

Uudistuneet ohjeet – Betonin lujuuden arviointi rakenteesta kimmovasaralla

Ari Mantila

Jaospäällikkö, Betoniteollisuus ry
ari.mantila@rt.fi

Jouni Punkki

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

Juha Komonen

Tutkimuspäällikkö, Sweco Finland Oy
juha.komonen@sweco.fi

Kimmovasara on laite, jolla voidaan arvioida epäsuorasti betonin puristuslujuutta. Kimmovasaran avulla saadaan helposti ja ainetta rikkomatta nopea käsitys rakenteessa olevan betonin lujuustasosta.

Kimmovasara sopii hyvin betonirakenteiden puristuslujuuden alustavaan arviointiin. Kimmovasaratestausten perusteella voidaan kohdentaa tarkemmat porakoetestaukset oikeille alueille. Esimerkiksi kuntotutkimuksissa kimmovasaralla voidaan analysoida laajalta alueelta, onko jossain kohtaa tavallista heikompaa betonia ja siten kohdentaa tarkemmat porakoetestaukset. Lisäksi kimmovasaraa voidaan käyttää lujuusluokan arviointiin tietyssä rakenteen kohdassa, kunhan tunnetaan kimmoarvon ja betonin puristuslujuuden välinen riippuvuus.

Vaikka kimmovasaran käyttö on tehokasta, on muistettava, että sen antama lujuusarvio perustuu betonin pinnan kovuuteen ja on siten epätarkempi kuin puristuslujuuden määrittäminen porakoekappaleista. Tulokset voivat vaihdella esimerkiksi betonin kosteuden, pinnan laadun tai karbonatisoitumisen mukaan, mutta kimmovasarakoe antaa kuitenkin arvokasta lisätietoa ja usein vähentää turhia porauksia. Toki huolimattomasti tai virheellisesti suoritettu kimmovasaratestausta voi myös aiheuttaa turhaa porakoekappaletestausta. Kimmovasaralla ei voi havaita rakenteen

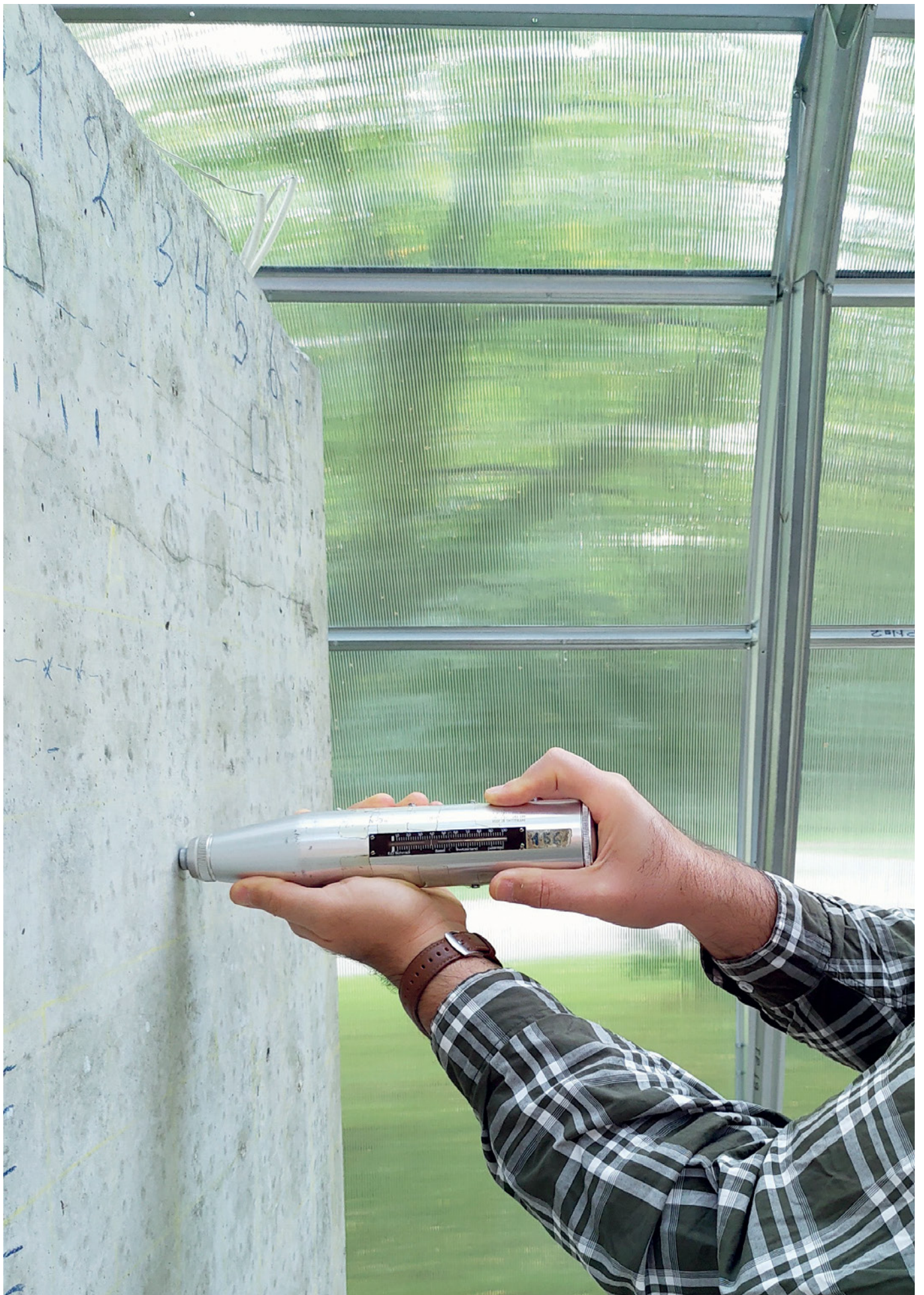
sisällä olevia lujuuspoikkeamia, jotka voivat aiheutua esimerkiksi liian korkeasta kovettumisen alkuvaiheen lämpötilasta.

Kimmovasaratestaukseen löytyy käytännön ohjeita Betoniyhdistyksen ohjeesta *by 72 Betonin laadunvarmistus – osa 3 Ohje betonin kimmovasaratestaukseen*, joka perustuu standardeihin SFS-EN 12504-2, SFS-EN 13791 ja SFS 7508. Tämä ohje korvaa aiemmin laajalti käytetyn Liikenneviraston ohjeen (LO 21/2016 Kimmovasaran käyttäjän ohje). Liikenneviraston ohjetta ei tule enää käyttää.

Kimmoarvo on kimmovasaran antama lukema, joka kertoo betonin pintaosan lujuudesta. Kun vasara iskee betonipintaan ja iskupaino kimpoaa takaisin, mitataan kimmovasaratyyppistä riippuen takaisinponnahduksen pituus tai nopeus. Tällöin kovasta betonipinnasta vasara kimpoaa voimakkaammin (korkea kimmoarvo). Kimmoarvo muutetaan puristuslujuudeksi kokeellisesti määritetyn riippuvuuden avulla.

Kimmoarvojen mediaani tarkoittaa kimmovasaratestauksessa mitattujen kimmoarvojen keskimäistä lukua, kun kaikki arvot on järjestetty suuruusjärjestykseen. Se on siis eri suure kuin kimmoarvojen keskiarvo. Kimmovasaratestauksissa on olennaista tehdä useita (noin 10 kpl) yksittäisiä mittauksia, koska esim. lyönti kiviainesrakeeseen tai pinnan alla olevaan ilmahuokoseen antaa virheellisen tuloksen. Kimmoarvojen mediaania käytetään betonin lujuusarviointissa keskiarvon sijasta, koska siinä yksittäiset poikkeavat kimmoarvot (esim. isku kivirakeeseen tai huokoseen) eivät vääristä tulosta.

1 Mikäli mahdollista, kimmovasaratestausta suositellaan suorittamaan vaaka-suunnassa.



1

Betoniyhdistyksen uusi menetelmäohje kimmovasaratestaukselle kokoa em. standardien vaatimukset käytännönläheiseksi ohjeeksi testaajille. Siinä ohjeistetaan mm. kimmovasaran oikeaa käyttöä ja tarkastusta, testauskohtien valintaa sekä testausraportissa esitettäviä oleellisia tietoja (mm. mittauskohdat, iskusuunnat, mediaanit, mahdollinen lujuusluokka-arviotaulukon perusteella).

Betoniyhdistyksen ohje by 72 Betonin laadunvarmistus – osa 3 Ohje betonin kimmovasaratestaukseen on vapaasti luettavissa osoitteessa <https://www.betoniyhdistys.fi/julkaisut/verkkojulkaisut.html>

Kimmoveasaratestausta koskevia standardeja

- SFS-EN 12504-2 Testing concrete in structures. Part 2: Non-destructive testing. Determination of rebound number
- SFS-EN 13791 Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components
- SFS 7508 Betonin puristuslujuuden arviointi rakenteista ja rakenneosista. Standardin SFS-EN 13791 käyttö Suomessa
- Standardit SFS-EN 13791 ja SFS 7508 täydentävät toisiaan ja niitä molempia tulee noudattaa, niissä on sama kappalenumerointi.

Taulukko 1

Esimerkkejä kimmovasaratestauksen käyttökohteista.

Käyttötarkoitus, esimerkkejä	Kuvaus
1. Uudessa rakenteessa olevan betonin lujuusluokan varmistaminen	a. Paikannetaan mahdolliset lujuusvaihtelut rakenteessa kimmovasaran avulla ja valitaan niiden perusteella porakappaleiden ottoajat.
	b. Seulontatestaus: Arvioidaan betonin lujuusluokka suoraan kimmovasaran tulosten perusteella käyttämällä SFS 7508:n liitteen B taulukkoja.
	HUOM! • Testaajalla ja näytteenottajalla tulee olla tehtävän mukainen akkreditointi. • Testattavan betonirakenteen kypsytyden tulee olla vähintään laadunarvosteluikää vastaava. • Toimittaessa ohjeen by 72 mukaisesti, lujuudenarvioinnissa ei saa käyttää valmistajan riippuvuuskäyriä tai kimmoveasaran automaattisesti antamaa lujuusarviota.
2. Vanhan rakenteen betonin lujuuden selvittäminen	Rakenteesta mitataan testauskohdista kimmovasaran kimmoarvoja sekä otetaan porakappaleita, näiden avulla määritetään tapauskohtainen riippuvuus kimmoarvon ja betonin lujuuden välille (SFS-EN 13791 kappale 8).
3. Lujuuden epävirallinen seuranta työmaalla	Työmaalla kimmovasaraa voidaan käyttää arvioitaessa betonin varhaislujuutta, esimerkiksi muottien purun tai jälkijännityksen ajankohtaa päätettäessä. Tämä ei ole standardoitu laadunvarmistuskeino, vaan kokemukseen perustuva arvio työmaan omaan tarpeeseen. Tulokset olisi hyvä varmistaa esimerkiksi betonin lämpötilamittauksiin perustuvalla kypsyyslaskennalla, jotta vältettäisiin työturvallisuusriskejä.
	HUOM! Tätä menetelmää ei saa käyttää betonin vaatimuksenmukaisuuden arviointiin.



2

Kimmoarvon ja puristuslujuuden välisen kansallisen riippuvuuden määrittäminen

Suomessa on aiemmin ollut yleisesti käytössä Liikenneviraston julkaisu 21/2016 Kimmovasaran käyttäjän ohje. Kyseinen ohje on korvautunut edellä mainituilla standardeilla, eikä Liikenneviraston ohjetta voi enää käyttää. Standardin SFS 7508 vuoden 2021 version julkaisun jälkeen kuitenkin havaittiin, että uusi standardi antoi jopa 1–1,5 lujuusluokkaa liian alhaisia lujuusarvioita verrattuna porakoe- ja paletituloksiin. Standardin riippuvuus perustui 1960-luvulta peräisin oleviin saksalaisiin tutkimuksiin, sillä suomalaisia tutkimustuloksia ei vuonna 2021 ollut saatavilla.

Suomessa haluttiin määrittää kansallinen riippuvuus kimmoarvon ja puristuslujuuden välille, jotta kimmovasaralla voitaisiin saada mahdollisimman oikea lujuustaso. Tätä varten tehtiin koesarja Aalto-yliopistossa ja lisäksi tehtiin kimmovasaratestauksen tasokoe. Näiden perusteella määritettiin uudet, suomalaiset riippuvuussuhteet kimmoarvon ja puristuslujuuden välille. Uudet riippuvuussuhteet on esitetty SFS 7508:2024:n liitteessä B. Uusilla riippuvuussuhteilla saadaan suoraan betonin lujuusluokka-arvio, jossa on otettu huomioon

vaadittavat varmuusmarginaalit sekä testaukseen liittyvät tulosten hajonnat ja rakenteissa olevalle betonille standardien oletama 15 % alempi lujuustaso verrattuna betonin valukoekappaleiden tuloksiin. Taulukot on esitetty erikseen molemmille tavallisille kimmovasaratyypeille R/N & Q.

Aalto-yliopiston tutkimus

Kansallisen riippuvuussuhteen määrittämiseksi käynnistettiin projekti, jossa betonin valmistajat toimittivat Aalto-yliopistolle testikuutioita. Aalto-yliopisto määrittä koekuutioista kimmoarvot sekä puristuslujuudet. Kimmoarvot määritettiin sekä R- että Q-tyyppin vasaralla. Lisäksi mitattiin myös ultraäänen nopeus, vaikka ultraäänen nopeuden ja puristuslujuuden välille ei määritetty kansallista riippuvuutta. Ultraäänen nopeus ei ole Suomessa virallinen testausmenetelmä betonin puristuslujuuden arvioimiseksi betonirakenteista.

Testaukset tehtiin kesällä 2023. Neljä eri betonin valmistajaa toimitti Aalto-yliopistolle 150 mm koekuutioita. Betonien koostumukset

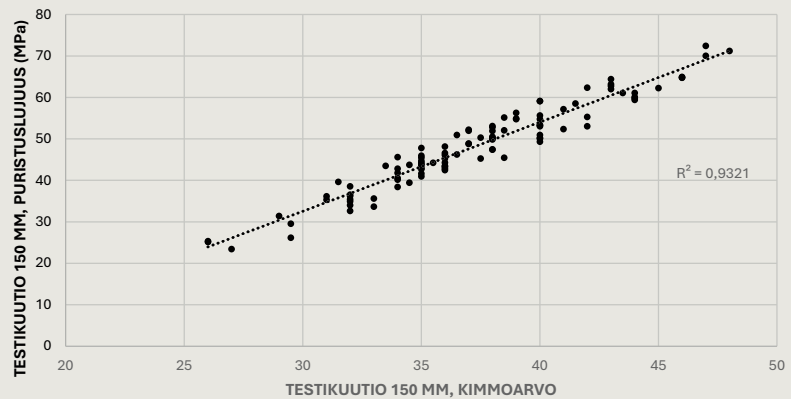
2 Tasokokeeseen osallistui useiden testauslaitosten testajia.

Kuva 3

R-tyyppin vasaralla määritetyn kimmoarvon ja puristuslujuuden välinen riippuvuus.

Huom. kuvassa on esitetty kimmoarvon ja puristuslujuuden keskimääräinen riippuvuus ilman varmuusmarginaaleja ja sitä ei voi käyttää sellaisenaan puristuslujuuden arviointiin.

KIMMOARVON JA TESTIKUUTION PURISTUSLUJUUDEN
VÄLINEN RIIPPUVUUS **R-TYYPIN KIMMOVASARA**
AALTO-YLIOPISTO 5-8/2023



vaihtelivat, mutta betonin valmistajia pyydettiin erottelemaan, onko kyseessä huokostettu vai huokostamaton betoni, mikä on betonin kiviaineksen maksimiraekoko ja onko koekappaleet valmistettu teräs- vai muovimuotilla. Koekappaleita testattiin eri ikäisinä, kuitenkin niin, että testaaminen tapahtui 7–91 vrk ikäisinä. Ennen testausta koekappaleita säilytettiin Aalto-yliopistossa vedessä, kunnes ne testauspäivänä otettiin pois vedestä klo 10. Testaaminen tapahtui iltapäivällä noin klo 14. Kaikkiaan testattiin 120 koekuutiota.

Testauksessa koekappaleet punnittiin ja mitattiin, jonka jälkeen koekappaleet asetettiin testipuristimeen testausta varten. Koekappaleita kuormitettiin 5 MPa kuormituksella 240 sekunnin ajan, jolloin koekappaleista määritettiin kimmoarvot R- ja Q-tyyppin vasaralla sekä mitattiin ultraäänen nopeus. Eri testaukset tehtiin eri kuution särmille ja testauskohdet oli merkitty etukäteen sabluunan avulla. Kimmovasaratestauksissa käytettiin yhdeksää mitauspistettä, joiden mediaaniarvoa käytettiin testituloksena. Lopuksi koekappale kuormitettiin murtoon ja betonin puristuslujuus määritettiin.

R-tyyppin kimmovasaran ja puristuslujuuden välinen riippuvuus on esitetty kuvassa 3. Linearisella riippuvuussuhteella päästään varsin korkeaan selityssasteeseen (0,9321). Eksponentiaalisella riippuvuudella jäädyään hieman huonompaan selityssasteeseen $R^2 = 0,9045$.

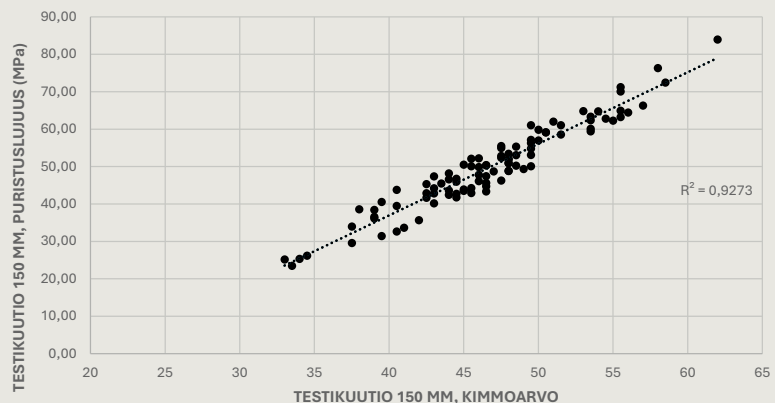
Q-tyyppin vasaran ja puristuslujuuden välinen riippuvuus on esitetty kuvassa 4. Selityssaste on samaa tasoa kuin R-tyyppin vasaralla (0,9273). Eksponentiaalisella riippuvuudella $R^2 = 0,9147$.

Kuva 4

Q-tyyppin vasaralla määritetyn kimmoarvon ja puristuslujuuden välinen riippuvuus.

Huom. kuvassa on esitetty kimmoarvon ja puristuslujuuden keskimääräinen riippuvuus ilman varmuusmarginaaleja ja sitä ei voi käyttää sellaisenaan puristuslujuuden arviointiin.

KIMMOARVON JA TESTIKUUTION PURISTUSLUJUUDEN
VÄLINEN RIIPPUVUUS **Q-TYYPIN KIMMOVASARA**
AALTO-YLIOPISTO 5-8/2023



5a Digitaalisessa kimmovasarassa mittaustulokset näkyvät näytöllä tai sovelluksessa ja tulokset tallentuvat muistiin. Tuloksia voi siirtää kaapelilla tai langattomasti eri sovelluksiin. Joissain digitaalisissa kimmovasaroissa on näytön lisäksi myös analoginen asteikko. Kuvassa Q-tyyppin kimmovasara.

5b Analogisen kimmovasaran kimmoarvo luetaan laitteen asteikolta. Analoginen kimmovasara ei vaadi virtalähdettä. Kuvassa R-tyyppin kimmovasara.



5a



5b

Koesarjassa määritettiin myös seuraavien tekijöiden vaikutuksia:

- Betonin huokostus
- Testausikä (7...21 vrk vs. 21...91 vrk)
- Kiviaineksen maksimikoko (8 mm vs. 16 mm)

Millään edellä mainituista tekijöistä ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta kimmoarvon ja puristuslujuuden väliseen riippuvuuteen. Lisäksi käytön kannalta olisi hankalaa, jos riippuvuudelle olisi eri versioita esimerkiksi huokostuksen osalta. Rakennetta testattaessa voi olla vaikea tietää, onko betoni huokostettua ja myös millaista ilmamäärää huokostettu betoni edellyttäisi. Edellä mainittujen tekijöiden aiheuttama mahdollinen lisähajonta tulee otetuksi huomioon varmuusmarginaaleja laskettaessa.

Kimmoasaratestauksen tasokoe

Seuraavassa vaiheessa syksyllä 2023 järjestettiin eri tutkimuslaboratorioiden testaajille yhteinen tasokoetilaisuus Tuusulassa Ruskon Betoni Etelä Oy:n hallissa, johon oli järjestetty testauskohteiksi 3 kpl 600 × 600 × 1200 mm³ testirakennetta, joiden betonilaadut olivat C25/30, C35/45 ja säänkestävä C30/37. Testirakenteiden lujuudet määritettiin olosuhdekoekappaleilla. Tasokokeeseen osallistui 14 testaajaa 9 yrityksestä ja kukin käytti testauksessa omaa kimmovasaraansa, joita oli sekä R että Q tyyppiä. Kimmoarvojen testaus suoritettiin em. standardien mukaisesti.

Tutkimuksessa ei arvioitu betonin lujuutta, vaan ainoastaan kirjattiin saadut kimmoarvot, joista laskettiin mediaanit ja näiden perusteella määritettiin kaikkien testaajien kimmoarvojen mediaanien hajonnat kullekin koebetonille.

Uuden suomalaisen kimmoarvojen ja betonin puristuslujuuden välisen riippuvuuden määrittäminen tutkimustulosten perusteella

Uudet riippuvuudet on esitetty Standardin SFS 7508:2024 liitteen B taulukoissa, joissa esitetään kimmoarvojen perusteella betonin lujuusluokkarviot. Riippuvuudet määritettiin SFS-EN 13791-standardin mukaisella tapauskohtaisen korrelaation menetelmällä, josta on esitetty laskentaesimerkki standardin SFS 7508 kohdassa D.5.

Kimmoarvon ja betonin puristuslujuuden yleisen kansallisen riippuvuuden määrittämisen vaiheet:

1. Aallon laboratoriotutkimusten testitulosten edustavuus tarkastettiin tulosten standardoitujen poikkeamien avulla (ei-edustavat: $|r_1| \geq 2$). Hyväksytyjen testitulosten perusteella määritettiin riippuvuus betonin lujuuden ja kimmoarvon välille regressioanalyysin avulla. Todettiin, että lineaaristen mallien selitysasteet olivat riittävän hyviä, jotta niitä voitiin hyödyntää. Regressioanalyysistä saatu residuaalihajonta kuvaa puristus- ja kimmovasaratestien toistettavuuden sekä betoninäytteiden lujuusvaihtelun yhteisvaikutukset hajontaan.
2. Tasokokeen tuloksista laskettiin testin uusittavuuden hajonta, kun eri henkilöt suorittivat testauksen eri laitteilla, näin oli mahdollista arvioida eri testauslaitosten välistä tulosten vaihtelua.
3. Laskettiin toistettavuuden ja uusittavuuden hajontojen perusteella menetelmän yhdistetty keskihajonta.
4. Määritettiin riippuvuuksien turvalliset alarajafunktiot siten, että 90 % todennä-

köisyydellä todellinen lujuus on näiden yläpuolella.

5. Koska standardin SFS-EN 1992-1-1 kohdan A.2.3(1) mukaan rakenteesta mitatun betonin puristuslujuuden oletetaan olevan 15 % alempi kuin vastaavan betonin valetulla koekuutiolla, korjattiin riippuvuutta korotamalla lujuusarviota 15 %.
6. Näin korjatut alarajafunktiot muunnettiin lujuusluokittain kimmoarvojen ja betonin puristuslujuusluokkien taulukkoarvoiksi.

Tällä prosessilla varmistettiin, että kimmovasarakokeesta johdettu lujuusarvio on tilastollisesti luotettava ja sisältää sekä mittausmenetelmän epävarmuuden että tarpeellisen varmuusmarginaalin. Lopputuloksena saatu uusi riippuvuustaulukko kasvatti vuoden 2021 standardiversion liitteen B lujuusarvioita noin 1–1,5 lujuusluokkaa ja on nyt lähellä porakoe-kappaleilla saatavaa lujuustasoa.

SFS 7508 liitteen B taulukoiden käyttö luonnollisesti edellyttää, että testaus on suoritettu standardien SFS-EN 13791 ja SFS 7508 mukaisesti. Näiden standardien ohjeiden mukaisesti on myös mahdollista määritellä tapauskohtaisesti näitä yleisiä riippuvuuksia tarkempi kimmoarvon ja betonin lujuuden välinen riippuvuus tietyin ehdoin, esimerkiksi yksittäisen valmistajan betonille. Tämä voi olla perusteltua lähinnä vain, jos valmistettava betoni tai käytettävä kiviaines poikkeaa normaalisti käytetyistä laaduista.



6 Vasemmalta oikealle kimmovasaratyypit N, NR ja ND (Digi-Schmidt). Näissä R-tyyppin kimmovasaroissa iskukohtaan kimmoarvo saadaan iskurin takaisinkimpoamaetäisyyden avulla.

7 Uusi julkaisu By72 – Betonin laadunvarmistus – Osa 3 – Ohje betonin kimmovasaratestaukseen.

Betoniyhdistyksen ohje by 72 Betonin laadunvarmistus – osa 3 – Ohje betonin kimmovasaratestaukseen

Betonirakenteen puristuslujuusluokan arviointi kimmovasaralla

Suomessa on edellä kuvatun mukaisesti määritetty kansallisesti noudatettava kimmoarvon ja betonin puristuslujuusluokan välinen yleinen riippuvuus. Yleinen kansallinen riippuvuus mahdollistaa erilaisten ja eri betonilaaduilla valmistettujen betonirakenteiden betonin puristuslujuusluokan arvioimisen kimmovasaran avulla.

Betoniyhdistyksen ohjeen by 72 Betonin laadunvarmistus – osa 3 Ohje betonin kimmovasaratestaukseen tarkoitus on varmistaa kimmovasaran oikea **tarkastus** ja **käyttö** betonirakenteiden **betonin puristuslujuusluokan**/puristuslujuuden arvioinnissa.

- Betonirakenteen betonin puristuslujuusluokan vaatimuksenmukaisuus voidaan arvioida kimmovasaran kimmoarvojen ja betonin puristuslujuusluokan välisen Suomessa noudatettavan yleinen riippuvuuden avulla.
- Betonirakenteen betonin puristuslujuusluokan vaatimuksenmukaisuuden arviointi kimmovasaran avulla edellyttää testaajalta kimmovasaratestimenetelmän akkreditointia.
- **HUOM!** Betonirakenteen betonin puristuslujuusluokan vaatimuksen vastaisuutta ei voida osoittaa kimmovasaran avulla.

Kimmovasaratestauksen soveltuvuus

Kimmovasaratestaus ei sovellu rakenteessa olevan betonin lujuuden tai lujuusluokan arvioitiin, mikäli:

- betonin ei ole normaalipainoista (2000–2600 kg/m³)
- betonipinnan karbonatisoitumissyvyys ylittää 5 mm:ä. Mikäli rakenteen ikä on alle 1 vuosi, voidaan olettaa, että karbonatisoitumissyvyys ei ylitä 5 mm:ä
- testattava betonirakenne on jäässä
- muottipinnassa on käytetty muottikangasta tai betonin pinnassa pintakovetinta
- betoni on vahingoittunut tulipalossa
- betonipinta on rapautunut esim. kemiallisen tai pakkasrasituksen vuoksi
- epäily puristuslujuuden vaatimuksenmukaisuudesta perustuu betonin korkeaan maksimilämpötilaan (> 60 °C) kovettumisvaiheessa

Kimmovasaran käyttö ohjeen by 72 mukaisesti

Ohjeessa by 72 esitetään ja ohjeistetaan mm.:

1. kimmovasaratestauksessa tarvittavat välineet, laitteistot ja laitteistojen tarkastus,
2. testauskohtien valinta,
3. kimmovasaratestauksen työvaiheet,
4. mittaustulosten laskenta/tarkastus (kimmoarvojen suuntakorjaus, hyväksyttyjen kimmoarvojen mediaani ja -mediaanien mediaani),
5. betonin puristuslujuusluokan määrittäminen ja
6. mittaustulosten raportointi.



Tutkittavan betonirakenteen tai testausalan betonin puristuslujuusluokka määritetään testauskohtien hyväksyttyjen kimmoarvojen mediaanien ja mediaanien mediaanin perusteella. Betonin puristuslujuusluokan arvioinnissa on otettu huomioon 1) kimmovasarointiin liittyvät testausajonnot sekä 2) rakenteessa olevan betonin ja valetun koekappaleen välinen lujuuden yleinen muuntokerroin 0,85.

- Kimmovasaratyypillä R määritettyjen suuntakorjattujen kimmoarvojen tulee täyttää taulukossa 2 esitettyjen sarakkeiden 1 ja 2 vaatimukset, jolloin tutkittavan betonin puristuslujuusluokka saadaan sarakkeesta 3. Lyöntisuunnan mukainen korjauskorroin esitetään R-tyyppin vasaralle ohjeessa by 72.
- Kimmovasaratyypillä Q määritettyjen kimmoarvojen tulee täyttää taulukon 3 molempien sarakkeiden 1 ja 2 vaatimukset, jolloin tutkittavan betonin puristuslujuusluokka voidaan määrittää sarakkeesta 3.

Taulukko 2

R-tyypin kimmovasaran suuntakorjattujen kimmoarvojen alimman mediaanin sekä mediaanien mediaanin ja betonin puristuslujuusluokan välinen kansallinen riippuvuus. Taulukon molempien ehtojen tulee täyttyä (lähde: SFS 7508:2024 liite B).

Testausserän kaikkien testauskohtien alin kimmoarvojen mediaani	Testausserän testauskohtien kimmoarvojen mediaanien mediaani	SFS-EN 206 puristuslujuusluokkaa
≥ 22	≥ 25	C12/15
≥ 24	≥ 27	C16/20
≥ 26	≥ 29	C20/25
≥ 28	≥ 31	C25/30
≥ 31	≥ 35	C30/37
≥ 35	≥ 38	C35/45
≥ 37	≥ 40	C40/50
≥ 39	≥ 43	C45/55
≥ 42	≥ 45	C50/60
≥ 45	≥ 48	C55/67
^a 90 % luottamustasolla.		

Taulukon arvot perustuvat Aalto-yliopistossa 2023 suoritettuun tutkimukseen, jossa määritettiin suomalaisille betoneille kimmoarvojen ja betonin puristuslujuuden välinen riippuvuus. 90% luottamustaso perustuu tutkimuksessa määritettyihin kimmovasaratestauksen uusittavuuden ja toistettavuuden hajonta-arvoihin. Tämän lisäksi niissä on otettu huomioon rakenteessa olevan betonin ja valetun koekappaleen välinen lujuuden muuntokerroin = 0,85.

Taulukko 3

Q-tyypin kimmovasaran kimmoarvojen alimman mediaanin sekä mediaanien mediaanin ja betonin puristuslujuusluokan välinen kansallinen riippuvuus. Taulukon molempien ehtojen tulee täyttyä (lähde: SFS 7508:2024 liite B).

Testausserän kaikkien testauskohtien alin kimmoarvojen mediaani	Testausserän testauskohtien kimmoarvojen mediaanien mediaani	SFS-EN 206 puristuslujuusluokkaa
≥ 29	≥ 32	C12/15
≥ 31	≥ 35	C16/20
≥ 34	≥ 38	C20/25
≥ 36	≥ 40	C25/30
≥ 40	≥ 44	C30/37
≥ 44	≥ 48	C35/45
≥ 47	≥ 50	C40/50
≥ 49	≥ 53	C45/55
≥ 52	≥ 56	C50/60
≥ 56	≥ 59	C55/67
^a 90 % luottamustasolla.		

Taulukon arvot perustuvat Aalto-yliopistossa 2023 suoritettuun tutkimukseen, jossa määritettiin suomalaisille betoneille kimmoarvojen ja betonin puristuslujuuden välinen riippuvuus. 90% luottamustaso perustuu tutkimuksessa määritettyihin kimmovasaratestauksen uusittavuuden ja toistettavuuden hajonta-arvoihin. Tämän lisäksi niissä on otettu huomioon rakenteessa olevan betonin ja valetun koekappaleen välinen lujuuden muuntokerroin = 0,85.

Betonin lujuudenkehityksen epävirallinen arviointi kimmovasaran avulla

Betonivalun kovettuessa työmaalla pitää usein päättää, milloin betoni on saavuttanut sellaisen lujuuden, että muotit voidaan purkaa tai jälkijännitys voidaan suorittaa. Normaalisti rakenteen betonin lujuudenkehitystä arvioidaan mittaamalla rakenteen lämpötilaa ja laskemalla näiden mittausten perusteella betonin kypsyttää, tätä vanhempi menetelmä on olosuhdekoekappaleiden käyttö. Vaihtoehtona tai täydentävänä menetelmänä voidaan käyttää kimmovasarakkeesta. Betoniyhdistyksen oppaan by 72 – osa 3 liitteessä A on kuvattu kimmovasarakkeiden suoritusta tällaiseen lujuuden arviointiin. Menetelmä soveltuu kuitenkin ainoastaan työmaan omien päätösten varmistamiseen, kuten muottien purku- tai jälkijännitysajankohdan arviointiin, mutta ei betonin laadunvarmistukseen. Tällöin pitää myös päätöksiä tehdessä ottaa aina huomioon myös työturvallisuus, sillä varalta, että lujuusarviot ovat virheellisiä.

Ohjeen mukaan suoritettua testauksesta saadaan tutkittavassa rakenteen kohdassa kimmoarvon mediaani, josta voidaan arvioida betonin puristuslujuus, kun käytössä on valmistajan antama riippuvuuskäyrä tai by 72-osa 3:n liitteessä A esitetty käyrästä. Tulee kuitenkin muistaa, että tällaisen testauksen tarkkuus on vain yhden lujuusluokan tasolla, riippuen tekijän kokemuksesta ja tarkkuudesta.

Tätä menetelmää ei siis saa käyttää betonin virallisena laadunvarmistuksena tai vanhan rakenteen kantavuuden tarkastelussa. Tällaisissa virallisissa arvioinneissa on käytettävä akkreditoituja testauslaitoksia ja noudatettava standardeja SFS-EN 13791 sekä SFS 7508.

Betoniyhdistyksen by 72-osa 3 ohjeen liitteestä A löytyy tarkemmat työohjeet sekä laskuesimerkki tulosten käsittelystä, mutta tässä on listattu tärkeimmät työvaiheet:

1. Valmistelut

1. Tarkista kimmovasarat: varmista, ettei laite ole vaurioitunut ja että se on tarkastettu.
2. Valitse testauskohdat: rakenneosan kriittiset tai kylmimmät alueet, testauspinta mieluiten muottipintaa vasten valettu sileä pinta.
3. Hio epätasainen pinta tarvittaessa ja poista sementtitiiliakerros.
4. Varmista olosuhteet: pinnan on oltava kuiva ja sula. Jäätynyttä pintaa ei saa testata.

2. Testaus

- Merkitse testausalue (esim. 30 × 30 cm² ruutu).
- Suorita vähintään 10 iskua tasaisesti testausalueelle, älä testaa samaan kohtaan kahta kertaa.
- Kirjaa ylös kimmoarvot, iskusuunta ja merkitse testauskohta.
- Suositellaan hylkäämään iskut, joiden kimmoarvo on selvästi muista poikkeava, esimerkiksi osuma huokoseen tai kiveen.

3. Tulosten käsittely

- Laske mediaani kimmoarvoista – älä käytä keskiarvoa.
- Mikäli yli 2 arvoa poikkeaa mediaanista yli ±25 %, hylkää mittaustulos ja toista testaus uudesta testauskohdasta lähistöltä. Älä testaa kohdasta, jossa on jo testausjälkiä.
- R (N)-vasarakilla korjaa kimmoarvojen mediaania suuntakorjauksella, jos iskusuunta ei ole vaakasuora.
- Muunna mediaaniarvo puristuslujuudeksi by 72 – osa 3 liitteen A käyrien avulla.
- Raportoi tulokset työmaapäiväkirjaan tai erilliseen testauspöytäkirjaan. Merkitse ylös testauspaikat, -ajankohta, lämpötilat, kimmovasaran tunnistetiedot ja saadut mediaanikimmoarvot (ja mahdolliset kimmoarvojen suuntakorjaukset) sekä niiden perusteella arvioidut betonin puristuslujuudet. Näin tuloksiin voidaan tarvittaessa palata myöhemmin. •

New national standard for rebound hammer testing

A new European standard (EN 13791) and its national application standard in Finland (SFS 7508) for assessment of in-situ compressive strength were published in 2019 and 2021 respectively. However, it was noticed that the new standards significantly underestimated compressive strength when the rebound hammer testing was used. This led to unnecessary testing of compressive strength with drilled core. In the standards, the correlation between rebound hammer and compressive strength was based on large number of tests carried out through the years in Germany and the correlation is not very representative for Finnish concretes.

In Finland a national correlation between rebound number and compressive strength was determined. A project was established at Aalto-University. The concrete producers delivered 150 mm test cubes to Aalto University, which performed the rebound hammer testing, UPV measurement and finally the compressive strength was measured. The tests were made for both R- and Q-type rebound hammers. In total, 120 cubes were tested. Also, a round robin test was organised in which different testing units were testing the same concrete structures and the variation between the testing units was determined.

Based on the above-mentioned test series new tables for the standards SFS 7508 were determined to estimate the compressive strength class of concrete. In Finland, the compressive strength measured from structure needs to fulfil 85 % of the nominal strength level. This is included in the updated version of the standard, published in 2024. •