

Testauslaboratorioiden tasokokeet 2022

Jouni Punkki

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

Betonin testauslaitoksille on järjestetty vuosittain tasotestauksia. Kokeissa on ollut mukana betonin puristuslujuus ja lisäksi jokin muu testaus kiertävästi. Testauslaitosten toimintaa valvova Finas pitää tasotestauksia erittäin tärkeinä koko alan kannalta.

Taustaa

Henkilömuutosten sekä Korona-tilanteen vuoksi tasokokeet jäivät vuodelta 2021 väliin, mutta nyt on palattu taas normaaliin käytäntöön. Vuoden 2022 tasokokeissa testattiin betonin puristuslujuus sekä paineellisen veden tunkeumasyvyyden. Tasokokeet järjestettiin yhteistyössä Insinööritoimisto KJ Oy:n ja Aalto-yliopiston kesken. Insinööritoimisto KJ Oy hoiti koekappaleiden valun ja niiden lähteyksen osallistujille ja Aalto-yliopisto on hoitanut tulosten analysoinnin ja raportoinnin. Tasokokeisiin osallistui yhteensä 11 eri testauslaitosta (yrityksiä ja ammattikorkeakouluja) ja joidenkin tahojen osalta kokeisiin osallistui eri toimipisteitä tai useampia puristuskokeita. Puristuslujuuden osalta eri testausyksiköitä oli yhteensä 17 kpl. Veden-tunkeumakokeeseen osallistui yhteensä 10 testausyksikköä.

Koejärjestelyt

Koekappaleet valmistettiin Pielisen Betoni Oy:n toimittamasta valmisbetonista, jonka lujuusluokka oli C35/45, raekoko #18 mm ja notkeusluokka S2. Koekappaleet valettiin muovisiin lieriömuotteihin ja ne tiivistettiin tärypöydällä. Koekappaleet merkittiin valujärjestyksen mukaisesti tunnuksilla. Koekappaleet purettiin muoteista 1 vrk ikäisinä ja laitettiin vesisäilytykseen $+20 \pm 2^\circ\text{C}$. Koekappaleet otettiin pois vesialtaista 19 vrk ikäisinä ja lähetettiin osallistujille. Koekappaleet jaettiin testauslaitoksille niin, että jokainen testauslai-

tos testasi järjestysnumeroiltaan vaihtelevia koekappaleita.

Koekappaleiden puristus ohjeistettiin tapahtuvan 28 vrk iässä. Lisäksi ohjeistettiin, että koekappalepaketit säilytetään avaamattomana huoneenlämmössä. Paketit tuli avata 6 tuntia ennen puristuskoea. Puristuskoe tehtiin standardin SFS-EN 12390-3 mukaisesti ja ennen puristuskoea määritettiin koekappaleiden tiheys. Standardista poiketen tiheys pyydettiin ilmoittamaan 1 kg/m^3 tarkkuudella. Puristuspinnat voitiin hioa tai rikittää ja tämä raportoitui tulosten ilmoittamisen yhteydessä. Puristuslujuustulokset on analysoitu lieriölujuuksina, koska koekappaleet ovat lieriöitä.

Puristuslujuuskokeissa testattiin kaikkiaan 96 koekappaletta. Puristuslujuuden tasokokeeseen osallistuivat seuraavat testauslaitokset:

- Contesta Oy, Paraisten toimipiste
- Eurofins Expert Services Oy
- Insinööritoimisto KJ Oy
- Jyväskylän ammattikorkeakoulu Oy
- Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy / KymiLabs, 2 puristinta
- Karelia-ammattikorkeakoulu Oy
- Karvian Kivi ja Korjaus Oy
- Labroc Oy, 3 Espoon, Oulun ja Tampereen toimipisteet
- Pohjois-Suomen Betoni- ja Maalaboratorio Oy
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu Oy
- Vahanan Rakennusfysiikka Oy:n laboratorio

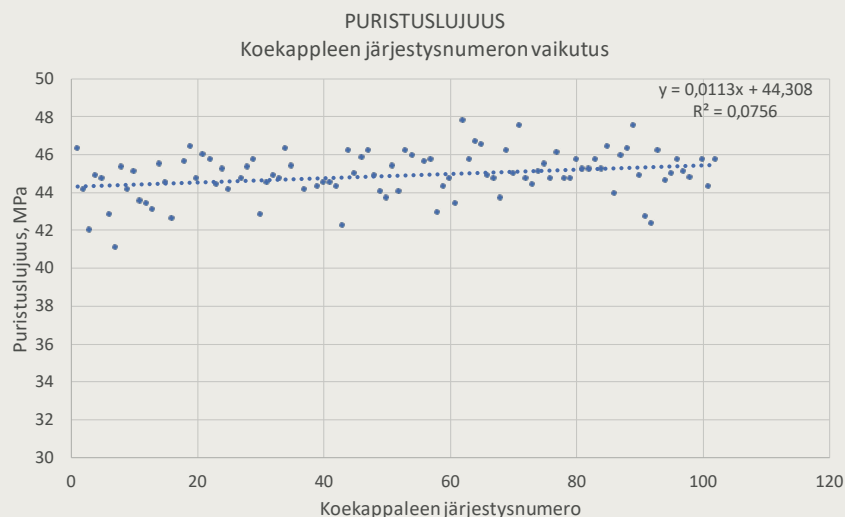
Koetulosten osalta testauspisteet on esitetty anonymistisesti kirjaimilla A...P, jotka ovat eri järjestyksessä kuin ylläesitettyssä listauksessa. Testauslaitos I on jaettu kahteen osaan I-A ja I-B, näissä molemmissa testattiin ohjeistuksesta poiketen vain 3 koekappaletta.

Paineellisen veden tunkeumasyvyyden, tai yksinkertaisemmin vedentunkeumakokeen koekappaleet koestettiin standardin SFS-EN 12390-8 mukaisesti. Koekappaleet suositeltiin sahattavaksi keskeltä poikki, siten että saadaan $d=150 \text{ mm}$ ja $h=150 \text{ mm}$ kokoinen lieriökoekappale. Testissä käytetään sahattua alaosaa ja kohdistetaan vedenpaine sahattulle pinnalle. Vaihtoehtoisesti oli mahdollisuus käyttää myös kokonaista koekappaletta. Vedentunkeuman tasokokeeseen osallistuivat seuraavat testauslaitokset:

1 Lieriökoekappale puristuskokeen jälkeen (koekappale ei liity tasokokeisiin).



2 Yksittäisten koekappaleiden lieriöpuristuslujuus järjestysnumeron funktiona.



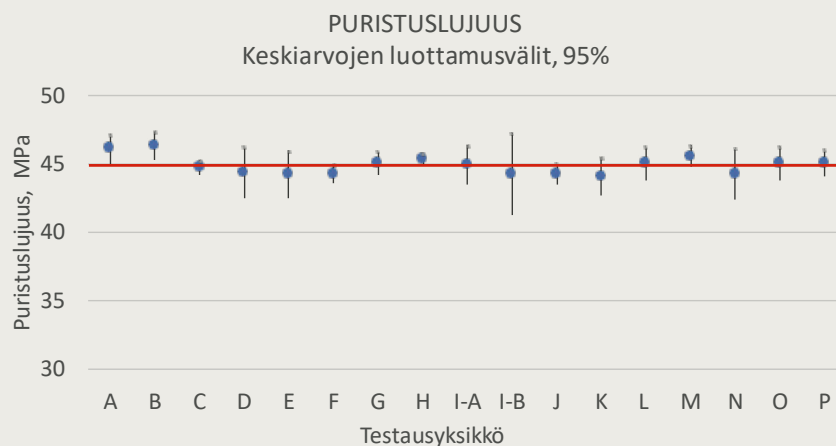
Taulukko 1.

Testausyksiköiden puristuslujuustulosten keskiarvot, keskihajonnat sekä variaatiokertoimet.

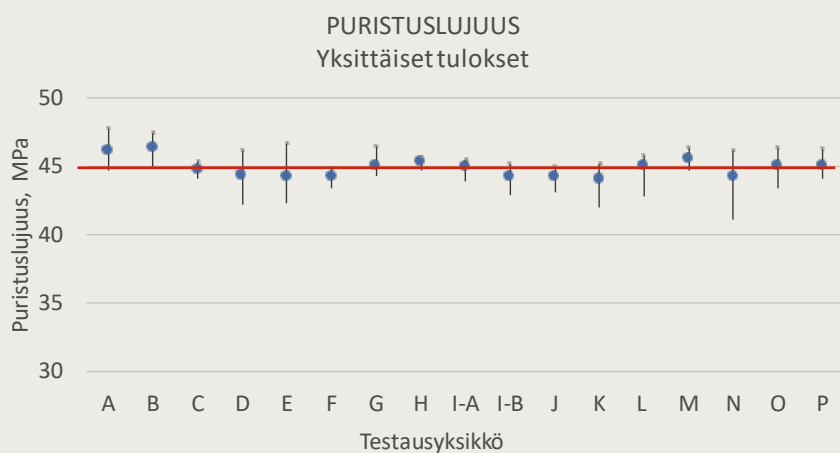
Testaus- yksikkö	Puristuslujuus		
	Keskiarvo (MPa)	Keski-hajonta (MPa)	Variaatio- kerroin
A	46,1	1,04	2,3 %
B	46,3	1,00	2,2 %
C	44,8	0,52	1,2 %
D	44,4	1,77	4,0 %
E	44,2	1,64	3,7 %
F	44,3	0,62	1,4 %
G	45,1	0,85	1,9 %
H	45,3	0,40	0,9 %
I-A ⁽¹⁾	44,9	0,58	1,3 %
I-B ⁽¹⁾	44,3	1,21	2,7 %
J	44,3	0,75	1,7 %
K	44,1	1,34	3,0 %
L	45,0	1,14	2,5 %
M	45,6	0,74	1,6 %
N	44,3	1,77	4,0 %
O	45,0	1,16	2,6 %
P	45,1	0,92	2,0 %
KAIKKI	44,9	1,22	2,7%

(1 = vain kolme koekappaletta)

3 Testausyksiköiden keskiarvot sekä keskiarvon luottamusvälit 95%:n varmuustasolla. Yksiköiden I-A ja I-B luottamusvälit ovat muita suuremmat, koska koekappaleita oli vain 3 kpl. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä puristuslujuutta = 44,9 MPa.



4 Testausyksiköiden puristuslujuuksien keskiarvot sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit. Yksiköiden I-A ja I-B osalla koekappaleita oli vain 3 kpl. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä puristuslujuutta = 44,9 MPa.



- Contesta Oy, Vantaan ja Paraisten toimipisteet
- Eurofins Expert Services Oy
- Jyväskylän ammattikorkeakoulu Oy
- Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy / KymiLabs
- Karelia-ammattikorkeakoulu Oy
- Mitta Oy, 2 koesarjaa
- Pohjois-Suomen Betoni- ja Maalaboratorio Oy
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu Oy

Koetulosten osalta testausyksiköt on esitetty anonymisti roomalaisilla kirjaimilla I...X, jotka ovat eri järjestyksessä kuin yllä esitetyssä listauksessa.

Puristuslujuus

Kaikkien koekappaleiden (96 kpl) keskimääräinen puristuslujuus (lieriölujuus) oli 44,9 MPa ja vastaava keskihajonta 1,22 MPa. Variaatio-kertoimena tämä tarkoittaa 2,7%, mitä voidaan pitää alhaisena hajontana. Alhaisin yksittäinen lujuustulos oli 41,1 MPa ja korkein 47,8 MPa.

Koska koekappaleita on 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. Kuvassa ei havaita merkittävää korrelaatiota järjestysnumeron suhteen. Puristuslujuus vaikuttaisi jopa hieman kasvavan järjestysnumeron kasvaessa eli myöhemmin tehtyjen koekappaleiden lujuudet ovat hieman suurempia kuin aikaisemmin tehtyjen koekappaleiden, mutta ero ei ole merkittävä.

Teoreettisesti tällaisessa testauksessa koetulosten hajontaa aiheuttavat:

- Vaihtelut koekappaleiden valmistuksessa
- Vaihtelut koekappaleiden testaamisessa (tässä tapauksessa puristuslujuuden määrittämisessä)

Molempia hajonnan lähteitä esiintyy aina, eikä ole mahdollista erotella edellä mainittujen hajontojen suuruuksia. Tässä tapauksessa koko aineiston keskihajonta oli pieni, 1,22 MPa, mikä indikoi, että koekappaleet ovat olleet hyvin tasalaatuisia. Siten aineistoa voidaan pitää sopivana tasokokeita ajatellen.

Tasokokeessa on olennaista arvioida testausyksiköiden keskinäisiä eroja. Kaikkiaan 17 eri testausyksikön koetulokset on koottu taulukkoon 1.

Testausyksiköiden keskihajontojen keskiarvo oli 1,03 MPa, kun taas koko aineiston keskihajonta oli 1,22 MPa. Suurimmat yksittäiset testauslaitosten keskihajonnat olivat 1,77 MPa. Eri testausyksiköiden mittaustulosten keskiarvojen 95% luottamusvälit on esitetty kuvassa 3. Luottamusvälien laskennassa huomioidaan testausyksikön tulosten keskihajonta sekä koekappaleiden lukumäärä. Kuvan 2 perusteella voidaan arvioida, että testauslaitosten tulosten keskiarvot eivät poikkea toisistaan tilastollisesti merkittävästi lukuun ottamatta testauslaitoksia B ja F sekä B ja J. Näidenkin osalta poikkeamat ovat pieniä.

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.

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

Taulukko 2

Puristuspintojen käsittely vaikutus puristuslujuustuloksiin.

Käsittelytapa	Testaus- yksiköiden lukumäärä	Puristuslujuus		
		Keskiarvo (MPa)	Keskihajonta (MPa)	Variaatio- kerroin
Rikitys	3	44,8	1,26	2,8 %
Hionta	14	44,9	1,22	2,7 %

sikköä ilmoitti käyttäneensä rikitystä ja loput 14 hiontaa. Puristuslujuustulokset eriteltynä käsittelytavan mukaan on esitetty taulukossa 2. Kuten taulukosta havaitaan, pintojen käsittelytavalla ei ollut merkittävää vaikutusta puristuslujuuden keskiarvoon tai hajontaan. Tätä ei voi kuitenkaan yleistää koskemaan kaikkia puristuslujuustestauksia, korkeammilla lujuustasoilla vaikutus on todennäköisesti suurempi.

Tiheys

Kaikkien koekappaleiden keskimääräinen tiheys oli 2361 kg/m³ ja vastaava keskihajonta 10,9 kg/m³. Variaatiokertoimeksi tulee näin 0,5%. Alhaisin yksittäinen tiheysarvo oli 2338 kg/m³ ja korkein yksittäinen 2399 kg/m³. Testausyksiköiden keskimääräiset koetulokset on esitetty taulukossa 3. Keskimääräiset tulokset sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit on esitetty kuvassa 5.

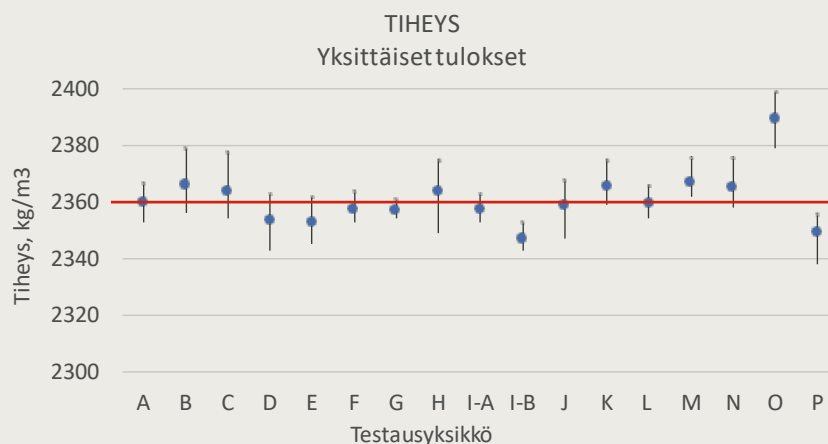
Tiheyden osalta havaitaan, että testausyksikkö O sai muista hieman poikkeavia tiheysarvoja. Kyseisen testausyksikön keskimääräinen tiheys oli 2389 kg/m³ eli 28 kg/m³ suurempi kuin keskimäärin. Kyseinen testausyksikkö oli jälkikäteen tarkistanut tiheyden laskelmat ja huomannut virheen laskentakaavassa. Korjattu tiheys oli 2381 kg/m³ ja tämä on edelleen 20 kg/m³ korkeampi arvo kuin keskimääräinen tiheys.

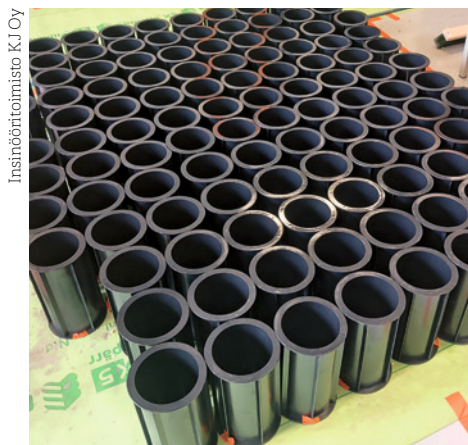
Taulukko 3

Testausyksiköiden tiheystulosten keskiarvot sekä keskihajonnat.

Testaus- yksikkö	Tiheys (kg/m ³)	
	Keskiarvo	Keskihajonta
A	2360	5,5
B	2366	8,3
C	2363	8,5
D	2354	7,5
E	2353	7,0
F	2358	3,7
G	2357	2,8
H	2364	9,1
I-A ⁽¹⁾	2358	7,0
I-B ⁽¹⁾	2347	5,5
J	2359	8,3
K	2366	6,4
L	2359	3,9
M	2367	5,6
N	2365	6,4
O	2389	7,9
P	2349	6,6

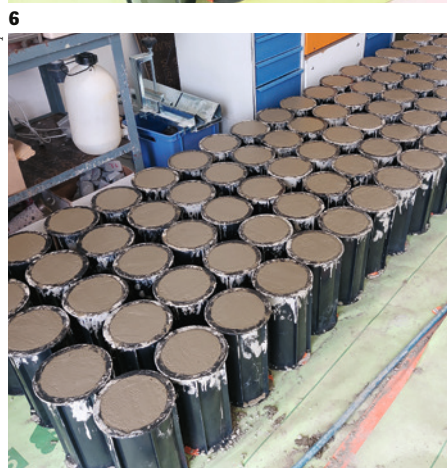
5 Testausyksiköiden tiheyksien keskiarvot sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit. Yksiköiden I-A ja I-B osalla koekappaleita oli vain 3 kpl. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä tiheyttä = 2361 kg/m³.



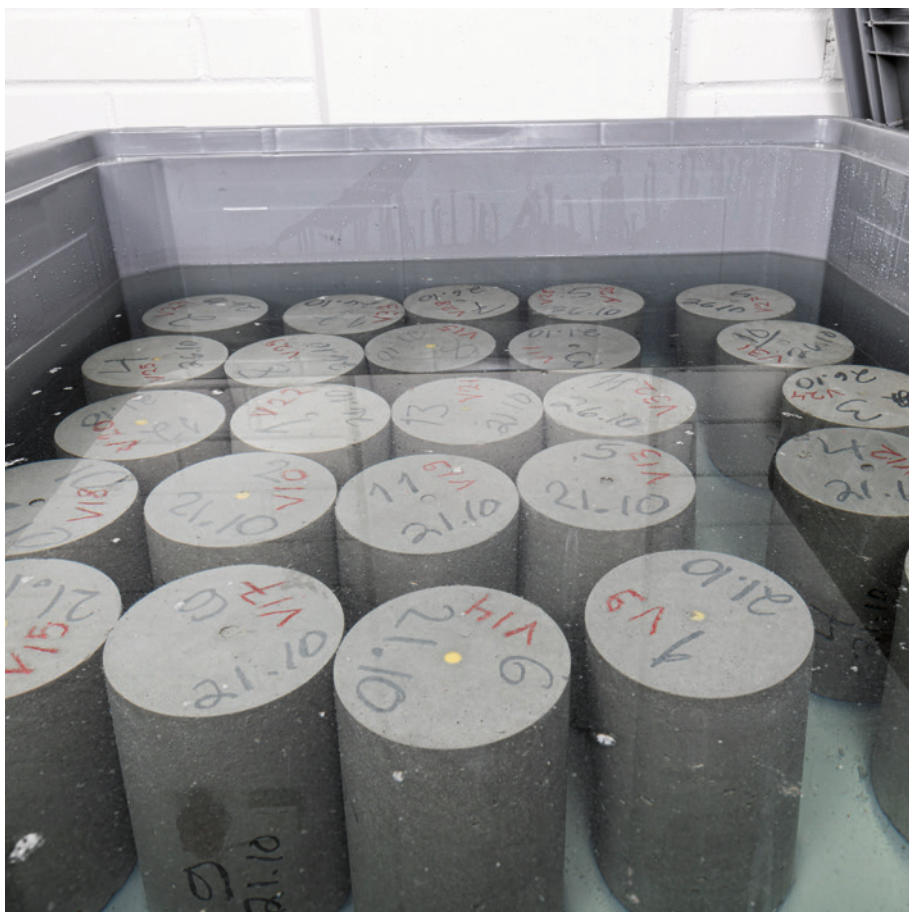


Insinööritoimisto KJ Oy

Vahanen Rakennusfysiikka Oy



Insinööritoimisto KJ Oy



8

6–7 Tasokokeilla käytetyt muoviset koekappalemuotit. Ylhäällä ennen valua ja alhaalla valun jälkeen.

8 Koekappaleiden vesisäilytystä. Kuvassa olevat koekappaleet eivät liity tasokokeisiin.

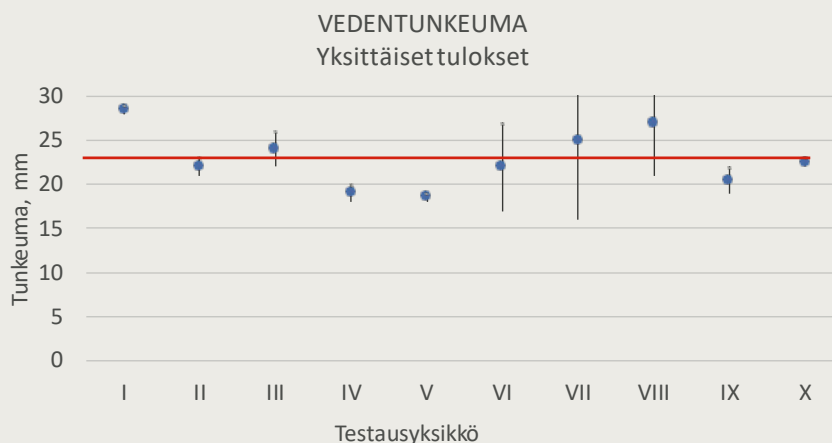
9 Koekappaleiden koon mittausta ennen puristusta. Kuvassa olevat koekappaleet eivät liity tasokokeisiin.



Vahanen Rakennusfysiikka Oy

9

10 Testausyksiköiden vedentunkeumakokeen keskiarvot sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä arvoa = 22,9 mm.



Paineellisen veden tunkeumasyyvyys

Kaikkiaan 10 eri testausyksikön tulokset on koottu taulukkoon 4. Taulukossa on esitetty kahden eri mittauksen arvot sekä niiden keskiarvot. Keskihajontoja ei ole tarkastelu johtuen testausten pienestä määrästä (2 kpl / testausyksikkö).

Kaikki testausyksiköt ilmoittivat, että testaus on tehty valusuunnan mukaisesti. Yhtä testauslaitosta lukuun ottamatta kaikki myös ilmoittivat, että kokeessa on käytetty sahattua koekappaletta. Testauslaitoksen VIII raportista ei ilmene onko käytetty sahattua vai kokonaista koekappaletta.

Kaikkien tulosten keskiarvo oli 22,9 mm ja keskihajonta 5,1 mm. Variaatiokerroin oli siten 22,3%. Koekappaleiden tiheyden keskiarvo oli 2341 kg/m³ ja keskihajonta 19,2 kg/m³ (0,8%). Yksi testausyksikkö (IX) ei ilmoittanut tiheyksiä. Mikäli tarkastellaan kahden koekappaleen keskiarvoja, saadaan tasokokeen keskihajonaksi 3,3 mm.

Kuvassa 10 on esitetty vedentunkeumakokeiden tulokset. Kuvasta havaitaan, että kolmen testausyksikön osalta hajontaa kahden koekappaleen välillä oli varsin runsaasta, kun taas muiden testausyksiköiden osalta hajonta oli vähäistä. Kahden koekappaleen keskiarvot vaihtelivat välillä 18,5...28,5 mm

Betoninormien (BY65, 2021, kappale 5.5.5) mukaisesti betoni katsotaan vesitiiviiksi, jos standardin SFS-EN 12390-8 mukaisesti testattu paineellisen veden tunkeumasyyvyys on enintään 100 mm. Vesitiiviiksi tarkoitettujen betonilaatujen ryhmän vesitiiveydet testataan ennakkokokeilla valitsemalla ryhmään kuuluvista betonilaaduista kaksi koostumuksen perusteella oletettavasti vesitiiveydeltaan heikointa betonilaatua. Vuosittain koe uusia yhdellä testauksella. Tässä tasokokeessa käytetty betonilaatu ei välttämättä kuuluisi testattaviin betoneihin, mutta täyttää selvästi vaatimustason.

Taulukko 4

Testausyksiköiden vedentunkeumakokeiden tulokset.

Testausyksikkö	Vedentunkeuma (mm)		
	Keskiarvo	Tulos a	Tulos b
I	28,5	28	29
II	22,0	21	23
III	24,0	22	26
IV	19,0	18	20
V	18,5	18	19
VI	22,0	17	27
VII	25,0	16	34
VIII	27,0	21	33
IX	20,5	19	22
X	22,5	22	23
KAIKKI	22,9		

Yhteenveto

Tasokokeessa 2022 testattiin betonin puristuslujuutta sekä paineellisen veden tunkeumasyyvyttä (vedentunkeumaa). Tasokokeisiin osallistui kaikkiaan yhteensä 11 eri testauslaitosta (yritystä tai ammattikorkeakoulua). Joillakin osallistujille kokeisiin osallistui useampia toimipisteitä tai useampia puristuskoneita. Puristuslujuuskokeeseen osallistui 17 testausyksikköä ja vedentunkeumakokeeseen vastaavasti 10 testausyksikköä.

Tulosten analysoinnin perusteella voidaan todeta, että testattavat koekappaleet olivat tasalaatuisia ja myös testausyksiköiden väliset erot olivat pieniä. Puristuslujuuskokeessa keskimääräinen puristuslujuus oli 44,9 MPa ja keskihajonta 1,22 MPa. Variaatiokerroin oli siten 2,7%. Tarkasteltaessa keskiarvojen luot-

tamusvälejä, testausyksiköt eivät poikenneet toisistaan kahta yksittäistä tapausta lukuun ottamatta. Tulokset ovat hyvin samalla tasolla verrattuna aikaisempiin vastaaviin tasokokeisiin.

Puristuslujuuskokeessa keskimääräinen tiheys oli 2361 kg/m³ ja keskihajonta 10,9 kg/m³. Variaatiokerroin oli 0,5%. Yhden testausyksikön tiheysarvot poikkesivat muista tuloksista. Myöhemmin kyseinen testausyksikkö havaitsi laskentavirheen, joka selitti osittain poikkeavan tuloksen.

Vedentunkeumakokeessa hajontaa esiintyi selvästi enemmän kuin puristuslujuuskokeessa, mutta tämä on oletettavaa huomioiden kokeiden luonteet. Kaikkien tulosten keskiarvo oli 22,9 mm ja yksittäisten tulosten keskihajonta oli 5,1 mm (22,3%). Mikäli tarkastellaan



6

6 Koekappaleet vesisäilytyksessä. Kuvassa olevat koekappaleet eivät liity tasokokeisiin.

kahden koekappaleen keskiarvoja, keskihajonaksi tulee 3,3 mm (14,3%). Kaikki tulokset ovat selvästi alle Betoninormien vaatimustason (100 mm), mutta toisaalta testattava betonilaatu ei ollut optimaalinen vedentunkeumakoetta ajatellen.

Tasokokeiden tulokset eivät aiheuta toimenpiteitä testausyksiköiden osalta.

Vuosikokouksessa 2022 sovittiin, että vuonna 2023 testataan huokostetun betonin puristuslujuus sekä huokosjako.

Round-robin tests 2022

Round-robin tests have been organized annually for accredited concrete testing laboratories. In 2022, compressive strength and water penetration under pressure were tested. Totally 17 testing units participated in the compressive strength testing and 10 testing units in the water penetration testing.

In the concrete testing, ready-mix concrete having the strength class of C35/45 was used. The average compressive strength of totally 96 test specimens was 44,9 MPa (cylinder strength) and the standard deviation was 1,22 MPa. The coefficient of variation was 2,7%. The lowest individual test result was 41,1 MPa and the highest 47,8 MPa. Differences between the testing units were not statistically significant except in two cases. Also in those cases the differences

were small. The results were on the same level as in the previous years.

The average density of the test specimens was 2361 kg/m³ and the standard deviation was 10,9 kg/m³. The lowest individual value was 2338 kg/m³ and the highest 2399 kg/m³. One testing unit got higher density value compared to the others.

The average value in the water penetration test was 22,9 mm and the standard deviation 5,1 mm. Three testing unit got larger variation between the two tested specimens compared to the others. The average value (22,9 mm) fulfills clearly the requirement of the water permeable concrete (limit = 100 mm), but on the other hand the tested concrete was not the optimal concrete quality for the water penetration test.