

## TASOKOKEET 2025

### Betonin puristuslujuus - 150 mm lieriöt ja porakoekappaleet

## Raportti

**22.4.2026**

Korvaa Raportin 17.11.2025

Jouni Punkki, betonitekniikan professori  
Rakennustekniikan laitos  
Aalto-yliopisto

## Sisällysluettelo

Sisällysluettelo .....	2
1 Yleistä .....	3
1.1 Koejärjestelyt, laboratorioekokappaleet .....	3
1.2 Koejärjestelyt, porakokokappaleet .....	3
2 Laboratorioekokappaleet .....	4
2.1 Kokokappaleiden tasalaatuisuus.....	5
2.2 Testausyksiköiden väliset erot .....	7
2.3 Puristuspuinnan käsittelyn vaikutus .....	11
2.4 Yhteenveto puristuslujuuskokeista laboratorioekokappaleilla .....	11
3 Porakokokappaleet .....	12
3.1 Kokokappaleiden tasalaatuisuus.....	12
3.2 Testausyksiköiden väliset erot .....	14
3.3 Yhteenveto puristuslujuuskokeista porakokokappaleilla .....	18
4 Laboratorio- ja porakokokappaleiden vertailu.....	18
5 Yhteenveto.....	19
6 Muita huomioita.....	20

## 1 Yleistä

Vuoden 2025 tasokokeet keskittyivät betonin puristuslujuuteen. Kokeet tehtiin sekä laboratoriokoekappaleilla (150 mm lieriöllä) että porakoekappaleilla. Insinööritoimisto KJ Oy ja Aalto-yliopisto järjestivät yhdessä tasokokeet. Insinööritoimisto KJ Oy hoiti koekappaleiden valmistukset ja niiden lähetykset osallistujille, Aalto-yliopisto suoritti tulosten analysoinnin ja raportoinnin. Tasokokeisiin osallistui yhteensä 9 eri tahoa (yrityksiä ja korkeakouluja). Joistakin yrityksistä tasokokeisiin osallistui eri toimipisteitä tai useampi puristuskoneita. Siten laboratoriokoekappaleiden osalta osallistujia oli yhteensä 12 kpl ja rakennekoekappaleiden osalta yhteensä 11 kpl. Yksi tasokokeisiin osallistujista, Aalto-yliopisto, ei ole akkreditoitu testauslaboratorio ja ei siten tee testauksia ulkopuolisille kuin ainoastaan erityistapauksissa.

Porakoekappaleiden osalta Insinööritoimisto KJ Oy porasi koekappaleet tasokoetta varten valettua rakenteesta. Siten tasokoe ei edusta kokonaisuutta rakennekoekappaleiden osalta, koska näytteiden poraamiseen liittyvä hajonta on jäänyt pois. Samoin valettu testirakenne ei vastaa todellista betonirakennetta mm. kokonsa osalta. Katsottiin kuitenkin, että jos jokainen testauslaitos olisi porannut itse koekappaleet, tasokokeen kustannukset olisivat kasvaneet merkittävästi.

Aikaisemmista vuosista poiketen vuonna -25 tasokokeissa testattiin ainoastaan puristuslujuutta. Myöhemmin vuonna -25 tehdään kattavat tasokokeet laattakokeen osalta osana kansallista Pakkasprojekti25:tä. Niiden kokeiden tulokset raportoidaan erikseen.

### 1.1 Koejärjestelyt, laboratoriokoekappaleet

Laboratoriokoekappaleet 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-tyypin sementtiä.

Koekappaleet valettiin 7.8.2025 muovisiin lieriömuotteihin ja ne tiivistettiin tärypöydällä. Koekappaleet on merkitty valujärjestyksen mukaisesti tunnuksilla 1...72. Koekappaleet purettiin muotteista 1 vrk ikäisinä ja laitettiin vesisäilytykseen  $+20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Koekappaleet otettiin pois vesialtaista 20.8.2025 ja lähetettiin osallistujille. Koekappaleet jaettiin testauslaitoksille niin, että jokainen testauslaitos testasi järjestysnumeroiltaan vaihtelevia koekappaleita. Koekappaleiden puristus ohjeistettiin tapahtuvan 28 vrk iässä 4.9.2025.

Samoin ohjeistettiin, että koekappalepaketit säilytetään avaamattomana huone-/laboratorio-olosuhteissa 4.9.2025 saakka. Pakettien avaaminen ohjeistettiin tehtävän 6 tuntia ennen puristuskoetta. Puristuskoe tehtiin standardin SFS-EN 12390-3 mukaisesti ja ennen puristuskoetta määritettiin koekappaleiden tiheys. Standardista poiketen tiheys pyydettiin ilmoittamaan  $1 \text{ kg/m}^3$  tarkkuudella. Puristuspinnat voitiin hioa tai rikittää ja tämä raportoitiin tulosten ilmoittamisen yhteydessä.

Puristuslujuustulokset on analysoitu lieriölujuuksina, koska koekappaleet ovat lieriöitä. Kyseisellä betonilaadulla muunnetut kuutiolujuudet olisivat 10 MPa suurempia.

### 1.2 Koejärjestelyt, porakoekappaleet

Porakoekappaleet valmistettiin samasta betoniannoksesta kuin laboratoriokoekappaleet. Betonin toimitti Pielisen Betoni Oy, betonin lujuusluokka oli C35/45, rasitusluokka XC4, raekoko #18 mm, notkeus S3 ja käyttöikä 50 v. Sideaineena betonissa käytettiin CEM I 52,5 N-tyypin sementtiä.

Betonista valettiin noin 1,5 m x 1,5 m x 0,2 m kokoinen testirakenne, Testirakenne valettiin 7.8.2025 ja rakenne tiivistettiin tärysausvalla. Valun jälkeen testirakenne säilytettiin laboratorioolosuhteissa. Testirakenteesta porattiin 19.8.2025 poranäytteet 102 mm terällä. Poranäytteiden halkaisija oli noin 95 mm. Poranäytteet merkittiin juoksevalla numeroinnilla 1...66 ja poranäytteet pakattiin suljettuihin muovilaatikoihin.

Ohjeistettiin että koekappalepakettit säilytetään avaamattomana huone-/laboratorio-olosuhteissa 4.9.2025 saakka. Pakettien avaaminen ohjeistettiin tehtävän edellisenä päivänä ennen puristuskoetta. Puristuskoe tehtiin standardin SFS-EN 12540-1 mukaisesti ja ennen puristuskoetta määritettiin koekappaleiden tiheys. Standardista poiketen tiheys pyydettiin ilmoittamaan  $1 \text{ kg/m}^3$  tarkkuudella.

Poralieriöt olivat noin 200 mm pitkiä ja siten ajatuksena oli, että testauslaboratorio sahaa poralieriöistä standardin SFS 7508:2021 mukaiset h/d = 1:1 muotoiset koekappaleet. Suomalainen soveltamisstandardi 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 kuutiolujuuksina, koska koekappaleiden h/d-suhde oli 1:1. Testiarvo muunnetaan kokovaikutuskertoimella vastaamaan 150 mm kuutiolujuutta. 2:1-muotoisten koekappaleiden tuloksia ei sisällytetty tarkasteluihin, koska kyseiset tulokset eivät ole vertailukelpoisia 1:1 koekappaleiden kanssa.

## 2 Laboratoriokoekappaleet

Puristuslujuuden tasokokeeseen osallistuivat seuraavat testauslaitokset:

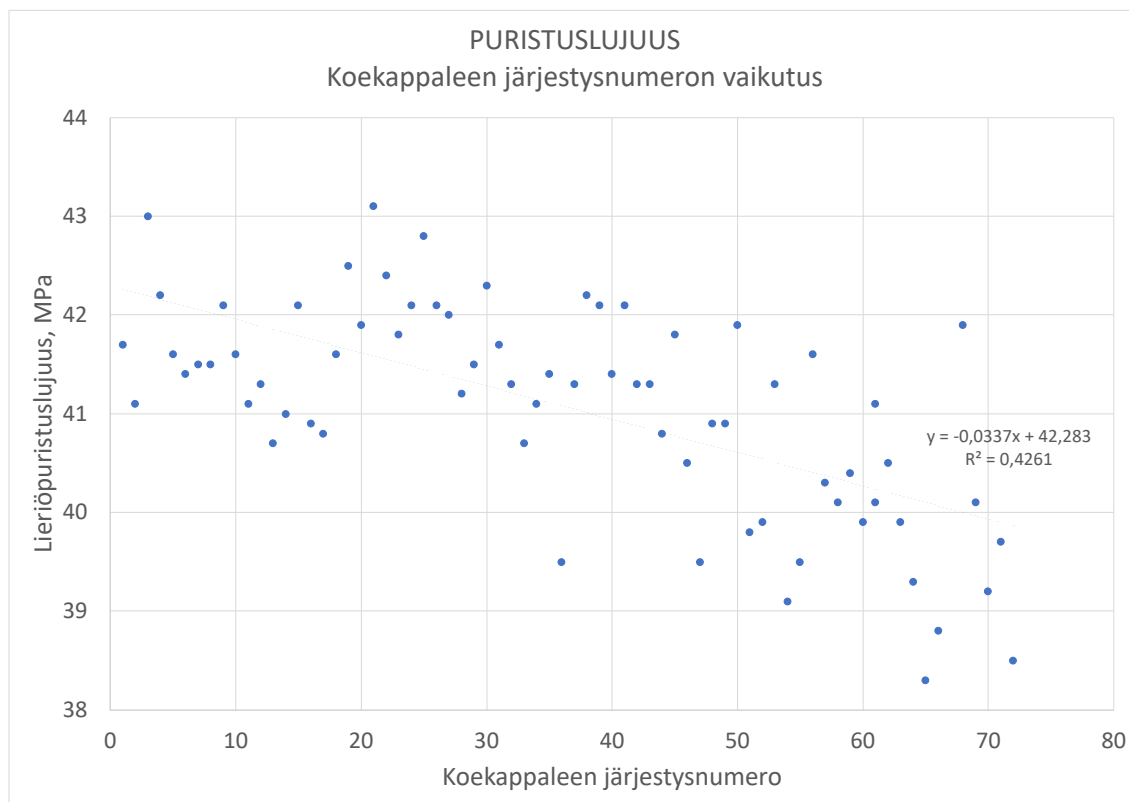
- Insinööritoimisto KJ Oy
- SGM Consulting – Suomen GPS-Mittaus Oy
- Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy / KymiLabs, 2 puristinta
- Karelia-ammattikorkeakoulu (lisätty listaan 22.4.2026)
- Labroc Oy, 3 toimipistettä / puristinta
- PBM Asiantuntijat Oy
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu Oy
- AFRY Finland Oy
- Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos (ei-akkreditoitu testauslaboratorio)

Yksittäisiä testausyksiköitä oli siten kaikkiaan 12 kpl, kaikkiaan puristettiin 72 koekappaletta. Koetulosten osalta testausyksiköt on esitetty anonyymisti kirjaimilla A...L, jotka ovat eri järjestyksessä kuin ylläesitetystä listauksesta.

## 2.1 Koekappaleiden tasalaatuisuus

Kaikkien laboratoriokoekappaleiden (72 kpl) keskimääräinen puristuslujuus (lieriölujuus) 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 laskee jossain määrin järjestysnumeron mukaan. Ero alku- ja loppupään koekappaleiden välillä ei ole kovin suuri, mutta korrelaatio on selkeä. Lineaarisen regression selitysasteeksi  $R^2$  saadaan 0,4261. Tämä tarkoittaa, että yli 42 % koekappaleiden hajonnasta johtui järjestysnumerosta. Regressioyhtälön mukaan ensimmäisen ja viimeisen koekappaleen puristuslujuuksien ero olisi 2,4 MPa.



Kuva 1. Yksittäisten koekappaleiden lieriöpuristuslujuus järjestysnumeron funktiona.

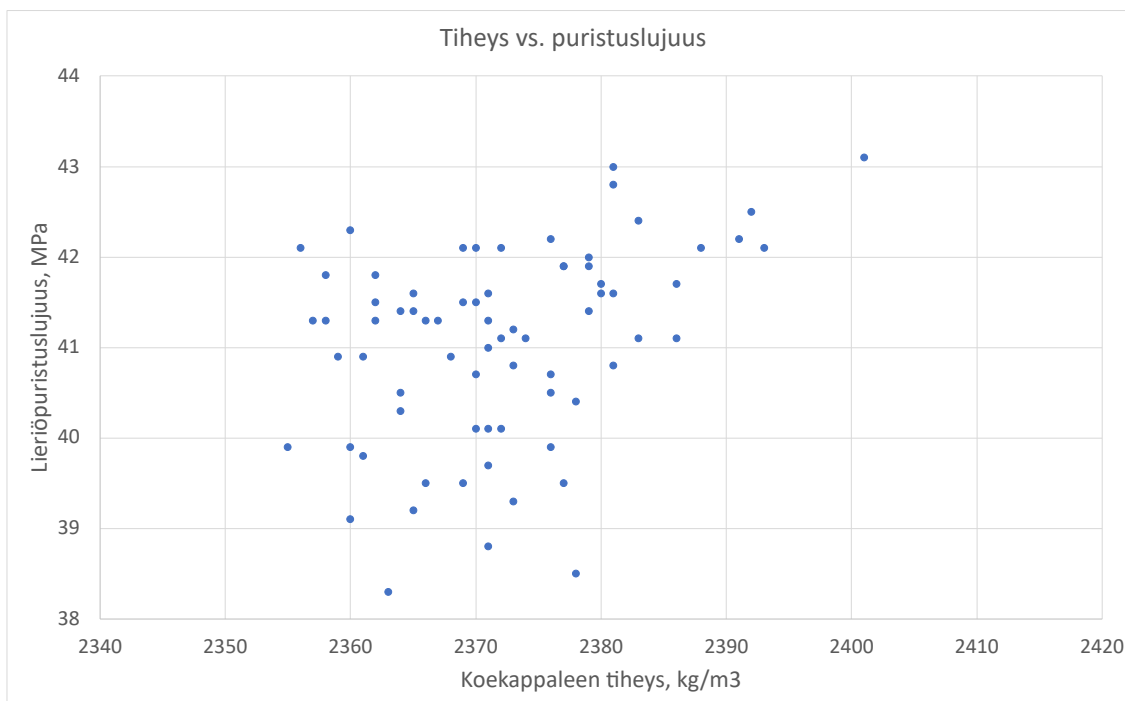
Järjestysnumeron vaikutusta koetulosten hajontaan analysoitiin laskemalla järjestysnumerolla korjattu lujuus. Laskelma perustui kuvassa 1 esitettyyn lineaarisen regression kulmakertoimeen (0,0337), esimerkiksi viimeisenä valmistetun koekappaleen lujuutta kasvatettiin laskennallisesti  $72 \cdot 0,0337 = 2,4$  MPa. Taulukossa 1 on esitetty tulokset.

Taulukko 1. Laboratoriokoekappaleiden järjestysnumerokorjatut lujuustulokset. Korjauskertoimenä on käytetty kuvassa 1 esitettyä lineaarisen regression kulmakerrointa.

	Koko aineisto	Järjestysnumerolla korjattu aineisto
Keskiarvo, MPa	41,1	42,3
Keskihajonta, MPa	1,08	0,81
Variaatiokerroin, %	2,62	1,93
Minimi-arvo, MPa	38,3	40,5
Maksimi-arvo, MPa	43,1	44,2

Esitettyssä laskentatavassa kaikkien koekappaleiden puristuslujuusarvot kasvavat, siten korjattu lujuus ei ole todellinen. Kuitenkin havaitaan, että keskihajonta pienenee selvästi ja korjatun aineiston keskihajonta on erittäin alhainen ( $KH = 0,81$  MPa ja variaatiokerroin 1,93 %). Jo korjaamattomankin aineiston hajontataso oli matala, mutta lujuuksien korjaaminen alensi hajontaa entisestään. Jatkoanalyysissä käytetään kuitenkin korjaamattomia arvoja, järjestysnumeron vaikutusta pienentää olennaisesti se, että koekappaleet jaettiin satunnaisesti osallistujille.

Kuvassa 2 on esitetty yksittäisten koekappaleiden puristuslujuusarvot koekappaleen tiheyden funktiona. Mahdolliset erot tiivistyksen laadussa voisivat aiheuttaa korrelaatiota betonin tiheyden ja puristuslujuuden välillä. Tässä tapauksessa on havaittavissa jonkinlainen yhteys tiheyden ja puristuslujuuden välillä. Toisaalta suurin osa pisteistä on alueella, jossa eri havaita minkäänlaista korrelaatiota.



Kuva 2. Yksittäisten koekappaleiden lieriöpuristuslujuus koekappaleen tiheyden funktiona.

Kaikkien koekappaleiden keskimääräinen tiheys oli  $2372 \text{ kg/m}^3$  ja vastaava keskihajonta  $9,7 \text{ kg/m}^3$ . Variaatiokertoimeksi tulee näin  $0,4 \%$ . Alhaisin yksittäinen tiheysarvo oli  $2355 \text{ kg/m}^3$  ja korkein yksittäinen tiheysarvo  $2401 \text{ kg/m}^3$ .

## 2.2 Testausyksiköiden väliset erot

Kaikkien 12 testausyksikön koetulokset on koottu taulukkoon 2.

*Taulukko 2. Testausyksiköiden puristuslujuus- ja tiheystulosten keskiarvot sekä keskihajonnat.*

Testaus- yksikkö	Puristuslujuus			Tiheys	
	Keskiarvo (MPa)	Keski- hajonta (MPa)	Variaatio- kerroin	Keskiarvo (kg/m <sup>3</sup> )	Keski- hajonta (kg/m <sup>3</sup> )
A	41,3	0,9	2,1 %	2363	8,0
B	41,4	1,3	3,2 %	2380	13,7
C	41,3	1,2	3,0 %	2373	8,3
D	40,8	1,0	2,6 %	2374	3,7
E	41,5	0,6	1,3 %	2376	6,7
F	41,9	0,7	1,6 %	2379	8,9
G	40,7	1,4	3,5 %	2368	5,6
H	40,9	1,0	2,4 %	2369	7,9
I	40,6	1,6	3,9 %	2381	9,0
J	40,9	0,8	2,0 %	2365	4,9
K	40,7	0,8	2,0 %	2363	8,1
L	40,7	1,2	2,8 %	2373	6,6
<b>KAIKKI</b>	<b>41,1</b>	<b>1,08</b>	<b>2,6%</b>	<b>2372</b>	<b>9,7</b>

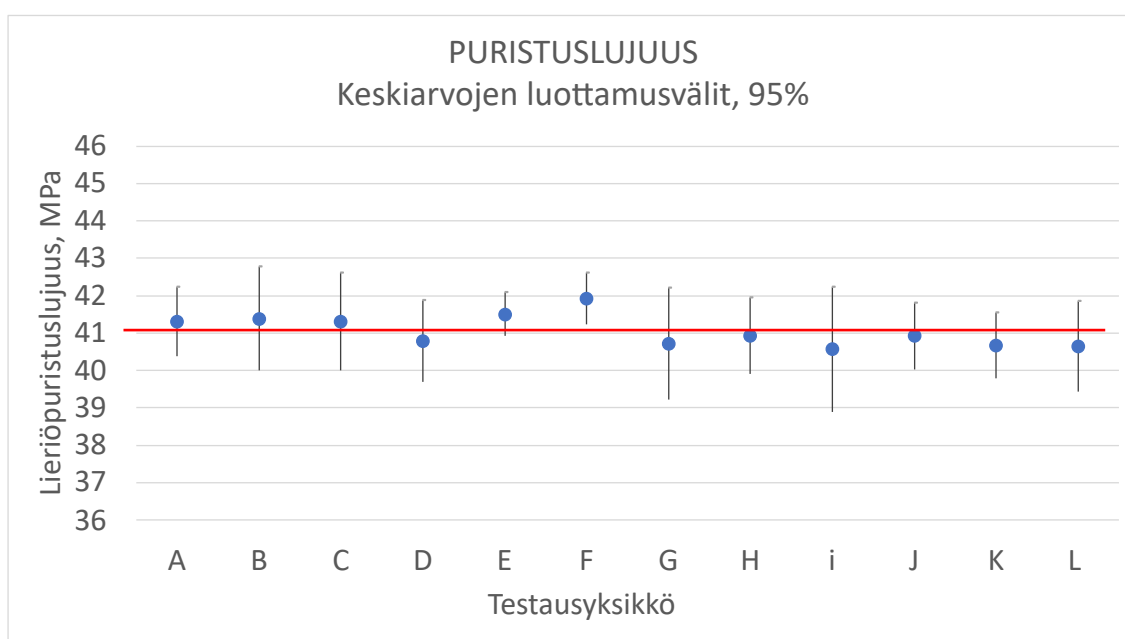
Testausyksiköiden keskihajontojen keskiarvo oli 1,04 MPa, kun taas koko aineiston keskihajonta oli 1,08 MPa. Suurin yksittäinen testauslaitoksen keskihajonta oli 1,6 MPa. Testausyksiköiden F ja G osalta on huomattava, että kyseessä on saman testauslaitoksen kaksi eri puristinta. Koe-kappaleen oli jaettu puristinten kesken virheellisesti niin, että F testasi alkupään järjestysnumerot ja G testasi loppupään järjestysnumerot. Tämä selittää osin testausyksikön F korkeimman lujuustuloksen. Erot ovat kuitenkin varsin pieniä.

Testausyksiköiden keskimääräisten tulosten poikkeamat suhteessa aineiston keskimääräiseen puristuslujuuteen on esitetty Taulukossa 3. Yhdenkään testausyksikön keskimääräinen tulos ei poikennut enemmän kuin 1 MPa aineiston keskiarvosta, suurin poikkeama oli 0,86 MPa. Tämä oli testausyksikkö, joka testasi vain alkupään järjestysnumeroita. Pääosin poikkeamat olivat < 1 %. Tulosten perusteella voidaan arvioida, että puristuslujuustestausten virhemarginaali tasoko-keessa kuudella koekappaleella oli luokkaa  $\pm 0,8$  MPa.

Taulukko 3. Testausyksiköiden keskimääräisen puristuslujuustuloksen poikkeama koko aineiston keskiarvosta (= 41,1 MPa).

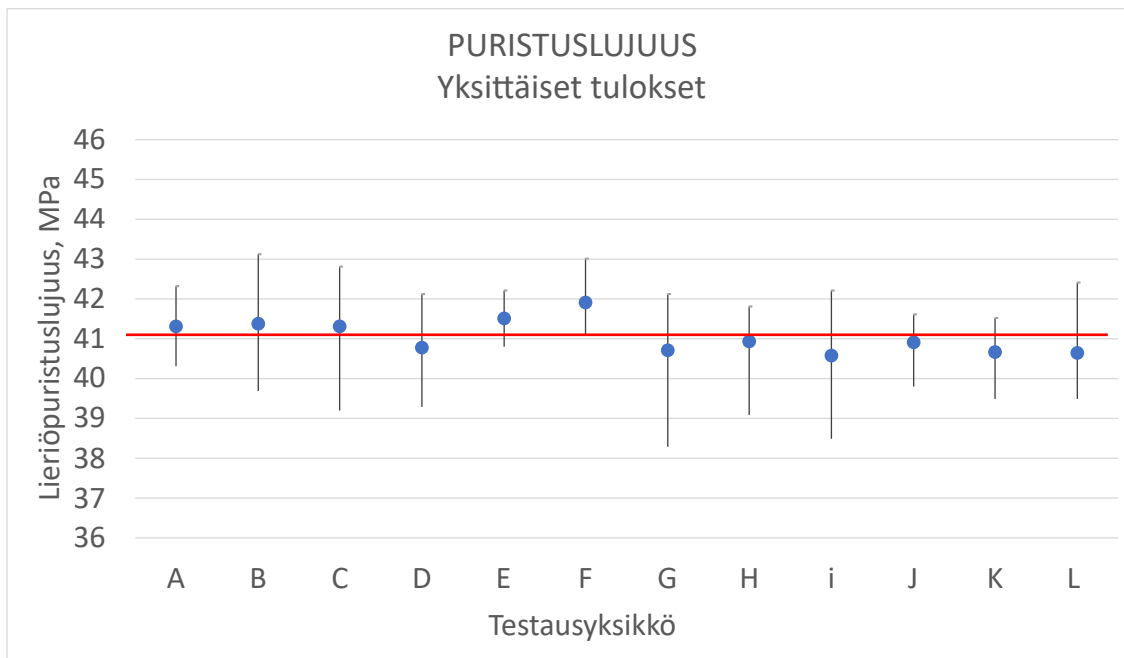
Testausyksikkö	Puristuslujuus	
	Poikkeama (MPa)	Poikkeama (%)
A	0,25	0,6 %
B	0,33	0,8 %
C	0,26	0,6 %
D	-0,27	-0,7 %
E	0,45	1,1 %
F	0,86	2,1 %
G	-0,34	-0,8 %
H	-0,12	-0,3 %
I	-0,49	-1,2 %
J	-0,14	-0,3 %
K	-0,39	-0,9 %
L	-0,40	-1,0 %

Eri testausyksiköiden mittaustulosten keskiarvojen 95 % luottamusvälit on esitetty kuvassa 3. Luottamusvälien laskennassa huomioidaan testausyksikön tulosten keskihajonta sekä koekappaleiden lukumäärä.



Kuva 3. Testausyksiköiden keskiarvot sekä keskiarvon luottamusvälit 95 %:n varmuustasolla. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä puristuslujuutta = 41,1 MPa.

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.



Kuva 4. Testausyksiköiden puristuslujuuksien keskiarvot sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä puristuslujuutta = 41,1 MPa.

Tasokokeessa yksittäisten tulosten virhemarginaali oli korkeintaan -1,9 MPa...+1,4 MPa 95 % varmuustasolla. Mitatut suurimmat yksittäiset poikkeamat koko populaation keskiarvosta olivat -2,75...+2,05 MPa.

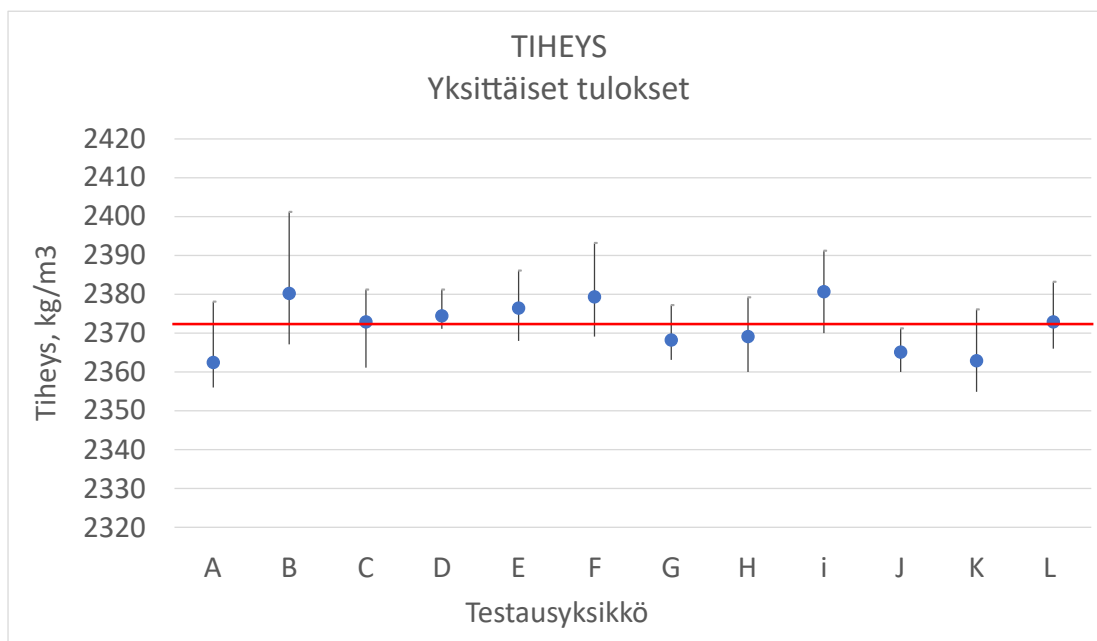
Kuvien 3 ja 4 perusteella voidaan arvioida, että testausyksiköiden välillä ei ole tilastollisesti merkittäviä eroja. Esimerkiksi yksittäisissä tuloksissa koetulokset eivät mene ristiin niin, että yhden testausyksikön alhaisin koetulos olisi suurempi kuin jonkun toisen yksikön suurin tulos. Samoin keskiarvon luottamusvälit menevät kaikilta osin päällekkäin. Myös yksisuuntainen varianssianalyysi (Taulukko 4) osoittaa, että kaikki tulokset ovat peräisin samasta populaatiosta suurella todennäköisyydellä ( $P = 0,539$ ) eli testauslaitosten välillä ei ole tilastollisesti merkittäviä eroja. Valtaosa hajonnasta on testausyksiköiden sisäistä hajontaa ja varsin pieni osa testausyksiköiden välistä hajontaa.

Taulukko 4. Puristuslujuustulosten yksisuuntainen varianssianalyysi.

SUMMARY					
Groups	Count	Sum	Average	Variance	
A	6	247,8	41,30	0,772	
B	6	248,3	41,38	1,746	
C	6	247,9	41,32	1,542	
D	6	244,7	40,78	1,086	
E	6	249,0	41,50	0,308	
F	6	251,5	41,92	0,426	
G	6	244,3	40,72	2,010	
H	6	245,6	40,93	0,935	
I	6	243,4	40,57	2,543	
J	6	245,5	40,92	0,702	
K	6	244,0	40,67	0,695	
L	6	243,9	40,65	1,327	

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	11,7138	11	1,06489	0,90699	0,53932	1,95221
Within Groups	70,445	60	1,17408			
Total	82,1588	71				

Tiheyden osalta keskimääräiset tulokset sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit on esitetty kuvassa 5. Hajonnat olivat pieniä, keskihajonta oli  $9,7 \text{ kg/m}^3$  ja variaatiokerroin oli 0,4 %. Testausyksikön D alhaisin tulos on sama kuin testausyksikön J korkein tulos, mutta muutoin yksittäiset tulokset eivät mene ristiin.



Kuva 5. Testausyksiköiden tiheyksien keskiarvot sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä tiheyttä =  $2372 \text{ kg/m}^3$ .

### 2.3 Puristuspinnan käsittelyn vaikutus

Tasokokeessa oli mahdollisuus joko hioa puristuspinnat tai rikittää ne. Kaksi testausyksikköä ilmoitti käyttäneensä rikitystä ja loput 10 hiontaa. Puristuslujuustulokset eriteltynä käsittelytavan mukaan on esitetty taulukossa 5. Pintojen käsittelytavalla ei voida havaita olevan merkittävää vaikutusta puristuslujuuteen. Rikityksen osalta lukumäärä on liian pieni luotettavan arvioinnin tekemiseksi.

*Taulukko 5. Puristuspinnojen käsittely vaikutus puristuslujuustuloksiin.*

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

### 2.4 Yhteenveto puristuslujuuskokeista laboratoriokeokappaleilla

Tulosten perusteella voidaan todeta, että testattavien keokappaleiden lujuus aleni hieman järjestyksenumeron funktiona. Kuitenkin mitattu lujuustulosten hajonta oli pieni, eikä testausyksiköiden välillä ollut merkittäviä eroja. Keokappaleet jaettiin satunnaisesti testauslaitosten kesken ja siten erot alku- ja loppupään keokappaleiden välillä eivät vaikuttaneet merkittävästi tasokokeen tuloksiin.

Keskimääräinen puristuslujuus (lieriölujuus) oli 41,1 MPa ja vastaava keskihajonta 1,08 MPa. Variaatiokertoimenä tämä on 2,6 %. Vastaavissa tasokokeissa vuosina 2022...2024 saatiin keskihajonnat 1,22, 1,26 ja 1,28 MPa ja vastaavasti variaatiokertoimet 2,7 %, 2,6 % ja 3,7 %. Vuonna -24 lujuustaso oli alhaisempi ja vastaavasti vuosina -22 ja -23 korkeampi kuin vuonna 2025. Kokonaisuutena keskihajonta oli alhaisin neljään vuoteen ja myös variaatiokerroin oli alhaisempi tai samalla tasolla kuin aikaisempina vuosina. Mitatut hajonnat olivat alhaisia keokappaleiden laatuvaihtelusta riippumatta. Jos keokappaleiden järjestysnumero otettaisiin laskennallisesti huomioon kuvan 1 lineaarisen regression kulmakertoimen avulla, keskihajonta laskisi tasolle 0,81 MPa ja variaatiokerroin tasolle 1,9 %. Nämä arvot edustavat jo erittäin alhaista hajontaa tällaisissa puristuslujuustestauksissa. Testausyksiköiden välillä ei havaita tilastollisesti merkittäviä eroja. Tulosten perusteella voidaan arvioida, että puristuslujuustestausten virhemarginaali kuudella keokappaleella (C35/45) oli tasokokeessa luokkaa  $\pm 0,8$  MPa. Yksittäisen testauslaitoksen tulosten poikkeama oli korkeintaan -1,9 MPa...+1,4 MPa 95 %:n varmuustasolla. Tässä poikkeamassa on kuitenkin mukana myös keokappaleiden hajonnasta aiheutuva poikkeama.

Tiheyden osalta keskihajonta oli pieni 9,7 kg/m<sup>3</sup> (0,4 %). Hajonta oli hieman suurempi kuin vuonna -24, mutta kokonaisuutena tiheyden hajonta on pientä ja tiheyden rooli on erilainen kuin esim. puristuslujuuden. Tiheydelle ei aseteta vaatimustasoa, tiheyttä hyödynnetään lähinnä poikkeavien testitulosten analysoinnissa.

Jatkossa tulee keokappaleiden valmistamiseen kiinnittää huomiota niin, että keokappaleet olisivat mahdollisimman samanlaisia. Tässä tapauksessa valittu sementtityyppi (CEM I) sekä myös lämpimät olosuhteet ovat mahdollisesti vaikuttaneet loppupään alhaisempaan lujuustasoon. Koerakenne valettiin ennen laboratoriokeokappaleita ja myös tämä on voinut vaikuttaa havaittuihin lujuuseroihin. Kuitenkin on tarpeen korostaa, että ero alku- ja loppupään keokappaleiden välillä ei ollut suuri, vaikka korrelaation olikin varsin selvä.

Vuoden 2025 tasokokeissa laboratoriokoekappaleiden hajonta oli alhainen sekä puristuslujuuden että tiheyden ja siten tasokoe ei aiheuta toimenpiteitä testauslaitosten osalta.

### 3 Porakoekappaleet

Porakoekappaleiden osalta tasokokeeseen osallistuivat samat testauslaitokset kuin laboratoriokoekappaleiden osalta, mutta yksiköiden lukumäärissä oli pieniä eroja:

- Insinööritoimisto KJ Oy
- SGM Consulting – Suomen GPS-Mittaus Oy
- Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu Oy / KymiLabs, 2 puristinta
- Karelia-ammattikorkeakoulu (lisätty listaan 22.4.2026)
- Labroc Oy, 2 toimipistettä / puristinta
- PBM Asiantuntijat Oy
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu Oy
- AFRY Finland Oy
- Aalto-yliopisto, Rakennustekniikan laitos (ei-akkreditoitu testauslaboratorio)

Yksittäisiä testausyksiköitä oli siten kaikkiaan 11 kpl, ja kokeissa puristettiin 66 koekappaletta. Koetulosten osalta testauspisteet on esitetty anonyymisti kirjaimilla a...k, jotka ovat eri järjestyksessä kuin ylläesitetystä listauksesta.

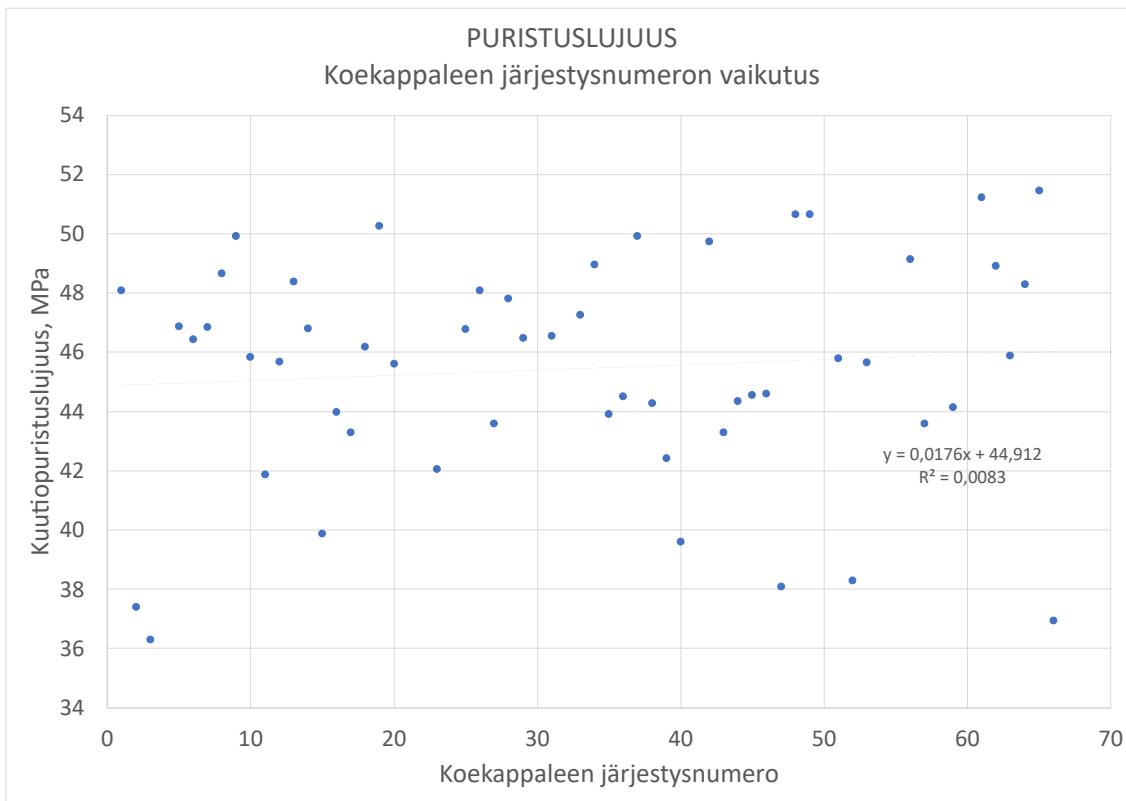
Standardin SFS 7508: 2021 (Betonin puristuslujuuden arviointi rakenteista ja rakenneosista. Standardin SFS-EN 13791 käyttö Suomessa) mukaisesti Suomessa käytetään vain h:d-suhteellaan 1:1 porakoekappaleita. Tätä ei ollut ohjeistettu riittävän tarkkaan ja kaksi testausyksikköä käytti h:d-suhteen 2:1 koekappaleita. Nämä tulokset (c ja f) on jätetty pois tarkasteluista, ainoastaan kappaleessa 4 ne ovat mukana. Tarkasteltavien koekappaleiden lukumäärä oli siten 54.

Koetulosten ilmoittamisessa oli vaihtelua, osa ilmoitti muuntamattoman puristuslujuuden ja osa ilmoitti kokovaikutuskertoimella korjatun kuutiolujuuden (muunnettu kuutiolujuus). Osa ilmoitti myös lieriölujuuden (muunnettu lieriölujuus). Jotta voitiin varmistaa tulosten vertailukelpoisuus, laskettiin lujuudet uudelleen murtokuorman ja koekappaleiden halkaisijan perusteella. Tulokset muunnettiin 150 mm kuutiolujuudeksi kokovaikutuskertoimen avulla (SFS 7508:2021, luku 6) ja tulokset analysoitiin käyttäen 150 mm kuutiolujuuksia. Poikkeuksena on kappale 4, jossa tarkasteltiin myös lieriölujuudeksi muunnettuja lujuuksia.

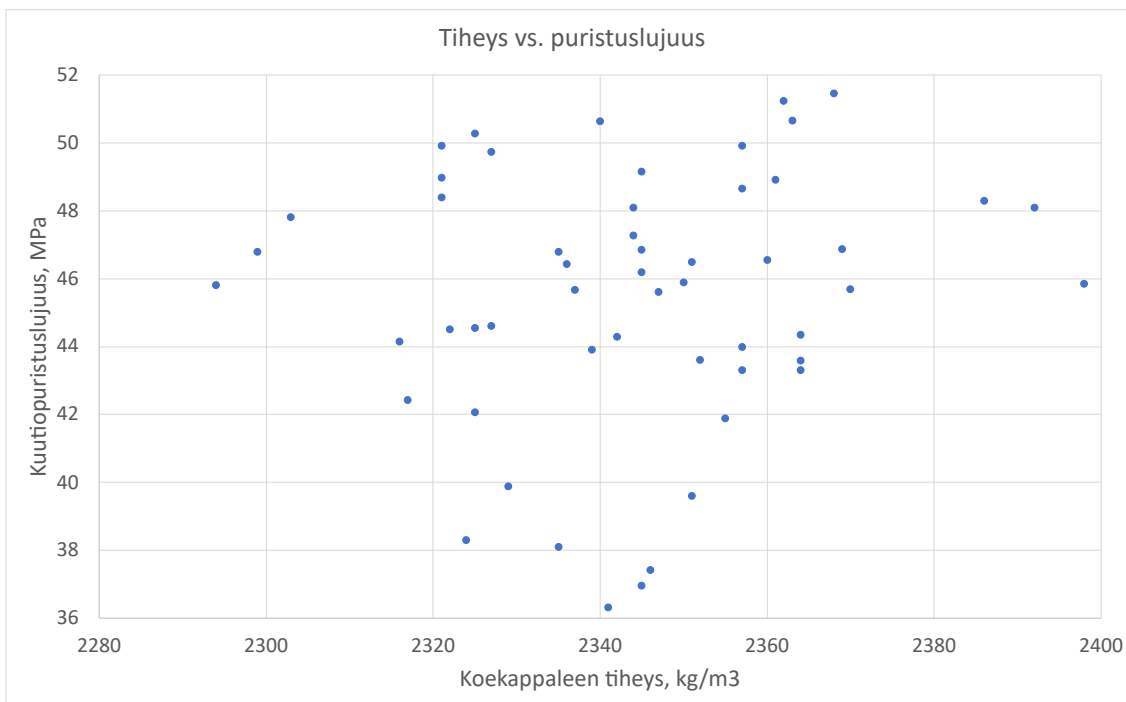
#### 3.1 Koekappaleiden tasalaatuisuus

Kaikkien tarkasteltavien porakoekappaleiden (54 kpl) keskimääräinen puristuslujuus (kuutiolujuus) oli 45,5 MPa ja vastaava keskihajonta 3,78 MPa. Variaatiokertoimenä tämä on 8,3 %. Hajonta on siten selvästi suurempaa kuin laboratoriokoekappaleiden osalta.

Koska koekappaleet on porattu erillisestä testirakenteesta, on oletettavaa, ettei järjestysnumero vaikuta puristuslujuuteen samalla tapaan kuin mitä havaittiin laboratoriokoekappaleilla. Kuva 6 vahvistaa tämän, lineaarisen regression selitysaste jää hyvin alhaiseksi ( $R^2 = 0,0083$ ). Järjestysnumerolla ei siten ole vaikutusta lujuustasoon. Myöskään koekappaleiden tiheyden ja puristuslujuuden välillä ei havaita merkittävää korrelaatiota.



Kuva 6. Yksittäisten koekappaleiden lieriöpuristuslujuus järjestysnumeron funktiona.



Kuva 7. Yksittäisten koekappaleiden lieriöpuristuslujuus koekappaleen tiheyden funktiona.

Analysoitujen koekappaleiden keskimääräinen tiheys oli 2344 kg/m<sup>3</sup> ja vastaava keskihajonta 21,6 kg/m<sup>3</sup>. Variaatiokertoimeksi tulee näin 0,9 %. Tiheys oli 28 kg/m<sup>3</sup> alhaisempi kuin laboratorioekappaleilla, mikä johtuu todennäköisemmin hieman heikommasta tiivistyksestä. Tiheyden

keskihajonta oli porakoeleikillä yli kaksinkertainen verrattuna laboratoriokoeleikille, mikä johtuu osin pienemmästä koeleikilleen tilavuudesta.

### 3.2 Testausyksiköiden väliset erot

Kaikkiaan 9 eri testausyksikön koetulokset on koottu taulukkoon 6. Taulukko sisältää vain h:d = 1:1 tulokset.

*Taulukko 6. Testausyksiköiden puristuslujuus- ja tiheystulosten keskiarvot sekä keskihajonnat. Testausyksiköt c ja f testasivat h:d=2:1 koeleikilleitä ja kyseisiä tuloksia ei ole huomioitu.*

Testausyksikkö	Puristuslujuus			Tiheys	
	Keskiarvo (MPa)	Keskihajonta (MPa)	Variaatiokerroin	Keskiarvo (kg/m <sup>3</sup> )	Keskihajonta (kg/m <sup>3</sup> )
a	44,8	1,8	4,0 %	2335	17,9
b	44,1	3,8	8,6 %	2358	17,8
c					
d	47,1	2,2	4,6 %	2343	39,5
e	46,8	1,7	3,6 %	2348	14,0
f					
g	44,4	2,2	4,9 %	2341	16,7
h	44,7	3,1	6,9 %	2350	24,8
i	48,9	2,3	4,7 %	2341	15,4
j	49,6	1,3	2,6 %	2333	24,6
k	39,0	3,4	8,8 %	2346	14,9
<b>KAIKKI</b>	<b>45,5</b>	<b>3,78</b>	<b>8,3%</b>	<b>2344</b>	<b>21,6</b>

Kaksi testausyksikköä (d ja g) ilmoittivat, että yhden koeleikilleen suorakulmaisuusvaatimus ei täytynyt. Kyseisten koeleikilleiden puristuslujuus ei kuitenkaan poikennut merkittävästi muista tuloksista ja siten kyseisiä koetuloksia ei ole poistettu aineistosta.

Kaikki testausyksiköt ilmoittavat tehneensä koeleikilleet poralierion keskiosasta. Pienenä poikkeuksena oli yksiköt g ja h, jotka ilmoittivat että poralierion yläpinnasta poistettiin 30 mm. Tällä erolla koeleikilleiden sijainnissa on tuskin merkittävää vaikutusta lujuustuloksiin.

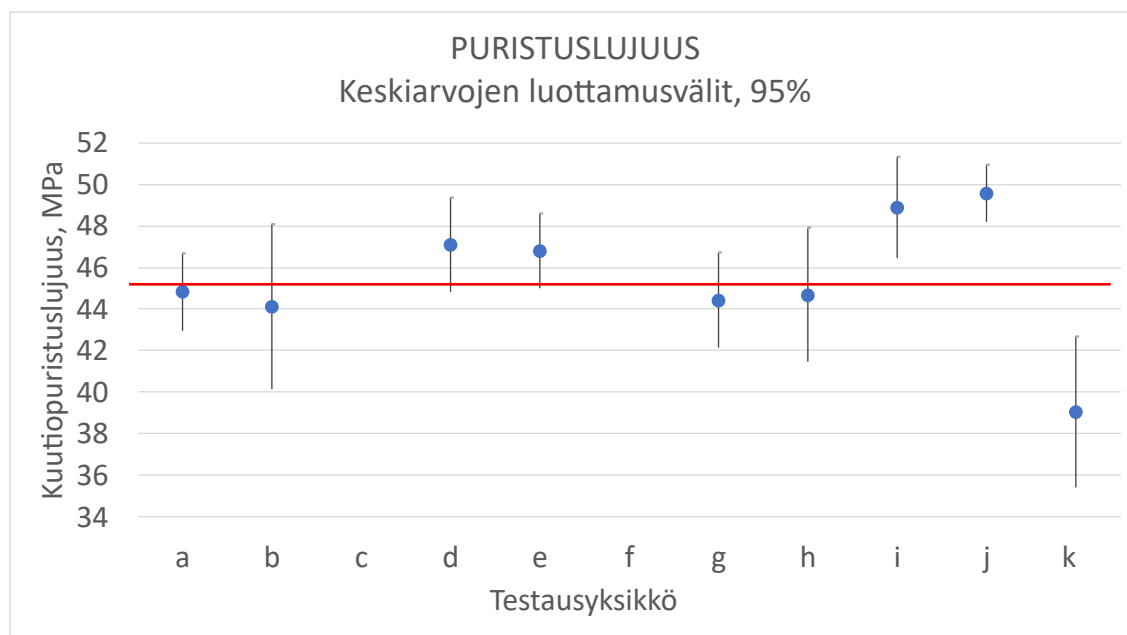
Testausyksiköiden keskimääräisten tulosten poikkeamat suhteessa aineiston keskimääräiseen puristuslujuuteen on esitetty Taulukossa 7.

Poikkeamat keskiarvosta olivat huomattavasti suurempia kuin laboratoriokoeleikilleiden osalta. Osa testausyksiköistä pääsi varsin pieneen poikkeamaan, mutta suurin poikkeama oli > 6 MPa. Tulosten perusteella voidaan arvioida, että porakoeleikilleiden virhemarginaali tasokokeessa kuudella koeleikilleellä oli lujuusluokalla C35/45 luokkaa ± 6 MPa. Samasta betonista saatiin siten noin 10 MPa poikkeavia lujuustuloksia (kuuden koeleikilleen keskiarvo). Tämä vaikuttaa varsin suurelta erolta, varsinkin kun huomioidaan ettei rakennekoeleikilleiden hajonta ole kokonaisuudessaan mukana tässä koesarjassa. Todellisen rakenteen valu ja koeleikilleiden poraus eri testausyksiköiden toimesta todennäköisesti vielä lisäävät hajontaa.

Taulukko 7. Testausyksiköiden keskimääräisen puristuslujuustuloksen poikkeama koko aineiston keskiarvosta (=45,5 MPa). Testausyksiköt c ja f testasivat h:d=2:1 koekappaleita ja kyseisiä tuloksia ei ole huomioitu.

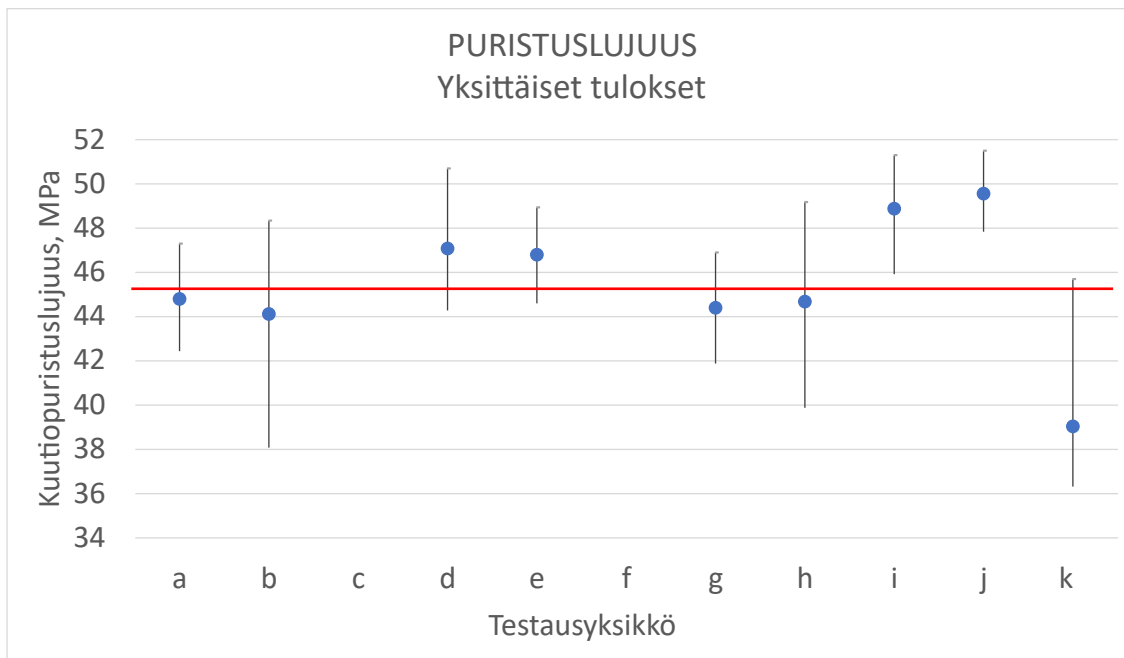
Testausyksikkö	Puristuslujuus	
	Poikkeama (MPa)	Poikkeama (%)
a	-0,67	-1,5 %
b	-1,37	-3,0 %
c		
d	+1,60	+3,5 %
e	+1,31	+2,9 %
f		
g	-1,08	-2,4 %
h	-0,81	-1,8 %
i	+3,39	+7,4 %
j	+4,06	+8,9 %
k	-6,44	-14,2 %

Eri testausyksiköiden mittaustulosten keskiarvojen 95 % luottamusvälit on esitetty kuvassa 8. Luottamusvälien laskennassa huomioidaan testausyksikön tulosten keskihajonta sekä koekappaleiden lukumäärä.



Kuva 8. Testausyksiköiden keskiarvot sekä keskiarvon luottamusvälit 95 %:n varmuustasolla. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä puristuslujuutta = 45,5 MPa.

Yksittäisten tulosten vaihtelut on esitetty kuvassa 9. Yksittäisiä tuloksia tarkasteltaessa on huomioitava, että vaihtelua aiheutuu myös koekappaleiden sisältämästä hajonnasta. Siten yksittäisten tulosten perusteella on vaikea arvioida testauslaitosten tarkkuutta.



Kuva 9. Testausyksiköiden puristuslujuuksien keskiarvot sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä puristuslujuutta = 45,5 MPa.

Tasokokeessa yksittäisten tulosten virhemarginaali oli -7,4 MPa...+5,2 MPa 95 %:n varmuustasolla. Mitatut suurimmat yksittäiset poikkeamat koko populaation keskiarvosta olivat -9,18...+5,99 MPa.

Kuvien 8 ja 9 perusteella voidaan helposti arvioida, että testausyksiköiden välillä on tilastollisesti merkittäviä eroja. Keskiarvon luottamusvälit eivät mene kaikilta osin ristiin ja joidenkin yksiköiden alhaisimmat koetulokset ovat korkeampia kuin joidenkin toisten suurimmat koetulokset. Myös yksisuuntainen varianssianalyysi (Taulukko 8) osoittaa, että testausyksiköiden välillä on enemmän hajontaa kuin testausyksiköiden sisällä. Vain hyvin pienellä todennäköisyydellä tulokset voisivat olla samasta populaatiosta ( $P = 2,6 \cdot 10^{-7}$ ).

Taulukko 8. Porakappaleiden puristuslujuustulosten yksisuuntainen varianssianalyysi.

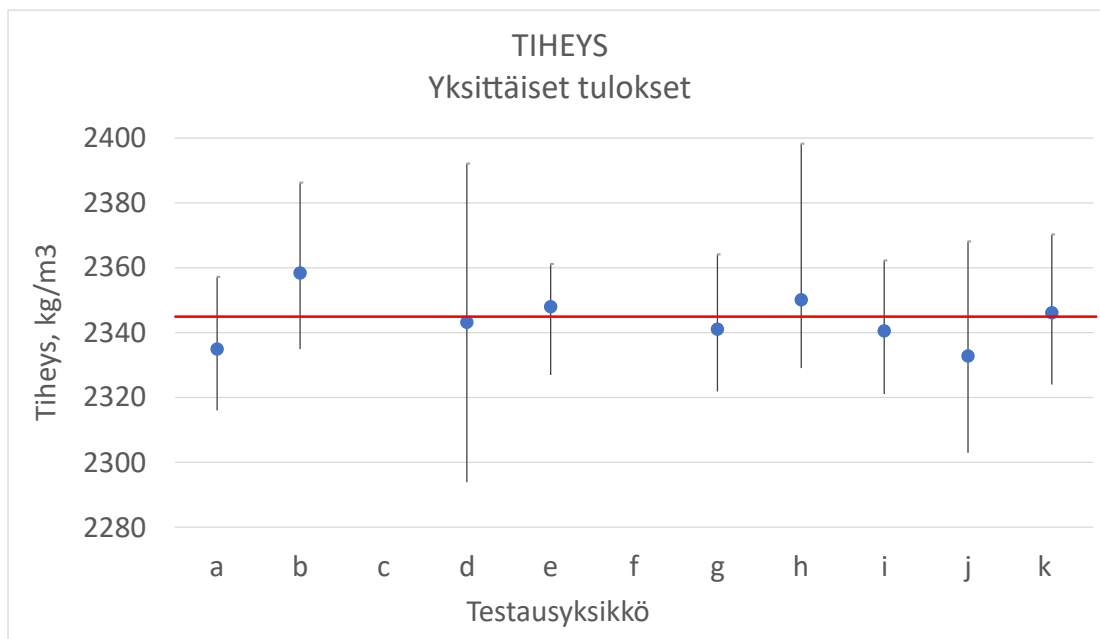
SUMMARY

Groups	Count	Sum	Average	Variance
a	6	268,9	44,81	3,164
b	6	264,7	44,12	14,234
d	6	282,5	47,09	4,670
e	6	280,8	46,80	2,887
g	6	266,5	44,41	4,724
h	6	268,1	44,68	9,444
i	6	293,2	48,87	5,364
j	6	297,3	49,55	1,661
k	6	234,3	39,05	11,897

ANOVA

Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	Fcrit
Between Groups	467,41	8	58,4263	9,05897	2,6E-07	2,15213
Within Groups	290,23	45	6,44955			
Total	757,64	53				

Tiheyden osalta keskimääräiset tulokset sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit on esitetty kuvassa 10. Tiheyden keskihajonta oli  $21,6 \text{ kg/m}^3$  (laboratoriokoekappaleet:  $9,7 \text{ kg/m}^3$ ) ja variaatio-kerroin oli  $0,9 \%$  (laboratoriokoekappaleet:  $0,4 \%$ ). Tiheyden hajonta on verrattain suurta, mutta keskimääräisissä arvoissa ei ole suurta vaihtelua.



Kuva 10. Testausyksiköiden tiheyksien keskiarvot sekä yksittäisten tulosten vaihteluvälit. Punainen viiva esittää aineiston keskimääräistä tiheyttä =  $2344 \text{ kg/m}^3$ .

### 3.3 Yhteenveto puristuslujuuskokeista porakoekappaleilla

Tarkasteltava porakoekappaleiden tasokoe ei paljasta kokonaisuudessaan rakennekoekappaleissa esiintyvää hajontaa. Valettu testirakenne ei vastaa todellista rakennetta ja lisäksi koekappaleiden poraus hoidettiin yhden toimijan toimesta. Siten voidaan olettaa, että rakennekoekappaleiden puristuslujuustuloksissa on vieläkin enemmän hajonnan lähteitä kuin mitä tässä tasokokeessa havaittiin porakoekappaleilla.

Havaittu puristuslujuuden hajonta oli varsin suurta. Kuuden koekappaleen keskiarvo poikkesi populaation keskiarvosta suurimmillaan yli 6 MPa ja yksittäinen tulos poikkesi suurimmillaan yli 9 MPa keskiarvosta. Keskihajonta on yli kolminkertainen verrattuna laboratoriokoekappaleisiin. Toki porakoekappaleiden koko on huomattavasti pienempi kuin 150 mm lieriöiden ja tämä luonnollisesti lisää hajontaa. Myös testausyksiköiden välillä oli havaittavissa tilastollisesti merkittäviä eroja.

Hajontaa havaitaan myös tiheyden osalta, keskihajonta oli 21,6 kg/m<sup>3</sup>, mikä oli hieman yli kaksinkertainen verrattuna laboratoriokoekappaleisiin. Tässäkin koekappaleen tilavuudella on varmasti merkitystä.

Havaittu korkea hajonta asettaa kysymyksiä rakennekoekappaleiden käytölle. Voidaanko rakenteesta määrittää luotettavasti puristuslujuutta ja millaisia koekappalemääriä se edellyttäisi. Tämän tasokokeen perusteella voidaan todeta, että porakoekappaleiden hajontaa on tutkittava lisää ja tulevaisuudessa tasokokeissa tulisi ottaa huomioon myös mahdollinen porauksen vaikutus hajontaan.

## 4 Laboratorio- ja porakoekappaleiden vertailu

Tasokokeessa valmistettiin samasta betonierästä laboratoriokoekappaleet sekä testirakenne, josta porattiin myöhemmin porakoekappaleet. Siten on mahdollista vertailla valettujen ja porattujen koekappaleiden lujuustuloksia. Lisäksi porakoekappaleita 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 % laboratoriokoekappaleiden vaatimustasosta, 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 kovettumisen aikainen lämpötila voi aiheuttaa lujuuskatoa ja myös rakenteen jälkihoito on harvoin vastaavalla tasolla kuin laboratoriokoekappaleilla. On kuitenkin kyseenalaista voidaanko 15 % vähennystä käyttää tällaisessa tapauksessa, kun kyseessä oli testirakenne, ei todellinen betonirakenne. Esimerkiksi testirakenteen tiivistäminen oli lähes vastaavaa kuin laboratoriokoekappaleiden. Koekappaleiden tiheydessä havaittiin kyllä keskimäärin 28 kg/m<sup>3</sup>: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 9.

Taulukko 9. Eri lujuustulosten vertailua. Betonin lujuusluokka oli C35/45.

	Kuutiolujuus (150 mm)	Lieriölujuus		
		Lieriölujuus Laboratoriokoe- kappaleet, Lieriö 150 mm	Muunnettu lieriölujuus Porakoe-kappaleet, Muunnettu kuutiolu- juudesta CLF- kertoimella	Lieriölujuus. Porakoe-kappaleet, Testattu h:d = 2:1 koe-kappaleet (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% säätö porakappaleilla	+7,3 MPa	+6,1 MPa	+7,6 MPa	+6,4 MPa

Verrattuna nimellislujuuteen porakoe-kappaleiden lujuudet jäivät oletetusti alemmalle tasolle kuin laboratoriokoe-kappaleiden lujuudet (lieriölujuus). Verrattaessa nimellislujuuteen, porakoe-kappaleiden eri menetelmät antoivat varsin samantasoiset lujuusarvot. Samoin mikäli hyödynnetään 85 % säätöä porakoe-kappaleilla, kaikki lujuustulokset olivat varsin lähellä toisiaan. Epävarmaa kuitenkin on, voidaanko kyseistä 85 %:n säätöä hyödyntää tällaisessa tapauksessa. Samoin analyysi perustuu pelkästään keskiarvojen vertaamiseen. Mikäli hajonnat otettaisiin huomioon, porakoe-kappaleiden tulokset heikentyisivät suhteessa laboratoriokoe-kappaleisiin.

## 5 Yhteenveto

Tasokokeessa 2025 testattiin betonin puristuslujuutta sekä laboratorio- että porakoe-kappaleilla. Tasokokeisiin on osallistunut yhteensä 9 eri tahoja (yrityksiä tai korkeakouluja), joista osa osallistui testauksiin useammalla yksiköllä / puristuskokeella. Laboratoriokoe-kappaleiden (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 m<sup>3</sup>), josta järjestäjä porasi poranäytteet ja lähetti ne osallistujille. Siten tasokokeessa ei huomioida kaikkia rakennekoekappaleisiin liittyviä hajonnan lähteitä ja myös testirakenne poikkeaa normaaleista betonirakenteista.

Laboratoriokoe-kappaleiden osalta havaittiin lujuuden alentuvan järjestysnumeron perusteella. Olettamuksena on, ettei loppupään koekappaleiden tiivistys onnistunut yhtä tehokkaasti betonin jonkin asteisen jäykistymisen johdosta. Järjestysnumeron vaikutus puristuslujuuteen oli pieni, mutta kuitenkin varsin selvä. Koekappaleet jaettiin osallistujille niin, että kaikki saivat sekä alkua että loppupään järjestysnumeroita ja siten edellä mainittu lujuusvaihtelu ei vaikuttanut merkittävästi tasokokeen tuloksiin. Jatkossa on kuitenkin kiinnostavaa enemmän huomiota koekappaleiden tasalaatuisuuteen.

Laboratoriokoe-kappaleiden 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 puutteista huolimatta. Ja mikäli koetuloksia korjattaisiin laskennallisesti järjestysnumeron perusteella, keskihajonta laskisi tasolle 0,81 MPa (variaatiokerroin: 1,9 %). Tämä on jo hyvin alhainen taso hajonnalle tämän tyyppisissä testauksissa. 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 laboratoriokoe-kappaleiden osalta voidaan pitää erittäin hyvinä, eivätkä tasokokeet aiheuta toimenpiteitä.

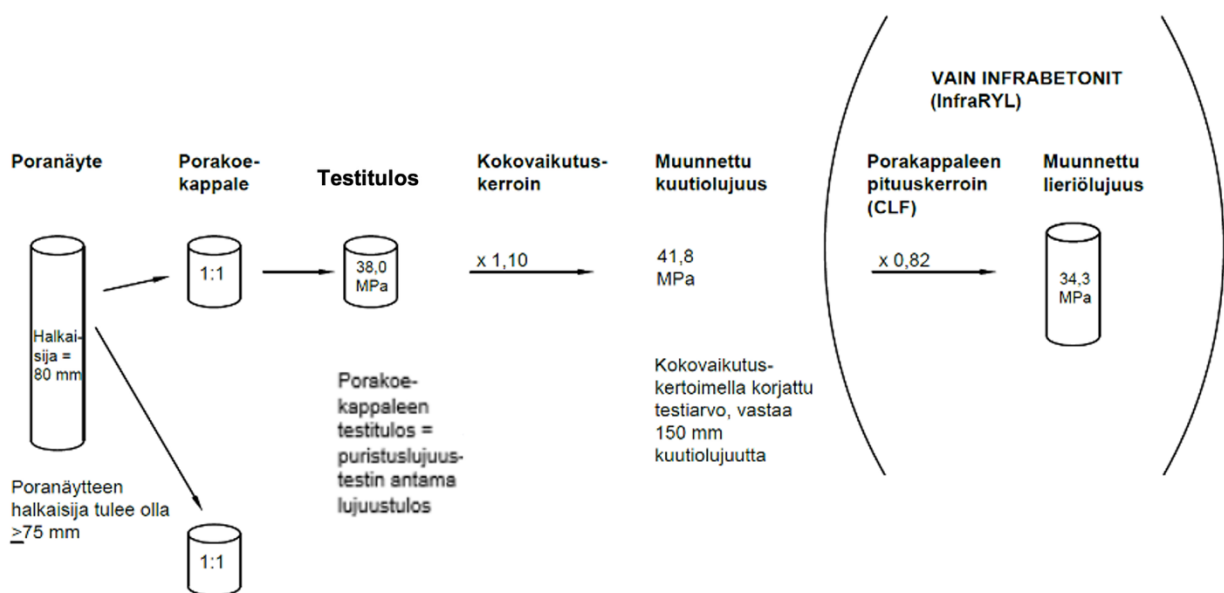
Tiheyden osalta keskihajonta oli pieni  $9,7 \text{ kg/m}^3$  (0,4 %). Hajonta oli hieman suurempaa kuin edellisenä vuotena, mutta myöskään tiheyden osalta tarvita toimenpiteitä.

Porakoe-kappaleiden osalta hajonta oli varsin suurta, koko aineiston keskihajonta oli yli kolminkertainen verrattuna laboratoriokoe-kappaleiden keskihajontaan. Siten myös yksittäiset koetulokset vaihtelivat runsaasti, pienin lujuustulos oli 36,3 MPa ja suurin vastaavasti 51,5 MPa. Porakoe-kappaleiden tilavuus on varsin pieni ja tämä on varmasti osasyynä suurempaan hajontaan. Porakoe-kappaleiden 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 kysymyksiä porakoe-kappaleiden lukumäärästä, kuinka monta porakoe-kappaletta tarvitaan, jotta voidaan saada luotettava arvio rakenteen lujuudesta.

## 6 Muita huomioita

Porakoe-kappaleiden lujuustulosten esittämisessä on runsaasti vaihtelua, mikä voi helposti aiheuttaa väärinkäsityksiä. Esimerkiksi osa testauslaitoksista ilmoitti muuntamattoman lujuustuloksen, kun taas useimmat ilmoittavat kokovaikutuskertoimella korjatun lujuusarvon (= kuutiolujuuden). Tämä ongelma on tiedostettu jo aikaisemmin ja Betoniyhdistyksen alla on toiminut työryhmä, joka valmistelee ohjetta lujuustestausten raportointikäytännöistä. Raportti julkaistaan vuoden vaihteessa 25/26. Olennaista raportoinnissa on vakioitujen termien käyttäminen. Kuvasssa 11 on esitetty raportissa esitettävä porakoe-kappaleiden lujuustulosten käsittely ja siihen liittyvät termit. Porakoe-kappaleisiin liittyviä olennaisia termejä ovat:

- Testitullos
- Muunnettu kuutiolujuus
- Muunnettu lieriölujuus (vain infrabetonit)



Kuva 11. Porakoe-kappaleiden lujuustulosten käsittely ja siihen liittyvät termit.

Nykyisten vaatimusten (SFS 7022 ja BY65: 2025) mukaisesti puristuslujuustuloksia ei enää muunneta lieriö- ja kuutiolujuuksien välillä, poikkeuksena infrarakentamisen porakoekappaleet. Siten myöskään puristuslujuustestausten raportoinnissa ei tule tehdä muunnoksia, vaan tulokset ilmoitetaan joko lieriö- tai kuutiolujuus riippuen käytetystä koekappaleesta. Muunnettujen tulosten ilmoittaminen aiheuttaa vain hämmennystä. Lisäksi on tärkeää ilmoittaa selkeästi, että lujuusarvo on joko lieriölujuus tai kuutiolujuus, termiä puristuslujuus ilman viittausta koekappale-tyyppiin ei tule käyttää. Porakoekappaleiden osalta tulee käyttää termejä *Muunnettu kuutiolujuus* tai infrabetonien osalta myös *Muunnettu lieriölujuus*.