



Betonin puristuslujuus koekappaleissa

Betonitutkimusseminaari 30.10.2019

B.Sc.(tech.) Ari Husso

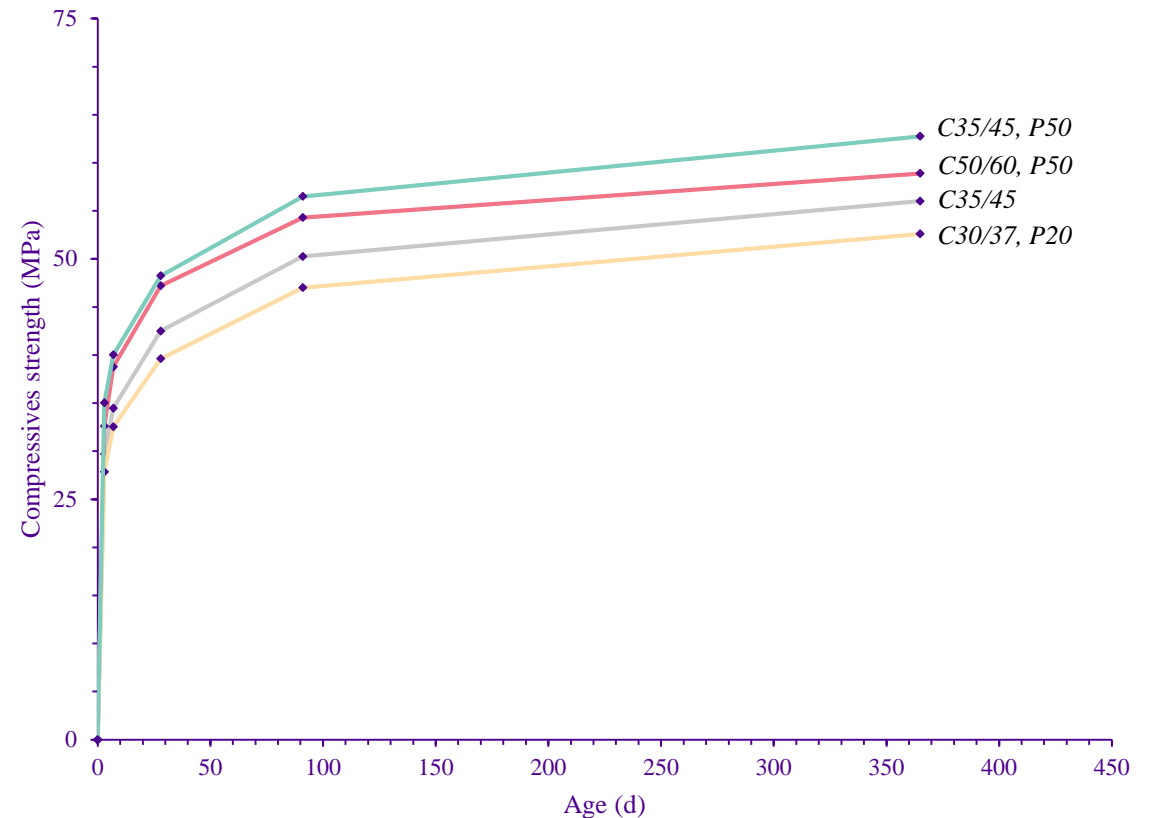
M.Sc.(tech.) Jukka Haavisto

prof. Dr.Sc.(tech.) Anssi Laaksonen

Tutkimuksen yleistiedot

Tutkimuksen betonilaadut

- Tutkimuksessa käytettiin tyypillisiä pakkasenkestäviä infrabetonilaatuja, sekä yhtä huokostamatonta betonilaatua, jonka nimellislujuus vastasi yhtä pakkasenkestävistä betoneista
- Tutkimuksessa käytetyt betonilaadut (betoniluokka ja mitattu puristuslujuus 28 vuorokauden ikäisenä):
 - C35/45, P50 ($f_{cm;28} = 48,2$ MPa)
 - C30/37, P20 ($f_{cm;28} = 39,6$ MPa)
 - C50/60, P50 ($f_{cm;28} = 47,2$ MPa)
 - C35/45 ($f_{cm;28} = 42,5$ MPa)
- Heikommissa betonilaaduissa havaittiin lujudenseurantatutkimuksessa ylilujuutta, kun taas vahvimman betonilaadun tapauksessa 28 vuorokauden puristuslujuus ei täyttänyt nimellislujutta.



Tutkimustapaukset

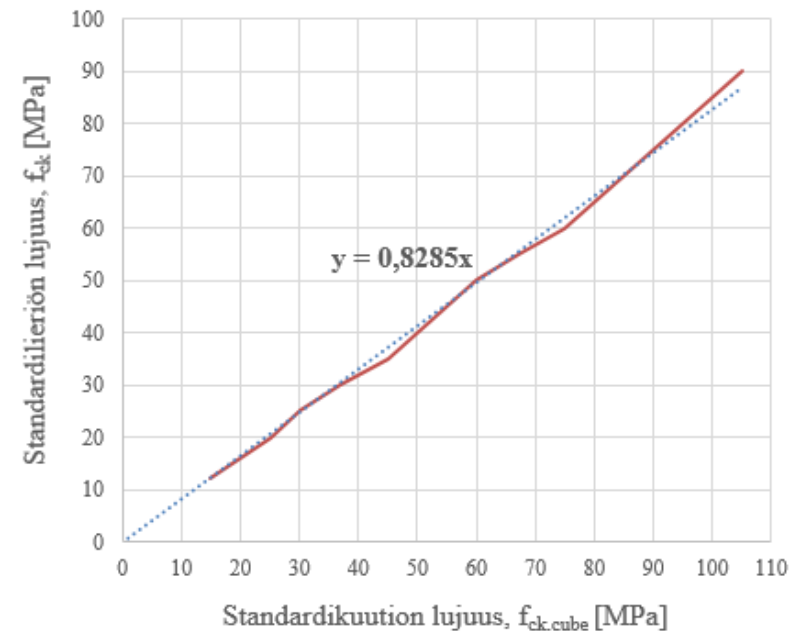
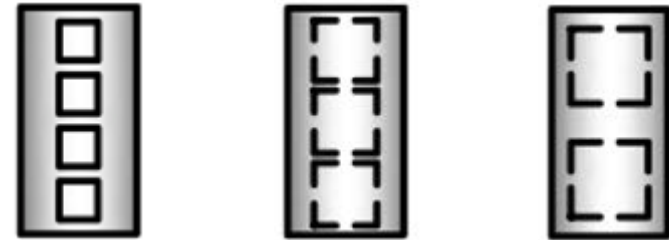
Tutkimuksen rakennekoekappaleiden L/D-suhde oli kaikissa muissa tutkimustapauksissa 1,0 lukuun ottamatta pituuden vaikutusta (D100x200) ja porauksen vaikutusta (D150x300), joissa L/D-suhde oli 2,0. Puristuskokeet suoritettiin pituuden vaikutusta lukuun ottamatta 91 vuorokauden ikäisenä, pituuden vaikutusta tarkasteltaessa betoni oli 323 vuorokauden ikäistä. Tutkimustapauksia olivat:

1. Rakennekoekappaleiden halkaisijan vaikutus puristuslujuuteen (D50, D80 ja D100)
2. Rakennekoekappaleen pituuden vaikutus puristuslujuuteen (D100, suppeasti yhdellä betonilaadulla)
3. Timanttiorauksen vaikutus rakennekoekappaleen puristuslujuuteen (D100 ja D150)
4. Timanttiterän kunnan vaikutus rakennekoekappaleen puristuslujuuteen (D50, D80 ja D100)
5. Rakennekoekappaleiden päiden tasoitustekniikan vaikutus puristuslujuuteen (D50, D80 ja D100)
6. Muottimateriaalin vaikutus puristuslujuuteen (kuutio: 150x150x150)
7. Rakennekoekappaleiden kosteuspitoisuuden vaikutus puristuslujuuteen (D50, D80 ja D100, yksi betonilaatu)

Koekappaleen koon vaikutus betonin lujuuteen

Tutkittavat koekappalekoot

- Rakennekoekappaleet, puristusolosuhde: kuiva
 - D50x50
 - D80x80
 - D100x100
 - (D100x200)
- Halkaisijaltaan 50 mm, 80 mm ja 100 mm rakennekoekappaleet timanttikorattiin standardilieriöitä (D150x300) vastaavista valulieriöistä.
- L/D -suhteeltaan 1,0 rakennekoekappaleiden puristuslujuutta verrataan kuutiolujuuteen, joka on laskettu vedellä kyllästettynä puristettujen standardilieriöiden puristuslujuudesta EN 1992-1-1 mukaisten betoniluokkien lieriö- ja kuutiolujuuksien suhteiden yleistysten perusteella ($f_{ck} / f_{ck.cube} \sim 0,8285$).



Tutkimustulokset

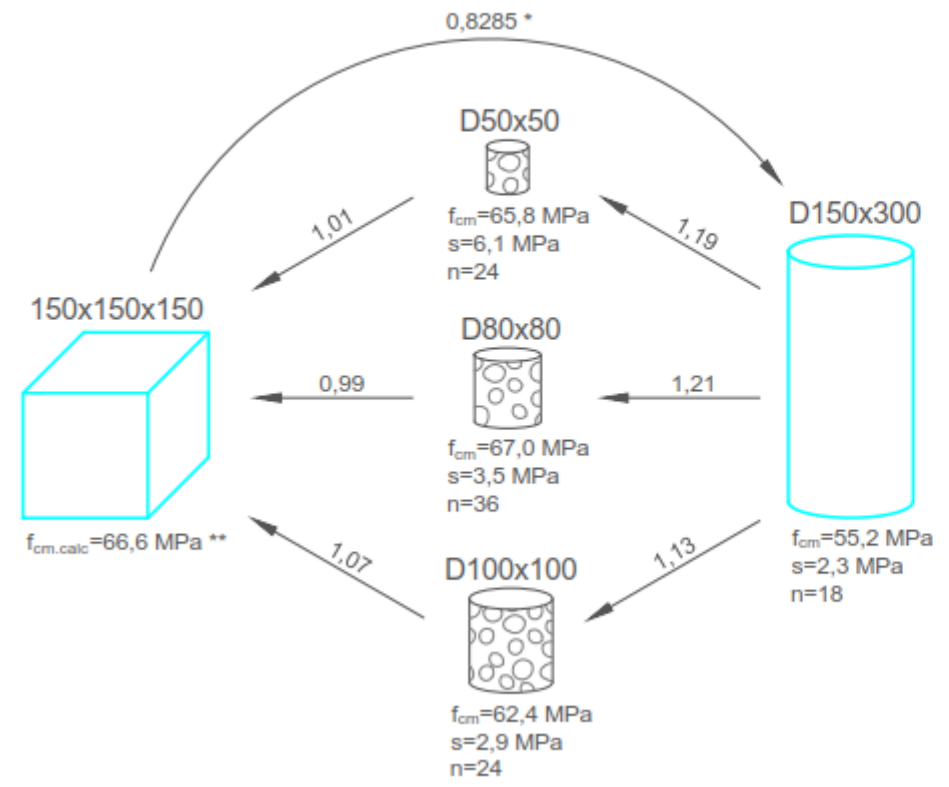


Rakennekoekappale, kuiva

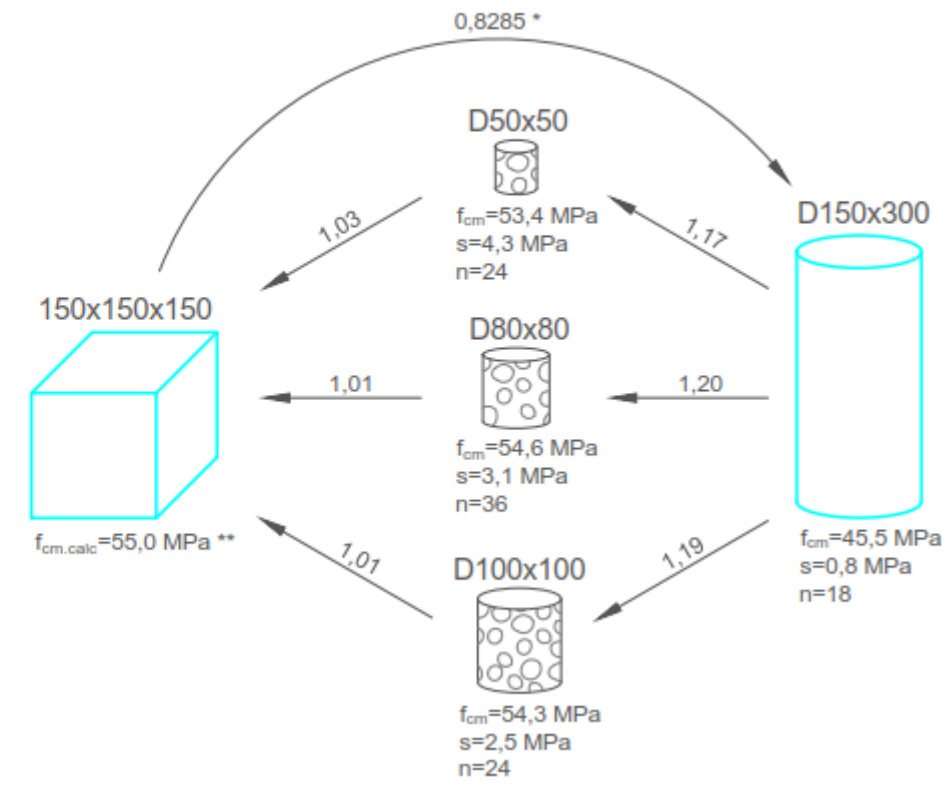


Standardikoekappale, vedellä kyllästetty

C35/45, P50



C30/37, P20



Tutkimustulokset

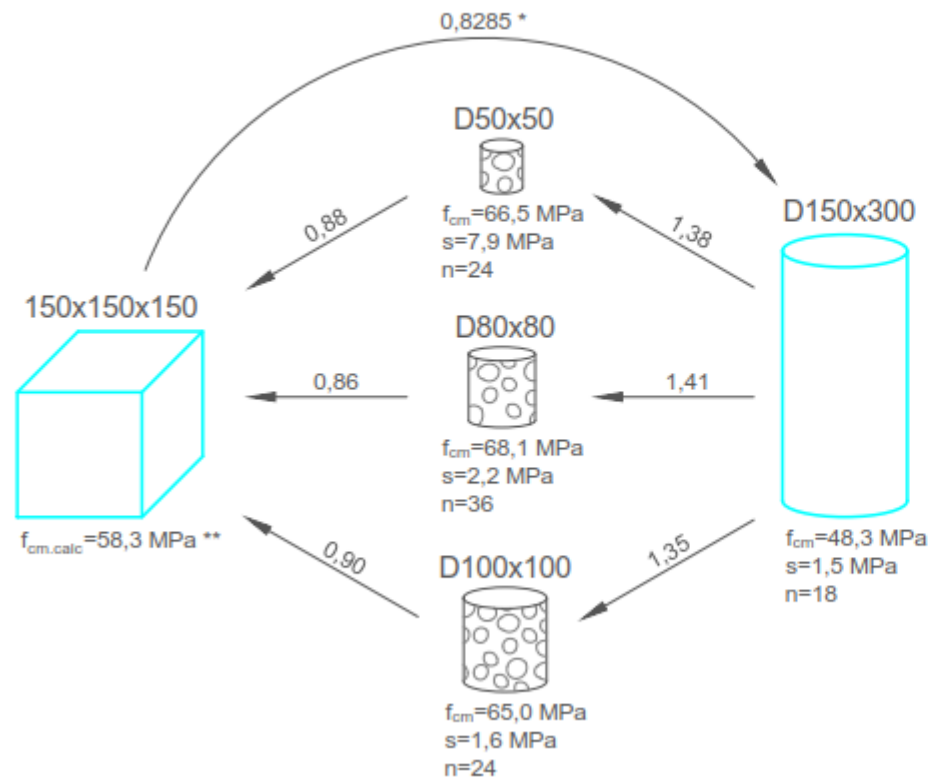


Rakennekoekappale, kuiva

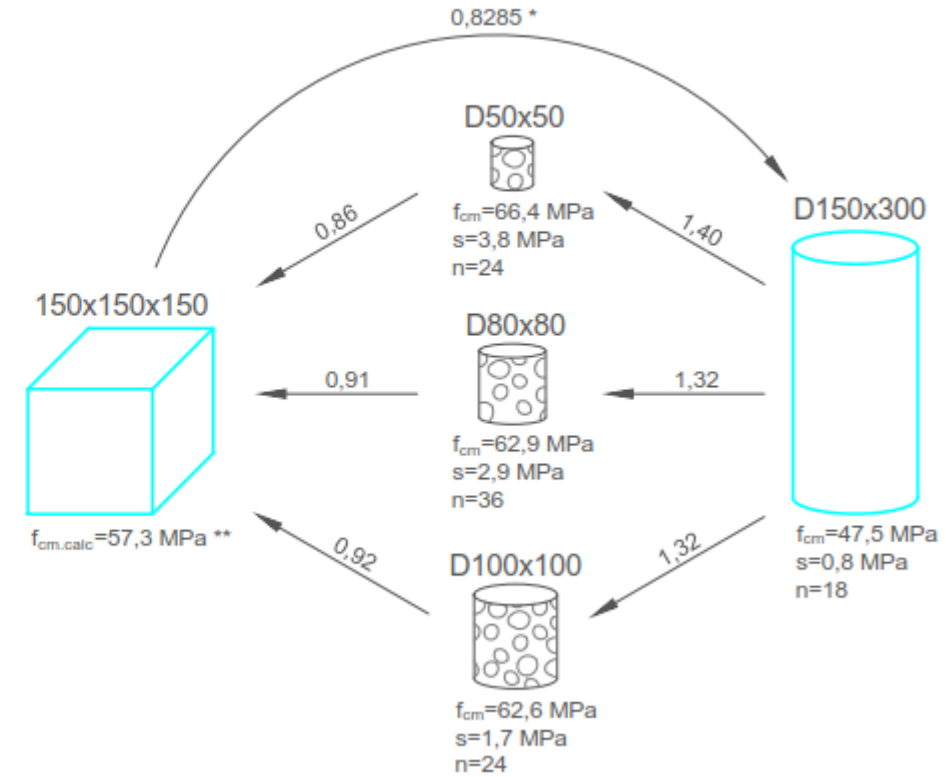


Standardikoekappale, vedellä kyllästetty

C50/60, P50



C35/45



Johtopäätökset ja pohdinta

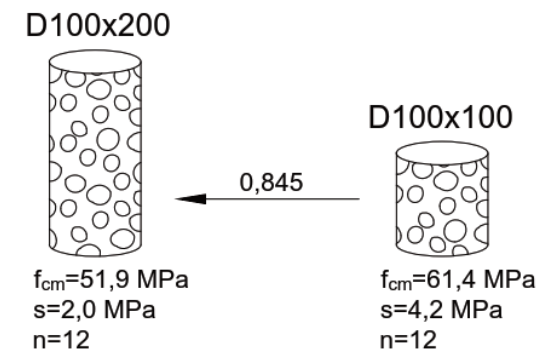
- Tutkimustulosten perusteella ei pystytä määrittämään kaikille tutkimuksen betonilaadulle yhteisiä korjauskertoimia tilanteeseen, jossa rakennekoekappaleiden puristuslujuutta verrataan kuutiolujuuteen.
- Tutkimustuloksista havaitaan, että halkaisijaltaan 50 mm rakennekoekappaleilla puristuslujuustulosten hajonta on merkittävästi suurempaa kuin halkaisijaltaan suuremmilla rakennekoekappaleilla.
- Halkaisijaltaan 80 mm ja 100 mm rakennekoekappaleilla puristuslujuustulosten hajonnat eivät merkittävästi eroa toisistaan.
- Tutkimustulosten perusteella halkaisijaltaan 50 mm rakennekoekappaleiden käyttämistä tulisi välttää. Mikäli halkaisijaltaan 50 mm rakennekoekappaleita käytetään tulee tutkimussarjan koko olla merkittävästi suurempi kuin suuremmilla rakennekoekappalekoilla.

Johtopäätökset ja pohdinta

- Standardin SFS 7022 mukaisesti halkaisijaltaan 50...80 mm rakennekoekappaleiden puristuslujuus kerrotaan korjauskertoimella 1,1 ja halkaisijaltaan 100 mm rakennekoekappaleet korjauskertoimella 1,05, kun rakennekoekappaleiden ($L/D=1,0$) puristuslujuutta verrataan kuutiolujuuteen.
- Tutkimustulosten perusteella rakennekoekappaleiden puristuslujuudet ovat rakennekoekappaleen halkaisijasta riippumatta lähes suoraan verrannollisia tai parempia kuin kuutiolujuus.
- Tutkimustulosten perusteella käytettävän korjauskertoimen tuli olla $\leq 1,0$.
- Tutkimustulosten perusteella nykyaikaisilla betonilaaduilla rakennekoekappaleiden puristuslujuus on halkaisijasta riippumatta suurempi, mitä standardissa SFS 7022 oletetaan. Nykyisin käytettävillä korjauskertoimilla saadaan ylioptimistinen arvio rakenteen puristuslujuudesta.
- Tulosten perusteella rakennekoekappaleiden halkaisijan vaikutus rakennekoekappaleista määritettävään kuutiolujuuteen on hyvin riippuvainen käytetystä betonilaadusta, betonin ominaisuuksista ja betonissa käytetyistä sideaineista.

Rakennekoekappaleen pituuden vaikutus puristuslujuuteen

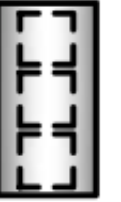
- Rakennekoekappaleiden pituuden vaikutusta puristuslujuuteen tarkasteltiin ainoastaan betonilaadulla C35/45 P50. Rakennekoekappaleiden halkaisijana käytettiin 100 mm.
- Tutkimustulosten perusteella L/D-suhteeltaan 1,0 rakennekoekappaleiden puristuslujuus on noin 18 % suurempi kuin L/D-suhteeltaan 2,0 rakennekoekappaleiden.
- L/D-suhteeltaan 1,0 rakennekoekappaleita kuormitettaessa koekappaleen ja kuormituslevyjen välille muodostuu edullinen kitkavaikutus, jonka seurauksena L/D-suhteeltaan lyhyemmillä koekappaleilla saadaan suurempi puristuslujuus. L/D-suhteen ollessa $\geq 2,0$ oletetaan kitkavaikutuksen olevan merkityksetön
- Standardin EN 13791 mukaisesti D100x100 rakennekoekappaleiden puristuslujuus on suoraan verrannollinen kuutiolujuuteen ja D100x200 lieriölujuuteen, kun koekappaleet on valmistettu samoissa olosuhteissa.
- Tutkimuksessa lieriö- ja kuutiolujuuksien suhteena käytettiin arvoa 0,8285, joka on hyvin lähelle sama kuin eri pituisten rakennekoekappaleiden lujuuksien suhde 0,845.



Työmenetelmien ja näytteiden vaikutus betonin lujuuteen

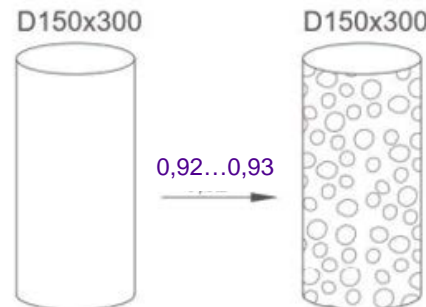
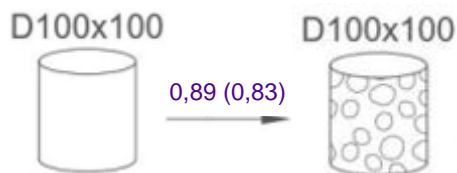
Tutkittavat koekappalekoot

- Rakennekoekappaleet, puristusolosuhde: kuiva
 - D50x50
 - D80x80
 - D100x100
 - D150x300
- Rakennekoekappaleiden kuivatusajan vaikutus: D50x50, D80x80 ja D100x100
- Halkaisijaltaan 50 mm, 80 mm ja 100 mm rakennekoekappaleet timanttikorattiin standardilieriöitä (D150x300) vastaavista valulieriöistä.
- Halkaisijaltaan 150 mm kokoiset rakennekoekappaleet timanttikorattiin valulieriöistä, joiden koko oli noin D235x340.
- Valukappaleet, puristusolosuhde: kuiva, ellei muuta mainittu
 - Standardilieriö D150x300
 - Standardilieriö D150x300, vedellä kyllästynyt
 - Standardikuutio 150x150x150
 - Valulieriö D100x100



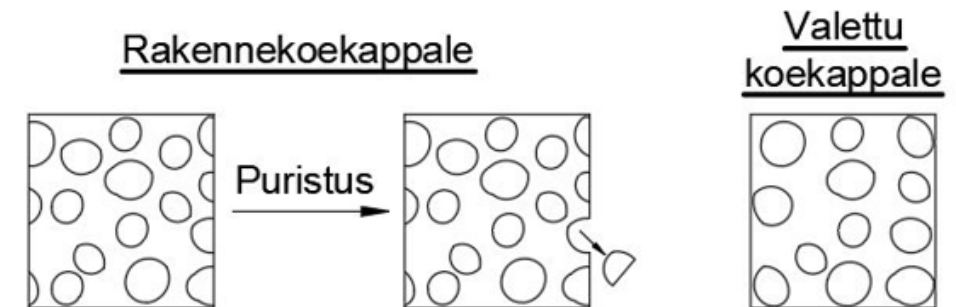
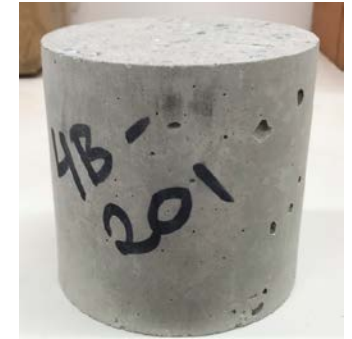
Timanttiporauksen vaikutus puristuslujuuteen

- Timanttiporauksen vaikutusta puristuslujuuteen tutkittiin vertailemalla saman kokoisten valettujen ja timanttiporattujen koekappaleiden puristuslujuustuloksia.
- Koekappalekokoina käytettiin pituudeltaan ja halkaisijaltaan 100 mm koekappaleita (L/D-suhde 1,0), sekä halkaisijaltaan 150 mm ja pituudeltaan 300 mm koekappaleita (L/D-suhde 2,0).
- Tutkimustuloksista havaittiin, että timanttiporaus vaikuttaa selvästi rakennekoekappaleiden puristuslujuuteen, kun tuloksia verrataan vastaavan kokoisiin valettuihin koekappaleisiin.
- Tutkimustulosten perusteella D100x100 koekappalekoolla timanttiporatuista rakennekoekappaleista saadaan lukuun ottamatta betonilaatua C30/37 P20 11 % heikompia puristuslujuuksia kuin valetuista koekappaleista. Tutkimuksen heikoimmalla betonilaadulla C30/37 P20 timanttiporauksen vaikutus oli 17 %.
- Vastaavasti D150x300 rakennekoekappaleet olivat 7...8 % heikompia kuin vastaavan kokoiset valetut koekappaleet.



Timanttikorauksen vaikutus puristuslujuuteen

- Timanttikorauksessa rakennekoekappaleiden porauspinnoille syntyy vaurioita, joiden seurauksena rakennekoekappaleista saadaan heikompia puristuslujuuksia kuin vastaavan kokoisista valetuista koekappaleista.
- Timanttikorauksessa lävistettyjen runkoainesrakeiden ja sementtikiven välinen tartunta saattaa häiriintyä, lisäksi porauspinnoille muodostuu mikrohalkeamia.
- Merkittävimmin rakennekoekappaleiden puristuslujuuteen vaikuttaa luultavasti timanttikorauksessa lävistettyjen runkoainesrakeiden mahdollinen irtoaminen.
- Tutkimustulosten perusteella timanttikorauksen aiheuttamat vauriot ovat merkittävämpi kooltaan pienemmissä rakennekoekappaleissa, joissa lieriön timanttikoratun vaipan pinta-alan suhde kappaleen tilavuuteen on suuri



Timanttiterän kunnan vaikutus puristuslujuuteen

- Timanttiterän kunnan vaikutusta rakennekoekappaleiden puristuslujuuteen tutkittiin vertailemalla uudella ja hyvin kuluneella timanttiterällä porattujen rakennekoekappaleiden puristuslujuustuloksia.
- Tutkimustulosten perusteella timanttiterän kunnolla on pääsääntöisesti selvä vaikutus rakennekoekappaleiden puristuslujuuteen. Tutkimuksen heikoimmalla betonilaadulla C30/37 P20 timanttiterän kunnolla ei havaittu olevan vaikutusta.
- Tutkimuksen muilla betonilaaduilla kuluneella timanttiterällä poratuista rakennekoekappaleista saatiin puristuslujuudeksi selvästi heikommät tulokset.
 - D50x50: 5...26 %
 - D80x80: 5...7 %
 - D100x100: 1...5 %
- Tutkimustuloksista havaitaan, että halkaisijaltaan 50 mm rakennekoekappaleilla kuluneen timanttiterän käyttö kasvattaa puristuslujuustulosten hajonta, joka on merkittävästi suurempaa kuin halkaisijaltaan suuremmilla rakennekoekappaleilla.
- Halkaisijaltaan 80 mm ja 100 mm rakennekoekappaleilla puristuslujuustulosten hajonnat eivät merkittävästi eroa toisistaan.

Timanttiterän kunnan vaikutus puristuslujuuteen

- Tutkimuksessa käytetyistä kuluneista timanttiteristä halkaisijaltaan 50 mm terä oli selvästi kuluneempi kuin suuremmat terät, mikä oli selvästi havaittavissa myös tutkimustuloksista.
- Oletettavasti kuluneen timanttiterän käyttö kasvattaa rakennekoekappaleiden timanttiporauksen aiheuttamaa vaurioitumista.
- Tutkimuksessa havaittiin myös, että kuluneen timanttiterän käytöstä aiheutuu rakennekoekappaleiden porauspinnoille huomattavia epäsuoruuksia ("aaltoilua"), joiden seurauksena rakennekoekappaleiden porauspinnat eivät ole täysin suoria. Epäsuoruudet saattavat osin vaikuttaa rakennekoekappaleiden puristuslujuuteen.
- Tulosten perusteella timanttiporauksen aiheuttamat vauriot tehostuvat merkittävimmin pienemmillä rakennekoekappaleilla.



Päiden tasoitustekniikan vaikutus puristuslujuuteen

- Rakennekoekappaleiden päiden tasoitustekniikan vaikutusta puristuslujuuteen tutkittiin kahdella eri tasoitustekniikalla, joita olivat koneellinen hionta ja tasoittaminen rikkiseoksella.
- Tutkimustulosten perusteella rikkiseoksella tasoitetuista rakennekoekappaleista saadaan puristuslujuudeksi selvästi pienempi lujuus kuin hiomalla tasoitetuista rakennekoekappaleista.
 - D50x50: 8...22 %
 - D80x80: 6...18 %
 - D100x100: 5...15 %
- Halkaisijaltaan 50 mm rakennekoekappaleilla rikkiseoksen asentamisessa havaittiin merkittävä epäonnistumisriski. Osalla betonilaaduista jouduttiin hylkäämään D50x50 rakennekoekappaleiden tuloksia rikkiseoksen murtumisen seurauksena.
- Rikkiseoksella tasoitettujen rakennekoekappaleiden hyväksytyjen puristuslujuustulosten hajonnat eivät eroa merkittävästi hiomalla tasoitettujen tuloksista. D50x50 rakennekoekappaleiden tapauksessa hajonnaksi olisi tosin saatu lähes kaksinkertainen tulos mikäli hylätyt koekappaleet olisi huomioitu tuloksissa.

Päiden tasoitustekniikan vaikutus puristuslujuuteen

- Rakennekoekappaleilla, joiden L/D-suhde on pienempi kuin 2,0 vaikuttaa kuormituslevyjen ja rakennekoekappaleen puristuspintojen välinen kitka edullisesti mitattavaan puristuslujuuteen.
- Oletettavasti materiaaliparilla teräs-betoni kitkakerroin on suurempi kuin materiaaliparilla teräs-rikkiseos. Suuremman kitkakertoimen omaavalla materiaaliparilla kitkan edullinen vaikutus puristuslujuuteen on suurempi.
- Rikkiseoksella tasoitettujen rakennekoekappaleiden heikommat puristuslujuudet verrattuna hiottuihin rakennekoekappaleisiin selittyvät ainakin osittain epäedullisemmalla kitkavaikutuksella.
- Tutkimustulosten perusteella rikkiseoksen käyttämistä päiden tasoitusmenetelmänä tulisi välttää.



Muottimateriaalin vaikutus puristuslujuuteen

- Muottimateriaalin vaikutusta määritettävään puristuslujuuteen tarkasteltiin standardikuutioiden (150x150x150) avulla. Standardikuutioita valettiin teräs- ja muovimuoteilla.
- Tutkimustulosten perusteella teräsmuoteilla valetuista standardikuutioista saadaan puristuslujuudeksi noin 2...6 % parempi puristuslujuus kuin muovimuoteilla valetuista.
- Muottimateriaalista riippuvat puristuslujuuserot syntyvät todennäköisesti jo koekappaleita tiivistettäessä.
- Koekappaleita tiivistettäessä muovimuottien seinämät eivät välitä tiivistyksen tärinää yhtä tehokkaasti kuin teräsmuotit, jolloin koekappaleen keskiosa ei tiivisty yhtä tehokkaasti kuin teräsmuotteja käytettäessä.

Kosteuspitoisuuden vaikutus puristuslujuuteen

- Standardin EN 13791 mukaisesti koekappaleita on kuivattava vähintään 72 tuntia koekappaleiden valmisteluiden (poraus, sahaus ja hionta) jälkeen.
- Standardiin on valmisteilla muutos, jossa ohjeellinen kuivatusaika muutetaan 16...24 tuntiin.
- Tutkimuksessa kuivatusajan muutosta tutkittiin kyllästämällä rakennekoekappaleet täysin vedellä, jonka jälkeen rakennekoekappaleita kuivattiin 16 tuntia ja 72 tuntia. Tutkimus tehtiin ainoastaan betonilaadulla C30/37 P20.
- Tutkimustulosten perusteella rakennekoekappaleiden kuivatusajan lyhentäminen 52 tunnilla heikentää puristuslujuustuloksia:
 - D50x50: 5 %
 - D80x80: 3 %
 - D100x100: 1 %
- Standardilieriöiden puristuskokeissa havaittiin, että kuivana puristetut standardilieriöt ovat 4...6 % lujempia kuin vedellä kyllästetyt
- Huokosissa oleva vesi aiheuttaa sisäisiä jännityksiä puristettaessa -> heikompi puristuslujuus

Lisätietoa

Lisätietoa saatavilla marraskuussa 2019 julkaistavassa diplomityössä

Researcher B.Sc.(tech.) Ari Husso

ari.husso@ains.fi

Project Manager M.Sc.(tech.) Jukka Haavisto

jukka.haavisto@tuni.fi

Professor Dr.Sc.(tech.) Anssi Laaksonen

anssi.laaksonen@tuni.fi