat seuraavat kahdeksan testauslaitosta:

- Sweco Finland Oy
- Betonialan ohuthiekeskus FCM Oy
- Labroc Oy
- AFRY Buildings Finland Oy
- Jyväskylän ammattikorkeakoulu Oy
- Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy / KymiLabs
- Mitta Oy
- Pohjois-Suomen Betoni- ja Maalaboratorio Oy

Näistä kiertävän ohuthieen analysointiin osallistui 7 tahoa, koska yksi testausyksikkö ei tehnyt ohuthieanalyysseja.

Kiertävän ohuthieen näytteen osalta testausyksiköt on esitetty anonyymisti roomalaisilla numeroilla I..VII, jotka ovat eri järjestyksessä kuin ylläesitettyssä listauksessa. Betoninäytteiden osalta tulokset on esitetty anonyymisti kirjaimilla a...h.

Puristuslujuus

Kaikkien koekappaleiden (90 kpl) keskimääräinen puristuslujuus (lieriölujuus) oli 48,6 MPa ja vastaava keskihajonta 1,26 MPa. Variatiokertoimenä tämä tarkoittaa 2,6% (vuonna -22: 2,7%). Hajontaa voidaan pitää alhaisena. Alhaisin yksittäinen lujuustulos oli 43,9 MPa ja korkein 52,3 MPa. Testausyksiköiden N ja O testaukset tehtiin 36 vrk ikäisenä 28 vrk sijaan. Tämä johtui laiteongelmista testausyksikössä.

Koska koekappaleita oli varsin suuri määrä, potentiaalisena riskinä on, että koekappaleiden valmistuksesta aiheutuu hajontaa esimerkiksi niin, että viimeisenä valmistetut koekappaleet poikkeavat alkuvaiheen koekappaleista. Kuvassa 2 on esitetty puristuslujuus koekappaleen järjestysnumeron funktiona. Hajonta on varsin tasaista järjestysnumeron suhteen lukuun ottamatta yhtä alhaisempaa lujuustulosta (puristuslujuus 43,9 MPa). Samoin yksi lujuustulos (52,3 MPa) vaikuttaisi olevan muita korkeampi. Syitä näihin poikkeaviin lujuustuloksiin ei voida tietää, poikkeama voi johtua koekappaleesta tai testauksesta. Kokonaisuutena voidaan arvioida, että koekappaleet olivat riittävän tasalaatuista tasokokeita varten.

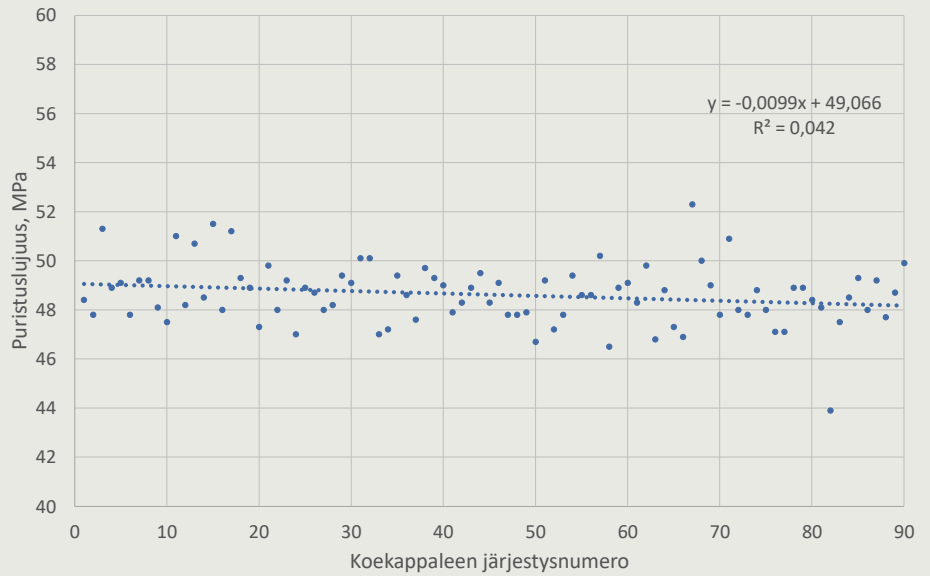
Tasokokeessa on olennaista arvioida testausyksiköiden keskinäisiä eroja. Eri testausyksiköiden koetulokset on koottu taulukkoon 2.

Suurin yksittäinen testauslaitoksen keskihajonta oli 2,03 MPa ja tämä oli testauslaitoksessa L, jossa oli mukana yksittäinen alhaisempi lujuustulos (43,9 MPa). Mikäli kyseinen yksittäinen lujuustulos poistettaisiin aineistosta, kyseisen testausyksikön keskihajonta olisi 0,36 MPa.

Eri testausyksiköiden mittaustulosten keskiarvojen 95% luottamusvälit on esitetty kuvassa 3. Luottamusvälien laskennassa huomioidaan testausyksikön tulosten keskihajonta sekä koekappaleiden lukumäärä. Kuvan 3 perusteella voidaan arvioida, että ainakin testausyksikön N tulos poikkeaa tilastollisesti merkittävästi joidenkin muiden

Kuva 2 Yksittäisten koekappaleiden lieriöpuristuslujuus järjestysnumeron funktiona.

Puristuslujuus Koekappaleen järjestysnumeron vaikutus



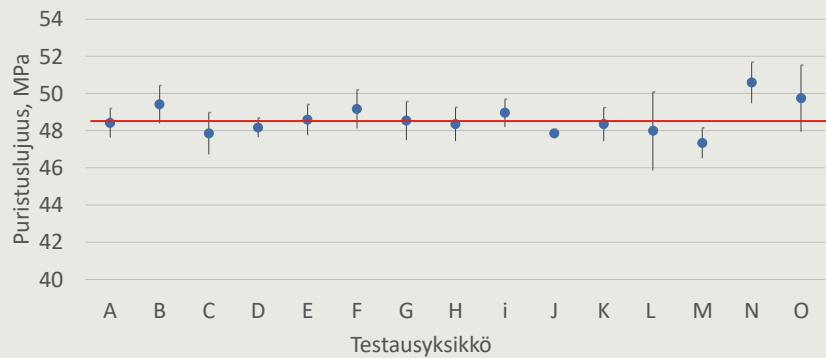
Taulukko 2

Testausyksiköiden puristuslujuustulosten keskiarvot, keskihajonnat sekä variaatiokertoimet.

Testaus-yksikkö	Puristuslujuus		
	Keskiarvo (MPa)	Keskihajonta (MPa)	Variaatio-kerroin
A	48,4	0,8	1,6 %
B	49,4	1,0	2,0 %
C	47,9	1,1	2,2 %
D	48,2	0,5	1,0 %
E	48,6	0,8	1,6 %
F	49,2	1,0	2,0 %
G	48,5	1,0	2,1 %
H	48,4	0,9	1,8 %
I	49,0	0,7	1,5 %
J	47,9	0,2	0,5 %
K	48,4	0,9	1,8 %
L	48,0	2,0	4,2 %
M	47,3	0,8	1,7 %
N	50,6	1,1	2,1 %
O	49,7	1,7	3,4 %
Kaikki	48,6	1,26	2,6%

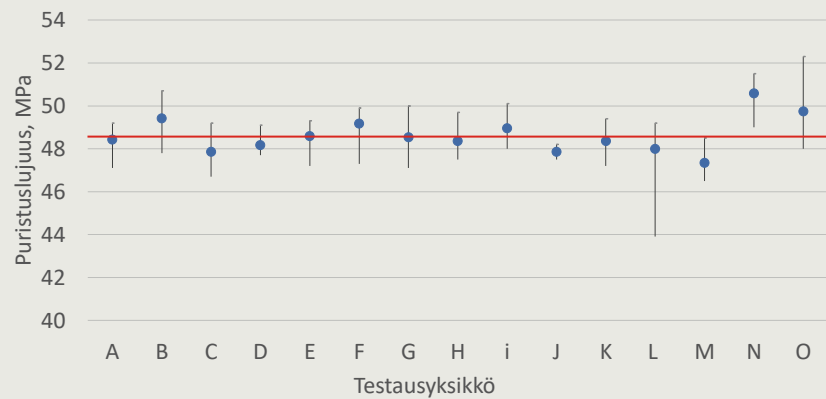
Puristuslujuus Keskiarvojen luottamusvälit, 95%

Kuva 3 Testausyksiköiden keskiarvot sekä keskiarvon luottamusvälit 95%:n varmuustasolla. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä puristuslujuutta = 48,6 MPa. Testausyksiköt N ja O testasivat koekappaleet 36 vrk ikäisenä.



Puristuslujuus Yksittäiset tulokset

Kuva 4 Testausyksiköiden puristuslujuuksien keskiarvot sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä puristuslujuutta = 48,6 MPa.



testausyksiköiden tuloksista. Toisaalta kyseinen testausyksikkö suoritti testaukset 8 vrk myöhemmin verrattuna muihin testausyksiköihin (myös testausyksikkö O teki testaukset 8 vrk myöhässä). Mikäli koetuloksia korjattaisiin InfraRYL:in ikäkorjaustermin mukaisesti, korjattu tulos (O) ei enää poikkeaisi merkittävästi muiden testausyksiköiden tuloksista.

Yksittäisten tulosten vaihtelut tutkimusyksiköiden kesken on esitetty kuvassa 4. Yksittäisiä tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että vaihtelua aiheutuu myös koekappaleiden sisältämästä hajonnasta. Siten yksittäisten tulosten perusteella on vaikea arvioida testauslaitosten tarkkuutta. Yksittäisissä tuloksissa havaitaan selvästi yhden alhaisemman koekappaleen vaikutus testausyksikön L tuloksiin. Mikäli kyseinen yksittäinen koetulos poistettaisiin virheellisenä, testausyksikön L keskimääräinen lujuus nousisi arvoon 48,8 MPa ja minimiarvo olisi 48,3 MPa.

Tasokokeessa oli mahdollisuus joko hioa puristuspinna tai rikittää ne. Kaksi testausyk-

Taulukko 3

Puristuspinnojen käsittely vaikutus puristuslujuustuloksiin.

Käsittelytapa	Testausyksiköiden lukumäärä	Puristuslujuus		
		Keskiarvo (MPa)	Keskihajonta (MPa)	Variaatiokerroin
Rikitys	2	48,5	0,80	1,7%
Hionta	13	48,6	1,32	2,7%

Taulukko 4

Testausyksiköiden tiheystulosten keskiarvot sekä keskihajonnat.

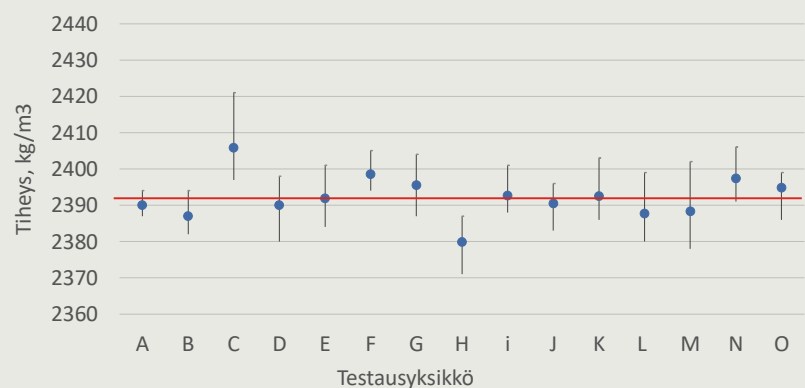
Testaus- yksikkö	Tiheys (kg/m ³)	
	Keskiarvo	Keski-hajonta
A	2390	5,5
B	2387	8,3
C	2406	8,5
D	2390	7,5
E	2392	7,0
F	2399	3,7
G	2396	2,8
H	2380	9,1
I	2393	7,0
J	2391	5,5
K	2393	8,3
L	2388	6,4
M	2388	3,9
N	2397	5,6
O	2395	6,4
Kaikki	2392	8,1

sikköä ilmoitti käyttäneensä rikitystä ja loput 13 hiontaa. Puristuslujuustulokset eriteltynä käsittelytavan mukaan on esitetty taulukossa 3. Kuten taulukosta havaitaan, pintojen käsitteilytavalla ei ollut merkittävää vaikutusta puristuslujuuden keskiarvoon tai hajontaan. Tätä ei voi kuitenkaan yleistää koskemaan kaikkia puristuslujuustestauksia.

Tiheys

Kaikkien koekappaleiden keskimääräinen tiheys oli 2392 kg/m³ ja vastaava keskihajonta 8,1 kg/m³. Variaatiokertoimeksi tulee näin 0,3% (vuonna -22: 0,5%). Testausyksiköiden keskimääräiset koetulokset on esitetty taulukossa 4. Keskimääräiset tulokset sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit on esitetty kuvassa 5. Tiheyden osalta havaitaan, että testausyksiköt C ja H saivat hieman muista poikkeavia tiheysarvoja. Poikkeamat keskiarvosta olivat 14 ja -12 kg/m³. Kokonaisuutena tiheyserot olivat kuitenkin varsin pieniä.

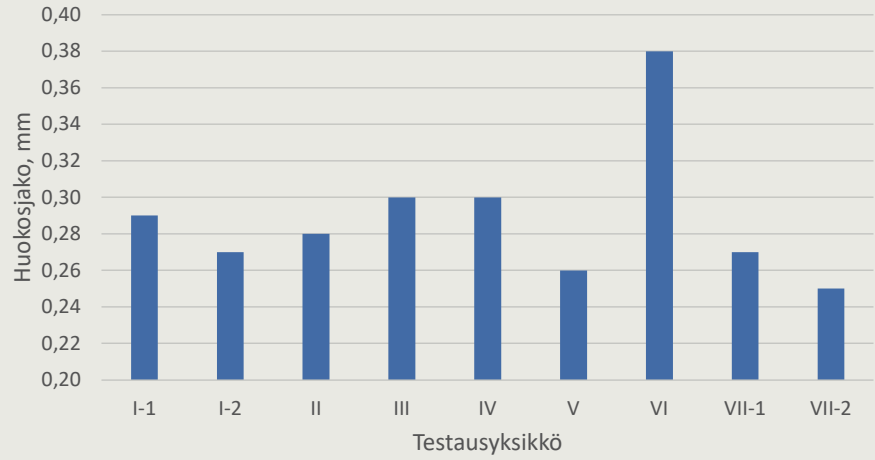
Tiheys Yksittäiset tulokset



Kuva 5 Testausyksiköiden tiheysien keskiarvot sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä tiheyttä = 2392 kg/m³.

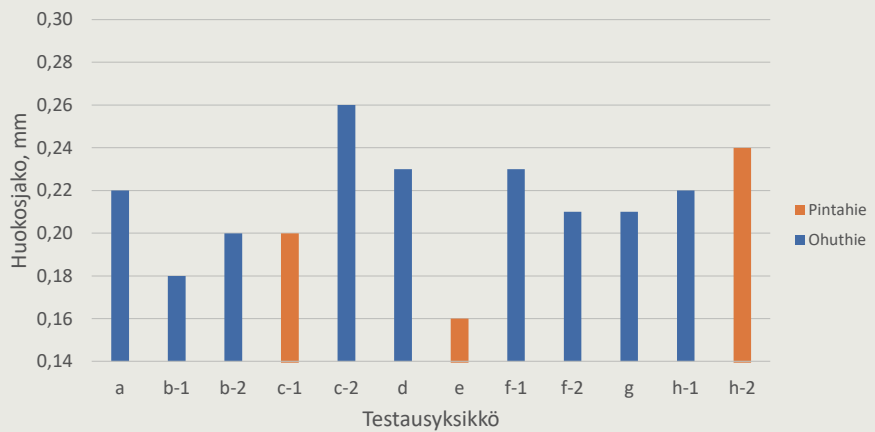
Huokosjako Kiertävä näyte

Kuva 6 Kiertävän ohuthienäytteen huokosjaot. Yksi testausyksikkö analysoi näytteen normaalin optisen analyysin lisäksi myös kuva-analyysin avulla, nämä on eroteltu tunnuksilla I-1 ja I-2. Yhden testausyksikön osalta analyysin teki 2 henkilöä, nämä on eritelty tunnuksilla VII-1 ja VII-2.

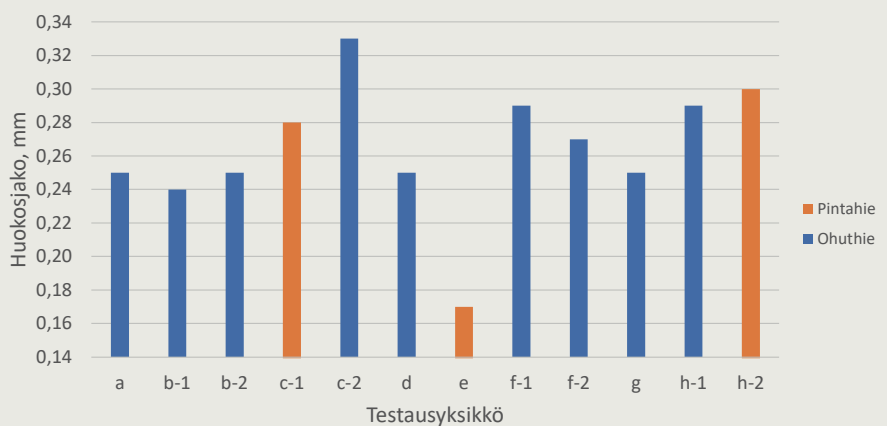


Huokosjako Betoni A

Kuva 7 Betonien A ja B huokosjaot. b-1 ja b-2: sama testausyksikkö, mutta eri operaattorit, f-2 ja g: kuva-analyysiin perustuva analysointi.



Huokosjako Betoni B



Taulukko 5

Kiertävän ohuthienäytteen sekä betoninäytteiden keskimääräiset huokosjaot.

Analyysi	Huokosjako, mm		
	Keskiarvo	Keskihajonta	Variaatiokerroin
Kiertävä ohuthie	0,29	0,038	13%
Betoni A	0,21	0,027	13%
Betoni A, ohuthie	0,22	0,022	9%
Betoni A, pintahie	0,20	0,040	20%
Betoni B	0,26	0,040	15%
Betoni B, ohuthie	0,27	0,029	11%
Betoni B, pintahie	0,25	0,070	28%

Huokosanalyysi*Kiertävä ohuthienäyte*

Yksi testausyksikkö valmisti ohuthieet ja samat ohuthieet kierrätettiin yhteensä seitsemässä testausyksikössä. Kuvassa 6 on esitetty tulokset huokosjaon osalta.

Tuloksissa havaitaan varsin suurta hajontaa. Tässä tapauksessa tutkittiin samaa näytettä ja kuitenkin hajonta oli varsin suuri. Käytännön tilanteessa hajonnan lähteitä on vielä enemmän, mm. näytteenotto rakenteesta / koekappaleesta, ohuthieen valmistus jne. Mitattu hajonta on laadunvarmistusmenetelmäksi liian suuri. Hajontaa kasvatti selvästi yksi selvästi korkeampi tulos (VI: 0,38 mm). Mikäli suurin ja pienin tulos poistettaisiin joukosta, jäljelle jäävien seitsemän testausyksikön keskiarvo olisi 0,28 mm, keskihajonta 0,016 mm ja variaatiokerroin 6%. Tämä osoittaa, että suurin osa testausyksiköistä sai varsin saman tasoisia arvoja. Kiertävät ohuthienäytteet eivät olleet laadultaan täydellisiä. Kolme testausyksikköä raportoi puutteista, todettiin että ohuthieet oli hiottu osin puhki.

Huokosanalyysit betoninäytteistä

Tasokokeeseen osallistui yhteensä 8 testausyksikköä. Näistä kaksi teki sekä ohut- että pintahieanalyysit, yksi teki vain pintahieanalyysin ja loput 5 teki ohuthieanalyysit. Koetulokset on esitetty huokosjaon osalta kuvassa 7.

Betoninäytteiden huokosanalyysien osalta havaitaan aika lailla samat ilmiöt kuin kiertävän ohuthienäytteen osalta, huokosjakotuloksissa on runsaasti hajontaa. Kuten kiertävälläkin näytteellä, vaihtelua aiheuttaa muutamat yksittäiset tulokset, erityisesti testausyksiköi-

den c-2 ja e tulokset poikkeavat muista tuloksista. Taulukkoon 5 on koottu sekä kiertävän näytteen että betoninäytteiden huokosjakomittauksen keskimääräiset tulokset.

Variaatiokertoimet vaihtelivat ohuthieen osalta välillä 9...13%, kun taas pintahieellä variaatiokerroin oli 20...28%. Pintahietuloksia oli lukumääräisesti selvästi vähemmän ja siten yksi poikkeava tulos vaikuttaa selvästi enemmän hajontaan. Sekä betonilla A ja B pienin huokosjako saatiin pintahieanalyysissa. Kokonaisuutena voidaan arvioida, että menetelmän tyyppillinen hajonta tutkituilla näytteillä oli luokkaa 0,040 mm.

Ristiintestaus

Edellisissä testauksissa havaittujen suurien hajontojen vuoksi päätettiin tehdä vielä ylimääräinen ristiintestaus-kierros, jossa 4 aikaisemmin analysoitua näytettä lähetettiin kahteen muuhun testausyksikköön testattavaksi. Näytteet valittiin betonista A niin, että kahden näytteen (R1 (b-1) ja R2 (e)) huokosjaot olivat aikaisemmassa testauksessa alhaisimmat ja vastaavasti kahden näytteen (R3 (c-2) ja R4 (h-2)) olivat korkeimmat. Ristiintestauksen tulokset on esitetty kuvassa 8.

Ristiintestaus vahvisti pitkälti aikaisemmin tehtyjä havaintoja. Erityisesti pintahienäytteiden R2 osalta huokosjaon vaihtelu oli suurta (0,05 mm). Ohuthieiden osalta tulosten erot olivat pienempiä 0,02...0,03 mm. Toisella pintahienäytteellä (R4) vaihtelu oli myös pientä, mutta kyseisen näytteen osalta toinen lisäkoee jäi tekemättä.

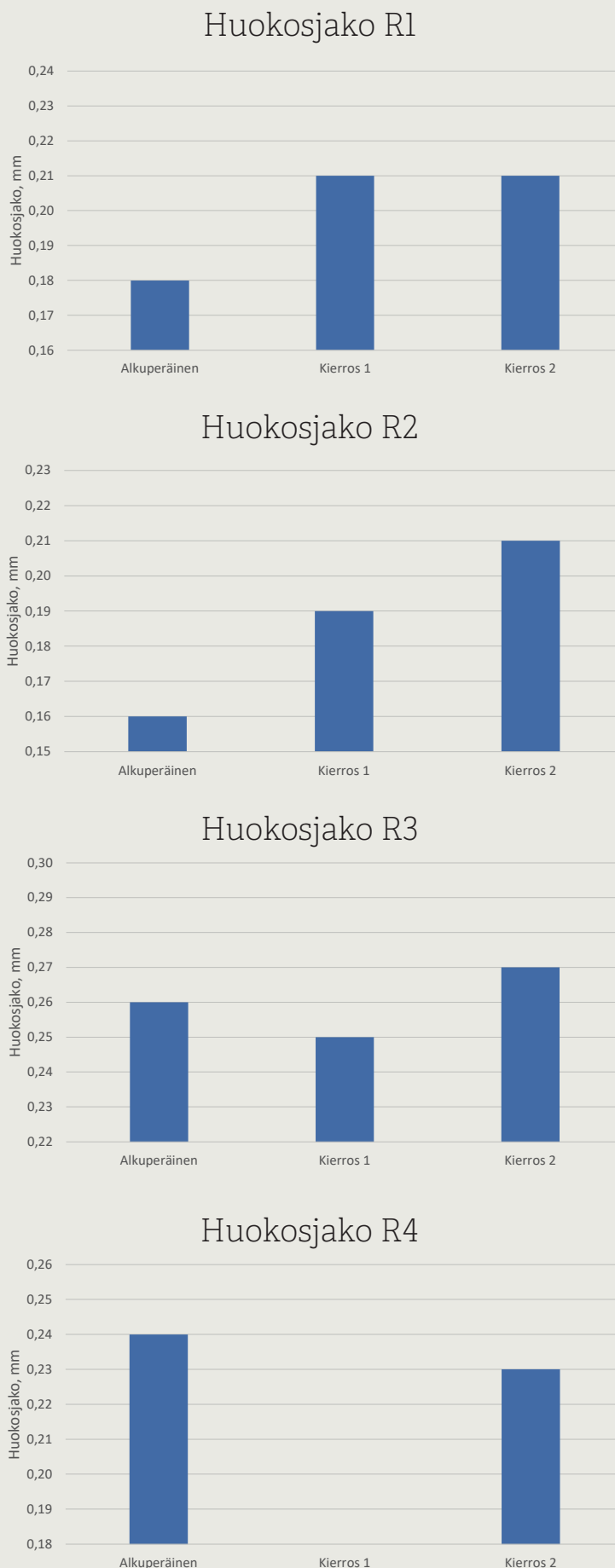
Näytteet R1 ja R2 valittiin ristiintestaukseen niiden alhaisen huokosjakotuloksen vuoksi.

Molempien näytteiden osalta kaksi muuta testausyksikköä sai korkeampia huokosjakoarvoja. Siten tulosten perusteella voidaan arvioida, että alkuperäinen arvo oli liian pieni. Toisaalta näytteet R3 ja R4 valittiin korkeiden huokosjakoarvojen perusteella. Näytteen R3 osalta yksi testausyksikkö sai vieläkin korkeamman huokosjakoarvon, erot tosin olivat pieniä. Näytteen R4 osalta ristiintestaus jäi puutteelliseksi, mutta lisämittauksessa saatiin alkuperäistä hieman pienempi huokosjako.

Ristiintestauksen perusteella voidaan arvioida, että jotkut yksittäiset tulokset varsinaisessa testauksessa olivat poikkeavia, esimerkiksi R1 (b-1) ja R2 (e) näytteiden alkuperäiset tulokset. Ristiintestauksen tulosten perusteella avulla ei kuitenkaan pystytä määrittämään tarkemmin tuloshajonnan lähteitä/syitä.

Yhteenveto

Tasokokeessa 2023 testattiin betonin puristuslujuutta sekä huokosanalyysia. Tasokokeisiin osallistui kaikkiaan yhteensä 12 eri tahoja. Joillakin osallistujille kokeisiin osallistui useampia toimipisteitä tai useampia puristuskoneita. Puristuslujuuden osalta eri testausyksiköitä oli yhteensä 15 kpl. Huokosanalyysikokeeseen osallistui yhteensä 8 testausyksikköä. Huokosanalyysitestaukset jaettiin kolmeen osaan. Testausyksiköille lähetettiin kiertävä ohuthiepari ja siten 7 testausyksikköä analysoivat samat ohuthieet. Lisäksi testausyksiköille lähetettiin betoninäytteet kahdesta eri betonista ja testausyksiköt valmistivat ohut- ja/tai pintahienäytteet ja analysoivat ne. Loppuvaiheessa tehtiin lisäksi ylimääräinen ristiintestaus neljälle aikaisemmin testatulle näytteelle.

Kuva 8 Huokosjakotulokset ristiintestauksessa.

9 Huokosjakokokeen pintahie- ja ohuthienäytteet.

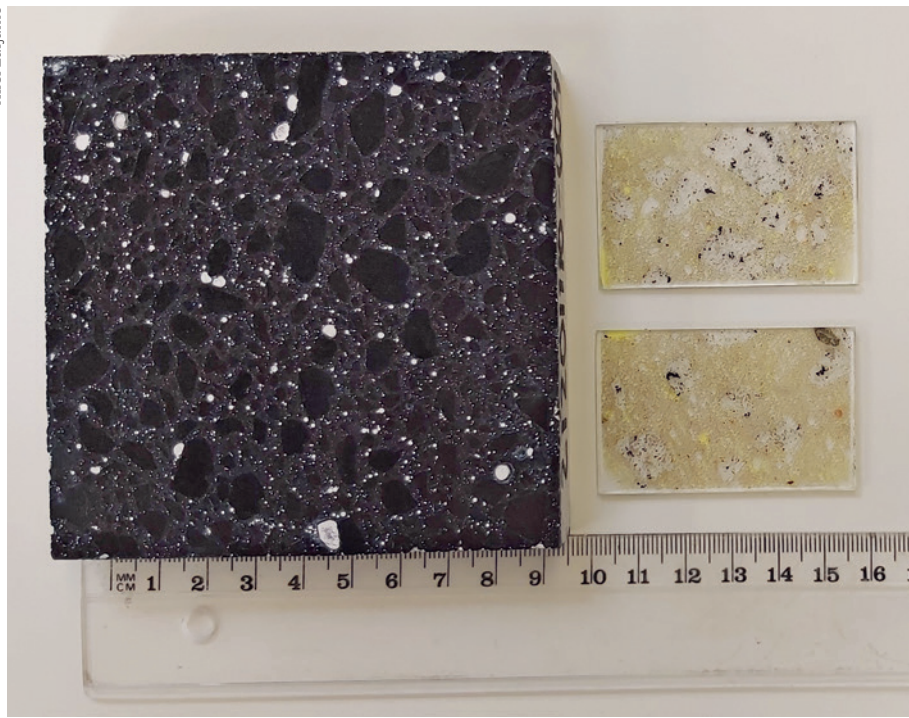
10 Huokosjakokokeessa ohuthienäyte stereomikroskooppikuvassa.

11 Huokosjakokokeessa ohuthienäyte polarisaatiomikroskooppikuvassa.

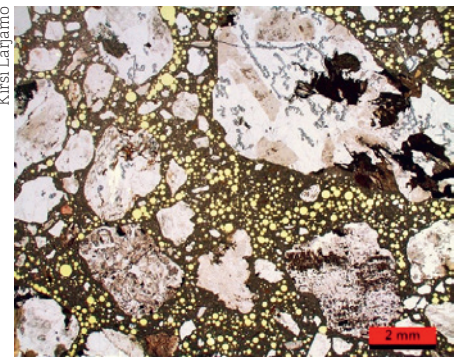
Puristuslujuustulosten analysoinnin perusteella todettiin, että testattavat koekappaleet olivat riittävän tasalaatuisia ja myös testausyksiköiden väliset erot olivat pieniä. Keskimääräinen puristuslujuus (lieriölujuus) oli 48,6 MPa ja vastaava keskihajonta 1,26 MPa. Variaatiokertoimenä tämä on 2,6%. Vastaavissa tasokokeissa vuonna 2022 puristuslujuuskokeiden keskiarvo oli 44,9 MPa ja keskihajonta 1,22 MPa (2,7%) eli tulokset ovat hyvin samalla tasolla. Puristuslujuuskokeissa havaittiin yksi selvästi muita huonompi koetulos. Ei voida varmuudella tietää, johtuuko poikkeama koekappaleen laadusta vai testauksesta. Siten tulosta ei poistettu aineistosta. Mikäli tulos poistettaisiin, kyseisen testausyksikön hajonta pienenesi merkittävästi ja myös koko aineiston hajonta pienenesi jonkin verran. Puristuslujuuden osalta tasokokeet eivät edellytä lisätoimenpiteitä.

Puristuslujuuskokeessa tiheyden osalta keskihajonta oli pieni 8,1 kg/m³, mutta kuitenkin kahden testausyksikön tulokset näyttäsivät hieman poikkeavan muiden testausyksiköiden tuloksista.

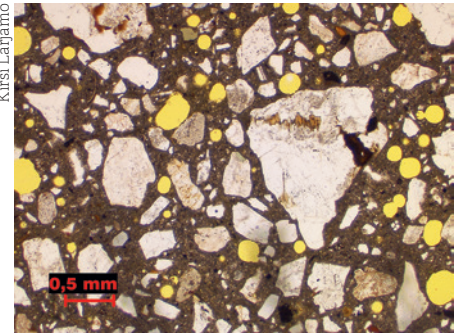
Huokosanalyysien hajonnat olivat korkeita. Kiertävän näytteen yksittäiset huokosjakotulokset vaihtelivat välillä 0,25...0,38 mm ja keskihajonta oli 0,038 mm. Betonin A huokosjaot vaihtelivat välillä 0,16...0,26 mm (keskihajonta = 0,027) ja betonin B vastaavasti välillä 0,17...0,33 mm (keskihajonta = 0,040). Pintahieet antoivat keskimäärin 0,02 mm pienempiä huokosjakoja kuin ohuthieet, mutta toisaalta hajonta oli suurempaa.



9



10



11

Hajontaa aiheutti erityisesti 1...2 poikkeavaa testitulosta. Hajontoja pyrittiin analysoimaan tarkemmin järjestämällä ylimääräinen ristiintestaus neljälle näytteelle. Ristiintestauksen perusteella voidaan arvioida, että jotkut yksittäiset testitulokset olivat todennäköisesti poikkeavia.

Kokonaisuutena voidaan todeta, että huokosanalyysien hajonnat ovat liian korkealla tasolla erityisesti, kun huomioidaan menetelmän käyttö osana betonin laadunvarmistusta. Hajonnan lähteitä ei kuitenkaan näiden tulosten perusteella voida yksiselitteisesti eritellä. Jatkossa huokosanalyysien hajontaa tulee pystyä vähentämään. Tähän tavoitteeseen pääsemiseksi suositellaan seuraavia toimenpiteitä:

1. Huokosanalyysien menettelyjä tulee yhtenäistää ja ohjeistaa tarkemmin. Erityisesti puutteita on pintahiiden osalta. Kuitenkin myös ohuthiiden osalta ohjeistusta tulisi tarkentaa hajonnan vähentämiseksi.
2. Ohje BY72 tulee päivittää pintahiiden mutta myös ohuthiiden osalta.
3. Tarvittaessa tulee määritellä omat huokosjaon vaatimustasot ohut- ja pintahiidanalyysille.
4. Testausyksiköiden tulee järjestää yhteisiä koulutustilaisuuksia menetelmien yhtenäistämiseksi.
5. Tasotestauksia tulee järjestää säännöllisin väliajoin kehityksen seuraamiseksi, esimerkiksi joka toinen vuosi.

Tavoitetasona yhdestä betonista tehtäville analyyseille (esim. tasotestaukset) olisi keskijajonta korkeintaan 0,020 mm. Tällä hetkellä keskijajonta on keskimäärin luokkaa 0,040 mm.

Huokosanalyysien kehitystyön koordinaointi soveltuu hyvin Betoniyhdistyksen Laadunvarmistus-toimikunnalle ja sen työryhmälle: Huokosanalyysit.

Vuosikokouksessa 2023 sovittiin että vuonna 2024 testataan betonin puristuslujuuden lisäksi laattakoe rasiitusluokissa XF2 ja XF4, väliaineena 3% NaCl-liuos.

Round-robin tests of concrete testing laboratories in 2023

Round-robin tests have been organized annually for accredited concrete testing laboratories. In 2023, compressive strength and protective pore analysis with thin and polished section were tested. Totally 15 testing units participated in the compressive strength testing and 8 testing units in the pore analyses.

In the concrete strength testing, ready-mix concrete having the strength class of C40/50 having the maximum aggregate size of 18 mm and slump class S2 was used. The average compressive strength of totally 90 test specimens was 48,6 MPa (cylinder strength) and the stand-

ard deviation was 1,26 MPa. The coefficient of variation was 2,6%. The lowest individual test result was 43,9 MPa and the highest 52,3 MPa. Two laboratories were needed to test 8 days later as required and those results slightly differed from the other results. Generally, the variation was small, and it was on the same level as in the previous years. The average density of the test specimens was 2392 kg/m³ and the standard deviation was 8,1 kg/m³. The variation was low and slightly lower compared to the previous year.

The thin and polished section analyses divided into three parts. Pair of thin sections circulated in seven laboratories (totally 9 analyses were carried out). In addition, two concrete samples were sent to the laboratories. Finally 2 thin sections and 2 polished sections were tested in two another laboratories. Generally, the variations were high. Typically the standard variation was app. 0,040 mm and the high variation was caused by some different results. Recommendations were given to reduce the variation of the test results.