

Jarno Mylläri

Betoninkoetuksen virhearvioinnit SeAMKissa

Opinnäytetyö

Kevät 2017

SeAMK Tekniikka

Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka (rakennesuunnittelu)

Tekijä: Jarno Mylläri

Työn nimi: Betoninkoetuksen virhearvioinnit SeAMKissa

Ohjaaja: Jorma Tuomisto

Vuosi: 2017

Sivumäärä: 46

Liitteiden lukumäärä: 9

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, millaisia mittausvirheitä Seinäjoen ammattikorkeakoulun rakennustekniikan laboratorion betonintestaustoiminnassa mahdollisesti esiintyy. Samalla pyrittiin selvittämään, kuinka suuri mittausepävarmuus näissä betonintestauksissa esiintyy.

Tässä työssä tarkasteltiin mittausepävarmuutta kolmessa betonintestaustoiminnan kokeissa, joita SeAMKin rakennustekniikan laboratorio tarjoaa testauspalveluina. Nämä kokeet olivat puristuslujuuden, tiheyden sekä paineellisen veden tunkeumasyvyyden mittaukset.

Samalla koottiin myös SeAMKin tulokset vuosittaisista VTT:n puristustasokokeista, joihin SeAMK on osallistunut muiden testauslaboratorioiden kanssa.

Avainsanat: akkreditointi, mittausepävarmuus, puristuslujuus, testauslaboratorio, tiheys

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction (Structural Design)

Author: Jarno Mylläri

Title of thesis: The evaluation of errors for concrete testing at SeAMK

Supervisor: Jorma Tuomisto

Year: 2017

Number of pages: 46

Number of appendices: 9

The aim of the thesis was to find out the possible sources of errors in the concrete tests that were made by the construction engineering laboratory of Seinäjoki University of Applied Sciences. Once the sources of errors were discovered, it was possible to examine the size of the errors, and what kind of an impact they could have on the results of tests. Finally, it was possible to define the uncertainties of these measurements.

The uncertainties of the measurements were reviewed in three different kinds of tests done for hardened concrete in the construction engineering laboratory of Seinäjoki University of Applied Sciences. These tests included compressive strength, density and the depth of penetration of water under pressure tests.

At the same time, the results of the annual concrete tests, organized by VTT, were gathered and examined.

Keywords: accreditation, uncertainty of measurement, compressive strength, testing laboratory, density

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO.....	9
1.1 Työn tavoite.....	9
1.2 Työn tilaaja.....	9
2 LABORATORION BETONITESTAUKSEN AKKREDITOINTI.....	11
2.1 Testauslaboratoriot.....	11
2.2 FINAS.....	12
3 BETONINTESTAUSTOIMINTA.....	13
3.1 Kovettuneen betonin testaus.....	13
3.1.1 Koekappaleiden ja muottien vaatimukset.....	13
3.1.2 Koekappaleiden valmistus ja säilytys.....	15
3.1.3 Koekappaleiden puristuslujuus.....	16
3.1.4 Kovettuneen betonin tiheys.....	16
3.1.5 Paineellisen veden tunkeumasyyvyys.....	18
4 MITTAUSVIRHEIDEN ARVIOINTI BETONIN TESTAUKSESSA ..	20
4.1 Mittausvirheet.....	20
4.1.1 Karkeat virheet.....	20
4.1.2 Systemaattiset virheet.....	21
4.1.3 Satunnaiset virheet.....	21
4.2 Virheet betonin tiheyden ja puristuslujuuden määrittämisessä.....	21
4.2.1 Koekappale.....	21
4.2.2 Mittaaja.....	22
4.2.3 Olosuhteet.....	22
4.2.4 Mittauslaitteet.....	22
4.2.5 Mittausmenetelmä.....	23
4.3 Virheet paineellisen veden tunkeumasyyvyden testauksessa.....	23

5	MITTAUSEPÄVARMUUS	24
5.1	Mittausepävarmuuden määrittäminen	24
5.1.1	Tyypin A epävarmuus	25
5.1.2	Tyypin B epävarmuus	26
5.2	Mittausepävarmuuden laskeminen.....	26
5.3	Kokonaisepävarmuus.....	27
6	PURISTUSLUJUUDEN TASOKOKEET	28
6.1	Vuoden 2016 tasokoe	28
6.2	Paineellisen veden tunkeumasyvyyden mittaus	30
6.2.1	Vuoden 2005 veden tunkeumasyvyyden tasokoe.....	30
6.2.2	Vuoden 2010 veden tunkeumasyvyyden tasokoe.....	31
6.3	Tasokokeiden tulosten koonti eri vuosilta.....	31
6.3.1	Puristuslujuus.....	32
6.3.2	Tiheys	32
6.3.3	Paineellisen veden tunkeumasyvyyys	33
7	SEAMKIN MITTAUSEPÄVARMUUS	35
7.1	Betonin puristuslujuuden mittaus	35
7.1.1	Puristustestauskone.....	35
7.1.2	Mittausvirheet.....	35
7.1.3	Mittausvälineet	39
7.1.4	Yhteenveto	39
7.2	Betonin tiheyden mittaus.....	40
7.2.1	Vaaka.....	40
7.2.2	Mittausvälineet	41
7.2.3	Yhteenveto	41
7.3	Paineellisen veden tunkeumasyvyyden mittaus	41
7.3.1	Paineen mittaus	41
7.3.2	Mittausvälineet	43
	LÄHTEET	44
	LIITTEET	46

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. SeAMKin laboratorio, joka valmistui vuonna 2015	10
Kuva 2. Keller Leo 2 –painemittari.	42
Kuva 3. Painemittarin kalibrointiliitin.....	42
Kuvio 1. Kuution nimellimitat	14
Kuvio 2. Lieriön nimellimitat	15
Kuvio 3. Esimerkki koejärjestelyistä	19
Kuvio 4. Tasokokeiden puristuslujuuksien koonti vuosilta 2013–2016.....	32
Kuvio 5. Tasokokeiden tiheyden mittauksien tulosten koonti vuosilta 2013–2016.....	33
Kuvio 6. Tasokokeiden paineellisen veden tunkeuman tulosten koonti vuosilta 2005 ja 2010.	34
Kuvio 7. Kuormitustilanne.	36
Kuvio 8. Normaalijännityksen jakauma.	37
Taulukko 1. Verrannon avulla saadut puristuslujuuden arvot.....	30

Käytetyt termit ja lyhenteet

Akkreditointi	Kansainvälisiin kriteereihin perustuva menettelytapa, jonka avulla kunkin maan kansallinen akkreditointielin pystyy luotettavasti todistamaan toimijan pätevyyden ja sen antamien todistusten uskottavuuden.
Betonin vedenpitävyys	Betoni katsotaan vedenpitäväksi, jos standardin SFS-EN 12390-8 mukaisesti testattu paineellisen veden tunkeumasvyvyys on enintään 100 mm.
FINAS	(Finnish Accreditation Service) Suomen kansallinen akkreditointielin.
Kalibrointi	Toimenpide, jonka avulla määritetyissä olosuhteissa saadaan tietoon mittauslaitteen tai mittausjärjestelmän näyttämien suureiden arvojen ja standardeilla toteutettujen arvojen välinen yhteys.
Mittausepävarmuus	Mittaustulokseen liittyvä parametri, joka kuvaa mittausuureen arvojen odotettua vaihtelua.
Mittauslaite	Laite, jolla mittauksen tulokset saadaan selville.
Mittaustulos	Joukko mittaussuureelle saatuja arvoja ja mittaustilannetta koskevat olennaiset tiedot.
Puristuslujuus	Kappaleen kyky vastustaa voimaa, joka puristaa kappaletta kasaan pystysuunnassa ja pyrkii saamaan kappaleen antamaan periksi.
SeAMK	Seinäjoen ammattikorkeakoulu.
Tasokoe	Kahden tai useamman laboratorion samojen tai samantyyppisten kohteiden tai materiaalien testaamisen organisointi ja suorittaminen, sekä tulosten arviointi ennalta määrätty-

jen ehtojen mukaisesti, jotta laboratorioden tulosten oikeellisuus ja vertailukelpoisuus voidaan osoittaa.

Testauslaboratorio	Teollisuuden laboratorio, palvelulaboratorio tai julkinen tutkimuslaboratorio, joiden toimialoja ovat esimerkiksi ympäristön vesi- ja maanäytteet, elintarvikkeet, juomavesi, päästömittaukset sekä materiaali- ja tuotetestaus.
Tiheys	Suure, joka ilmaisee kappaleen massan suhteessa tilavuuteen.
Tukes	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto.
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tavoite

Työn tavoitteena oli arvioida Seinäjoen ammattikorkeakoulun rakennustekniikan laboratorion betonitestauksen yhteydessä esiintyvät mittausvirheet sekä määrittää näistä johtuvat mittausepävarmuuslaskelmat. SeAMKin rakennustekniikan laboratorio on hakenut akkreditointia betonitestauksen standardien mukaiseen testaukseen ja tarvitsi tähän liittyen näitä laskelmia.

1.2 Työn tilaaja

Tämän opinnäytetyön tilaaja oli SeAMKin rakennustekniikan laboratorio. SeAMKin ylläpitäjä on vuoden 2014 alusta lähtien ollut Seinäjoen Ammattikorkeakoulu Oy. (SeAMK Info, [viitattu 5.3.2017].)

Seinäjoen ammattikorkeakoulu on laaja-alainen alueellinen korkeakoulu. Se tarjoaa koulutusta sekä tutkimus- ja kehittämispalveluja kuudella koulutusalueella. Niihin kuuluvat liiketalouden ala, luonnonvara-ala, kulttuuriala, ravitsemisala, sosiaali- ja terveysala sekä tekniikan ala. (SeAMK toimii, [viitattu 30.11.2016].)

SeAMKilla on toimintaa kolmella eri kampuksella. Se on pyrkinyt keskittämään toimintaa Seinäjoelle Framin kampusalueelle syksystä 2013 lähtien. Framilla toimii tällä hetkellä liiketalouden, kulttuurin, tekniikan ja ravitsemisalalan yksiköt. Kampusalueella, joen toisella puolella, opiskelevat puolestaan sosionomit ja geronomit. Koskenalan kampus sijaitsee Seinäjoen keskussairaalan läheisyydessä ja siellä toimivat fysioterapeutti, sairaanhoitaja- ja terveydenhoitajakoulutukset. SeAMKin kolmas kampus sijaitsee puolestaan Ilmajoella ja sinne sijoittuu luonnonvara-alan agrologikoulutus. (SeAMK toimii, [viitattu 30.11.2016].)

SeAMKin laboratorio jakautuu rakennustekniikan, auto- ja työkonetekniikan laboratorioihin. Laboratoriorakennus (kuva 1) valmistui vuonna 2015 ja se sijaitsee Framin kampuksen välittömässä läheisyydessä. Vanha rakennustekniikan laboratorio sijaitsi Seinäjoen Törnävällä, noin viiden kilometrin päässä Framin kampuksesta.

SeAMKin rakennustekniikan laboratorio on ensisijaisesti rakennettu opetustarkoitukseen. Sitä hyödyntävät koulutuksessaan rakennustekniikan rakennusmestari- ja rakennusinsinööriopiskelijat. (Rakennustekniikan laboratorio, [viitattu 28.3.2017].)

SeAMKin rakennustekniikan laboratorio tarjoaa monipuolisia palveluja eri asiayhteyksissä soveltavassa tutkimuksessa, tuotekehityksessä ja testauksessa. Rakennustekniikan laboratorion virallisiin betonitestauspalveluihin kuuluvat

- puristuslujuuden
- vesitiiveyden ja
- tiheyden määritykset. (Rakennustekniikan laboratorio, [viitattu 28.3.2017].)



Kuva 1. SeAMKin laboratorio, joka valmistui vuonna 2015 (Rakennustekniikan laboratorio, [viitattu 28.3.2017]).

2 LABORATORION BETONITESTAUKSEN AKKREDITOINTI

Akkreditoinnilla tarkoitetaan pätevyyden toteamista ja arviointia. Se on kansainvälisiin kriteereihin perustuva menettelytapa. Akkreditoinnin avulla pystytään todistamaan sekä toimijan pätevyys että sen antamien todistusten luotettavuus. (Akkreditointi 2016.) Testaus-, tarkastus-, sertifiointi- ja kalibroitamistoimintaa harjoittavat organisaatiot, vertailumittausten järjestäjät, todentajaorganisaatiot sekä EMAS-todentajat voivat hakea akkreditointia FINAS-akkreditointipalvelulta (Akkreditointialueet 2016).

Akkreditointivaatimukset perustuvat kansainvälisiin ISO 17000- ja ISO 15000-sarjan standardeihin sekä niitä vastaaviin oppaisiin (Palvelut 2016). Ennen akkreditointipäätöstä tehtävässä arviointiprosessissa varmistetaan, että toimija täyttää standardissa kuvatut vaatimukset esitetyllä pätevyysalueella. Tulosten oikeellisuus ja vertailukelpoisuus on pystyttävä osoittamaan. (Akkreditointi 2016.)

Akkreditointitoiminnassa noudatetaan maailmanlaajuisesti yhtenäisiä toimintatapoja ja vaatimuksia. FINASin toiminta on todettu kansainvälisissä arvioinneissa tasa-vertaiseksi muiden maiden akkreditointitoiminnan kanssa. Tämä mahdollistaa sen, että Suomessa akkreditoitujen toimijoiden antamat todistukset ja tulokset voidaan hyväksyä maailmanlaajuisesti. (Akkreditointi 2016.)

2.1 Testauslaboratoriot

Testauslaboratorion akkreditoinnilla voidaan osoittaa, että laboratorio tuottaa luotettavia tuloksia niillä testausmenetelmillä, jotka kuuluvat sen akkreditoituun pätevyysalueeseen. Akkreditoidut testauslaboratoriot ovat teollisuuden laboratorioita, palvelulaboratorioita tai julkisia tutkimuslaboratorioita. Laboratorioiden toimialoja ovat esimerkiksi elintarvikkeet, juomavesi, ympäristön vesi- ja maanäytteet, päästömittaukset sekä materiaali- ja tuotetestaus. (Testauslaboratoriot 2016.)

Akkreditoinnin avulla testauslaboratorio pystyy osoittamaan pätevyytensä asiakkailleen. Monissa tarjouskilpailussa edellytetään, että pätevyys osoitetaan akkreditoinnilla. Myös monet viranomaiset hyödyntävät testauslaboratorioiden akkreditoin-

tia, kun nämä hyväksyvät toimijoita viranomaistehtäviin. Tällöin vaatimukset pätevyydelle on määritelty lainsäädännössä. Testauslaboratorioiden akkreditointivaatimus on standardi SFS/EN ISO/IEC 17025:2005. (Testauslaboratoriot 2016.)

2.2 FINAS

Kaikissa EU-maissa on vain yksi akkreditointielin. Suomessa akkreditointia tarjoaa FINAS-akkreditointipalvelu, joka on Turvallisuus- ja kemikaalivirastossa toimiva yksikkö. (FINAS 2016.)

FINAS on nimetty Suomessa eurooppalaisen lainsäädännön mukaiseksi kansalliseksi akkreditointielimeksi, ja toiminnasta on säädetty lailla. Eurooppalaisen akkreditointijärjestelmän mukaan akkreditoinnin tulee jäsenmaissa olla valtion toimesta järjestetty yleishyödyllinen palvelu, joka ei tuota voittoa ja johon ei kuulu kilpailua markkinoilla. (FINAS 2016.)

3 BETONINTESTAUSTOIMINTA

Betonin testauksella varmistetaan, että betonin laatu täyttää erilaisissa normeissa esitetyt vaatimukset (Rakentamisen tuotteiden testaus, [viitattu 13.3.2017]). Betonirakenteiden valmistuksen aikana suoritetaan laadunvalvontaa, jolla varmistetaan rakenteiden kelpoisuus.

3.1 Kovettuneen betonin testaus

Kovettuneen betonin ominaisuuksia mitataan joko normikoe-kappaleiden tai rakennekoekappaleiden avulla. Normikoe-kappaleet valmistetaan betonoinnin yhteydessä, kun taas rakennekoekappaleet porataan valmiista rakenteesta.

Kovettuneen betonin säilyvyytestit tulee tehdä päteväksi osoitetussa testauslaboratoriossa. Testauslaboratorion pätevyys voidaan todistaa esimerkiksi akkreditoinnilla. (Betoninormit BY 65 2016, 96.)

Betonin valmistaja voi suorittaa itse betoniin liittyvät lujuuskokeet. Tässä tapauksessa puristuslujuuden testauksen tasotarkastus tulee tehdä vuosittain päteväksi osoitetussa testauslaboratoriossa käyttäen tarkastuksen suorittajan ohjeita. (Betoninormit BY 65 2016 96.)

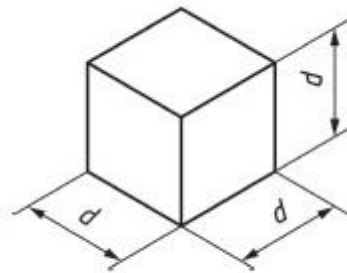
3.1.1 Koekappaleiden ja muottien vaatimukset

Betoninvalmistaja voi käyttää joko kalibroituja tai kalibroimattomia koekappalemuotteja. Kalibroidut muotit helpottavan valmistajan työtä, sillä niitä käytettäessä ennen testausta tarvitsee määrittää vain perusmitat. Kalibroimattomilla muoteilla puolestaan on määritettävä myös suorakulmaisuus ja kuormituspintojen tasomaisuus. (Betoninormit BY 65 2016, 96.)

Jokaisessa kalibroidussa muotissa täytyy olla muotin ja sen osat yksilöivät tunnistemerkinnot. Nämä liitetään osaksi koekappaleen tunnusta. (Betoninormit BY 65 2016, 97.)

Muotit on kalibroitava vähintään kerran vuodessa, mutta ei kuitenkaan useammin kuin 200 käyttökerran välein. Jos kalibroidulla muotilla tehdyn koekappaleen nimeytyt mitat eivät täytä kalibrointijakson aikana koekappaleen mittapoikkeamavaatimusta, tulee muotin kunto tarkastaa ja kalibrointi uusua. Muotin kalibrointi voidaan suorittaa myös mittaamalla niihin valetun betonikoekappaleen mitat. (Betoninormit BY 65 2016, 97.)

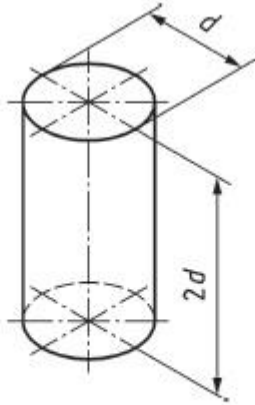
Kootun kalibroidun kuutiomuotin määritellyn mitan (d) sallittu mittapoikkeama on 0,5 %. Muotin neljän sivupinnan sallittu tasomaisuuspoikkeama on $0,0005d$ ja muotin pohjalevyn yläpinnan sallittu tasomaisuuspoikkeama on $0,001d$. Muotin sivujen sallittu kohtisuoruuspoikkeama suhteessa viereiseen sivuun on 0,5 mm. (Betoninormit BY 65 2016, 97.) Kuutiomaisen koekappaleen nimellimitat on esitetty kuviossa 1. Määritellyt mitat voidaan valita ± 10 % tarkkuudella nimellimitoista (SFS-EN 12390-1 2013, 5).



d , mm	100	150	200	250	300
----------	-----	-----	-----	-----	-----

Kuvio 1. Kuution nimellimitat (SFS-EN 12390-1 2013, 5).

Kootun kalibroidun lieriömuotin määritellyn halkaisijan (d) ja määritellyn korkeuden ($2d$) sallittu mittapoikkeama on 0,5 %. Muotin pohjalevyn yläpinnan sallittu tasomaisuuspoikkeama on $0,0005d$. Muotin sivujen sallittu kohtisuoruuspoikkeama suhteessa viereiseen sivuun on 0,5 mm. (Betoninormit BY 65 2016, 97.) Lieriömäisen koekappaleen nimellimitat on esitetty kuviossa 2. Määritellyt mitat voidaan tässäkin tapauksessa valita ± 10 % tarkkuudella nimellimitoista (SFS-EN 12390-1 2013, 6).



d , mm	100	113 ^a	150	200	250	300
^a Tämän kuormituspinta-ala on 10 000 mm ² .						

Kuvio 2. Lieriön nimellimitat
(SFS-EN 12390-1 2013, 5).

3.1.2 Koekappaleiden valmistus ja säilytys

Koekappaleen valmistukseen ja säilytykseen liittyvät vaatimukset on esitetty standardissa EN 12390-2.

Koekappaleen betonimassan tiivistysvälineenä voidaan käyttää sauvatärytintä, tärypöytää, sulloinsauvaa tai sullointankoa. Tiivistysmenetelmästä ja betonin notkeudesta riippuen muotit tulee täyttää kahdessa tai useammassa kerroksessa, jotta saadaan varmistettua betonin täydellinen tiivistyminen. Itsetiivistyvälle betonille mekaanista tiivistystä ei tietenkään saa tehdä ja muotti tulee täyttää yhdellä kerrolla. (SFS-EN 12390-2 2009, 5.)

Valmistuksen jälkeen koekappaleet tulee myös merkitä selvästi ja pysyvällä tavalla, kuitenkin vahingoittamatta koekappaletta. Koekappaleiden jäljitettävyydestä näytteenotosta testaukseen saakka on myös huolehdittava. (SFS-EN 12390-2 2009, 6.)

Koekappaleiden annetaan olla muoteissa vähintään 16 tunnin ajan, mutta ei pidempään kuin kolme päivää, suojattuna iskuilta, tärinältä ja kuivumiselta 20 ± 5 °C lämpötilassa (tai 25 ± 5 °C kuumassa ilmastossa). Muotista poiston jälkeen koekappaleita säilytetään aivan testaukseen saakka vedessä, jonka lämpötila on 20

± 2 °C tai kosteushuoneessa 20 ± 2 °C lämpötilassa ja ≥ 95 % suhteellisessa kosteudessa. (SFS-EN 12390-2 2009, 6.)

3.1.3 Koekappaleiden puristuslujuus

Koekappaleiden puristuslujuutta voidaan testata vain puristustestauskoneella, joka täyttää standardin EN 12390-4 vaatimukset. Koekappaleiden tulee puolestaan täyttää standardin EN 12390-1 vaatimukset. Jos koekappaleen mitat tai muodot poikkeavat näistä, tulee ne hylätä tai tasoittaa. (SFS-EN 12390-3 2009, 4-5.)

Testauskoneen kantavat pinnat pyyhitään puhtaaksi ja mahdollinen irtonainen kiviaines tai muu vieras aines puhdistetaan ja poistetaan koekappaleen kuormituslevyjä vasten tulevilta pinnoilta. Koekappaleiden pinnoista puolestaan pyyhitään ylimääräinen kosteus ennen niiden asettamista testauskoneeseen. (SFS-EN 12390-3 2009, 5.)

Kuutiokoekappale keskitetään testauskoneeseen siten, että kuorma kohdistetaan kohtisuoraan valusuuntaa vastaan. Koekappale keskitetään testauskoneen alakuormituslevylle 1 % tarkkuudella kuutiomaisen koekappaleen nimetystä mitasta tai lieriömäisen koekappaleen nimetystä halkaisijasta. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi kuutiokoekappale, jonka sivun pituus on 150 mm, täytyy keskittää alakuormituslevylle 1,5 mm tarkkuudella. (SFS-EN 12390-3 2009, 5.)

Tasainen kuormituksen kasvunopeus valitaan väliltä $0,6 \pm 0,2$ MPa/s. Alukuormitus saa olla enintään noin 30 % murtokuormasta ja sitä lisätään tasaisesti valitulla vakionopeudella ± 10 %, kunnes kuormaa ei voida enää lisätä. Lopulta suurin saavutettu kuorma kirjataan muistiin. (SFS-EN 12390-3 2009, 5.)

3.1.4 Kovettuneen betonin tiheys

Menetelmä, jota käytetään kovettuneen betonin tiheyden mittaamiseen, on määritelty standardissa EN 12390-7. Tässä standardissa betonin kosteustilat jaetaan kolmeen eri luokkaan:

- vastaanottotila
- veden kyllästämä tila
- uunikuivattu (SFS-EN 12390-7 2009, 4).

Betonikoekappaleen massa voidaan määrittää näissä kaikissa kosteustiloissa. Vastaanottotilassa koekappaleen massa punnitaan 0,01 % tarkkuudella kappaleen massasta. Veden kyllästämä tila saadaan aikaan, kun koekappale upotetaan 20 ±2 -asteiseen veteen kunnes painon muutos 24 tunnin aikana on pienempi kuin 0,2 %. Ennen jokaista punnitusta ylimääräinen vesi pyyhitään kappaleen pinnalta. Uunikuivattu kosteustila saavutetaan, kun koekappale kuivataan uunissa 105 ±5 asteen lämpötilassa, kunnes painon muutos 24 tunnin aikana on pienempi kuin 0,2 %. Aina ennen punnitusta koekappaleen annetaan jäähtyä lähellä huonelämpötilaa ilmatiiviissä astiassa tai eksikaattorissa. (SFS-EN 12390-7 2009, 5.)

Koekappaleen tilavuus voidaan selvittää kolmella eri menetelmällä:

- vesipunnitus
- laskenta käyttäen todellisia mittoja
- kuutioille laskemalla käyttäen tarkistettuja, nimettyjä mittoja (SFS-EN 12390-7 2009, 5).

Vesipunnituksessa koekappaleen massa määritetään ensin vedessä. Koekappale asetetaan ripustuskoriin ja vesi allasta nostetaan, kunnes koekappale on upoksissa ja veden pinta on altaassa samalla tasolla kuin se oli ilman koekappaletta. Lopuksi koekappaleen (m_w) sekä ripustuskorin (m_{st}) näennäinen yhteismassa ($m_{st} + m_w$) kirjataan muistiin kilogrammoina. (SFS-EN 12390-7 2009, 6.)

Seuraavaksi määritetään koekappaleen massa ilmassa. Se poistetaan ripustuskorista ja ylimääräinen vesi pyyhitään pois pinnoilta kostealla pyyhkeellä. Sitten koekappale asetetaan vaa'alle ja punnitaan kappaleen massa (m_a). Näiden mittausten jälkeen kappaleen tilavuus voidaan selvittää kaavasta

$$V = \frac{m_a - [(m_{st} + m_w) - m_{st}]}{\rho_w} \quad (1)$$

jossa V on kappaleen tilavuus ja ρ_w on veden tiheys 20 °C:ssa. (SFS-EN 12390-7 2009, 6.)

3.1.5 Paineellisen veden tunkeumasyyvyys

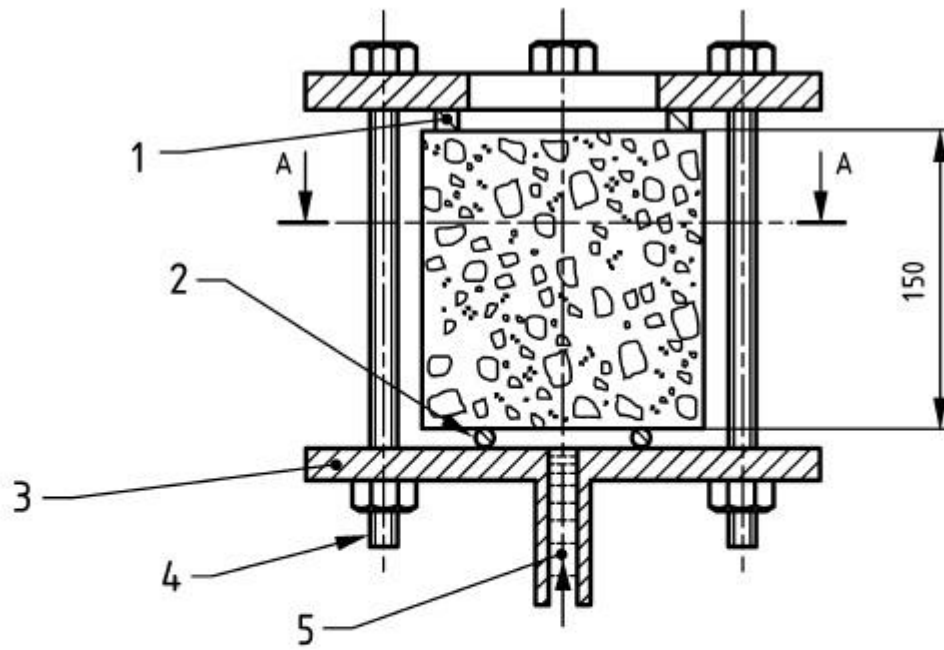
Koekappaleen tulee olla muodoltaan kuutiomainen, lieriömäinen tai prismamainen. Koekappaleen testattavan pinnan vähimmäismitan tulee olla 150 mm ja muiden mittojen vähintään 100 mm. (SFS-EN 12390-8 2009, 6.)

Koekappaleen vedenpaineelle altistettava pinta karhennetaan esimerkiksi teräsharjalla välittömästi muotin purkamisen jälkeen. (SFS-EN 12390-8 2009, 6.)

Koe aloitetaan koekappaleen ollessa vähintään 28 vuorokauden ikäinen. Vedenpainetta ei saa kohdistaa koekappaleen teräshierrettyyn valupintaan. Koekappale asetetaan koelaitteeseen ja siihen kohdistetaan (500 ± 50) kPa suuruinen vedenpaine (72 ± 2) tunnin ajan. Kokeen aikana tarkkaillaan ajoittain koekappaleen vedenpaineesta vapaita pintoja veden läsnäolon havaitsemiseksi. Jos vuotoja havaitaan, arvioidaan tuloksen kelpoisuus ja merkitään tapahtuma muistiin. (SFS-EN 12390-8 2009, 6.)

Kun vedenpaine on vaikuttanut määrätyn ajan, koekappale poistetaan laitteesta. Vedenpaineen vaikutuksen alaisena ollut pinta pyyhitään ylimääräisen veden poistamiseksi. Koekappale halkaistaan kahtia kohtisuoraan vedenpaineen vaikutuksen alaisena ollutta pintaa vastaan. Koekappaleta halkaistaessa, ja tarkastelun aikana, asetetaan koekappaleen vedenpaineen vaikutuksen alaisena ollut pinta alaspäin. Heti kun halkaisupinta on kuivunut sen verran, että veden tunkeutumisrintama on selvästi havaittavissa, merkitään vesirintaman sijainti koekappaleeseen. Mitataan suurin tunkeumasyyvyys koalueen alla ja merkitään se muistiin millimetrim tarkkuudella. (SFS-EN 12390-8 2009, 6.)

Betonin katsotaan olevan vesitiivistä, jos paineellisen veden tunkeumasyyvyys on kappaleessa enintään 100 mm (Betoninormit BY 65 2016, 97).



Selitte

- | | |
|---|------------------------------|
| 1 | Kuormituslista |
| 2 | Tiivisterengas |
| 3 | Kierteisiin kiinnitetty levy |
| 4 | Kierretanko |
| 5 | Paineellinen vesi |
| 6 | Kierteisiin kiinnitetty levy |

Kuvio 3. Esimerkki koejärjestelystä (SFS-EN 12390-8 2009, 5).

4 MITTAUSVIRHEIDEN ARVIOINTI BETONIN TESTAUKSESSA

4.1 Mittausvirheet

Mitään mittausta ei voida tehdä täysin virheettömästi. Mittauksen aikana syntyy aina virheitä, jotka vaikuttavat tulokseen. Mittaustulos on siis vain arvio mitattavasta arvosta. Toistomittauksien avulla on kuitenkin mahdollista tehdä arvio siitä, kuinka paljon mittausvirheet vaikuttavat tuloksiin.

Virheiden hallinnan kannalta on tärkeää luokitella virheitä, jotta erilaisia virheitä voidaan käsitellä mahdollisimman tehokkaasti, niille luonteenomaisella tavalla. Virheet jaetaan niiden hallinnan näkökulmasta kolmeen ryhmään: systemaattisiin, karkeisiin ja satunnaisiin virheisiin. (Laurila 2008, 33.)

Mittauksissa pyritään tietoisesti pääsemään tilanteeseen, jossa havainnoissa on vain satunnaisia virheitä. Jotta tällainen tilanne olisi mahdollinen, systemaattiset virheet pyritään määrittämään ja poistamaan havainnoista mittauslaitteiden kalibroinnin, havaintoihin tehtävien korjausten ja havaintotekniikan keinoin. Karkeat virheet puolestaan pyritään havaitsemaan mittauksia suoritettaessa tai viimeistään mittausten laskennassa, ja virheelliseksi epäillyt havainnot hylätään ja tarvittaessa uusitaan. Jos systemaattiset ja karkeat virheet onnistutaan poistamaan, jäljelle jäävät ainoastaan satunnaiset virheet. Niiden suuruutta voidaan arvioida ja hallita mittausten toiston avulla. (Laurila 2008, 34–35.)

4.1.1 Karkeat virheet

Karkeat virheet johtuvat yleensä inhimillisistä erehdyksistä. Myös mittauslaitteen toimintahäiriö tai poikkeavat mittausolosuhteet kokeen aikana aiheuttavat karkean virheen. Mittaajan tekemiä virheitä ovat esimerkiksi väärin luettu mittausarvo tai kirjausvirhe. Karkeiden virheiden suuruusluokka voi olla moninkertainen muihin virheisiin verrattuna. Karkealle virheelle on aina löydettävissä jokin syy, mutta se vaikuttaa vain yksittäisiin havaintoihin. (Laurila 2008, 33.)

4.1.2 Systemaattiset virheet

Systemaattinen virhe vääristää tulosta tiettyyn suuntaan ja toistettaessa mittausta se toistuu yhtä isona, jos mittaukset tehdään samoissa olosuhteissa. Systemaattinen virhe johtuu käytetystä mittalaitteesta tai mittausmenetelmästä.

Systemaattinen virhe on jossakin funktionaalisessa yhteydessä mittaushavaintoon ja/tai joihinkin vaikutussuureisiin. Esimerkiksi kaikissa havainnoissa samansuuruisena ilmenevä virhe on systemaattinen virhe. Systemaattiselle virheelle on periaatteessa aina löydettävissä jokin syy, joka vaikuttaa kaikkiin havaintoihin tai tiettyyn ryhmään havaintoja. (Laurila 2008, 33.) Esimerkiksi viallinen mittari voi aiheuttaa mittaustulokseen systemaattisen virheen.

4.1.3 Satunnaiset virheet

Satunnainen virhe on mittauksissa toistuva, satunnainen tilastollinen vaihtelu. Tämä virhetyyppi ei vaikuta yleensä mittaustulokseen paljoa, sillä toistomittauksien avulla positiiviset ja negatiiviset satunnaisvirheet kumoavat toisensa. Satunnaiset virheet vaikuttavat kaikkiin havaintoihin tavalla, jota ei voida täsmällisesti ennustaa. (Laurila 2008, 33.)

4.2 Virheet betonin tiheyden ja puristuslujuuden määrittämisessä

4.2.1 Koekappale

Betonin puristuslujuuden testauksessa koekappaleen mittatoleranssit on määritetty standardissa SFS-EN 12390-3. Erityisesti koekappaleen tiheyttä määritettäessä on tärkeää, että kappaleesta otetaan juuri oikeat mitat, sillä pienikin mittausvirhe voi vaikuttaa kokeen lopputulokseen huomattavasti. Tällaisia mittavirheitä voivat aiheuttaa muun muassa koekappaleen pinnan laatu, karheus ja aaltomaisuus. Myös koekappaleen puhdistamisesta on huolehdittava, sillä koekappaleen pinnalla oleva lika sekä pöly voivat vaikuttaa koekappaleesta saatuihin mittatuloksiin.

4.2.2 Mittaaja

Mittaajan tiedot ja taidot ovat tärkeässä osassa, jotta mittaus pystytään tekemään mahdollisimman tarkasti ja luotettavasti. Mittaajalla täytyy olla tiedot kaikista voimassa olevista standardeista, jotka liittyvät kyseiseen mittaukseen.

Mittaajan ammattitaidon lisäksi myös luonteenpiirteillä voi olla vaikutus mittaustuloksiin. Tällaisia luonteenpiirteitä ovat muun muassa huolellisuus ja stressinkestokyky. Näitä mittaajan ominaisuuksia on vaikea, ellei jopa mahdoton muuttaa ja ne vaihtelevat yksilöllisesti ihmisestä riippuen.

4.2.3 Olosuhteet

Mittausolosuhteilla on merkittävä vaikutus kokeiden tuloksiin. Näihin olosuhteisiin kuuluvat muun muassa testaushuoneen lämpötila ja kosteus. Jotta mittaustuloksia voidaan pitää luotettavina, on olosuhteiden pysyttävä mittauspaikassa riittävän stabiileina.

Mittausolosuhteiden lisäksi on myös huolehdittava siitä, että koekappaleet valmistetaan ja säilytetään oikeissa olosuhteissa. Betonistandardi SFS-EN 12390-2 määrittelee sallitut olosuhteet koekappaleiden valmistukselle ja säilytykselle.

4.2.4 Mittauslaitteet

Myös mittauslaitteissa esiintyy epätarkkuutta. Tästä epätarkkuudesta johtuva virheen suuruus tulee ottaa huomioon mittaustulosta ilmoitettaessa mittauspöytäkirjassa. Myös mittauslaitteen lukematarkkuus voi aiheuttaa epätarkkuutta mittaustuloksiin. (Mittausvirheistä, [viitattu 28.3.2017].) Mittauslaitteissa esiintyvää virhettä pyritään tarkkailemaan säännöllisellä kalibroinnilla.

4.2.5 Mittausmenetelmä

Mittausmenetelmän virhe johtuu tietyn mittausmenetelmän käytöstä tai tähän menetelmään sisältyvistä olettamuksista. Koska mittaaja valitsee käytetyn mittausmenetelmän, ovat tämän henkilön tiedot ja taidot tärkeässä osassa. Esimerkiksi koekappaleen tilavuus voidaan määrittää betonistandardin SFS-EN 12390-7 mukaan kolmella eri tavalla.

4.3 Virheet paineellisen veden tunkeumasyvyyden testauksessa

Jotta koetulokset olisivat luotettavia, on koekappaleen täytettävä mittavaatimukset. Kokeen tekijän on myös huolehdittava, että koekappale jälkihoidetaan standardien vaatimalla tavalla. Jälkihoitoon kuuluu muun muassa sementtiliimakerroksen poisto koekappaleen vedenpaineelle altistettavasta pinnasta.

Paineellisen veden tunkeumasyvyyden mittaamiseen käytetään työntö- tai rullamittaa. Työntömitalla todetut tulokset ovat tarkempia kuin normaalilla rullamitalla mitatut tulokset, sillä työntömitan avulla pituus saadaan mitattua 0,1-0,02 millimetrin tarkkuudella. Rullamitalla tämä tarkkuus on puolestaan yhden millimetrin luokkaa.

Paineellisen veden tunkeumasyvyyden testauksessa koekappaleeseen kohdistetaan noin 5 baarin suuruinen vedenpaine. Vedenpaineen suuruus tarkistetaan digitaaliseen mittarista, joka näyttää paineen 0,0001 baarin tarkkuudella.

5 MITTAUSEPÄVARMUUS

Mittaustulos on aina vain arvio mitattavasta kohteesta. Jotta mittaustuloksista voitaisiin tehdä johtopäätöksiä, täytyy selvittää myös mittauksessa vaikuttava mittausepävarmuus. (Andersson 1997, 147.)

Mittausepävarmuus kuvaa mittaustulosten vaihtelua, joka on määritetty virherajojen avulla. Tyypillisesti tämä virheraja esitetään mittaustuloksen perässä \pm lukuna. (Tikka 2007, 389.)

5.1 Mittausepävarmuuden määrittäminen

Mittausepävarmuuden laskeminen, arviointi ja ilmoittaminen ovat vaikeita, sillä mittausepävarmuus johtuu monesta eri asiasta. Mittausepävarmuus riippuu

- mittalaitteesta
- mittauskohteesta
- mittaajasta
- mittausolosuhteista ja
- käytetystä menettelystä. (Esala 2003, 56.)

Mittausepävarmuutta ei voida määrittää yksityiskohtaisesti ja tarkasti ilman koetoimintaa. Usein koetoiminnan avulla on helpompi päästä käsiksi asioihin, joiden pelkkä teoreettinen käsittely olisi monimutkaista. Kokeiden avulla voidaan selvittää se osa mittausepävarmuudesta, joka johtuu satunnaisista virhelähteistä. Kun koheet ovat laajempia ja pitkäaikaisempia, yhä suurempi osa yksittäisten mittauksen systemaattisista virhelähteistä muuttuu satunnaisiksi. (Esala 2003, 59.)

Yksi kaikkien mittausepävarmuuslaskelmien keskeisimpiä kohteita on kaikkiin mittauksiin liittyvä satunnainen vaihtelu. Se voidaan helposti saada selville toistamalla mittauksia, eikä siten vaadi muuta kuin aikaa ja viitseliäisyyttä mittausten toistami-

seen. Satunnaisvirheen vaikutus saadaan mittausepävarmuuslaskelmassa toistettujen mittausten keskihajonnasta. Keskihajonnan kaava on

$$s = \frac{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2}}{(n-1)} \quad (2)$$

Jotta tällä kaavalla laskettu keskihajonta olisi luotettava, täytyy tehtyjen mittausten lukumäärä olla isompi kuin 10 mittausta. Jos mittauksia ei voida suorittaa tarpeeksi, on keskihajonta kerrottava varmuuskertoimella. (Esala 2003, 59.)

Koemittauksia käytetään satunnaisten virheiden vaikutuksen selvittämisen lisäksi myös muiden virhelähteiden suunnan ja suuruuden selvittämiseen. Näissä koemittauksissa jotakin mittaukseen mahdollisesti vaikuttavaa asiaa muutetaan hallitusti ja toistetaan mittaus. Tällaisia koemittauksia ovat esimerkiksi mittausvoiman, tuennan ja lämpötilaeron vaikutuksen selvittäminen rakenteissa ja tilanteissa, joiden laskeminen teoreettisesti olisi vaikeata tai jopa mahdotonta. (Esala 2003, 59.)

Kun arvioidaan mittausepävarmuutta, kaikkia suureita, joiden arvoja ei tunneta tarkasti, pidetään satunnaismuuttujina. Nämä satunnaismuuttujat voivat saada minkä tahansa arvon tietyn todennäköisyysjakauman mukaisesti. Satunnaismuuttujina käsitellään myös vaikutussuureita. (Esala 2003, 65.)

5.1.1 Tyypin A epävarmuus

Mittausepävarmuus u arvioidaan tyypin A menettelyssä tilastollisin menetelmin useista eri mittaustuloksista. Kalibroinneissa tätä menettelyä sovelletaan, jos mittauksset on tehty samoissa olosuhteissa. Tässä tapauksessa standardiepävarmuuden arviona käytetään mittaustulosten keskiarvon keskihajontaa. (Esala 2003, 66.)

Kuten aiemmin todettiin, epävarmuuden arvio ei ole luotettava, jos mittausten lukumäärä on pieni. Tällöin mittausten lukumäärää tulisi kasvattaa. (Esala 2003, 66.)

5.1.2 Tyypin B epävarmuus

Tyypin B epävarmuudella tarkoitetaan sellaista mittausepävarmuutta u , joka arvioidaan muiden kuin tilastollisten menetelmien avulla. Tällöin arvio perustuu muihin perusteltuihin tietoihin, joita ovat

- aikaisemmat mittaustulokset
- kokemus ja/tai yleinen tietämys tietyn aineen tai laitteen ominaisuuksista
- valmistajan spesifikaatiot
- kalibrointitodistuksista tai muista luotettavista asiakirjoista saadut tulokset
- käsikirjoista saadut taulukkoarvot ja niiden epävarmuudet. (Esala 2003, 66.)

Tyypin B epävarmuutta arvioitaessa olemassa olevan informaation hyväksikäyttö perustuu kokemukseen ja aikaisempaan tietoon. Tyypin B epävarmuusarvio voi olla jopa yhtä luotettava kuin tyypin A epävarmuusarvio. (Esala 2003, 66.) Esimerkiksi mittauslaitteiden kalibrointitodistukset ovat tyypillisiä lähteitä tyypin B epävarmuusarvioille.

5.2 Mittausepävarmuuden laskeminen

Anderssonin (1997, 149) mukaan mittauksen epävarmuus u koostuu kahdesta komponentista, satunnaisesta virheestä ur ja systemaattisesta virheestä us

$$u = ur + us \quad (3)$$

Jotta mittauksessa esiintyvä kokonaisepävarmuus saataisiin, yhdistetään eri vaiheiden yksittäiset epävarmuustekijät. Näin saadaan tulokseksi yhdistetty epävarmuus u_c , jonka kaavan Andersson (1997, 149) esittää seuraavasti

$$u_c = \sqrt{\sum u_i^2} \quad (4)$$

5.3 Kokonaisepävarmuus

Yhdistettyä epävarmuutta u_c käytetään mittauksen epävarmuuslukuna. Johtuen esimerkiksi kaupallisista näkökulmista, tulee epävarmuudelle kuitenkin määrittää arvo, jossa mukana on varmuuskerroin. Tällaista epävarmuuslukua kutsutaan kokonaisepävarmuudeksi. Kokonaisepävarmuuden U kaava on

$$U = ku_c \quad (5)$$

Mittaustulos ilmoitetaan muodossa $Y = y \pm U$, mikä tarkoittaa sitä, että tulos on kertoimen k ilmoittamalla todennäköisyydellä ilmoitetulla välillä. Kalibrointitodistuksissa kertoimelle k käytetään arvoa kaksi, mikä vastaa noin 95,45 % todennäköisyyttä. (Andersson 1997, 154–155.)

6 PURISTUSLUJUUDEN TASOKOKEET

SeAMK on osallistunut Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n vuosittaisiin puristuslujuuden testauksen tasokokeisiin, joissa testauslaboratoriot mittaavat koekappaleiden puristuslujuudet ja tiheydet. SeAMKin lisäksi kokeeseen osallistuu 13 muuta testauslaboratoriota ympäri Suomea, ja mukana on myös yksi laboratorio Tallinnasta.

Puristustasokokeissa VTT toimittaa jokaiselle testauslaboratoriolle koekappaleet, jotka on kaikki valmistettu samana päivänä ja samasta betonierästä. Testauslaboratoriot tekevät puristuskokeen koekappaleille myös samana päivänä, jotta tulokset olisivat mahdollisimman vertailukelpoisia keskenään. Betonikoekappaleiden lujuus pyritään mittaamaan 28 päivän ikäisenä, mutta jos tämä ei jostain syystä onnistu, yksittäisten testauslaboratorioiden on mahdollista puristaa koekappale myös myöhemmin ja osallistua VTT:n kanssa kahdenkeskiseen vertailuun. Testaus tehdään kuitenkin aina vastaavasti kuin 28 päivän kappaleille. Betonin lujuusluokka voi vaihdella tasokokeissa eri vuosien välillä. Esimerkiksi vuoden 2015 tasokokeessa käytetty betoni oli lujuusluokaltaan K45 (C35/45), kun taas vuoden 2013 tasokokeessa betonin lujuusluokka oli K30 (C25/C30).

Esimerkki puristustasokokeen tuloksista löytyy liitteestä 1. Tämä tasokoe tehtiin vuonna 2015 ja silloin mukana oli myös Vaasan testauslaboratorio, joka ei ottanut enää osaa vuoden 2016 puristustasokokeeseen. Kuten kuviosta huomataan, Tallinnan testauslaboratorio osallistui kahdenkeskiseen vertailuun VTT:n kanssa ja nämä puristivat koekappaleet vasta 39 päivän ikäisinä. Nämä kuviot löytyvät liitteestä 1.

6.1 Vuoden 2016 tasokoe

SeAMK ei osallistunut vuoden 2016 tasokokeeseen, koska näiden betonipuristin oli kokeen aikaan huollossa. SeAMK kuitenkin osallistui VTT:n kanssa kahdenkeskiseen vertailuun. Tässä kokeessa VTT ja SeAMK mittasivat koekappaleiden puristuslujuudet ja tiheydet normaalista poiketen vasta 73 päivän ikäisinä.

VTT:n ja SeAMKin kahdenkeskisen vertailun puristuslujuuden tulokset on esitetty liitteessä 2. Tulokset ovat hyvin lähellä toisiaan, sillä mittaustulosten keskiarvojen ero on vain 0,1 MN/m². SeAMKin keskihajonta on hieman VTT:n arvoa pienempi, joskin ero on vain 0,05 MN/m². Prosenttiluvuksi muunnettuna SeAMKin puristuskoneen keskihajonta oli 1,9 %, kun taas VTT:n keskihajonta oli 2,0 %.

Nämä tulokset eivät tietenkään olleet vertailukelpoisia muiden testauslaboratorioiden tulosten kanssa. Muiden testauslaboratorioiden puristuslujuuden keskiarvoksi saatiin noin 37,6 MN/m², kun taas SeAMKin keskiarvo oli 47,7 MN/m². Vertailemalla VTT:n saamia puristuslujuuden arvoja 28 ja 73 päivän ikäisille koekappaleille oli kuitenkin mahdollista arvioida, mitä SeAMKin koetulokset olisivat olleet 28 päivän ikäisille koekappaleille. Tämän tiedon saamiseksi käytettiin verrantoa

$$\frac{VTT_{28vrk}}{VTT_{73vrk}} = \frac{SeAMK_{28vrk}}{SeAMK_{73vrk}}, \quad (6)$$

jossa VTT:n arvot olivat 38,4 ja 47,8 MN/m², kun taas SeAMKin mittaama arvo 73 päivän ikäiselle koekappaleelle oli 47,7 MN/m². Tästä kaavasta SeAMKin toiseksi arvoksi saatiin noin 38,3 MN/m². Tämän jälkeen voitiin selvittää kerroin, jolla SeAMKin tulokset piti jakaa, jotta nämä vastaisivat 28 päivän ikäisten koekappaleiden puristuslujuuden arvoa. Verrannosta saadut tulokset on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Verrannon avulla saadut puristuslujuuden arvot.

Koekappale	SeAMK
	Lujuus MN/m ²
1	37,7
2	38,2
3	37,6
4	38,2
5	38,7
6	39,6
keskiarvo	38,3
keskihajonta	0,7

SeAMKin tulosten keskiarvoksi saatiin noin 38,3 MN/m². Kun SeAMKin tuloksia verrataan muiden testauslaboratorioiden tuloksiin, huomataan, että SeAMKin puristuslujuuden keskiarvo on hieman testauslaboratorioiden keskiarvoa isompi, mutta tulos sijoittuu kuitenkin tämän keskihajonnan alueelle.

6.2 Paineellisen veden tunkeumasyvyyden mittaus

Tasokokeissa on puristuslujuuden ja tiheyden lisäksi joinakin vuosina määritetty myös paineellisen veden tunkeumasvyys. Viimeisimmät tasokokeet, joissa on mitattu paineellisen veden tunkeumasvyys, ovat vuosilta 2010 ja 2005.

6.2.1 Vuoden 2005 veden tunkeumasyvyyden tasokoe

Tämän tasokokeen järjestäjänä toimi VTT. Koekappaleet valettiin näiden toimesta ja lähetettiin testauslaboratorioille. Koe tehtiin 13.5.2005 ja se suoritettiin standardin SFS-EN 12390-8 mukaan. Jokainen testauslaboratorio mittasi vedentunkeumatuloksen kahdesta koekappaleesta. Tämän tasokokeen tulokset löytyvät liitteestä 3.

Jotta betoni voidaan luokitella vedenpitäväksi, sen veden tunkeumasyyvyys saa olla enintään 100 mm. Kuten taulukosta 3 huomataan, kaikki tasokokeen mittaustulokset täyttävät tämän vaatimuksen. SeAMKin mittaustulokset vaihtelivat tässä tasokokeessa huomattavasti kahden koekappaleen välillä, sillä kappaleessa 2 mitattu veden tunkeumasyyvyys oli yli kaksinkertainen ensimmäiseen koetulokseen verrattuna. SeAMKin keskiarvo (35 mm) oli tässä kokeessa korkeampi kuin muiden testauslaboratorioiden.

Samassa tasokokeessa tutkittiin myös vedensyyvyden sekä tiheyden arvojen mahdollista yhteyttä, jolla pystyttäisiin selittämään yksittäisten kappaleiden eroavaisuudet veden tunkeumasyyvyden arvoissa. Kokeen lopputuloksissa kuitenkin todettiin, ettei veden tunkeumasyyvydellä ja tiheydellä havaittu korrelaatiota.

6.2.2 Vuoden 2010 veden tunkeumasyyvyden tasokoe

Vuoden 2010 veden tunkeumasyyvyden tasokoe suoritettiin 26.5.2010. Tämä tasokoe löytyy liitteestä 4. Tasokokeessa testattiin yksi lieriö sahaamalla se puoliksi. Sahattu pinta testattiin vedenpainetta vasten.

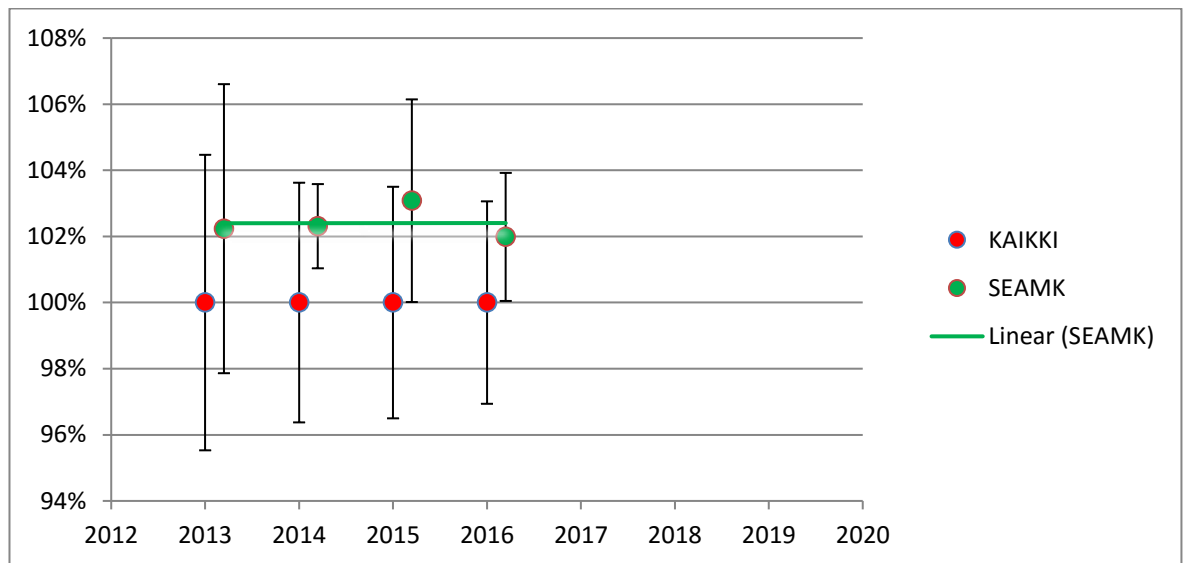
SeAMKin koekappaleessa havaittiin tässä tasokokeessa tärysauvan aiheuttama kolo, jonka vaikutusta ei otettu huomioon koetulokseen. Tulos arvioitiin veden tunkeumasyyvyden kolottamasta kohdasta.

6.3 Tasokokeiden tulosten koonti eri vuosilta

SeAMK on osallistunut vuotuisiin puristustasokokeisiin jo 90-luvulta asti, mutta kaikkia näitä tuloksia ei ole tässä koonnissa otettu huomioon. Syynä tähän on se, että SeAMK hankki vuonna 2013 uuden betonipuristuskoneen, joten tätä aiemmat tasokokeiden tulokset eivät auta tämän laitteen mittausepävarmuuden määrittämisessä. Tulokset ovat muunnettu kuvioihin prosenttimuotoon, jotta nähdään prosentuaalisesti, kuinka paljon SeAMKin puristuslujuuden sekä tiheyden arvot poikkeavat kaikkien testauslaboratorioiden keskiarvoista. Tämä helpottaa erityisesti tulosten vertailua eri vuosien välillä, kun betonin lujuusluokka vaihtelee.

6.3.1 Puristuslujuus

Kuviossa 4 on esitetty puristuslujuuden tasokokeiden tulokset vuodesta 2013 alkaen. Tästä kuviosta huomataan, että SeAMKin puristuslujuuden arvot ovat joka vuosi olleet kaikkien testauslaboratorioiden keskiarvoa korkeampia. Prosentuaalisesti ero kaikkien keskiarvoon on vaihdellut 2–3 % välillä. Keskihajonta sen sijaan on ollut prosentuaalisesti hieman pienempi.

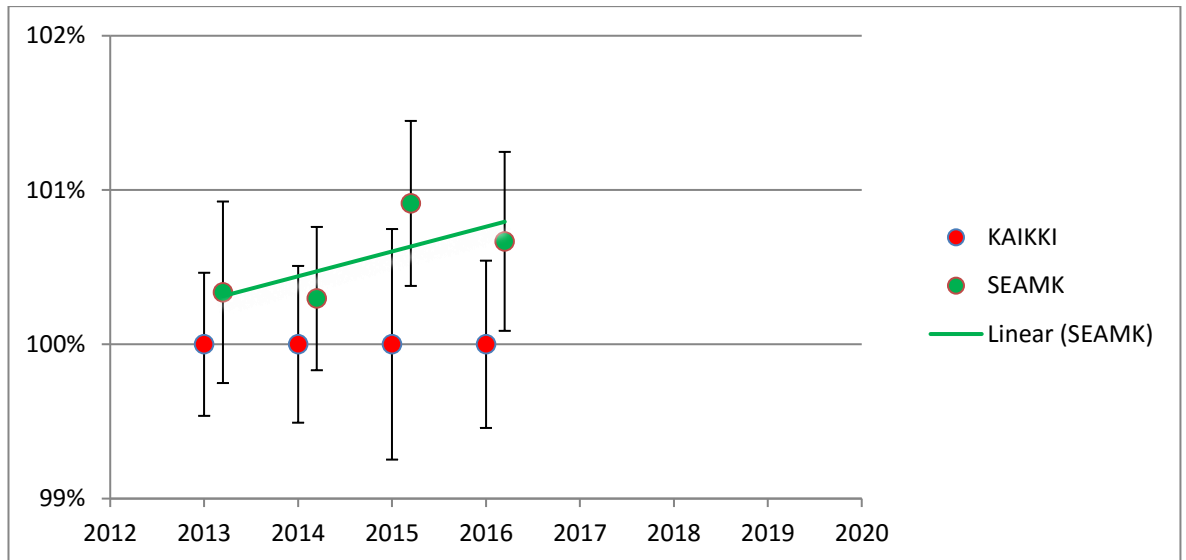


Kuvio 4. Tasokokeiden puristuslujuuksien koonti vuosilta 2013–2016.

6.3.2 Tiheys

Puristuslujuuden tasokokeissa on mitattu myös koekappaleiden tiheyksiä. Kuviossa 5 on esitetty koekappaleiden tiheyksien keskiarvot vuodesta 2013 alkaen. Myös tässä kuviossa kaikkien testauslaboratorioiden koetulosten keskiarvo on merkattu vastaamaan 100 %, jotta SeAMKin koetuloksia voitaisiin verrata siihen.

Tästä kuviosta huomataan, että SeAMKin mittaamat koekappaleiden tiheyden arvot ovat olleet aina korkeampia kuin kaikkien testauslaboratorioiden keskiarvo. Ero näiden koetulosten välillä on kuitenkin ollut ainoastaan yhden prosentin luokkaa. SeAMKin keskihajonta on puolestaan pysytellyt noin 0,5 % tienoilla jokaisessa tasokokeessa. Kaikkien testauslaboratorioiden keskihajonta on puolestaan vaihdellut välillä 0,46–0,75 %.

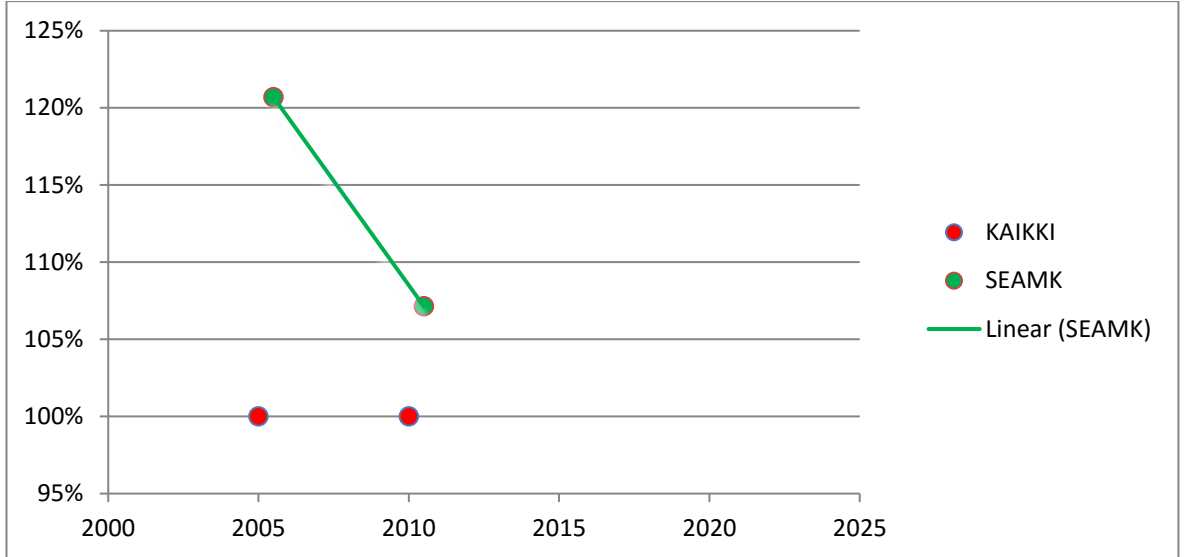


Kuvio 5. Tasokokeiden tiheyden mittauksien tulosten koonti vuosilta 2013–2016.

6.3.3 Paineellisen veden tunkeumasyyvyys

Paineellisen veden tunkeumasyyvyttä oli tarkasteltu 2000-luvulla VTT:n tasokokeissa ainoastaan kahdesti. Näissä mittauksissa tulosten prosentuaalinen vaihtelu on hyvin suurta, sillä paineellinen veden tunkeumasyyvyys mitattiin vain joko yhdestä tai kahdesta koekappaleesta.

Vuoden 2005 tasokokeessa SeAMKin tulos ero kaikkien testauslaboratorioiden keskiarvosta vain 6 mm, mutta prosentuaalisesti tämä ero oli yli 20 %. Vuoden 2010 tasokokeessa SeAMKin tulos erosi keskiarvosta ainoastaan yhden millimetrin, mikä tuotti noin 7 % eroavaisuuden. Kaikissa paineellisen veden tunkeumasyyvyden tarkasteluissa betoni kuitenkin todettiin vesitiiviiksi.



Kuvio 6. Tasokokeiden paineellisen veden tunkeuman tulosten koonti vuosilta 2005 ja 2010.

7 SEAMKIN MITTAUSEPÄVARMUUS

7.1 Betonin puristuslujuuden mittaus

Betonin puristuslujuuden mittauksen epävarmuutta aiheuttavat puristustestauskone ja mahdolliset mittausvirheet. Mittausvirheiden osuus koostuu tässä tapauksessa kappaleen mittojen ottamisesta sekä kappaleen asettelusta puristustestauskoneeseen.

7.1.1 Puristustestauskone

SeAMKin rakennustekniikan laboratoriossa puristuslujuus mitataan Toni Technikin hydraulisella puristustestauskoneella. Tämä laite on viimeksi kalibroitu vuoden 2016 marraskuussa ja kalibroinnin suoritti laitteen valmistaja. Kalibroinnista saatiin selville kyseisen laitteen yhdistetty mittausepävarmuus. Koska kyse oli kalibroinnista, käytettiin termin k arvona lukua 2. Tämä tarkoittaa sitä, että kalibroinnissa käytettiin 95 % luottamustasoa. Nämä kalibroitulokset löytyvät liitteestä 5.

Kalibroinnissa suoritettiin puristuskokeita, joissa laite kuormitti tietyllä voimalla mittaria, joka näytti kuorman oikean arvon. Yhteensä kokeita tehtiin 20 kappaletta ja puristavaa voimaa kasvatettiin kokeiden välillä. Ensimmäisessä kokeessa voiman arvo oli 30 kN, kun taas viimeisessä kokeessa arvo oli jo 3000 kN. Mittausepävarmuuden keskiarvo oli mittauksessa $\pm 0,262$ %.

7.1.2 Mittausvirheet

Koekappale tulisi keskittää testauskoneen alakuormituslevylle 1 % tarkkuudella kuutiomaisen koekappaleen nimetystä mitasta tai lieriömäisen koekappaleen nimetystä halkaisijasta (SFS-EN 12390-3 2009, 5). Vaikka kyseinen epäkeskisyys olisi tämän rajan sisällä, aiheuttaa se silti muutosta kappaleen puristuslujuuteen. Tämän muutoksen suuruus puristuslujuuden arvossa voidaan selvittää normaali-jännityksen kaavojen avulla.

Normaalijännitys puristuksessa on

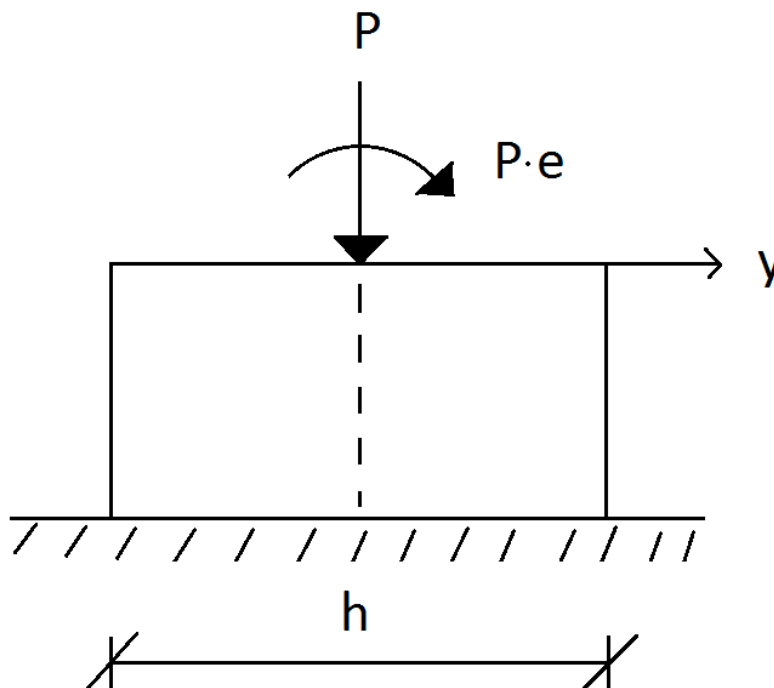
$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (7)$$

Tässä tapauksessa kappaleen epäkeskisyys aiheuttaa kappaleeseen normaalin puristuksen lisäksi myös taivutusta. Normaalijännitys taivutuksessa on

$$\sigma_y = \frac{M_t y}{I_z} \quad (8)$$

Kun nämä kaksi kuormitustapaa vaikuttavat samaan aikaan, saadaan kaava

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{M_t y}{I_z} \quad (9)$$



Kuvio 7. Kuormitustilanne.

Kuormitustilanne tässä tapauksessa on esitetty kuviossa 7. Kappaleen reunoilla vaikuttavat normaalijännitykset eivät ole tässä tapauksessa identtiset, vaan molemmilla reunoilla vaikuttaa erisuuruinen jännitys.

$$\sigma_{vas} = \frac{-P}{A} + \frac{Pe}{I_y} \times \frac{h}{2} \quad (10)$$

$$\sigma_{oik} = \frac{-P}{A} - \frac{Pe}{I_y} \times \frac{h}{2} \quad (11)$$

Kaavoissa termi P kuvaa puristavaa voimaa ja e on voiman epäkeskisyyden mitta kappaleen keskeltä.

Jos koekappaleen poikkileikkaus on neliö, jonka sivumitta on a , kappaleen pinta-ala voidaan selvittää kaavasta

$$A = a^2 \quad (12)$$

ja kappaleen jäyhyysmomentti voidaan laskea kaavasta

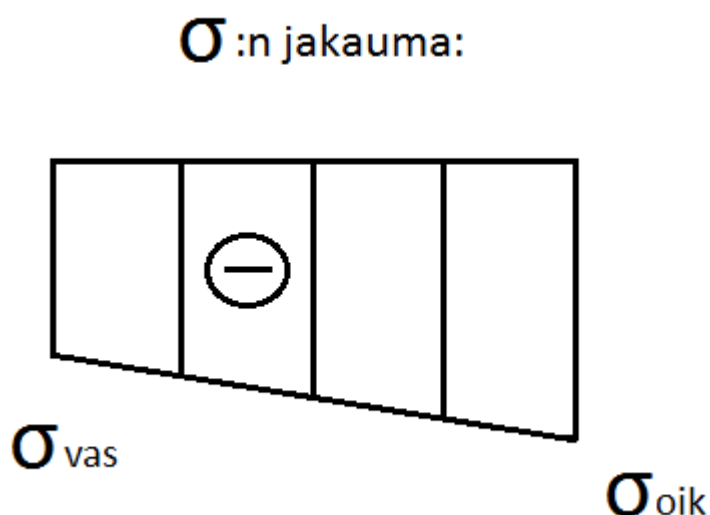
$$I = \frac{a^4}{12} \quad (13)$$

Näiden kaavojen avulla normaalijännityksen kaavat saadaan muotoihin

$$\sigma_{vas} = \frac{-P}{a^2} + \frac{6Pe}{a^3} \quad (14)$$

$$\sigma_{oik} = \frac{-P}{a^2} - \frac{6Pe}{a^3} \quad (15)$$

Näistä kaavoista huomataan, että oikean reunan normaalijännitys tuottaa mittaukselle kriittisemmän arvon (kuvio 8).



Kuvio 8. Normaalijännityksen jakauma.

Jos verrataan oikean reunan normaalijännityksen kaavaa sellaiseen tapaukseen, jossa kappaleen on täysin alakuormituslevyn keskellä ($e = 0$), voidaan selvittää, kuinka iso vaikutus lopulliseen puristusvoimaan epäkeskisyydellä on.

$$\frac{-P_1}{a^2} - \frac{6P_1e}{a^3} = \frac{-P_2}{a^2} - \frac{6P_2e}{a^3} \quad (16)$$

Sovitaan, että ensimmäisessä tapauksessa kappaleen epäkeskisyys on nolla. Toisessa tapauksessa epäkeskisyys on standardin sallima 1 % kappaleen sivumitasta ($e = 0,01a$).

$$\frac{-P_1}{a^2} = \frac{-P_2}{a^2} \left(1 + 6 \times \frac{0,01a}{a}\right) \quad (17)$$

$$P_1 = P_2 \times 1,06$$

Tästä lopputuloksesta huomataan, että kappale saavuttaa epäkeskisyystilanteessa saman normaalijännityksen pienemmällä puristavalla voimalla toisessa reunassa. Tämä voima on noin 5,66 % pienempi kuin ensimmäisessä tapauksessa esiintyvä puristusvoima.

Jos koekappaleen poikkileikkauksena on ympyrä, jonka halkaisija on a , kappaleen pinta-ala voidaan selvittää kaavasta

$$A = \frac{\pi a^2}{4} \quad (18)$$

ja kappaleen jäyhyysmomentti voidaan laskea kaavasta

$$I = \frac{\pi a^4}{64} \quad (19)$$

Epäkeskisyys on tässä tapauksessa 1 % ympyrän halkaisijasta ($e = 0,01a$) ja voimien suhteeksi saadaan tällä kertaa

$$P_1 = P_2 \times 1,08$$

Tämä tarkoittaa sitä, että epäkeskisyys tapauksessa puristava voima on noin 7,4 % pienempi kuin ensimmäisessä tapauksessa vaikuttava puristusvoima.

7.1.3 Mittausvälineet

SeAMKin rakennustekniikan laboratorio on tehnyt vertailumittauksen työntötulkin ja mittapalojen välillä. Nämä tulokset löytyvät liitteestä 6. SeAMK käyttää työntötulkia koekappaleita mitattaessa.

Vertailusta saatiin selville, että työntötulkki täyttää käyttötarkoitukseen liittyvien betonistandardien mittaustarkkuudet hyvin. Samassa vertailumittauksessa selvitetiin myös mittausepävarmuus, joka liittyy työntötulkin käyttöön.

Työntötulkin mittausepävarmuudeksi U saatiin 0,093541434 %, jos oletetaan, että koekappaleena olisi sivumitaltaan 100 mm kuutiokoekappale.

SeAMKissa käytetyt mittapalat on kalibroitu Jyväskylän ammattikorkeakoulussa teknologiayksikön kalibroitakeskuksessa. Tulokset löytyvät liitteestä 7.

7.1.4 Yhteenveto

Puristuslujuutta mitattaessa epävarmuutta aiheuttavat laitteisto sekä erilaiset mittausvirheet. Jos aiemmin esitetyt mittausepävarmuudet mittapaloista sekä työntötulkista lisätään puristavan voiman epäkeskisyyteen, voidaan sen avulla selvittää koko puristuskokeen epävarmuus.

Valitaan koekappaleeksi lieriö, koska se tuotti suuremman epävarmuuden kuin kuutiokoekappale. Kriittisimmässä tapauksessa puristavan voiman epäkeskisyys on

$$e = (0,01 + 0,000935 + 0,00011)a = 0,01105a \quad (20)$$

Suoritetaan samanlainen vertailu kuin aiemmin puristavien voimien välillä. Tästä saadaan tulokseksi

$$P_1 = P_2 \times 1,0884$$

Tästä tuloksesta voidaan huomata, että epäkeskisyydestä johtuen P_2 on 8,12 % pienempi kuin P_1 . Lopullinen mittausepävarmuus on siis

$$U = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{8,12^2 + 0,262^2} = 8,125 \% \quad (21)$$

Tämä lukeman avulla voidaan määrittää SeAMKin virherajat puristuslujuuden mittaustuksessa. Esimerkiksi jos laboratoriossa testataan koekappale, jonka puristuslujuudeksi saadaan 40 MPa, on virheraja tässä tapauksessa noin $\pm 3,25$ MPa.

7.2 Betonin tiheyden mittaus

Betonin tiheyden mittauksessa epävarmuutta aiheuttavat vaakka sekä mittausvälineet. Vaa'assa vaikuttava epävarmuus koostuu punnukusten ja itse vaa'an tarkkuuteen.

7.2.1 Vaaka

SeAMKin rakennustekniikan laboratorio käyttää Precisa-digitaalivaakaa, jonka näyttötarkkuus on 12 kilogrammaan asti kymmenesosagramma ja 12–30 kilogramman välillä täydet grammat. SeAMKissa on käytössä neljä koepunnusta, jotka on kalibroitu akkreditoidussa kalibroitilaboratoriossa Lahti Precisionissa Lahdessa. Koepunnukset ovat 1-10 kg:n painoisia. 1-5 kg:n punnukset ovat lieriöitä ja 10 kg:n punnus on särmiö.

SeAMK on tehnyt vertailun vaa'an näyttämän ja mittauspunnukusten välillä. Tämän vertailun tulokset löytyvät liitteestä 8. Kokeessa käytetyt punnukset olivat kalibroitu akkreditoidussa kalibroitilaboratoriossa Lahti Precision'issa Lahdessa.

Samassa vertailumittauksessa selvitettiin myös mittausepävarmuus, joka liittyy tämän vaa'an käyttöön. Vaa'an mittausepävarmuudeksi saatiin 0,182002747, mikä tarkoittaa noin 0,0182 % epävarmuutta punnittaessa 1000 gramman painoista kappaletta.

7.2.2 Mittausvälineet

Mittausvälineet aiheuttavat näissäkin mittauksissa epävarmuutta, aivan kuten puristuslujuuden mittauksessa. Työntötulkista johtuva mittausepävarmuus on noin 0,0935 %, kun taas mittapalat aiheuttavat 0,011 %:n epävarmuuden.

7.2.3 Yhteenveto

Tiheyden mittauksen epävarmuudet johtuivat käytettävästä vaa'asta sekä mittausvälineistä. Näin ollen mittausepävarmuus voidaan laskea kaavan 21 mukaan

$$U = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = \sqrt{0,0182^2 + 0,0935^2 + 0,011^2} = 0,0959 \%$$

Kuten huomataan, tiheyden mittauksen epävarmuus on huomattavasti pienempi kuin puristuslujuuden. Tiheyden mittauksen epävarmuutta kuitenkin satunnaiset virheet, jotka johtuvat esimerkiksi mittaushenkilöstä.

7.3 Paineellisen veden tunkeumasyvyyden mittaus

Paineellisen veden tunkeumasyvyyttä mitattaessa epävarmuutta aiheuttaa itse tunkeumasyvyyden mittaus sekä vedenpaineen säätävä laite. Paineellisen veden tunkeumasyvyyden testauksessa koekappaleeseen kohdistetaan 5 baarin suuruinen vedenpaine ja tämän paineen vaihtelu luo kokeeseen epävarmuutta.

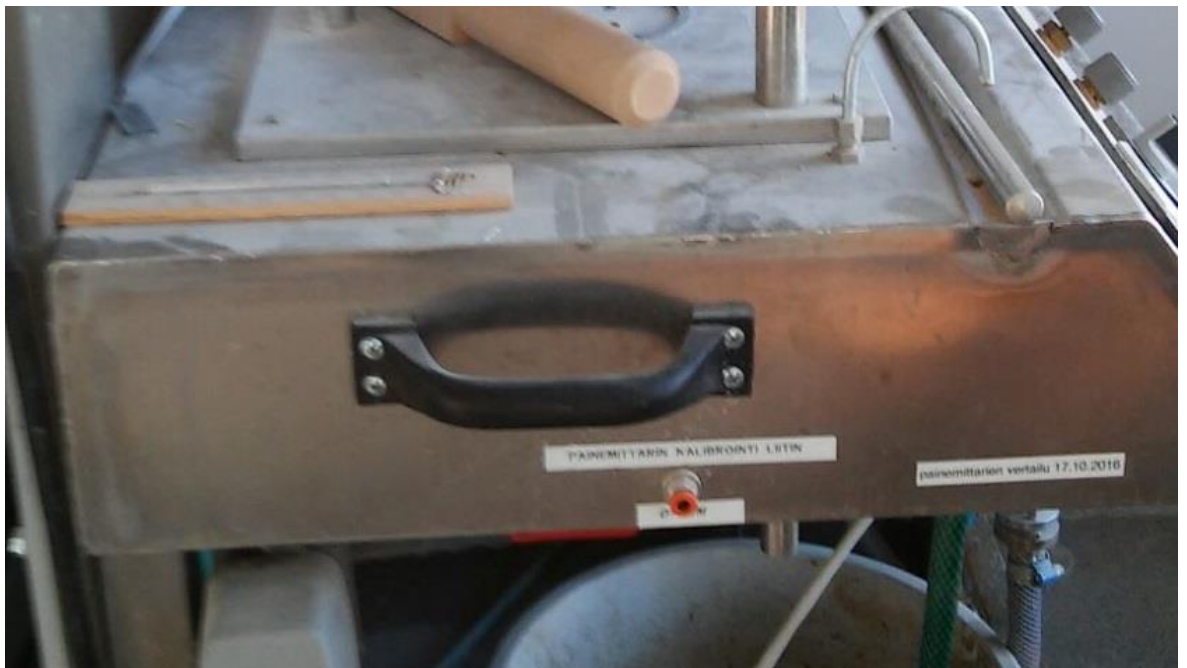
7.3.1 Paineen mittaus

SeAMK tarkistaa oman betonitetauslaitteensa Oy Profimeas AB:n toimittamalla Keller Leo 2 -nimisellä digitaalisella painemittarilla (kuva 2). SeAMK on suorittanut vertailun tämän vertailumittarin ja betonitetauslaitteensa välillä. Tässä vertailussa testauslaitteeseen säädettiin viiden baarin suuruinen vedenpaine ja tarkistettiin tämä lukema vertailumittarilla. Vertailumittari liitettiin testauslaitteen kalibroitiliittimen reikään (kuva 3) ja mittarin näyttämä lukema otettiin ylös. Vertailumittarin lu-

kema oli 4,98 baaria. Tämä tarkoittaa noin 0,4 % virhettä, mikä täyttää helposti standardissa esiintyneen vaatimuksen ± 10 %. Tästä virheestä on mahdollista laskea mittausepävarmuus 95 % luottamustasolla. Tämä epävarmuus on noin 0,555 %.



Kuva 2. Keller Leo 2 –painemittari.



Kuva 3. Painemittarin kalibrointiliitin.

Inspecta on kalibroinut tämän mittarin vuonna 2013. Kalibroinnin tulokset on esitetty liitteessä 9.

Kalibroinnin epävarmuus voidaan muuttaa prosenttimuotoon, jolloin suurin mahdollinen epävarmuus on noin 0,633 %. Testauslaitteen vedenpaineeseen liittyvä mittausepävarmuus voidaan laskea kaavalla 21.

$$U = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0,555^2 + 0,633^2} = 0,842 \%$$

Tämä epävarmuus on huomattavasti pienempi kuin standardissa esiintyvä vaatimus. Standardi hyväksyy paineessa korkeintaan 10 % virheen.

7.3.2 Mittausvälineet

Paineellisen veden tunkeumasyvyyden mittauksen tuloksiin vaikuttaa tietenkin myös mittausvälineet. Tässäkin tapauksessa mittausvälineiden epävarmuus on samaa luokkaa kuin aiemmin tarkastelluissa mittauksissa. Työntötulkilla mittaaminen aiheuttaa mittausepävarmuutta, joka on noin 0,0935 %. Mittapalojen epävarmuus on puolestaan 0,011 %.

Mittausepävarmuus voidaan laskea mittausvälineiden osalta kaavalla 21.

$$U = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0,0935^2 + 0,011^2} = 0,0942 \%$$

Myös paineellisen veden tunkeumasyvyyden mittausepävarmuudet ovat suhteellisen pieniä, sillä mittaukseen sisältyy jälleen satunnaisten virheiden mahdollisuus. Olisi myös selvitettävä, kuinka suuri vaikutus vedenpaineen nousulla on tunkeumasyvyyteen.

LÄHTEET

- Akkreditointi. Päivitetty 27.10.2016. [Verkkosivu]. Helsinki: FINAS-akkreditointipalvelu. [Viitattu 28.3.2017]. Saatavana: <https://www.finas.fi/akkreditointi/Sivut/default.aspx>
- Akkreditointialueet. Päivitetty 21.6.2016. [Verkkosivu]. Helsinki: FINAS-akkreditointipalvelu. [Viitattu 28.3.2017]. Saatavana: <https://www.finas.fi/akkreditointi/Akkreditointialueet/Sivut/default.aspx>
- Andersson, P.H. & Tikka, H. 1997. Mittaus- ja laatutekniikat. WSOY Konepajan tuotantotekniikka. Helsinki: WSOY.
- Betoninormit BY 65. 2016. Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry.
- Esala, V-P., Lehto, H. & Tikka, H. 2003. Konepajatekniset mittaukset ja kalibroinnit. Teknologiaeollisuus. Tekninen tiedotus 3. Helsinki: Teknologiaeollisuus ry.
- FINAS. 2016. Päivitetty 17.2.2016. [Verkkosivu]. Helsinki: FINAS-akkreditointipalvelu. [Viitattu 28.3.2017]. Saatavana: <https://www.finas.fi/Tietoa/Sivut/Tietoa-FINASista.aspx>
- Laurila, P. 2008. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulu julkaisusarja D3.
- Mittausvirheistä. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Jyväskylän yliopisto. [Viitattu 28.3.2017]. Saatavana: <https://www.jyu.fi/science/opiskelu-ohjeet/fysiikka/tyoosasto/mittausvirheista>
- Rakennustekniikan laboratorio. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. [Viitattu 28.3.2017]. Saatavana: <http://www.seamk.fi/fi/Koulutus/Opiskelijana-SeAMKissa/Oppimisymparistoja/Tekniikan-laboratoriot/Rakennustekniikan-laboratorio>
- Rakentamisen tuotteiden testaus. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. VTT Expert Services. [Viitattu 13.3.2017]. Saatavana: <http://www.vttexpertservices.fi/palvelut/testaus-ja-tarkastus/rakentamisen-tuotteet-ja-materiaalit/rakentamisen-tuotteiden-testaus/betoni-betonituotteet-ja-betonirakenteet>
- SeAMK Info. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. [Viitattu 28.3.2017]. Saatavana: <http://www.seamk.fi/fi/SeAMK-Info>
- SeAMK toimii. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. [Viitattu 28.3.2017]. Saatavana: <http://www.seamk.fi/fi/SeAMK-Info/SeAMK-toimii>

Testauslaboratoriot. Päivitetty 5.2.2016. [Verkkosivu]. FINAS-akkreditointipalvelu. [Viitattu 28.3.2017]. Saatavana: <https://www.finas.fi/akkreditointi/Akkreditointialueet/Sivut/Testauslaboratoriot.aspx>

Tikka, H. 2007. Koodinaattimittaus. Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print. Tampere. Juvenes Print.

TYÖSSÄ KÄYTETYT STANDARDIT

SFS-EN 12390-1. 2013. Kovettuneen betonin testaus. Osa 1: Muoto, mitat ja muut koekappaleiden ja muottien vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 12390-2. 2009. Kovettuneen betonin testaus. Osa 2: Koekappaleiden valmistus ja säilytys lujuustestejä varten. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 12390-3. 2009. Kovettuneen betonin testaus. Osa 3: Koekappaleiden puristuslujuus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 12390-4. 2000. Kovettuneen betonin testaus. Osa 4: Puristuslujuus. vaatimukset testauskoneille. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 12390-7. 2009. Kovettuneen betonin testaus. Osa 7: Kovettuneen betonin tiheys. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 12390-8. 2009. Kovettuneen betonin testaus. Osa 8: Paineellisen veden tunkeutumasyvyys. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

LIITTEET

Liite 1. Betonin puristuslujuus tasokoe 2015

Liite 2. Betonin puristuslujuus kahdenvälinen vertailu 2016

Liite 3. Paineellisen veden tunkeumasyyvyys tasokoe 2005

Liite 4. Paineellisen veden tunkeumasyyvyys tasokoe 2010

Liite 5. Kalibrointitodistus – Tony Technik puristustestauskone

Liite 6. Työntötulkin näyttämän vertailu mittapaloihin

Liite 7. Kalibrointitodistus – Mittapalasarja

Liite 8. Vaa'an näyttämän vertailu mittapunnuksiin

Liite 9. Kalibrointitodistus – Digitaalinen painemittari

Kaikki liitteet sisältävät salattavaa tietoa.