

## BETONIN PURISTUSLUJUUDEN SELVITTÄMINEN VALMIISTA RAKENTEESTA PORAKAPPALEIDEN AVULLA

Kun olemassa olevan betonirakenteen lujuutta halutaan selvittää tai rakenteessa epäillään betonin lujuuspuutetta esimerkiksi katselmusten, asiakirjojen tai kimmovasaramittausten pohjalta, betonin puristuslujuus määritetään **rakenteesta poratuista koekappaleista**. Tähän ohjeeseen on koottu standardien mukaiset menetelmät näytteiden ottoon, koekappaleiden valmisteluun, koestukseen sekä tulosten käsittelyyn määritettäessä betonin puristuslujuutta rakenteesta porakappaleiden avulla.

Jos tarkoituksena on **rakenteen lujuuden arvioiminen** esimerkiksi rakennetta muutettaessa tai kantavuutta selvitettäessä, betonin puristuslujuuden **testauskohtien lukumäärän tulee olla vähintään kolme**.

Jos kyseessä on **kiistatapaus betonin laadusta, vaatimustenvastaisuudesta tai virheellisestä työsuorituksesta** uusissa betonirakenteissa, betonin lujuuden toteaminen **vaatimuksenmukaiseksi** voidaan todeta edellisen kappaleen mukaisesti kolmesta testauskohdasta. **Betonin lujuuden osoittaminen puutteelliseksi** edellyttää standardin SFS-EN 13791 kappaleen 9 mukaisesti testaamista **vähintään 15 testauskohdasta**.

Valmiin rakenteen betonin puristuslujuuden määrittämisessä tulee ottaa huomioon sekä materiaalien että toteutuksen vaikutukset. Rakenteen betonin puristuslujuus riippuu:

- työmaalle toimitetun betonin lujuudesta
- betonointityöstä (valutyö, tiivistäminen, jälkihoito, määrittelyn vastainen veden lisäys betoniin työmaalla jne.)
- betonin kypsydestä (ikä ja lämpötila).

Myös porakappaleiden otolla, valmistelulla, säilytyksellä ja testauksella voi olla merkittävä vaikutus puristuslujuustuloksiin. Porakappaleiden otossa, koekappaleiden valmistelussa ja puristuslujuuden testauksessa tulee noudattaa seuraavia standardeja:

- SFS-EN 13791 *Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components* (standardiin viitataan mm. Suomen rakentamismääräyskokoelmassa *Rakenteiden lujuus ja vakaus, Betonirakenteet* kohta 4.1. Suomensos standardista on painossa)
- SFS-EN 12504-1 *Betonin testaus rakenteista. Osa 1: Poratut koekappaleet. Näytteenotto, tutkiminen ja puristuslujuuden testaus*
- SFS-EN 12390-3 *Kovettuneen betonin testaus. Osa 3: Koekappaleiden puristuslujuus.*

Tämän ohjeen mukaisella menettelyllä ei tule korvata SFS-EN 206 mukaista valettuihin koekappaleisiin perustuvaa tuotannon laadunvalvontaa. Ohjetta ei tule myöskään käyttää betonirakenteen säilyvyyden arviointiin.

## Termit ja määritelmät

**Testauskohta:** Mittauksia varten valittu rajattu alue, jota käytetään määrittäessä yksi testitulos valmiin rakenteen betonin puristuslujuuden arvioimista varten.

**Testausalue:** Yksi tai useampi kantava rakenneosaa tai betonielementti, jonka oletetaan tai tiedetään kuuluvan samaan joukkoon. Testausalue sisältää useita testauskohtia. Samaan joukkoon kuuluvaksi voidaan katsoa samankaltaiset ja saman lujuusluokan rakenteet ja betonilaadut.

## Tutkimussuunnitelma

Betonin lujuuden selvittämistä varten laaditaan kohdekohtainen suunnitelma, jossa yksilöidään ainakin seuraavat seikat:

- tutkimuksen tavoite (selvitetäänkö rakenteen lujuutta vai rakenteessa olevan betonin ja betonoinnin vaatimuksenmukaisuutta)
- noudatettavat standardit, testimenetelmät ja vaatimuksenmukaisuuden arvioinnin menetelmät
- testausalueet ja -kohdat
- näytteiden lukumäärät testauskohdittain
- poralieriöiden halkaisija ja porakappaleen pituus betonipinnasta mitattuna, ellei porata rakenteen läpi
- missä porakappaleet valmistellaan puristettaviksi koekappaleiksi
- miten porakappaleiden puristuspinnot käsitellään
- tutkimuslaitos, joka ottaa näytteet / testaa ne.

Mikäli tutkimuksen tavoitteena on tehdä päätelmiä betonirakenteen puristuslujuuden vaatimuksenmukaisuudesta, tapaukseen liittyvien osapuolien on hyvä käydä yhdessä läpi yllä esitetty tutkimussuunnitelma ennen sen hyväksymistä.

## Koekappaleiden koko

Koekappaleena suositellaan käytettävän lieriötä, jonka halkaisija on vähintään 100 mm ja korkeuden ja halkaisijan suhde  $1 \pm 0,05$ . Myös muut halkaisijat välillä 50...150 mm ovat sallittuja. Tiheästi raudoitetuissa rakenteissa, kuten esimerkiksi silloissa, otetaan yleensä halkaisijaltaan 80 mm lieriöitä. Tällöin koekappaleiden määrän tulisi olla vähintään 6 (SFS-EN 13791 liite A 3.1).

Betonissa olevan kiviaineksen suurimman raekoon ja porausnäytteiden halkaisijan välisellä suhteella on merkittävä vaikutus määritettyyn lujuuteen, kun suhde lähestyy suurempia kuin noin 1:3 olevia arvoja. Tästä syystä koekappaleen halkaisijan tulisi olla vähintään 3 kertaa betonin kiviaineksen suurin raekoko.

Koekappaleen halkaisijan ja runkoaineen enimmäisläpimitan vaikutus mitattuun lujuuteen on esitetty standardin 12504-1 liitteessä A.

## Testausalueiden ja -kohtien valinta

**Rakenteen lujuutta selvitetäessä** testausalueet ja -kohdat valitaan yhdessä rakennesuunnittelijan kanssa satunnaisperiaatetta noudattaen siten, että näytteet edustavat mahdollisimman hyvin rakenteen keskimääräistä lujuutta. Samalla huolehditaan siitä, ettei rakenteen toimintaan vaikuteta haitallisesti. Rakenteen tai sen osan lujuuden arviointiin käytettävien näytteiden tulee olla samaa betonityyppiä ja lujuusluokkaa.

Näytteenottoa ei tule tehdä

- kohdista, joissa rakenteeseen kohdistuvat kuormat ovat suuret, mikäli tämä heikentää rakenteen kantavuutta
- raudoitteiden ja jännepunosten kohdalla (peitepaksuusmittarin käyttö suositeltavaa)
- kohdista, joissa havaitaan halkeamia, erottumista tai muita valuvikoja.

Arvioitaessa rakenteen lujuutta näytteenotto keskitetään betonilaatuun, joka edustaa rakenteen eniten kuormitettuja osia. Näytteenotto ei kuitenkaan saa vaikuttaa haitallisesti kantavuuteen. Siksi näyte voidaan ottaa myös vähemmän kuormitetusta kohdasta, mikäli se luotettavasti edustaa eniten kuormitetun kohdan betonilaatua.

**Rakenteeseen toimitetun betonin lujuuden vaatimuksenmukaisuutta selvitetäessä** on syytä ottaa huomioon, että rakenteiden yläosissa betoni voi olla erottunutta. Tällöin rakenteen pintaosasta otettu näyte ei välttämättä anna oikeaa kuvaa toimitetun betonin lujuuden vaatimuksenmukaisuudesta, vaan tulokseen vaikuttaa myös betonointityö.

## Testauskohtien määrä

Jos betonin lujuutta halutaan selvittää rakenteen kantavuuden arvioimiseksi, testauskohtia tulee olla vähintään kolme rakenneosaa kohti. Edellä esitetty koekappaleiden lukumäärä koskee nimellishalkaisijaltaan vähintään 100 mm porakappaleita. Porakappaleiden lukumäärän tulee olla suurempi, jos lieriön nimellishalkaisija on alle 100 mm. Esimerkiksi tiheästi raudoitetuissa siltarakenteissa otetaan yleensä halkaisijaltaan 80 mm lieriöitä. Tällöin koekappaleiden minimimäärä on 6 (Standardi SFS-EN 13791 kohta A.3.1.).

Mikäli tavoitteena on betonin ja betonoinnin vaatimustenmukaisuuden selvittäminen, testauskohtia tulee olla vähintään 15. Betonin lujuus voidaan todeta vaatimuksenmukaiseksi tätä pienemmälläkin määrällä testauskohtia (Betoninormien kohdan 5.2.3.3 mukaan, minimissään kolme testauskohtaa), jos betonin lujuus on selvästi nimellislujuuksia korkeampi. **Betonin lujuuden osoittaminen puutteelliseksi edellyttää aina testaamista vähintään 15 testauskohdasta.** Koska lujuustuloksia saatetaan joutua hylkäämään, näytteitä on syytä ottaa tätä enemmän.

Jos yhdestä testauskohdasta otettu poralieriö jaetaan osiin ja niistä määritetään betonin puristuslujuudet, saatujen tulosten keskiarvoa käsitellään testauskohtaa edustavana yksittäisenä puristuslujuustuloksena.

Mikäli selvitetään betonin lujuuden vaatimuksenmukaisuutta eikä betonin riittävästä kypsyydestä ja jälkihoidon riittävydestä ei ole täyttä varmuutta, näytteenoton yhteydessä otetaan erilliset rinnakkais-

kappaleet, joilla selvitetään betonin lujuuspotentiaali ja jälkihoidon toteutuminen säilyttämällä kappaleita vedessä niin pitkään, että vaaditut lämpöastevuorokaudet saavutetaan.

### **Porausnäytteiden irrotus**

Näytteenotto tehdään standardin SFS-EN 12504-1 mukaisesti.

Näytteet irrotetaan tarkoituksenmukaista vesijäähdytteistä porauskalustoa käyttäen asiantuntevan henkilön toimesta. Poraus suoritetaan kohtisuoraan pintaa vasten, ellei muu ole perusteltua. Porakone kiinnitetään tukevasti paikoilleen. Porakaluston ja -varusteiden tulee olla niin laadukkaita, etteivät ne aiheuta näytekappaleeseen tai tutkittavaan rakenteeseen halkeamia tai muita vaurioita.

Näytteet tarkastetaan silmämääräisesti ja tehdyt havainnot kirjataan. Vaurioituneet näytteet hylätään ja niiden tilalle otetaan uudet näytteet. Myös havainnot hylätyistä näytteistä kirjataan. Näytettä voidaan pitää vaurioituneena, jos siinä havaitaan esimerkiksi halkeamia, murtumia tai vajaasti tiivistynyttä betonia.

Näytteen ei tule sisältää raudoitusta tai mitään muuta materiaalia kuin betonia. Mikäli raudoitusta ei kuitenkaan voida välttää, raudoituksen sijainti sekä koko koekappaleessa tulee dokumentoida. Näytteet, joissa on raudoitteita koekappaleen pituusakselilla tai sen läheisyydessä, hylätään.

Jokainen näytekappale merkitään yksilöllisesti. Näytteenottopaikka kirjataan tarkasti muistiin. Kustakin koekappaleesta ja näytteenottopaikasta otetaan valokuvat, jotka liitetään tutkimusraporttiin.

Näytteet toimitetaan irrotuksen jälkeen viipymättä huolellisesti pakattuina testauslaitokseen, joka valmistaa koekappaleet sekä säilyttää ja testaa ne.

### **Koekappaleiden käsittely**

Porakoekappaleet säilytetään kuivumiselta suojattuna, mutta vähintään puristustestausta edeltävät 3 vuorokautta koekappaleet pidetään suojaamattomana laboratoriossa ilmasäilytyksessä (SFS-EN 13791, kohta 7.1)

Vain veden alla olevista rakenteista otetut koekappaleet säilytetään puristustestaukseen asti vesisäilytyksessä, sillä betonin kosteuspitoisuus voi vaikuttaa mitattuun lujuuteen. Jos koekappale testataan kylästyskosteana (märkänä suoraan vesisäilytyksestä), sen puristuslujuustulos voi olla 10...15 % alhaisempi kuin ilmasäilytyksessä olleen (SFS-EN 13791, Liite A). Tämä otetaan huomioon rakenteen lujuuden arvioinnissa.

Koekappaleiden säilytysolosuhteet kirjataan muistiin.

Porausnäytteistä mitataan halkaisija, pituus sekä mahdollisten raudoitteiden halkaisija ja sijainti standardin SFS-EN 12504-1 kohdan 6.2. mukaisesti. Kaikki mittaustulokset kirjataan muistiin.

Ennen testausta koekappaleen pinnalta poistetaan mahdollinen lika, hiekka ym. materiaali.

Koekappaleen pinnat tasoitetaan rikkilaastilla eli rikitetään, jos betonin oletettavissa oleva lujuus on enintään 50 MPa, tai hiotaan ennen kuormittamista. Hionta tulee tehdä ennen 3 vuorokauden ilmasäilytystä. Koekappaleen päätypintojen tasaisuuden sekä kohtisuoruuden tulee täyttää standardin SFS-EN 12390-1 vaatimukset.

Koekappaleiden valmistelu tehdään luotettavaksi todetussa testauslaitoksessa, jolla on valmiudet kyseisen testauksen suorittamiseen.

### **Puristuslujuuden testaus**

Koekappaleet testataan standardin SFS-EN 12390-3 mukaisesti puristustestauksiin käytettävällä laitteella luotettavaksi todetussa testauslaitoksessa.

Pinnoiltaan vaurioituneita tai mittapoikkeamiltaan standardin SFS-EN 12504-1, kohdan 7.3 sallimat toleranssit ylittäviä koekappaleita ei saa testata.

Koekappaleen pinnan kosteustila (kuiva/märkä) merkitään muistiin.

Koekappaleiden tiheys määrittään ennen puristuslujuuden testausta.

InfraRYL:n mukaan tehtyjen P-lukubetonien puristuslujuus testataan 28 vuorokauden iässä ellei suunniteluasiakirjoissa ole muuta mainittu. Jos tämä ei ole mahdollista, testaustulosten lukuarvot muutetaan Liikenneviraston ohjeiden mukaisesti vastaamaan 28 vuorokauden lujuutta (InfraRYL 42020.1.1.5).

Betonin lujuuden vaatimuksenmukaisuutta ei tule arvioida aikaisemmin kuin sen puristuslujuuden laadunarviointi-iässä. Tällöinkin tulee varmistua siitä, että betonin kypsyysaste on saavuttanut laadunarviointi-ian vaatimuksen lämpötilaolosuhteet huomioon ottaen.

### **Koekappaleiden koon ja muodon vaikutus puristuslujuustulokseen**

Ennen laskutoimituksia yksittäiset porakappaleella saadut puristuslujuustulokset muutetaan 150 mm:n kuutiota vastaaviksi lujuuksiksi seuraavasti:

- Jos lieriön halkaisija on 100...150 mm, lujuustulos kerrotaan luvulla 1,05.
- Jos lieriön halkaisija on 50...80 mm, lujuustulos kerrotaan luvulla 1,1.
- Väliarvot 80...100 mm interpoloidaan suoraviivaisesti.

Muunnetut lujuudet ilmoitetaan  $0,1 \text{ MN/m}^2$ :n tarkkuudella.

## Betonin vertailulujuuden määrittäminen

### A. Betonirakenteen lujuuden arviointi

Kun tarkoituksena on arvioida betonirakenteen lujuutta, noudatetaan *by 65 Betoninormit 2016* kohtaa 5.2.3.3. Testauskohtien määrä voi olla tällöin pienempi kuin 15, mutta aina vähintään 3.

Mikäli testauskohdan porakappaleesta valmistetaan useampi koekappale, lasketaan näiden puristuslujuuksien keskiarvo, jota käsitellään yhtenä testauskohdan puristuslujuustuloksena. Samasta porakappaleesta valmistettujen koekappaleiden lujuustulosten hajonta kuvaa normaalisti testausmenettelyn tarkkuutta.

Betonirakenteen lujuutta arvioidaan standardin SFS-EN 13791 kohdan 7.3 mukaan. Vaatimus on esitetty *by 65 Betoninormit 2016* kohdassa 5.2.3.3 seuraavasti:

Jos koekappaleita on 3...14 kpl, vertailulujuus  $K_k$  on pienempi seuraavista arvoista:

$$K_k = f_{cm} - f_k \text{ tai}$$

$$K_k = f_{cmin} + 4$$

missä  $f_{cm}$  on puristuslujuustulosten keskiarvo  
 $f_{cmin}$  on pienin puristuslujuustulos

$f_k$  valitaan seuraavasta taulukosta:

n	$f_k$
10...14	5
7...9	6
3...6	7

Vertailulujuus ilmoitetaan 0,1 MN/m<sup>2</sup> tarkkuudella.

Vertailulujuutta laskettaessa on syytä ottaa huomioon, että yksittäisen koekappaleen heikkous saattaa paremminkin osoittaa paikallista kuin koko rakennetta koskevaa ongelmaa.

**Jos** edellä kuvatun menettelyn mukaisesti määritetty vertailulujuus ei täytä vaatimusta, on aihetta epäillä rakenteen lujuutta. Mikäli tämän johdosta on syytä arvioida betonirakenteen vaatimuksenmukaisuutta, käytetään kohdan B. mukaista menettelyä.

### B. Betonin lujuuden vaatimuksenmukaisuuden arviointi

Mikäli esimerkiksi kohdan A. Betonirakenteen lujuuden arviointimenettelyn pohjalta todetaan, että betonin puristuslujuuden vaatimuksenmukaisuutta on aihetta epäillä, vaatimuksenmukaisuuden arviointi tulee suorittaa standardin SFS-EN 13791 kohdan 9 mukaisesti. Tällöin testauskohtien lukumäärän tulee olla **vähintään 15**.

Kun koekappaleita on vähintään 15, vertailulujuus  $K_k$  on pienempi seuraavista arvoista:

$$K_k = f_{cm} - 1,48s \text{ tai}$$

$$K_k = f_{cmin} + 4$$

jossa  $f_{cm}$  on testauskohtien lujuusarvojen keskiarvo

$f_{cmin}$  on pienin testauskohdan lujuusarvo

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n-1}}$$

jossa  $s$  on testauskohtien lujuusarvojen keskihajonta

$f_{ci}$  on yksittäinen testauskohdan koetulos

$n$  on testauskohtien koetulosten lukumäärä

Keskihajonnan arvona ei saa käyttää pienempää arvoa kuin  $2 \text{ MN/m}^2$ .

## Tulosten muu käsittely

Kun betonin puristuslujuus määritetään rakenteista irrotetuista porakappaleista, puristuskokeiden tulosten hajonta saattaa olla paljon suurempi kuin valetuista koekappaleista tehdyissä mittauksissa. Tulosten hajontaa kasvattaa muun muassa se, että rakenteesta irrotetun kappaleen puristuslujuuteen vaikuttaa betonin lujuusluokan lisäksi myös moni muu asia, kuten betonin mahdollinen erottuminen, tiivistyksen taso, kypsyyssaste ja rakenteessa esiintyvä esimerkiksi kuormitusperäinen tai kutistumisesta johtuva halkeilu. Myös näytteenotto voi vaikuttaa näytteen lujuuteen.

Jotta saadut puristuslujuustulokset kuvaisivat parhaiten betonin todellista lujuutta, koetulosjoukon tilastollisesta tarkastelusta on syytä jättää pois sellaiset poikkeavat yksittäiset tulokset, joiden ei voida katsoa edustavan betonin puristuslujuutta.

Puristuskokeesta saadun yksittäisen tuloksen liittäminen tilastolliseen käsittelyyn arvioidaan erikseen, jos

- näytteestä paljastuu koestettaessa esimerkiksi tiivistyspuute tai vierasta materiaalia
- *koetulos on poikkeuksellisen alhainen verrattuna keskiarvoon. Tuloksen liittämistä tilastolliseen käsittelyyn voidaan arvioida esimerkiksi liitteen 1 mukaisella menettelyllä.*

Mikäli poikkeavan alhainen lujuustulos jätetään edellä kuvatulla menettelyllä pois tilastollisesta tarkastelusta eikä alhaiseen lujuuteen löydy selvää syytä, puutteellisen lujuuden vaikutus rakenteen lujuuteen selvitetään erikseen, esimerkiksi ottamalla lisänäytteitä kyseisestä testauskohdasta. Jos näytteen heikkoon lujuuteen ei ole selvää syytä eikä paikallisesti heikon betonin lujuutta ole tarkemmin selvitetty, poikkeavaa tulosta ei tule jättää pois puristuslujuutta määritettäessä.

Mikäli näyttää todennäköiseltä, että selvityksen alla oleva testialue sisältää yhden betonilaadun sijasta useampaa betonilaatua, testitulokset jaetaan erillisiin tarkastelujoukkoihin näiden alueiden mukaan.

## Tulosten ilmoittaminen

Arvioitaessa rakenteen lujuutta tai betonin vaatimuksenmukaisuutta puristuskoetulosten ja niiden käsittelyn kautta, saatua vertailulujuutta  $K_k$  verrataan rakenteen nimellislujuuteen, joka on kerrottu luvulla 0,85. Kertoimella otetaan huomioon se, että betonin tiivistys ja homogeenisuus eivät ole rakenteessa yhtä optimaaliset kuin valetuissa normikoekappaleissa.

Tämän ohjeen mukaiset lujuusanalyysit perustuvat kuutiolujuuksiin (150 mm). Eurokoodin mukaisissa rakenteiden kantavuustarkasteluissa käytetään lieriölujuuksia. Kantavuustarkasteluissa testitulokset muunnetaan lieriölujuuksiksi SFS-EN 206 mukaisesti.

## Raportointi

Tehdyistä toimenpiteistä, tuloksista ja johtopäätöksistä laaditaan raportti. Raportin tulee sisältää ainakin seuraavat tiedot:

- kohdetiedot
- mahdolliset tiedot betonista (betonilaatu, toimittaja, valujankohta jne.)
- tarkka kuvaus testauskohdista, valokuvat
- tiedot näytteenottomenetelmistä ja näytteenottajasta
- näytteenottoajankohta (porausajankohta)
- tunnistetiedot ja kuvaus näytteistä (valokuvat näytteistä, silmämääräiset havainnot, poikkeamat)
- porausnäytteiden alkuperäiset pituudet ja halkaisijat
- mahdollisen raudoituksen halkaisija, sijainti
- valmistettujen koekappaleiden pituudet ja halkaisijat
- näytteiden/koekappaleiden säilytysolosuhteet ja ajankohdat
- koekappaleiden puristuspuoleiden tasoitusmenetelmät ja tasoitusajankohta
- pintakosteustila (kuiva/märkä) ja kunto testaushetkellä
- testausajankohta, testauslaite, testausmenetelmä, testaaja
- koekappaleiden puristuslujuudet ja tiheydet
- mahdolliset poikkeamat koekappaleen valmistuksessa, säilytyksessä, testauksessa
- testaustulosten pohjalta määritetty betonin lujuustaso
- johtopäätökset ja mahdolliset toimenpide-ehdotukset.

Helsingissä 02.05.2017

Suomen Betoniyhdistys ry

Tarja Merikallio  
Toimitusjohtaja

Risto Mannonen  
Kehitysjohtaja



**TARKASTELU POIKKEAVAN KOETULOKSEN KUULUMISESTA TUTKITTAVAAN TULOSJOUKKOON**

Tässä liitteessä on esitetty yksi mahdollinen tapa tunnistaa puristuslujuuskoetulosten joukosta ne yksittäiset tulokset, jotka poikkeavat muusta tulosjoukosta niin paljon, että tuloksen ei voida enää katsoa edustavan tarkasteltavan betonin lujuustasoa.

Tässä esitetty yksinkertaistettu tilastollinen tarkastelutapa perustuu standardiin BS 6089:2010 (Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components – Complementary guidance to that given in BS EN 13791). Standardi on Iso-Britanniassa vahvistettu kansallinen sovellusohje standardille EN 13791. Standardi EN 13791 ei anna ohjeita siitä, miten yksittäisen koetuloksen kuuluminen tarkasteltavaan joukkoon arvioidaan.

*Jos yksittäisen koekappaleen puristuslujuustulos alittaa muiden tutkittavaan joukkoon kuuluvien koekappaleiden lujuustason niin paljon, ettei tuloksen voida enää katsoa edustavan tarkasteltavan betonin lujuustasoa, arvioidaan voidaanko kyseisiä tuloksia käyttää betonin tai rakenteen lujuuden arvioinnissa. Syynä poikkeavaan lujuustulokseen voi olla esimerkiksi porakappaleen vahingoittuminen näytteenotossa, betonirakenteessa tapahtunut halkeilu tai se, että koekappale sisältää runsaasti tiivistyshuokoisuutta tai betoniterästä.*

*Tarkastelemalla poikkeavan koetuloksen ja muiden tulosten keskiarvon suhteellista erotusta ja koekappalemäärää, voidaan päätellä poikkeako kyseinen tulos niin merkittävästi muusta joukosta, että se ei enää edusta kyseistä tarkastelujoukkoa.*

*Mikäli testauskohdasta otettu poralieriö jaetaan osiin, kunkin yksittäisen koekappaleen lujuustuloksen kuuluminen tarkasteltavaan joukkoon arvioidaan erikseen. Mikäli todetaan, että kyseinen tulos ei edusta tarkastelujoukkoa, sitä ei oteta mukaan keskiarvolaskelmaan, jolla määritetään kyseisen testauskohdan puristuslujuustulos.*

*Tarkastelu pohjautuu yksittäisen lujuustuloksen prosentuaaliseen poikkeamaan koekappaleryhmän muiden lujuustulosten keskiarvosta. Tätä kuvaava suure  $R_t$  lasketaan kaavalla:*

$$R_t = \frac{\text{(tarkasteltavan joukon muiden koekappaleiden lujuuden keskiarvo – pienin lujuustulos)}}{\text{(tarkasteltavan joukon muiden koekappaleiden lujuuden keskiarvo)}}$$

*Tarkastelu aloitetaan pienimmästä lujuustuloksesta. Mikäli tämän tuloksen  $R_t$ :n arvo on suurempi kuin taulukossa 1 esitetty raja-arvo, tarkasteltava koetulos poistetaan tilastollisesta tarkastelusta. Tarkastelua jatketaan seuraavaksi pienimmän lujuustuloksen osalta ja niin edelleen, kunnes tulosta ei ole enää syytä poistaa tilastollisesta tarkastelusta. Taulukossa esitetty alin mahdollinen koekappalemäärä on 4, koska se on standardin BS 6089 mukainen pienin suositeltu koekappalemäärä.*

Tarkastelun jälkeen betonin puristuslujuuden vertailulujuus  $K_k$  lasketaan lujuustuloksista, joiden on edellä olevan tarkastelun perusteella todettu edustavan tarkasteltavan betonin lujuustasoa.

$$K_k = f_{cm} - t_{0,05} \cdot s$$

jossa  $f_{cm}$  on testauskohtien lujuusarvojen keskiarvo

$t_{0,05}$  arvo saadaan taulukosta 2 testauskohtien koetulosten lukumäärän perusteella

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n-1}}$$

jossa  $s$  on testauskohtien lujuusarvojen keskihajonta

$f_{ci}$  on yksittäinen testauskohdan koetulos

$n$  on testauskohtien koetulosten lukumäärä.

Tämän tilastollisen menettelyn avulla saattaa olla mahdollista erottaa rakenteesta kohdat, jotka vaativat erityistarkastelua. Siksi tilastollisesta tarkastelusta poistetun koekappaleen poikkeaman syy tulee pyrkiä selvittämään. Jos havaitaan, että poikkeama aiheutui virheellisestä koekappaleesta, jonka viallisuutta ei ole havaittu, riittää koekappaleen ja siitä saadun lujuustuloksen hylkääminen. Mikäli koetulos oli todenmukainen ja alhainen lujuustulos edustaa todellisuudessakin heikkoa kohtaa rakenteessa esimerkiksi puutteellisen tiivistyksen vuoksi, tulee lujuus ko. kohdassa selvittää tarkemmin ja ryhtyä tarvittaviin korjaaviin toimiin. Tässäkään tapauksessa kyseistä koetulosta ei oteta mukaan koko rakenteen betonin lujuudenarviointiin, koska se ei edusta betonin yleistä lujuustasoa.

Taulukko 1. Yksittäisen koetuloksen kuuluminen tarkasteltavaan joukkoon

Tarkasteltavan joukon koekappaleiden lukumäärä	Poikkeama $R_t$ , jonka ylittävät koetulokset tulisi hylätä.
4	29,8 %
5	21,3 %
6	18,2 %
7	16,7 %
8	15,7 %
9	15,0 %
10	14,6 %
11	14,2 %
12	14,0 %
13	13,7 %
14	13,6 %
15	13,4 %
16	13,3 %
17	13,2 %
18	13,1 %
19	13,0 %
20	12,9 %
21	12,9 %
22	12,8 %
23	12,8 %
24	12,7 %
25	12,7 %
> 25	11,8 %

Taulukko perustuu tulosten keskihajontaoletukseen 6 MPa

T-arvo perustuu vapausasteeseen n-2

Taulukko 2.  $t_{0,05}$  – arvot, laskettaessa vertailujuutta  $K_k$  tarkasteltavaan tulosjoukkoon kuuluvien koetulosten perusteella.

Tarkasteltavan joukon koekappaleiden lukumäärä	$t_{0,05}$
3	2,92
4	2,35
5	2,13
6	2,02
7	1,94
8	1,89
9	1,86
10	1,83
11	1,81
13	1,78
15	1,73
17	1,75
19	1,73
21	1,72
26	1,71
31	1,70
61	1,67
121	1,66
> 121	1,64

Taulukon  $t_{0,05}$  -arvot perustuvat vapausasteeseen  $n-1$