

Testauslaboratorioiden tasokokeet 2025

Jouni Punkki

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

Vuosittain järjestetään tasokokeet akkreditoiduille testauslaitoksille. Tutkittavat testit vaihtelevat vuosittain ja vuonna 2025 testattiin betonin puristuslujuutta sekä laboratorio- että porakoe-kappaleilla. Laboratoriokoe-kappaleiden osalta tulosten hajonta oli vähäistä, mutta porakoe-kappaleilla hajonta oli yllättävänkin suurta.

Taustaa

Vuoden 2025 tasokokeet keskittyivät betonin puristuslujuuteen. Kokeet tehtiin sekä laboratoriokoe-kappaleilla (150 mm lieriöillä) että porakoe-kappaleilla. Tasokokeisiin osallistui yhteensä 9 eri tahoa (yrityksiä ja korkeakouluja). Joistakin yrityksistä tasokokeisiin osallistui eri toimipisteitä tai useampi puristuskoneita. Siten laboratoriokoe-kappaleiden osalta osallistujia oli yhteensä 12 kpl ja rakennekoe-kappaleiden osalta yhteensä 11 kpl. Insinööritoimisto KJ Oy hoiti koe-kappaleiden valmistukset ja niiden lähetykset osallistujille, Aalto-yliopisto suoritti tulosten analysoinnin ja raportoinnin.

Tasokokeissa testattiin tällä kertaa ainoastaan puristuslujuutta. Myöhemmin vuonna -25 tehtiin kattavat tasokokeet pakkassuolakestävyyden laattakokeen osalta osana kansallista Pakkasprojekti25:tä. Laattakokeen tasokokeiden tulokset raportoidaan erikseen.

Koejärjestelyt

Laboratoriokoe-kappaleet

Laboratoriokoe-kappaleet valmistettiin Pielisen Betoni Oy:n toimittamasta valmisbetonista, jonka lujuusluokka oli C35/45, rasitusluokka XC4, raekoko #18 mm, notkeus S3 ja käyttöikä 50 v. Sideaineena betonissa käytettiin CEM I 52,5 N-typin sementtiä. Koe-kappaleet valettiin muovisiin lieriömuotteihin ja ne tiivistettiin tärypöydällä. Koe-kappaleet merkittiin valu-

järjestyksen mukaisesti tunnuksilla (1...72). Koe-kappaleet purettiin muoteista 1 vrk ikäisinä ja laitettiin vesisäilytykseen $+20 \pm 2^\circ\text{C}$. Koe-kappaleet otettiin pois vesialtaista 14 vrk ikäisinä ja lähetettiin osallistujille. Koe-kappaleet jaettiin testauslaitoksille niin, että jokainen testauslaitos testasi järjestyksenseläisyydeltään vaihtelevia koe-kappaleita. Koe-kappaleiden testaus tehtiin 28 vrk iässä standardin SFS-EN 12390-3 mukaisesti ja ennen puristuskoe-ta määritettiin koe-kappaleiden tiheys. Standardista poiketen tiheys ilmoitettiin 1 kg/m^3 tarkkuudella. Puristuspinnot voitiin hioa tai rikittää ja tämä raportoitettiin tulosten ilmoittamisen yhteydessä. Puristuslujuustulokset on analysoitu lieriölujuuksina, koska koe-kappaleet olivat lieriöitä.

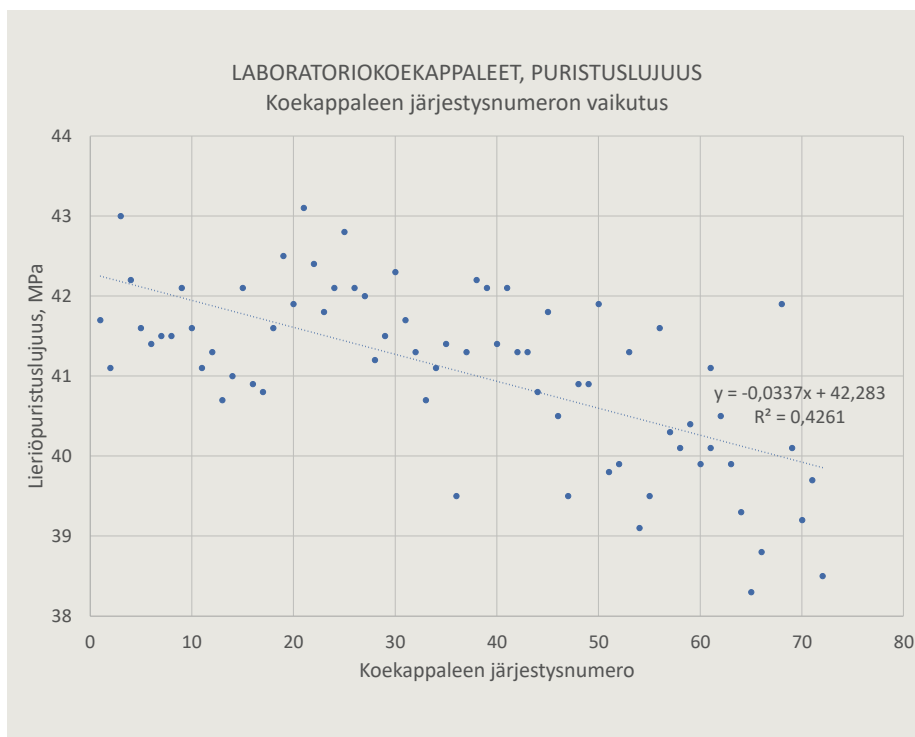
Laboratoriokoe-kappaleiden osalta tasokokeeseen osallistuivat seuraavat testauslaitokset:

- Insinööritoimisto KJ Oy
- SGM Consulting – Suomen GPS-Mittaus Oy
- Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy / KymiLabs, 2 puristinta
- Labroc Oy, 3 toimipistettä / puristinta
- PBM Asiantuntijat Oy
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu Oy
- AFRY Finland Oy
- Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos (ei-akkreditoitu testauslaboratorio)

Koetulosten osalta testausyksiköt on esitetty anonymisti kirjaimilla A...L, jotka ovat eri järjestyksessä kuin ylläesitettyssä listauksessa.

1 Hiottuja lieriökoe-kappaleita odottamassa puristuslujuustestausta.





Kuva 1 Yksittäisten laboratoriokoe-kappaleiden puristuslujuus järjestysnumeron funktiona.

Porakoe-kappaleet

Porakoe-kappaleet valmistettiin samasta betoniannoksesta kuin laboratoriokoe-kappaleet. Betonista valettiin noin 1,5 m × 1,5 m × 0,2 m kokoinen testirakenne, joka tiivistettiin tärysauvalla. Valun jälkeen testirakenne säilytettiin laboratorio-olosuhteissa. Testirakenteesta porattiin poranäytteet 102 mm terällä. Poranäytteiden halkaisija oli noin 95 mm. Poranäytteet merkittiin juoksevalla numeroinnilla 1...66 ja poranäytteet pakattiin suljettuihin muovilaatikoihin.

Koekappale-paketit säilytettiin avaamattomana huone-/laboratorio-olosuhteissa, paketit avattiin edellisenä päivänä ennen puristuskoe-ta. Puristuskoe tehtiin standardin SFS-EN 12540-1 mukaisesti ja ennen puristuskoe-ta määritettiin koekappaleiden tiheys. Standardista poiketen tiheys pyydettiin ilmoittamaan 1 kg/m³ tarkkuudella. Poranäytteet olivat noin 200 mm pitkiä ja siten ajatuksena oli, että testauslaboratorio sahaavat poranäytteistä standardin SFS 7508:2021 mukaiset h/d = 1:1 muotoiset porakoe-kappaleet. Suomalainen soveltamiss-standardi edellyttää nimenomaan 1:1 koekappaleita. Tätä ei kuitenkaan ollut ohjeistettu riittävän selkeästi ja 2 testausyksikköä testasi h/d = 2:1 muotoisia koekappaleita.

Puristuslujuustulokset on analysoitu kuutioluujuuksina, koska koekappaleiden h/d-suhde oli 1:1. Testitulos muunnetaan kokovaikutusker-toimella vastaamaan 150 mm kuutioluujuutta. 2:1-muotoisten porakoe-kappaleiden tuloksia ei sisällytetty tarkasteluihin, koska kyseiset tulokset eivät ole vertailukelpoisia 1:1 koekappaleiden kanssa.

Porakoe-kappaleiden osalta tasokokeeseen osallistuivat samat testauslaitokset kuin laboratoriokoe-kappaleiden osalta, mutta yksiköiden testausmäärissä oli pieniä eroja:

- Insinööritoimisto KJ Oy
- SGM Consulting – Suomen GPS-Mittaus Oy
- Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy / KymiLabs, 2 puristinta
- Labroc Oy, 2 toimipistettä / puristinta
- PBM Asiantuntijat Oy
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu Oy
- AFRY Finland Oy
- Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos (ei-akkreditoitu testauslaboratorio)

Testausyksiköt on eritelty kirjaimilla a...k, kyseiset koodit ovat eri järjestyksessä kuin yllä olevassa taulukossa.

Puristuslujuus, laboratoriokoe-kappaleet

Kaikkien laboratoriokoe-kappaleiden (72 kpl) keskimääräinen lieriöpuristuslujuus oli 41,1 MPa ja vastaava keskihajonta 1,08 MPa. Variaatiokerroin oli siten 2,6 %. Sekä keskihajonta että variaatiokerroin olivat alhaisempia kuin aikaisempina vuosina.

Valettaessa varsin suuri määrä koekappaleita yhdestä betoniannoksesta potentiaalisena riskinä on, että viimeisinä valmistetut koekappaleet voivat poiketa jossain määrin alkuvaiheen koekappaleista. Tätä on analysoitu kuvassa 1, jossa on esitetty puristuslujuus koekappaleen järjestysnumeron funktiona. Kuvan perusteella voidaan arvioida, että lujuustaso laski jossain määrin järjestysnumeron mukaan. Ero alku- ja loppupään koekappaleiden välillä ei

ole suuri, mutta korrelaatio on selkeä. Lineaarisen regression selityssasteeksi R² saadaan 0,4261. Tämä tarkoittaa, että yli 42 % koekappaleiden hajonnasta johtui järjestysnumerosta. Regressioyhtälön mukaan ensimmäisen ja viimeisen koekappaleen puristuslujuuksien ero olisi 2,4 MPa. Koekappaleet jaettiin osallistujille niin, että kaikki saivat sekä alku- että loppupään järjestysnumeroita ja siten edellä mainittu lujuusvaihtelu ei vaikuttanut merkittävästi tasokokeen tuloksiin.

Eri testausyksiköiden koetulokset on koottu taulukkoon 1. Suurin yksittäinen testauslaitoksen keskihajonta oli 1,6 MPa. Testausyksiköiden F ja G osalta on huomattava, että kyseessä on saman testauslaitoksen kaksi eri puristinta. Koekappaleet oli jaettu puristinten kesken virheellisesti niin, että F testasi alkupään järjestysnumerot ja G testasi loppupään järjestysnumerot. Tämä selittää osin testausyksikön F korkeimman lujuustuloksen. Erot olivat kuitenkin varsin pieniä.

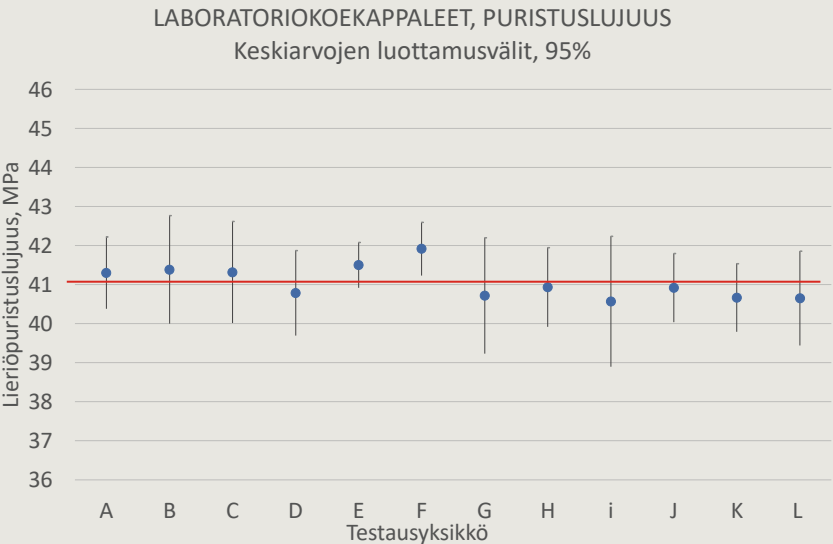
Eri testausyksiköiden tulosten keskiarvojen 95 % luottamusvälit on esitetty kuvassa 2. Luottamusvälien laskennassa huomioidaan testausyksikön tulosten keskihajonta sekä koekappaleiden lukumäärä.

Yksittäisten tulosten vaihteluvälit on esitetty kuvassa 3. Yksittäisiä tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että vaihtelua aiheutuu myös koekappaleiden hajonnasta. Siten yksittäisten tulosten perusteella on vaikea arvioida testauslaitosten tarkkuutta. Tasokokeessa yksittäisten tulosten virhemarginaali oli korkeintaan -1,9 MPa...+1,4 MPa 95 % varmuustasolla. Mitatut suurimmat yksittäiset

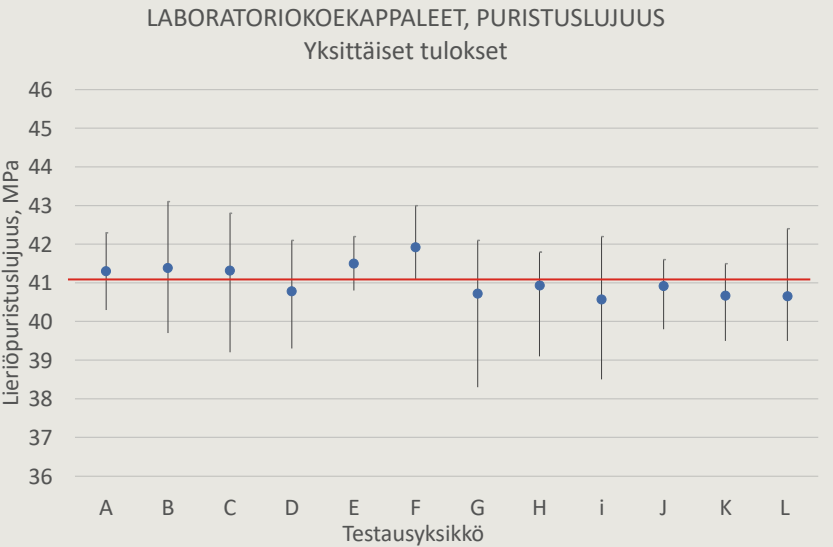
Taulukko 1 Laboratoriokoe­kappaleiden lujuustulosten keskiarvot, keskihajonnat sekä variaatiokerroimet.

Testaus- yksikkö	Puristuslujuus		
	Keskiarvo (MPa)	Keskihajonta (MPa)	Variaatio- kerroin
A	41,3	0,9	2,1 %
B	41,4	1,3	3,2 %
C	41,3	1,2	3,0 %
D	40,8	1,0	2,6 %
E	41,5	0,6	1,3 %
F	41,9	0,7	1,6 %
G	40,7	1,4	3,5 %
H	40,9	1,0	2,4 %
I	40,6	1,6	3,9 %
J	40,9	0,8	2,0 %
K	40,7	0,8	2,0 %
L	40,7	1,2	2,8 %
KAIKKI	41,1	1,08	2,6%

Kuva 2 Puristuslujuustulosten keskiarvot sekä keskiarvon luottamusvälit 95:n varmuustasolla. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä puristuslujuutta = 41,1 MPa.



Kuva 3 Puristuslujuustulosten keskiarvot sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä puristuslujuutta = 41,1 MPa.



Taulukko 2 Puristuspintojen käsittely vaikutus puristuslujuustuloksiin.

Käsittelytapa	Testausyksiköiden lukumäärä	Puristuslujuus		
		Keskiarvo (MPa)	Keskihajonta (MPa)	Variaatio-kerroin
Rikitys	2	41,1	0,84	2,0 %
Hionta	10	41,0	1,12	2,7 %

poikkeamat koko populaation keskiarvosta olivat -2,75...+2,05 MPa.

Kuvien 2 ja 3 perusteella voidaan arvioida, että testausyksiköiden välillä ei ole tilastollisesti merkittäviä eroja. Esimerkiksi yksittäisissä tuloksissa koetulokset eivät mene ristiin niin, että yhden testausyksikön alhaisin koetulos olisi suurempi kuin jonkun toisen yksikön suurin tulos. Samoin keskiarvon luottamusvälit menevät kaikilta osin päällekkäin. Myös varianssianalyysi osoitti, ettei testauslaitosten välillä ole merkittäviä eroja.

Tasokokeessa oli mahdollisuus joko hioa tai rikittää puristuspinnot. Kaksi testausyksikköä ilmoitti käyttäneensä rikitystä ja loput 10 hiontaa. Lujuustulokset eriteltynä käsittelytavan mukaan on esitetty taulukossa 2. Kuten taulukosta havaitaan, pintojen käsittelytavalla ei ollut merkittävää vaikutusta puristuslujuuden keskiarvoon tai hajontaan. Rikityksen osalta lukumäärä on liian pieni luotettavan arvioinnin tekemiseksi.

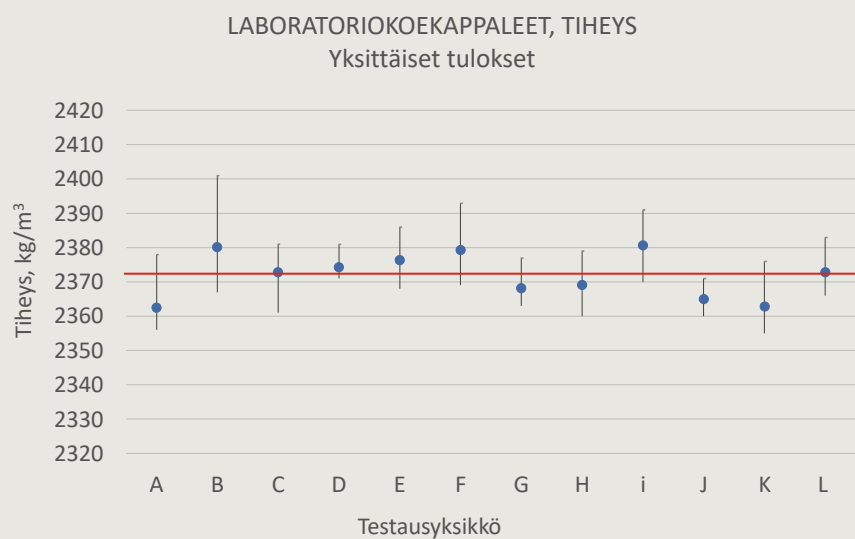
Tiheys, laboratoriokoeappaleet

Laboratoriokoeappaleiden keskimääräinen tiheys oli 2372 kg/m³ ja vastaava keskihajonta 9,7 kg/m³. Variaatiokertoimeksi tulee näin 0,4% (vuonna -24: 0,3%). Testausyksiköiden keskimääräiset tulokset ja yksittäisten tulosten vaihteluvälit on esitetty kuvassa 4.

Puristuslujuus, porakoeappaleet

Kaikkien tarkasteltavien porakoeappaleiden (54 kpl) keskimääräinen muunnettu kuutiopuristuslujuus oli 45,5 MPa ja vastaava keskihajonta 3,78 MPa. Variaatiokertoimenä tämä on 8,3 %. Hajonta oli siten selvästi suurempaa kuin laboratoriokoeappaleiden osalta.

Koska koeappaleet on porattu erillisestä testirakenteesta, on oletettavaa ettei järjestysnumero vaikuta puristuslujuuteen samalla tapaan kuin mitä havaittiin laboratoriokoeappaleilla. Lineaarisen regression selitysaste

Kuva 4 Testausyksiköiden tiheyksien keskiarvot sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä tiheyttä = 2372 kg/m³.

jäikin hyvin alhaiseksi ($R^2 = 0,0083$) eli järjestysnumerolla ei ollut vaikutusta koetuloksiin. Myöskään koeappaleiden tiheyden ja puristuslujuuden välillä ei havaittu merkittävää korrelaatiota.

Kaikkien yhdeksän testausyksikön koetulokset on koottu taulukkoon 3. Taulukko sisältää vain h:d = 1:1 tulokset.

Kaksi testausyksikköä (d ja g) ilmoittivat, että yhden koeappaleen suorakulmaisuusvaatimus ei täytynyt. Kyseisten koeappaleiden puristuslujuus ei kuitenkaan poikennut merkittävästi muista tuloksista ja siten kyseisiä koetuloksia ei ole poistettu aineistosta. Kaikki testausyksiköt ilmoittavat tehneensä koeappaleet poralierion keskiosasta. Pienenä poikkeuksena oli yksiköt g ja h, jotka ilmoittivat että poralierion yläpinnasta poistettiin 30 mm. Tällä erolla koeappaleiden sijainnissa on tuskin merkittävää vaikutusta lujuustuloksiin.

Eri testausyksiköiden mittaustulosten keskiarvojen 95 % luottamusvälit on esitetty kuvassa 5. Luottamusvälien laskennassa huo-

mioidaan testausyksikön tulosten keskihajonta sekä koeappaleiden lukumäärä.

Yksittäisten tulosten vaihtelut on esitetty kuvassa 6. Yksittäisiä tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että vaihtelua aiheutuu myös koeappaleiden sisältämästä hajonnasta. Siten yksittäisten tulosten perusteella on vaikea arvioida testauslaitosten tarkkuutta.

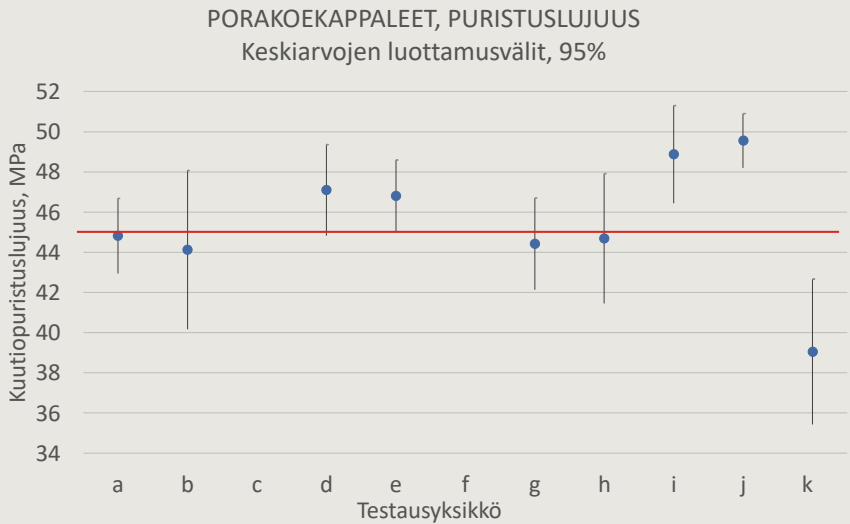
Tasokokeessa yksittäisten tulosten virhemarginaali oli -7,4 MPa...+5,2 MPa 95 %:n varmuustasolla. Mitatut suurimmat yksittäiset tulosten poikkeamat koko populaation keskiarvosta olivat -9,18...+5,99 MPa. Kuvien 5 ja 6 perusteella voidaan helposti arvioida, että testausyksiköiden välillä on tilastollisesti merkittäviä eroja. Keskiarvon luottamusvälit eivät mene kaikilta osin ristiin eli joidenkin yksiköiden alhaisimmat koetulokset olivat korkeampia kuin joidenkin toisten suurimmat koetulokset.

Vaihtelut testauslaitosten välillä olivat huomattavasti suurempia kuin laboratoriokoeappaleiden osalta. Osa testausyksiköistä pääsi

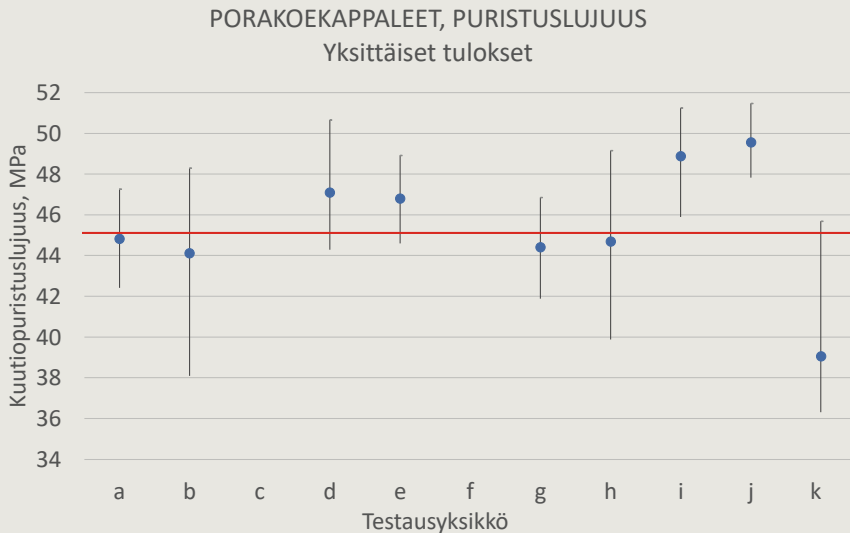
Taulukko 3 Porakoeappaleiden lujuustulosten keskiarvot sekä keskihajonnat. Testausyksiköt c ja f testasivat h:d=2:1 koeappaleita ja kyseisiä tuloksia ei ole huomioitu.

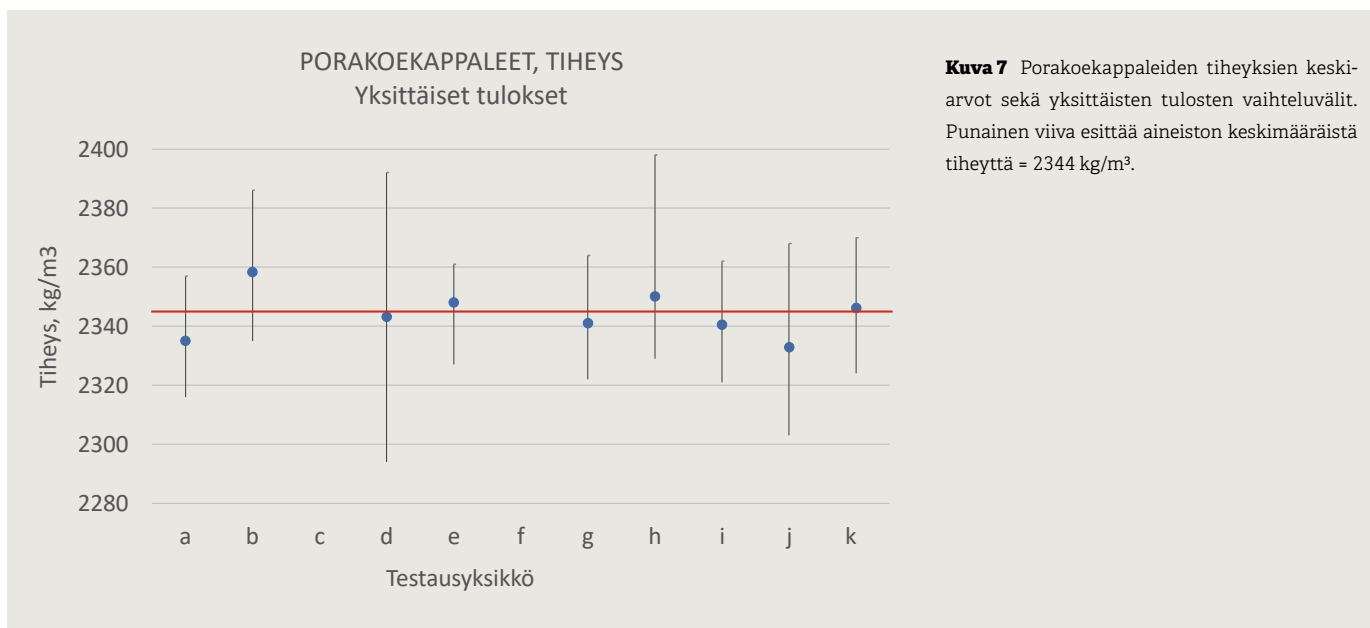
Testaus- yksikkö	Puristuslujuus		
	Keskiarvo (MPa)	Keskihajonta (MPa)	Variaatio- kerroin
a	44,8	1,8	4,0 %
b	44,1	3,8	8,6 %
c			
d	47,1	2,2	4,6 %
e	46,8	1,7	3,6 %
f			
g	44,4	2,2	4,9 %
h	44,7	3,1	6,9 %
i	48,9	2,3	4,7 %
j	49,6	1,3	2,6 %
k	39,0	3,4	8,8 %
KAIKKI	45,5	3,78	8,3%

Kuva 5 Porakoeappaleiden keskiarvot sekä keskiarvon luottamusvälit 95 %:n varmuustasolla. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä puristuslujuutta = 45,5 MPa.



Kuva 6 Porakoeappaleiden puristuslujuuksien keskiarvot sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä puristuslujuutta = 45,5 MPa.





Kuva 7 Porakoe-kappaleiden tiheyksien keskiarvot sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä tiheyttä = 2344 kg/m³.

varsin pieneen poikkeamaan, mutta suurin poikkeama keskiarvosta oli > 6 MPa. Tulosten perusteella voidaan arvioida, että porakoe-kappaleiden virhemarginaali tasokokeessa kuudella koe-kappaleella oli lujuusluokalla C35/45 luokkaa ± 6 MPa. Samasta betonista eri testausyksiköt saivat suurimmillaan noin 10 MPa poikkeavia lujuustuloksia (kuuden koe-kappaleen keskiarvo). Tämä vaikuttaa varsin suurelta vaihtelulta, varsinkin kun huomioidaan ettei rakennekoekappaleiden hajonta ole kokonaisuudessaan mukana tässä koesarjassa. Todellisen rakenteen valu ja koe-kappaleiden poraus eri toimijoiden toimesta todennäköisesti lisäisivät hajontaa verrattuna tasokokeessa havaittuun hajontaan. Lisäksi kuusi koe-kappaleta on jo varsin suuri määrä, pienemmällä otoksella vaihtelu olisi vielä suurempi.

Tiheys, porakoe-kappaleet

Tiheyden osalta keskimääräiset tulokset sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit on esitetty kuvassa 7. Tiheyden keskihajonta oli 21,6 kg/m³ (laboratoriokoekappaleet: 9,7 kg/m³) ja variaatiokerroin oli 0,9 % (laboratoriokoekappaleet: 0,4 %). Yksittäisten koe-kappaleiden tiheyden hajonta on siten verrattain suurta, mutta keskimääräisissä arvoissa ei ole suurta vaihtelua. Tiheyden suurempi hajontaa selittyy ainakin osin porakoe-kappaleiden pienellä tilavuudella.

Laboratorio- ja porakoe-kappaleiden lujuustulosten vertailu

Tasokokeessa valmistettiin samasta betonierästä laboratoriokoekappaleet sekä testirakenne, josta porattiin myöhemmin porakoe-kappaleet. Siten on mahdollista vertailla

valettujen ja porattujen koe-kappaleiden lujuustuloksia. Lisäksi porakoe-kappaleita testattiin normaalin h:d-suhteen 1:1 lisäksi myös suhteella 2:1. Suhde 1:1 vastaa kuutiolujuutta ja suhde 2:1 lieriölujuutta.

Rakennekoekappaleilla vaatimustasona on 85 % nimellislujuudesta, tosin osin myös hieman erilaiset laskentaperiaatteet. Periaatteessa 15 % alhaisempi vaatimustaso liittyy normaalin betonirakenteen valmistamisen eroihin verrattuna laboratoriokoekappaleisiin. Laboratoriokoekappaleet voidaan tiivistää lähes täydellisesti, kun taas rakenteen täydellinen tiivistäminen on mahdotonta. Samoin rakennekoekappaleissa kovettumisen aikainen korkeampi lämpötila voi aiheuttaa lujuuskatoa ja myös rakenteiden jälkihoito on harvoin vastaavalla tasolla kuin laboratoriokoekappaleilla. On kuitenkin jossain määrin kyseenalaista voidaanko 15 % vähennystä käyttää tällaisessa tapauksessa, kun kyseessä oli testirakenne, ei todellinen betonirakenne. Esimerkiksi testirakenteen tiivistäminen voi olla lähes vastaavaa kuin laboratoriokoekappaleiden. Koe-kappaleiden tiheydessä havaittiin kyllä keskimäärin 28 kg/m³:n ero pora- ja laboratoriokoekappaleiden välillä, mikä vastaisi noin 1 %-yksikköä korkeampaa tiivistysilman määrää porakappaleissa. Tämä puolestaan voisi alentaa puristuslujuutta noin 5 %. Lujuustulosten vertailu on koottu taulukkoon 4.

Verrattuna nimellislujuuteen porakoe-kappaleiden lujuudet jäivät oletetusti alemmalle tasolle kuin laboratoriokoekappaleiden lujuudet (Lieriölujuus). Eri porakoe-kappaleiden menetelmät antoivat kuitenkin varsin samantasoiset lujuusarvot. Samoin mikäli

hyödynnetään 85 % sääntöä porakoe-kappaleilla, kaikki lujuustulokset olivat varsin lähellä toisiaan. Siten laskentasäännöt vaikuttaisivat toimivan varsin hyvin. Epävarmaa kuitenkin on, voidaanko kyseistä 85 %:n sääntöä hyödyntää tällaisessa tapauksessa. Samoin analyysi perustuu pelkästään keskiarvojen vertaamiseen. Mikäli hajonnat otettaisiin huomioon, porakoe-kappaleiden tulokset heikentyisivät suhteessa laboratoriokoekappaleisiin.

Yhteenveto

Tasokokeessa 2025 testattiin betonin puristuslujuutta sekä laboratorio- että porakoe-kappaleilla. Tasokokeisiin on osallistunut yhteensä kahdeksan eri tahoa (yrityksiä tai korkeakouluja), joista osa osallistui testauksiin useammalla yksiköllä / puristuskokeella. Laboratoriokoekappaleiden (150 mm lieriöt) osalta tasokokeisiin osallistui yhteensä 12 testausyksikköä ja porakoe-kappaleiden osalta 11 yksikköä. Porakoe-kappaleiden osalta päädyttiin valmistamaan testirakenne (1,5 * 1,5 * 0,2 m³), josta järjestäjä porasi poranäytteet ja lähetti ne osallistujille. Siten tasokokeessa ei huomioida kaikkia rakennekoekappaleisiin liittyviä hajonnan lähteitä ja myös testirakenne poikkeaa normaaleista betonirakenteista.

Laboratoriokoekappaleiden osalta havaittiin lujuuden alentuvan järjestysnumeron perusteella. Olettamuksena on, ettei loppupään koe-kappaleiden tiivistys onnistunut yhtä tehokkaasti betonin jonkin asteisen jäykistymisen johdosta. Järjestysnumeron vaikutus puristuslujuuteen oli pieni, mutta kuitenkin varsin selvä. Koe-kappaleet jaettiin osallistujille niin, että kaikki saivat sekä alku-

Taulukko 4 Eri koekappaleilla määritettyjen lujuustulosten vertailua. Mukana sekä laboratorio- että porakoe-kappaleet. Betonin lujuusluokka oli C35/45.

	Kuutiolujuus (150 mm)	Lieriölujuus		
	Muunnettu kuutiolujuus Porakoe-kappaleet, h:d = 1:1, huomioitu kokovaikutuskerroin	Lieriölujuus Laboratio- koekappaleet, Lieriö 150 mm	Muunnettu lieriölujuus Porakoe-kappaleet, Muunnettu kuutiolujuudesta CLF-kertoimella	Lieriölujuus Porakoe-kappaleet, Testattu h:d = 2:1 koekappaleet (ei käytössä Suomessa)
Puristuslujuus	45,5 MPa	41,1 MPa	37,3 MPa	36,1 MPa
Ero nimellislujuuteen	+0,5 MPa	+6,1 MPa	+2,3 MPa	+1,1 MPa
Ero nimellislujuuteen, huomioiden 85% sääntö porakappaleilla	+7,3 MPa	+6,1 MPa	+7,6 MPa	+6,4 MPa



XAMK Kotka

2 Koekappaleen mittaus käynnissä.



Teemu Ojala

3 Koekappaleen puristuslujuuden määrittäminen käynnissä.

että loppupään järjestysnumeroita ja siten edellä mainittu lujuusvaihtelu ei vaikuttanut merkittävästi tasokokeen tuloksiin. Jatkossa on kuitenkin kiinnitettävä enemmän huomiota koekappaleiden tasalaatuisuuteen.

Laboratoriokoekappaleiden hajonta oli alhaisella tasolla, keskimääräinen puristuslujuus (lieriölujuus) oli 41,1 MPa ja keskihajonta 1,08 MPa. Variaatiokerroin oli siten 2,6 %. Hajonta oli alhaisempaa kuin edellisinä vuosina koekappaleiden pienistä puutteista huolimatta. Testausyksiköiden tulosten välillä ei havaittu tilastollisesti merkittäviä eroja. Tulosten perusteella arvioitiin, että kyseisen betonin virhemarginaali tasokokeessa kuudella koekappaleella oli luokkaa $\pm 0,8$ MPa. Kokonaisuutena tasokokeen tuloksia laboratoriokoekappaleiden osalta voidaan pitää erittäin hyvinä, eivätkä tasokokeet aiheuta toimenpiteitä. Laboratoriokoekappaleiden tiheyden osalta keskihajonta oli pieni 9,7 kg/m³ (0,4 %). Hajonta oli hieman suurempaa kuin edellisinä vuotena, mutta myös tiheyden osalta tarvita toimenpiteitä.

Toisin kuin laboratoriokoekappaleilla, porakokkappaleiden puristuslujuuden hajonta oli varsin suurta, koko aineiston keskihajonta oli yli kolminkertainen verrattuna laboratoriokoekappaleiden keskihajontaan. Siten myös yksittäiset koetulokset vaihtelivat runsaasti, pienin yksittäinen lujuustulos oli 36,3 MPa ja suurin vastaavasti 51,5 MPa. Porakokkappaleiden tilavuus on varsin pieni ja tämä on varmasti osasyynä suurempaan hajontaan. Porakokkappaleiden osalta hajontaa tulee selvittää uusin tasokokein ja jatkossa myös koekappaleiden poraus tulisi ottaa mukaan tasotestaukseen. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että jokainen testauslaitos kävisi poraamassa näytteet testattavasta rakenteesta. Havaittu korkea hajonta herättää myös kysymyksiä tarvittavasta porakokkappaleiden lukumäärästä. Kuinka monta porakokkappaletta tarvitaan, jotta voidaan saada luotettava arvio rakenteen lujuudesta.

Muita huomioita

Porakokkappaleiden lujuustulosten esittämisessä on runsaasti vaihtelua, mikä voi helposti aiheuttaa väärinkäsityksiä. Esimerkiksi osa testauslaitoksista ilmoitti muuntamattoman lujuustuloksen (= Testitulos), kun taas useimmat ilmoittavat kokovaikutuskertoimella korjatun lujuusarvon (= Muunnettu kuutiolujuus). Terminologian vaihtelu on tiedostettu jo aikaisemmin ja Betoniyhdistyksen alla on toiminut työryhmä, joka on valmistellut ohjetta lujuustestauksen raportointikäytännöistä. Ohje tulaaan julkaisemaan Betoniyhdistyksen web-sivuilla. Olennaista raportoinnissa on vakioitujen termien käyttäminen. Porakokkappaleisiin liittyviä olennaisia termejä ovat:

Poranäyte

Rakenteesta porattu lieriönäyte, josta valmistetaan porakokkappale. Samasta poranäytteestä voi valmistaa useampia porakokkappaleita.

Porakokkappale

Poranäytteestä valmistettu testattava koekappale, jonka pituus-halkaisijasuhde tulee olla 1:1 standardin SFS 7508 mukaisesti. Huom. porakokkappale ei saa sisältää teräksiä.

Testitulos

Puristuslujuustestauksessa valetun koekappaleen tai porakokkappaleen muuntamaton puristuslujuustulos, joka saadaan suoraan puristuslujuustestin tuloksena (MPa).

Kokovaikutuskerroin

Kerroin, jolla kertomalla muunnetaan porakokkappaleen testitulos särmältään 150 mm kuutiolujuudeksi.

Muunnettu kuutiolujuus

Särmältään 150 mm kuution puristuslujuudeksi muunnoskertoimella tai kokovaikutuskertoimella muunnettu testitulos.

Muunnettu lieriölujuus (vain infrabetonit)

Halkaisijaltaan 150 mm ja korkeudeltaan 300 mm lieriölujuudeksi porakokkappaleen pituusker-toimella (CLF) muunnettu porakokkappaleen tai särmältään 150 mm kuution testitulos. Käytetään ainoastaan infrabeteoneilla (InfraRYL).

Nykyisten vaatimusten (SFS 7022 ja BY65: 2025) mukaisesti puristuslujuustuloksia ei enää muunneta lieriö- ja kuutiolujuuksien välillä, poikkeuksena infrarakentamisen porakokkappaleet. Siten myös puristuslujuustestauksen raportoinnissa ei tule tehdä muunnoksia, vaan tulokset ilmoitetaan joko lieriö- tai kuutiolujuus riippuen käytetystä koekappaleesta. Lisäksi on tärkeää ilmoittaa selkeästi, että lujuusarvo on joko lieriölujuus tai kuutiolujuus, termiä puristuslujuus ilman viittausta koekappaletyyppiin ei tule käyttää.

Tasotestauksen organisointi

Aalto-yliopisto on koordinoitunut tasotestauksia vuodesta 2022 lähtien. Betoniyhdistys ry ottaa hoitaakseen tasotestauksen koordinoinnin vuoden 2026 alusta ja jatkossa kaikki tasokokeisiin liittyvä materiaali tulee löytymään Betoniyhdistyksen web-sivuilta: www.betoniyhdistys.fi •



4 Testattuja lieriökoekappaleita.

Round-robin tests 2025

In Finland, Round-robin tests have been organized annually for accredited concrete testing laboratories. In 2025, compressive strength testing was investigated both with laboratory specimens (150 mm cylinders) and drilled core specimens. The same concrete was used for the both test series, the strength class was C35/45. Totally 12 testing units were participated in the test with laboratory specimens and 11 units with drilled specimens.

With the laboratory test specimens, the average compressive strength was 41,1 MPa (cylinder

strength) and the standard deviation 1,08 MPa. The coefficient of variation was 2,6 %. Based on the results it was estimated that the margin of the error with C35/45 with six specimens would be app. $\pm 0,8$ MPa. The average density of the test specimens was 2372 kg/m³ and the standard deviation 9,7 kg/m³. Generally in case of laboratory specimens, both the variations of compressive strength and density can be considered low.

The drilled specimens showed clearly higher variation compared to the laboratory specimens. The average compressive strength was 45,5 MPa (cube strength) and the stand-

ard deviation 3,78 MPa. The average density was 2372 kg/m³ and the standard deviation 21,6 kg/m³. The coefficient of variation of density was 0,9 %. The average values (six specimens) of the test units varied app. ± 6 MPa. The single compressive strength results varied between 36,3 and 51,5 MPa. The variation in the test results is considered high and new round-robin tests with drilled core specimens will be needed. •