

Betonin pakkassuolatestauksesta

24.6.2026

Taustaa

Betonin pakkasenkestävyyttä testataan Suomessa nykyisin pääosin kahdella testausmenetelmällä: huokosanalyysillä ohuthie- tai pintahienäytteestä rasitusluokissa XF1 ja XF3 sekä teknisen spesifikaation mukaisella laattatestillä eli ”laattakokeella” rasitusluokissa XF2 ja XF4 sekä infrabetoneilla.

SEAMKissa on 1990-luvulla ja aina vuoteen 2014 alkuun asti testattu betonin pakkasenkestävyyttä niin sanotulla suojahuokosmenetelmällä, jossa testaus perustui epäsuoraan menetelmään. Siinä määritettiin ns. suojahuokosten prosentuaalinen osuus kaikista huokosista. Tämä testi vanheni teknisesti, kun sen määrittämä standardi kumottiin 2014. Testi oli kaikin puolin toimiva, mutta se oli pitkälti suomalainen ja pohjoismainen erikoisuus. Tuossa vaiheessa haluttiin kuitenkin siirtyä yleiseurooppalaiseen käytäntöön ja euronormit saivat tulla tilalle.

SEAMKin betoninkoetuksesta suojahuokostestit muodostivat merkittävän osan, joten toiminnan kannalta jäätiin kaipaamaan korvaavia testejä. Siirtyminen edellä mainittuihin testeihin ei kuitenkaan ollut helposti toteutettavissa, sillä molemmat uudet testit ovat teknisesti monimutkaisia ja vaativia. Ne edellyttivät useita uusia laitehankintoja ja uuden teknisen osaamisen hankkimista. Budjetit eivät venyneet uusien laitteiden hankintaan, varsinkaan jos niitä olisi tarvittu useita yhtäaikaisesti. Myös pientä epävarmuutta siitä, mikä menetelmä olisi sopivin, oli ilmassa. Niinpä asia siirtyi eteenpäin.

Eräs infrapuolen asiakas peräänkuulutti mahdollisuutta kyseisten testien tekemiseen pohjalaisissa maakunnissa sen sijaan, että koekappaleet pitäisi lähettää kauemmaksi testattavaksi. Oman maakunnan testauspalveluiden kehittäminen oli toiveissa. Uuden testimenetelmän valinta alkoi hahmottua: tarve olisi niin

sanotun ”laattakokeen” testauksista. Toisena vaihtoehtona huokosanalyysi olisi vielä monimutkaisempi ja vaativampi testi, eikä se kuitenkaan palvelisi asiakkaita samalla tavalla. Lisäksi näköpiirissä oli jollakin aikavälillä se, että lähialueella alettaisiin rakentaa merituulivoimaa, joka edellyttäisi testausta nimenomaan rasitusluokassa XF4 suolan kanssa. Samoihin aikoihin toteutettiin laboratoriolla myös laitteiston rakentaminen kloriditunkeuman mittaamiseksi eri laatuisille betoneille (Hautamäki & Tuomisto, 2025).

Rahoituksen suhteen uudet laitehankinnat rahoitettiin aiemmin suoraan AMK:n budjetista. Sitten siirryttiinkin järjestelmään, jossa hankinnat rahoitetaan investointiprojektien kautta EU:n osarahoittamina. Tämä edellytti laitehankinnoilta kokonaisvaltaisempaa ajattelua yksittäisten hankintojen sijasta. Laitehankinnat tuli asemoida osaksi jotain isompaa kokonaisuutta ja niputtaa yhden agendan alle. Tässä raamissa saimme sitten rahoituksen eräisiin materiaalin testaukseen liittyviin laitteisiin ja henkilöresurssia niiden sisään ajamiseen MaaRaksa-projektin puitteissa.

Betonin laattakoe

Betonin laattakokeessa lähtökohtana on normaali 150 mm koekuutio, jonka keskeltä sahataan 50 mm paksu 150 mm * 150 mm kokoinen laatta. Tämä altistetaan sitten 31 vuorokauden ikäisenä 56 vuorokauden mittaiseen jäädytyssulatustestiin, jonka syklit ovat vuorokauden mittaisia. Koekappaleen säilytyksessä ja etukäteisessä altistamisessa hiilidioksidille sekä etukäteisessä imeytyksessä on kuitenkin jo tiukkoja vaatimuksia ennen itse jäädytyssulatusrasitusta. Myös koekappaleen varustaminen prosessin syklejä varten on määritelty tarkasti.

MaaRaksa-projektin käynnistys vaati oman aikataulunsa. Hakemusvaiheessa, monien muiden laitehankintojen yhteydessä, tutkimme standardin CEN/TS 12390-9:2016:fi (”laattatesti”) asettamia vaatimuksia testin suorittamiseksi. Sen perusteella totesimme tarvitsevamme jäädytys/sulatus-käyttöön soveltuvan testauskaapin, kumitiivisteitä, standardissa kuvatut erikoisharjat, testissä irronneiden betonirakeiden suodattamiseen soveltuvaa kalustoa sekä punnitsemiseen soveltuvan tarkkuusvaa’an ja siihen liittyvät punnukset. Nämä hankittiinkin sitten varsinaisen projektin toteutuksen aikana.

Samaan aikaan tapahtunutta

Samaan aikaan edellä mainitun laattatestin käytössä valtakunnan tasolla asiat elivät ja tieto lisääntyi. Noin puoli tusinaa laboratoriota oli alkanut tehdä tätä testiä akkreditoidusti asiakkailleen. Tämä edellytti tietenkin laboratorioiden välisen tasokokeen (2023) järjestämistä tulosten luotettavuuden takaamiseksi. Tasokoetta organisoimassa ja tuloksia analysoimassa oli Aalto-yliopiston professori Jouni Punkki. Tasokoe osoitti laboratorioiden välisten vertailujen kesken tuloksissa esiintyvän niin suurta hajontaa (82 %), että se ei ollut mitenkään hyväksyttävissä (Punkki, J. 2024).

Tasokokeen seurauksena Aalto-yliopisto käynnisti Pakkasprojekti25:n, jota oli tekemässä tutkijatohtori Teemu Ojala. Tuossa tutkimuksessa selvitettiin testin mahdolliset virhelähteet ja tuotettiin standardiin pohjautuvat, mutta tarkennetut testausohjeet ja tehtiin niiden perusteella uudet laboratorioiden väliset tasokokeet (2025), joihin tällä kertaa osallistui lisäksi yksi ruotsalainen laboratorio. Näiden kokeiden ja selvitysten tuloksena

julkaistiin sitten Betoniyhdistyksen ohjeet, BY72, osa 5 (Suomen Betoniyhdistys, 2026). Pakkasprojekti25 sisälsi kolme osaprojektia. OP1 keskittyi olemassa olevien rakenteiden testaukseen, OP2 keskittyi laattakokeen hajonnan pienentämiseen ja OP3 laadunvarmistuksen kehittämiseen.

Laattakokeen olosuhdevaatimuksista

Laattakokeen standardissa on vaatimuksia kokeen järjestelystä ennen varsinaisen jäädytyssulatus-osion toteuttamista. Koekappaleita tulee säilyttää kolme vuorokautta olosuhteissa, joissa lämpötila on (20±2)°C, suhteellinen kosteus (65±5) %, haihtumisnopeus (45±15) g/(m^2h) ja CO_2 -pitoisuus 300-1000 ppmv. Nämä arvot vastaavat varsin tyypillisesti laboratorioissa normaalisti vallitsevia olosuhteita (CO_2 -pitoisuus ilmakehässä nykyisin noin 440 ppmy). MaaRaksa-projektin hakemusvaiheessa arvelimme noiden olosuhteiden olevan järjestettävissä olemassa olevalla kalustollamme.

Pakkasprojekti25:ssa selvisi, että laattatestin tulokset olivat voimakkaasti riippuvaisia betoninäytteen karbonatisoitumistilasta. Projektin puitteissa tehdyssä Ahmad Farazin diplomityössä (Faraz, 2025) todettiin että, kun laattanäytteet suojattiin muoviin heti sahauksen jälkeen, niin rapautuminen oli erittäin vähäistä. Kiihdytetty karbonatisoituminen 3 %:n CO_2-kammiossa nosti rapauman 8-12 -kertaiseksi referenssimenetelmään verrattuna. Standardin rajat testin CO_2-pitoisuudelle ovat erittäin laveat ja BY:n ohjeissa (taulukko 1) niitä on kavennettu välille 350…650 ppmv. Testituloksen riippuvuuden karbonatisoitumisasteesta huomioon ottaen herää kysymys, pitäisikö rajojen olla vieläkin tiukempia, jotta kokeen hajonta saataisiin vielä pienemmäksi.

Edellä mainittuja olosuhdevaatimuksia tarkemmin pohtiessa näyttää siltä, että olosuhteiden näennäisestä helppoudesta ja useista tavalliseen huoneilmaan verrattavista vaatimuksista huolimatta testitulosten riittävän pieneen hajontaan päästään kuitenkin vain asianmukaisen olosuhdekaapin avulla. Myös olosuhdeparametrien jatkuva automaattinen kirjaaminen testin aikana laatujärjestelmän vaatimusten mukaisesti hoituisi parhaiten tätä kautta. Tätä puoltaa myös tasokoe 2025:n raportissa tehty toteamus, että suurimmat hankaluudet koettiin käytännössä mittausjärjestelyissä ja mittausdatan esittämisessä.

Pakkasprojekti25:n puitteissa tarkennetuilla testausohjeilla ja huolellisella työskentelyllä päästiin testitulosten hajontaan 34 %, mikä oli huomattava parannus edelliseen kierrokseen. On lisäksi huomattava, että nuo kokeet tehtiin Oiva-sementillä, jossa ei käytetty erillisiä seosaineita. Seosaineiden käyttö aiheuttaa ilmeisestikin hyvin erilaisia tuloksia rapaumalle.

Testin valmistelusta

Kumilevyn suhteen standardi antaa mittojen lisäksi vaatimuksena vain, että sen pitää kestää -27 °C lämpötilaa ja 3 %:sta NaCl:a. Näillä eväillä, jos menee kumikauppaan, niin saa helposti kovaa EPDM kumia eli Shore 70 kovuutta, joka ei taivu koekappaleen kulmien yli suosiolla. Tilaamalla saa erikseen pehmeämpää Shore 50 kovuutta, jolla jo alkaa kulman ympärikin päästä. Uudistetussa ohjeessa puhutaan solukumieristeestä, joka on erittäin hyvin taipuvaa, helposti muotoiltavaa ja vaahtomaista kumia, jolla työ ilmeisesti alkaa parhaiten sujua. Tätä on saatavana myös itseliimautuvina suikaleina, mikä helpottaa edelleen

työtä. Standardia tai ainakin sovellusohjetta olisi hyvä täsmentää näiltä osin. Kumin liimauksen yhteydessä käytimme standardissa viitattua kontaktiliimaa, joka tuli levittää sekä betonin pinnalle että kumin pinnalle. Liimauksessa käytimme aputyökaluna kehyspuristinta.



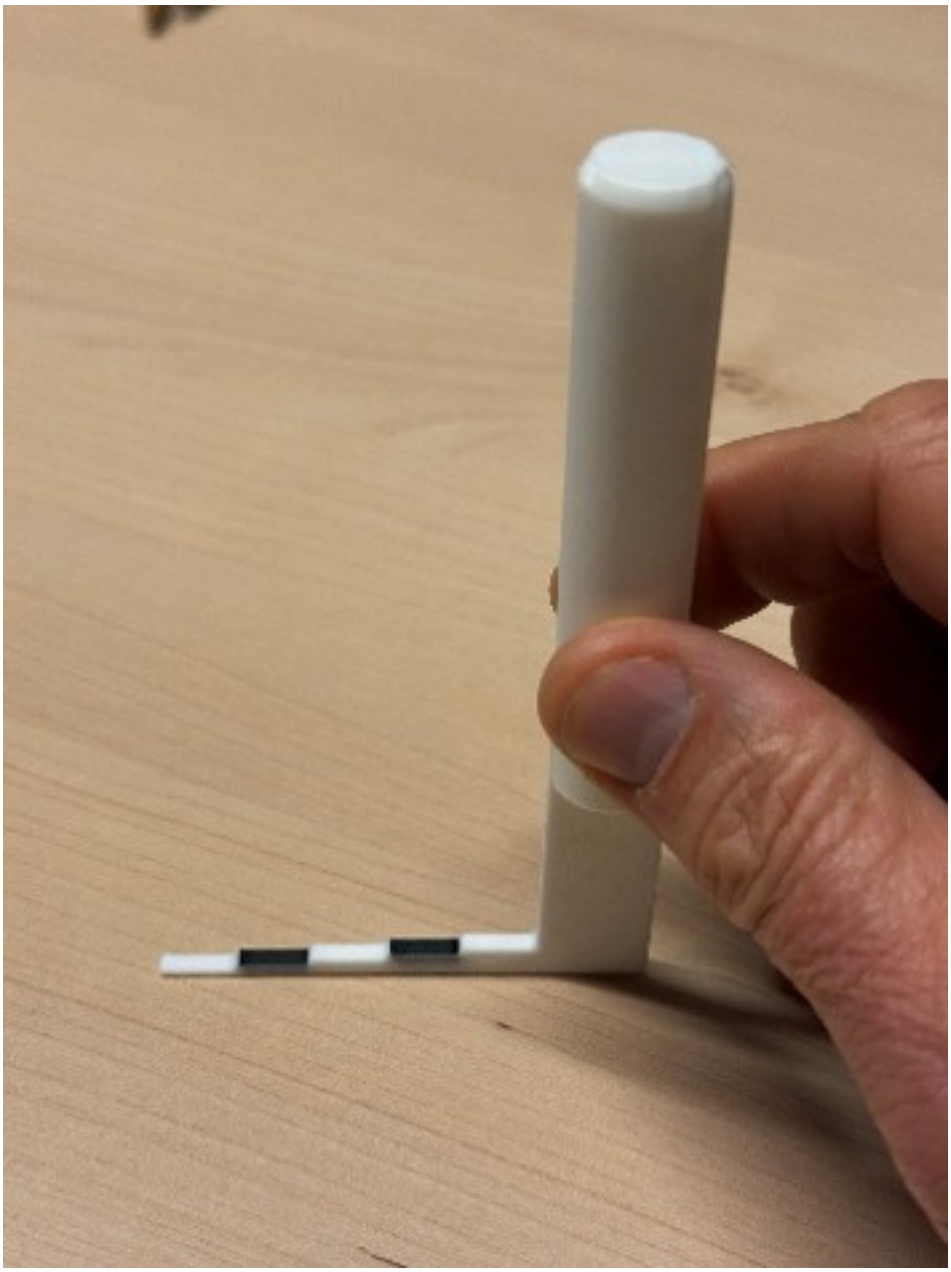
Kehyspuristin liimauksen apuna (kuva: Jorma Tuomisto 2025).

Kumikauluksen liimauksen jälkeen betonikoekappaleen ja kauluksen rajapinta tiivistetään silikonitiivisteellä. Jotta tiivisteen suoja-alueeksi muodostuu selkeästi hallittavissa oleva alue, kiinnitetään koekappaleen reunan lähelle maalarinteipit noin 7,5 millin etäisyydelle reunasta. Silikonin kovetuttua teipit poistetaan ennen jatkotoimenpiteitä.

Jäädytyssulatussyklien ajaksi näyte peitetään muovikalvolla. Muovikalvon reunat taivutetaan alaspäin 90 asteen kulmassa lämpömuovauksen avulla. Kuten uudessa sovellusohjeessa todetaankin, kalvon alas taivutetut reunat on syytä teipata tiiviisti kiinni. Tämä todettiin käytännössä, sillä neste pyrkii haihtumaan betonin pinnalta ja tiivistymään muovikalvon alapintaan. Siitä se helposti valuu reunaa kohti ja mikäli reunoja ei ole teipattu, neste valuu ulos ja nestemäärä ehtyy nopeasti. Ennen jäädytyssulatusvaihetta koekappaleen pintaa imeytetään kolme vuorokautta deionisoidulla vedellä, jotta varsinaisessa testissä käytettävä suolavesi

ei pyrkisi imeytymään kuivaan koekappaleeseen, eikä suolavesi näin ollen pyrkisi vähenemään alakautta testin aikana.

Nestemäärä betonikoekappaleen pinnalla tulee pitää noin 3 mm syvänä kerroksena jäädytyssulatus–vaiheessa. Alussa sopiva nestemäärä voidaan tietenkin mitata kaatamalla tarpeellinen tilavuus nestettä kappaleen pinnalle. Jatkossa kuitenkin, kun nestemäärä saattaa muuttua, sen mittaaminen paikallaan koekappaleen pinnalla on oma haasteensa. Soveltamisohjeessa näkyykin valokuva sitä varten kehitetystä mittavälineestä, jota voinee nimittää vaikkapa porrasmittariksi. Siinä on muoviliuskaan tehty yhden millimetrin jaolla olevat portaat, joista voidaan helposti nähdä, mille portaalle neste ulottuu. Tällaisen mittatikun tulostimmekin nopsasti 3D-printtauksena.



Nestekerroksen porrasmittari (kuva: Jorma Tuomisto, 2026).

Sääsyklien aikana tehtävät mittaukset

Jäädytyssulatustestissä irronneet betonimuruset harjattiin standardin mukaisella erikoisharjalla suodatinpaperin päälle ja apuna käytettiin ruiskupulloa. Näytteestä suodatettiin pois ylimääräiset nesteet. Suodatukseen tarvittiin sopiva suppilo ja astia sen alle. Näiden yksinkertaisten laitteiden sijaan turvauduimme asiassa hieman laboratorio-oloissa vakuuttavampaan ratkaisuun ja hankimme sitä varten halvan perkolaattorin, jota hieman modifioimalla pääsimme teknisesti vastaavaan ja hieman tukevampaan ratkaisuun.

Näin alkavatkin palikat olla tutkittuna ja pääosin koottuna tämän testin suhteen. Lopuksi laadittiin laboratorion visuaalisen ilmeen mukainen testiselostelomake, josta on kuva jäljempänä. Testin akkreditointi, sen edellyttämä tasokokeeseen osallistuminen ja näiden kustannukset eivät kuuluneet tämän projektin piiriin. Lisäksi testin lopullinen toteuttaminen edellyttää edellä kuvatun olosuhdekaapin hankkimista tarpeellisine antureineen ja datan keräämiseen soveltuvine ohjelmistoineen. Vielä jää siis matkaa testin varsinaiseen käyttöönottoon.

Kielen kanssa tarkkana

Aalto-yliopiston tekemästä ohjeesta voimme todeta vielä yhden asian, josta reklamoimme tekijälle. Ohjeessa on melko systemaattisesti väärinkäytetty sanaa tarkistaa, kun se useimmissa yhteyksissä kuuluisi olla muodossa tarkastaa. Tätä käsitteiden eroa voidaan hyvin kuvata vaikkapa rynnäkkökiväärillä. Jos ase tarkastetaan, niin siinä ehkä tutkitaan, onko piippu puhdistettu, ja onko lippaaseen unohtunut patruunoita. Tarkastamisessa siis todetaan, ja ehkä kirjataan ylös, jokin asian tila ja saatetaan toki antaa kehotus korjata se, mutta tarkastamiseen ei kuulu asiaintilan muuttaminen. Jos taas ase tarkistetaan, silloin sen tähtäimen asentoa korjataan niin, että osumatarkkuus paranee. Tarkistaminen siis sisältää konkreettisen toimenpiteen, jolla tarkennetaan tilannetta jollakin tapaa.

Tuloksen hyväksyttävyyttä eri tarkoituksiin nähden voidaan yleisesti tulkita SFS 7022:2025 määräyksiä tai seuraavaa hieman yksinkertaistettua taulukkoa.

Taulukko 1.

Rapauma 56 vrk jälkeen (kg/m2)	Kestävyyden arviointi	Selite
< 0,10	Erittäin hyvä	Betoni kestää erittäin vaativaa suola-pakkasrasitusta (esim. sillat).
0,10 – 0,50	Hyvä	Normaali säänkestävä betoni ulkorakenteisiin.

0,50 – 1,00	Tyydyttävä	Hyväksyttävä rajatapaus tietyissä olosuhteissa.
> 1,00	Huono / Ei kestävä	Betoni ei sovellu kohteisiin, joissa se altistuu suolalle ja pakkaselle.

Kiitämme rahoituksesta Etelä-Pohjanmaan Liittoa ja Maaraksa-hanketta, joka on Euroopan unionin osarahoittama hanke. Hankkeesta on lisää tietoa SEAMKin projektit sivuilla: Maaraksa**Jorma Tuomisto**
TKI-asiantuntija, Digitaaliset ja älykkäät teknologiat
SEAMK

Kirjoittaja on tehnyt pitkän työuran SEAMKin rakennustekniikan laboratoriossa ja toiminut samaan aikaan sivutoimisena opettajana rakennustekniikkaan ja kestävään kehitykseen liittyen. Tällä hetkellä hän työskentelee SEAMKissa TKI-asiantuntijana rakentamiseen ja kiertotalouteen liittyen MaaRaksa-hankkeessa

Lähteet

Faraz, A. (2025). *Influence of concrete's preconditioning on salt-frost scaling in the slab test*. [Diplomityö, Aalto-yliopisto]. https://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202508186214

Hautamäki H., & Tuomisto J. (2025). *Testausmahdollisuudet laajentuvat rakennustekniikan laboratoriossa.* https://epedufi.sharepoint.com/:w:/r/sites/SeAMK-Intra-Extension/_layouts/15/Doc.aspx?sourcedoc=%7B5EDD6121-60B1-4181-B6BE-3B2C106250A6%7D&file=2_Hautam%C3%A4ki_Tuomisto_Kloridien_Tunkeutumisen_Testaus_Betoniin.docx&action=default&mobileredirect=true&DefaultItemOpen=1%3Fweb%3D1

Punkki, J. (2024). Testauslaboratorioiden tasokokeet 2023. *Betoni-lehti 2*/2024. https://betoni.com/lehti/2024/06/10/testauslaboratorioiden-tasokokeet-2023/

Punkki, J. (2025). Pakkasenkestävyyden laattakokeen tasokoe 2024. *Betoni-lehti 1*/2025. https://betoni.com/lehti/2025/03/10/testauslaboratorioiden-tasokokeet-2024/

SFS. (2016). *CEN/TS 12390-9:2016:fi. Kovettuneen betonin testaus. Osa 9: Jäädytys-sulatuskestävyys jäänsulatusaineilla. Pintarapautuminen.*

Suomen Betoniyhdistys ry. (2026). *By 72. Betonin laadunvarmistus. Osa 5: Ohje betonin laattakokeen suorittamiseen.*https://www.expressmagnet.eu/pub/336/by72_Betonin_laadunvarmistus_osa_5/