Testausmahdollisuudet laajentuvat rakennustekniikan laboratoriossa

30.5.2025

Kansainvälisiä kontakteja

SEAMKin henkilökunta teki vuonna 2017 Saksan vierailun Pohjoisen Saksan alueen ammattikorkeakouluihin. Suomalaiset jakaantuivat vierailulle eri korkeakouluihin sen mukaan, missä korkeakoulussa oli vastaava koulutusohjelma, jota vierailija itse edusti. Rakennustekniikan väki vieraili silloin Technische Hochschule Wurtzburg-Schweinfurt'issa ja erityisesti laboratorioinsinöörit pääsivät tutustumaan sikäläiseen rakennuslaboratorioon, jota oli esittelemässä Prof. Dr. Fischer. Vertailimme luonnollisesti heidän toimintaansa omaamme ja pohdimme, olisiko sieltä omaksuttavissa uusia toimintatapoja meille.

Mieleen tarttui parikin mahdollista heidän toteuttamaansa asiaa, joita saattoi harkita meilläkin toteutettavaksi. Toinen niistä oli heidän rakentamansa koelaitteisto, jolla voitiin testata betoninäytteiden kykyä vastustaa kloridien eli suolojen tunkeutumista betonin sisään. Kloridit pyrkivät yhdessä pakkasrasituksen kanssa rapauttamaan betonia sekä aiheuttavat korroosiota betoniteräksissä. Laitteisto vaikutti siltä, että se olisi rakennettavissa melko pienin kustannuksin, joihin laboratorion rahkeet riittäisivät.

Professori Fisher suostui ystävällisesti lähettämään meille lisätietoa aiheesta, ja niinpä saimmekin sähköpostilla perästä päin pari dokumenttia. Toinen niistä oli NordTest'in julkaisema standardi NT Build 492 ja toinen oli Saksalainen Bundesanstalt für Wasserbaun (BAW) julkaisema saksankielinen muistio, jonka tarkoituksena oli tarjota puoliprobabilistisia, suorituskykyyn perustuvia menetelmiä teräsbetonirakenteiden kestävyyden arviointiin ja mitoitukseen karbonatisoitumisen ja kloridien vaikutuksen yhteydessä. Asiakirjassa

käsiteltiin aiheita laajemminkin, mutta meitä kiinnosti dokumentin se osa, jossa kerrottiin kloridien migraatiokertoimen määrittämisestä betonista NT BUILD 492 -menetelmällä.

Testauksen tarve

Rakennustekniikan laboratoriossa on takavuosina testattu paljon betonin jäätymis/sulamiskestävyyttä epäsuoralla suojahuokosmäärän mittauksella. Suolan vaikutusta siinä ei kuitenkaan testattu. Tämä testi kuitenkin vanhentui teknisesti, ja sen kysyntä loppui. Asiakkaana olivat infrapuolelta sähkölinjojen perustusten rakentajat sekä sillanrakentajat, joilla lisärasituksena on myös maantiesuola. Jatkossa pitemmällä tähtäimellä Suomessa tultaneen rakentamaan myös merituulivoimaa, jolle matalat Merenkurkun ja Perämeren alueet ovat suotuisia paikkoja. Kloridien tunkeutuminen betonirakenteeseen voi johtaa betonin rapautumiseen, raudoituksen korroosioon ja rakenteiden ennenaikaiseen vaurioitumiseen. Pakkasen ja suolan yhteisrasitukselle tullee olemaan tarvetta ja pyrimme siis varautumaan tähän tarpeeseen.

Laitteiston kehittäjän etsintä

Koska laboratorioinsinööreillä ei ollut aikaa perehtyä syvällisesti asiaan, todettiin, että tämä aihe olisi sopiva insinöörin opinnäytetyön aihe. Niinpä aihetta tarjoiltiin opiskelijoille aina tilaisuuden tullen. AMK:n rakennustekniikan opiskelijoista pääosa on mielessään orientoitunut työskentelemään tulevaisuudessa rakennusliikkeiden, suunnittelijoiden ja rakennuttajien roolissa, joten opiskeluvaiheessa he eivät kovin helposti kiinnostu laboratoriotutkimuksiin liittyvistä aiheista, joihin sisältyy jotakin sähkön kanssa tekemistäkin. Niinpä kesti jokusen vuoden löytää opiskelija, joka kiinnostuisi tästä aiheesta. Laboratorioon otetaan kuitenkin vuosittain kesätyöntekijä, jonka tehtäviin kuuluu etupäässä betonin testausta, jonka tulee jatkua yli perinteisen kesälomakauden. Näistä kavereista saatiin sitten ensimmäinen artikkelin kirjoittajista, Henrikki Hautamäki, innostumaan asiasta ja niinpä hän toteuttikin laitteiston kehityksen opinnäytetyönsä puitteissa.

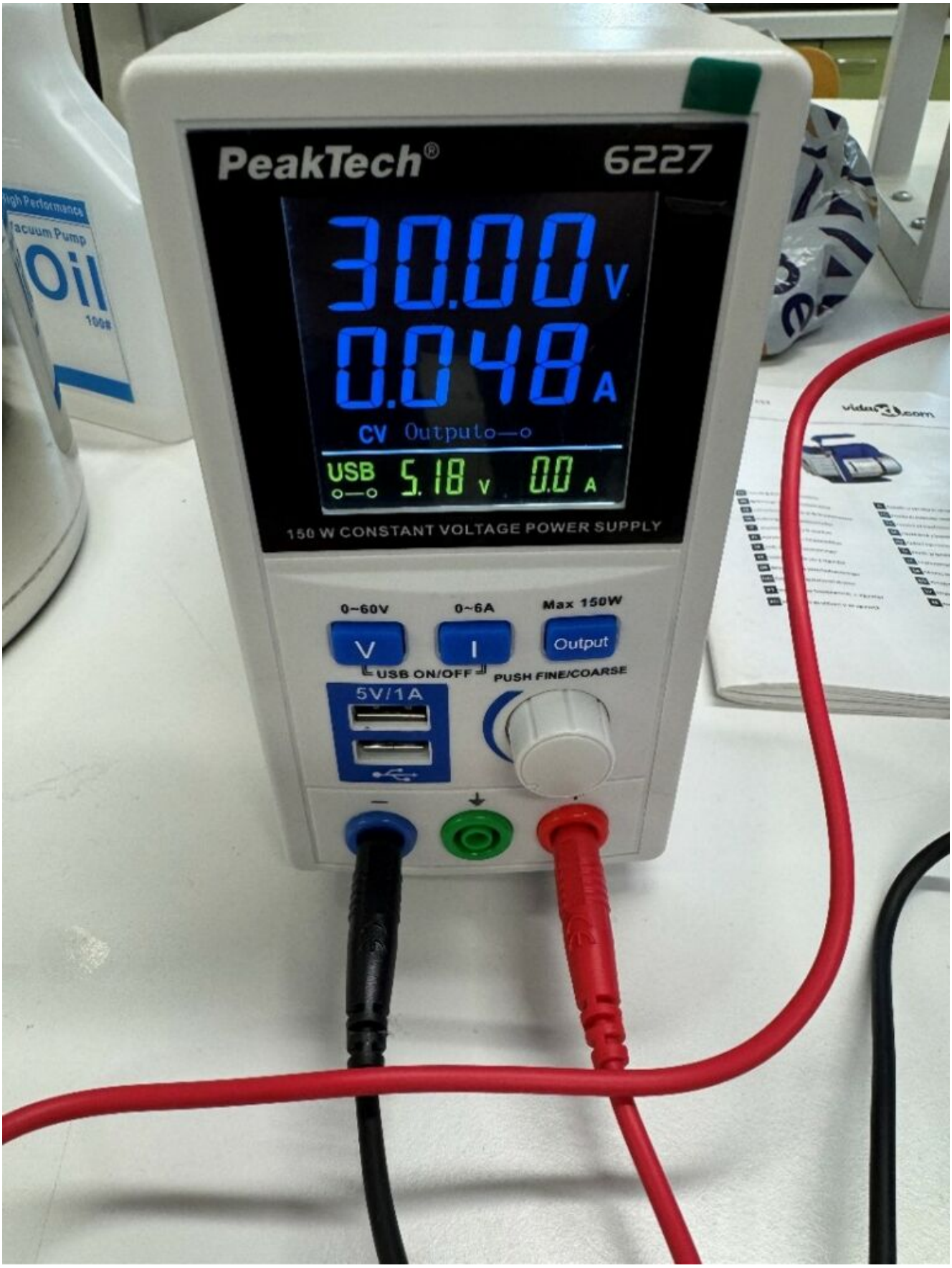
Kehitystyön alkuun saattaminen

Idea työn toteutuksesta tuli silloin laboratorioinsinöörinä työskenneeltä DI Jorma Tuomistolta, ja Hautamäki ja Tuomisto hankkivat ensimmäisiä osia laitteiston luomiseksi. NT BUILD 492:n mukaan näyte alistetaan vaiheittain kasvavalle jännitteelle ja virralle seuraavan taulukon (taulukko 1) mukaisesti.

Taulukko 1. Testijännite ja testausaika betonikappaleille, joissa on normaali sideainepitoisuus (Nordtest method, i.a., s. 8).

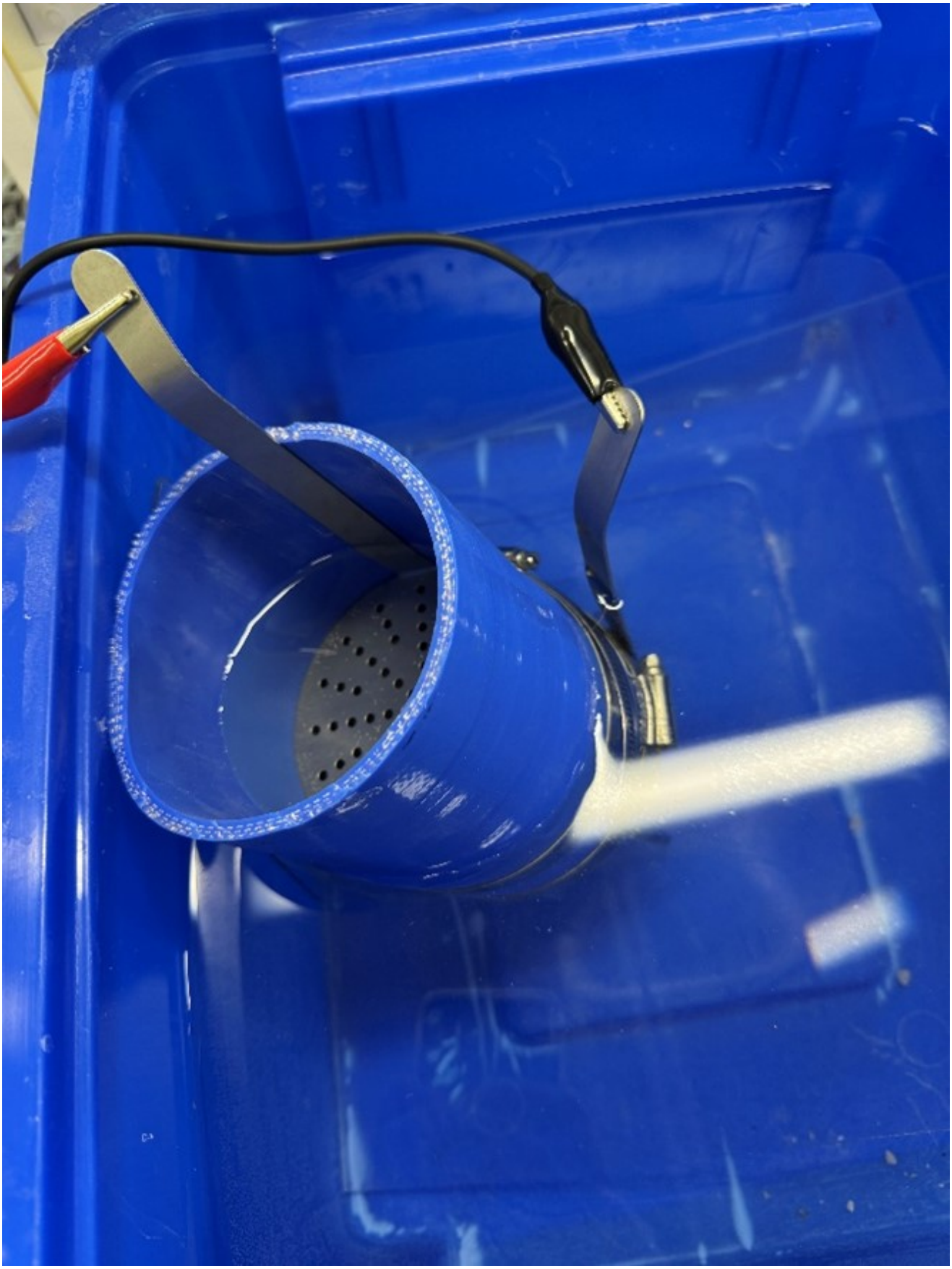
Alkuvirta (mA), kun jännite 30V	Säädön jälkeen käytettävä jännite (V)	Uusi mahdollinen alkuvirta I_0	Testin kesto tunteina (t)
$I_0 < 5$	60	$I_0 < 10$	96
$5 \leq I_0 < 10$	60	$10 \leq I_0 < 20$	48
$10 \leq I_0 < 15$	60	$20 \leq I_0 < 30$	24
$15 \leq I_0 < 20$	50	$25 \leq I_0 < 35$	24
$20 \leq I_0 < 30$	40	$25 \leq I_0 < 40$	24
$30 \leq I_0 < 40$	35	$35 \leq I_0 < 50$	24
$40 \leq I_0 < 60$	30	$40 \leq I_0 < 60$	24
$60 \leq I_0 < 90$	25	$50 \leq I_0 < 75$	24
$90 \leq I_0 < 120$	20	$60 \leq I_0 < 80$	24
$120 \leq I_0 < 180$	15	$60 \leq I_0 < 90$	24
$180 \leq I_0 < 360$	10	$60 \leq I_0 < 120$	24
$I_0 \geq 360$	10	$I_0 \geq 120$	6

Saksassa jännitteen ja virran tuottaminen oli toteutettu kytkemällä yhteen viisi 12 V akkua. SEAMKissa päädyttiin kuitenkin käyttämään verkkovirtaa. Tämä toki sisältää riskin testin menosta pieleen verkkovirrassa esiintyvien katkosten vuoksi, mutta tässä tutkimuksessa lienee parempi mahdollisuus hankkia korvaava näytekappale epäonnistuneen testin tilalle, kuin mitä on normaalissa betonin lujuuskontrollissa rakennustyön aikana. Niinpä hankimme laitteistoa varten sopivaksi katsomamme PeakTech’in säädettävän virtalähteen oheisen kuvan (kuva 1) mukaisesti.



Kuva 1. Jännitteen ja sähkövirran määrä (Hautamäki, 2024).

Testiä varten hankittiin myös koekappaleen ympärille tulevaa silikoniputkea, sekä työstettiin ruostumattomasta teräksestä anodina ja katodina toimivat peltiprofiilista rei’itetyt elektrodit (kuva 2). Lisäksi hankittiin sopiva alipainekammio ja siihen liittyvä alipainepumppu.



Kuva 2. Koekappaleen sijoittelu silikoniputkeen migraatiotestissä (Hautamäki, 2024).

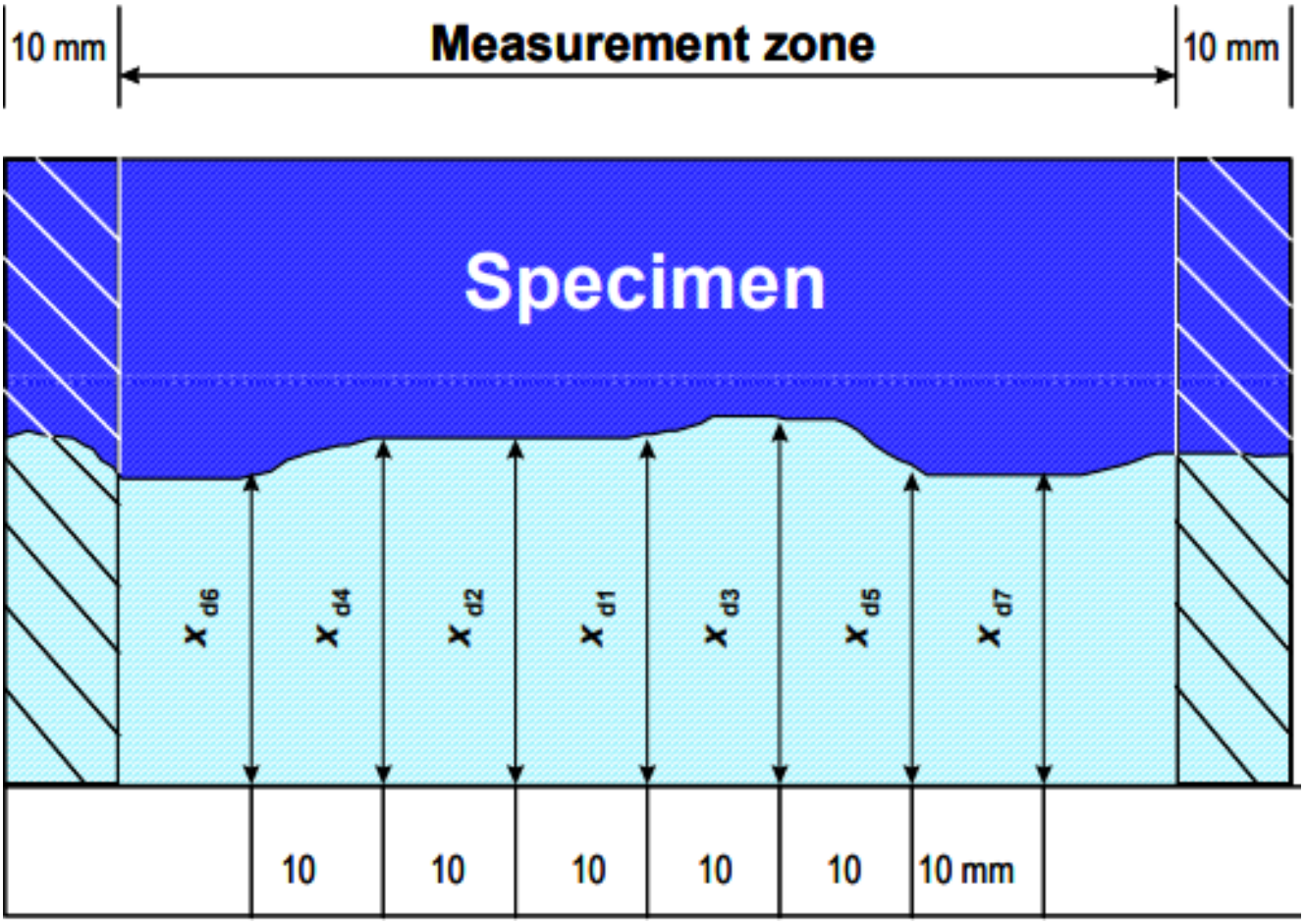
Tässä vaiheessa laboratorioinsinöörinä toiminut Tuomisto siirtyi TKI-tehtäviin ja opinnäytetyön ohjauksesta tästä eteenpäin huolehti laboratorioinsinööri Janne Pihlajaniemi. Koekappaleina toimivat standardin mukaiset 100 mm halkaisijaisesta porakappaleesta sahatut 50 mm kiekot. Ennen sähkövirralle altistusta koekappaleet

piti esikäsitellä tyhjiösäiliössä (kuva 3). Testissä tyhjiösäiliön paine asetettiin 30-50 mbar alueelle ja paine pidettiin siinä kolme tuntia. Tämän jälkeen säiliöön lisättiin tyydytetty kalsiumhydroksidiliuos niin, että koekappaleet peittyivät kokonaan. Alipaineen annettiin vaikuttaa vielä tunnin verran, jonka jälkeen säiliöön voitiin päästää ilmaa. Koekappaleiden annettiin olla liuoksessa vielä 18 ±2 tuntia. Sitten migraatiolaatikkoon laitettiin katalyyttiliuos (10 % natriumkloridiliuos) ja itse näytepala silikoniputkeen. Koekappale asennettiin laitteistoon ja altistettiin sähkökentälle edellä olevan taulukon mukaisesti. Kokeen aikana mitattiin virta ja lämpötila.

Sähköaltistuksen jälkeen näyte otettiin pois migraatiolaitteistosta ja huuhdeltiin hanavedellä. Sitten näyte halkaistiin ja halkaisupinnalle suihkutettiin hopeanitraattiliuosta. Noin 15 minuutin kuluessa muodostui valkoinen hopeakloridisaostuma, joka ilmaisi kloridien tunkeutumissyvyyden visuaalisesti (kuva 4). Mittaus tehtiin työntömitalla 0,1 mm tarkkuudella. Tunkeutumissyvyys mitattiin halkaisupinnalta seitsemästä kohdasta standardin ohjeen mukaisesti. Lopuksi laskettiin tunkeutumissyvyyksien keskiarvo ja sijoitettiin se normien migraatiokertoimen kaavaan (kuvio 1). Migraatiokerrointa voidaan käyttää Bundesanstalt für Wasserbaun (BAW) julkaisemassa raportissa esitettävien nomogrammien lähtöarvoina ja sitä myöten testatun betoninäytteen eliniän arvioimiseen suolarasitetussa rakenteessa.

Kuva 3. Tyhjiöpumppu ja tyhjiösäiliö (Hautamäki, 2024).

Kuva 4. Valkoinen hopeakloridisaostuma (Hautamäki, 2024).



Kuvio 1. Tunkeutumissyvyyksien mittaaminen (Nordtest method, i.a., s. 7).

Kehitetty laitteisto tuli kokonaisuudessaan melko edulliseksi, mutta sen jatkuva käyttö edellyttää melko kalliin hopeakloridin käyttöä indikaattoriaineena. Laite voi jatkossa toimia opetuksen tukena laboratoriossa ja mahdollisesti myös palvella teollisuudenkin tarpeita. Se monipuolistaa mukavasti laboratorion mahdollisuuksia toimia eri asiayhteyksissä.

Opinnäytetyö toteutettiin osana Euroopan unionin osarahoittamaa *MaaRaksa, kehitys- ja investointihanke – Uutta suuntaa ja elinvoimaa maanrakennus- ja rakennusalan pk-yrityksiin Etelä-Pohjanmaalla* -hanketta. Hankkeen kohderyhmänä ovat maanrakennus- ja rakennusalan pk-yritykset sekä maansiirto- ja koneurakointiyritykset Etelä-Pohjanmaalla. Hankkeen verkkosivut: MaaRaksa

Opinnäytetyö on ladattavissa Theseus-palvelussa.

Henrikki Hautamäki
ins. AMK opiskelija, Rakennustekniikka
SeAMK

Jorma Tuomisto
TKI-asiantuntija, Digitaaliset ja älykkäät teknologiat
SEAMK

Janne Pihlajaniemi

Lähteet:

Hautamäki Henrikki, Kloridin migraatiokertoimen määrittäminen betonista, 2024, SeAMK opinnäytetyö, https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2024121134696

Nordtest method. (i.a.). *NT BUILD 492*. https://salmanco.com/wp-content/uploads/2018/10/NT-Build-492.pdf

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), BAWMerkblatt Dauerhaftigkeitsbemessung und -bewertung von Stahlbetonbauwerken bei Carbonatisierung und Chlorideinwirkung (MDCC), 2017, https://henry.baw.de/items/c41f83c2-1811-4a1c-851f-0f7197e60038