

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus, insinööri

2024

Rami Penttinen

# Luja-Superlaatan päällystyskelpoisuuden arviointi kosteusvahinkotilanteessa

Opinnäytetyö (AMK | Tiivistelmä)

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus, insinööri

2024 | 45+2 sivua

Rami Penttinen

# Luja-Superlaatan päällystyskelpoisuuden arviointi kosteusvahinkotilanteessa

Rakennusalalla kehittyvät materiaalit ja rakennustekniikat vaativat jatkuvaa tutkimusta sekä arviointia varmistaakseen niiden turvallisuuden, tehokkuuden ja soveltuvuuden erilaisiin rakennusympäristöihin. Tutkimuksen tavoitteena on arvioida Luja-Superlaatan päällystyskelpoisuutta ja selvittää suoritettujen kosteusmittausten luotettavuus sekä luoda toimintaohje vesivahingon kohdatessa välipohjarakennetta. Luja-Superlaatta on suhteellisen uusi tuote, eikä sen rakenteeseen ole olemassa yksilöityjä kosteusmittausohjeita. Toimeksiantajina toimivat Lujabetoni Oy sekä NCC Suomi Oy.

Tutkimus suoritettiin kerrostalotyömaalla Turussa, jonka pääurakoitsijana toimi NCC Suomi Oy. Kohteessa suoritettiin laajoja kosteusmittauksia, joiden tulokset johtivat päällystyskelpoisuuden arviointiin. Mittauksissa käytettiin porareikämenetelmää, jota sovellettiin ohjeistukseen ontelolaatan kosteusmittauksesta. Teoriaosa pohjautui olemassa oleviin tutkimustuloksiin, rakentamisen ohjeistuksiin ja määräyksiin.

Tutkimuksen lopputulos oli, että suoritettuja kosteusmittaustoimenpiteitä voidaan pitää luotettavina, koska työvaiheet johtivat mittausmenetelmistä saatujen tulosten valossa hyvän rakennustavan mukaiseen ja määräykset täyttävään lopputulokseen.

Asiasanat:

Luja-Superlaatta, porareikämittaus, kosteusvahinko

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Degree Programme in Civil and Community Engineering

2024 | 45+2 pages

Rami Penttinen

# Evaluating the coating suitability of Luja-Superlaatta in moisture damage scenario

Materials and construction techniques evolving in the field of construction require continuous research and assessment to ensure their safety, efficiency, and suitability for various building environments. This study aimed to assess the surface applicability of Luja-Superlaatta and evaluate the reliability of conducted moisture measurements. The research was commissioned by Lujabetoni Oy and NCC Suomi Oy.

The study was conducted on a multi-story construction site in Turku, with extensive moisture measurements performed using the core drilling method. This method was adapted from existing guidelines for moisture measurements in hollow-core slabs. The theoretical framework of the study relied on previous research findings, construction guidelines, and regulations.

The study concluded that the conducted moisture measurement procedures were reliable. The results adhered to good construction practices and complied with applicable regulations. This research holds significance for ensuring the safe and efficient use of Luja-Superlaatta, providing practical guidelines for moisture measurements and their interpretation in water damage scenarios.

Keywords:

Luja-Superlaatta, core drilling measurement, moisture damage

# Sisältö

<b>Käytetyt lyhenteet tai sanasto</b>	<b>7</b>
<b>1 Johdanto</b>	<b>9</b>
<b>2 Luja-Superlaatta</b>	<b>10</b>
2.1 Rakenne	12
2.2 Valmistus	13
2.3 Tekniset tiedot	16
<b>3 Kosteusmittausten luotettavuus</b>	<b>17</b>
3.1 Porareikämittaus	17
3.2 Mittausepävarmuustarkastelu	18
3.3 Mittausepävarmuustekijöiden arviointi	20
3.4 Mittaustulosten luotettavuuteen vaikuttavat tekijät	22
<b>4 Päällystyskelpoisuuden arviointi</b>	<b>27</b>
4.1 Tutkimustyön tavoite	27
4.2 Luja-Superlaatan päällystyskelpoisuuden arviointi	28
4.3 Esimerkkitapaukset	29
4.3.1 Tapaus 1	30
4.3.2 Tapaus 2	32
4.4 Mittausohjeistus	35
4.5 Mittaustulosten arviointi	36
<b>5 Toimintaohjeen suunnittelu ja toteutus</b>	<b>40</b>
<b>6 Yhteenveto ja pohdinta</b>	<b>41</b>
<b>Lähteet</b>	<b>44</b>

## Liitteet

Liite 1. Toimintakaavio

## Liite 2. Mittaustulokset

### Kuvat

Kuva 1. Kylpyhuoneen kaatoaluelementti.	10
Kuva 2. Luja-Superlaatan alapinta.	11
Kuva 3. Luja-Superlaatan rakenne.	12
Kuva 4. Järvenpään tehdas.	14
Kuva 5. Superlaatan varustelu ja esijännitys.	14
Kuva 6. Pintaverkko ja lattialämmitysputkisto.	15
Kuva 7. Porareikämittaus.	18
Kuva 8. Epätiivyyden vaikutus.	24
Kuva 9. Epätarkkuustekijät.	26
Kuva 10. Luja-Superlaatta poikkileikkaus.	28
Kuva 11. Vaisala HM 40 -näyttölaite.	29
Kuva 12. Vaisla HMP110 porareikäanturi.	29
Kuva 13. Kastunut alue.	30
Kuva 14. Vahingoittunut lattialämmitysputki.	31
Kuva 15. Elementin asennustuenta.	31
Kuva 16. Vuotoalue.	33
Kuva 17. Korjattu lattialämmitysputki.	33
Kuva 18. Päällystyskelpoisuuden arviointi.	34
Kuva 19. Vuotokohta tupakeittiön katossa.	35
Kuva 20. Ontelolaatta + tasoite ( $d_2$ ).	36
Kuva 21. HM 40 -kuvaajanäkymä.	38
Kuva 22. Tasaantumisaika, graafinen esitys.	39

## **Taulukot**

Taulukko 1. Kokonaismittausepävarmuusluokat.	20
Taulukko 2. Mittausepävarmuustekijät.	22

## Käytetyt lyhenteet tai sanasto

BIM	tietomallintaminen, joka tarkoittaa digitaalisen rakennustiedon hallintaa ja visualisointia; tuloksena syntyy kolmiulotteinen BIM-malli, building information modeling
dimensio	viittaa betonirakenteissa raudoituksen paksuuteen tai halkaisijaan, ja se ilmaisee yleensä raudoitusmateriaalin fyysisiä mittoja
jälkivahinkotorjunta	estää lisävahinkojen tapahtumisen jälkeen rakennuksessa lisävahinkojen syntymistä; yleisimmät toimenpiteet ovat irtoveden imurointi pinnoilta, vuodon rajoittaminen, tulppaus tai korjaus, märkien rakenteiden purku ja osittainen avaus sekä ensikuivauksen aloittaminen
kosteudenhallinta-suunnitelma	asiakirja, joka sisältää suunnitelmat ja toimenpiteet rakennuksen kosteudenhallinnan varmistamiseksi rakentamisen eri vaiheissa
näytepalamenetelmä	betonista koeputkeen otettava materiaalinäyte, jonka suhteellinen kosteus mitataan tyypillisesti tasaisissa lämpötilaosuhteissa muualla, kuin työmaalla
pintamittari	pintakosteudenilmaisin, jota käytetään yleisimmin kastuneiden alueiden määrittämisessä vesivahingoissa ja sen toimintaperiaate perustuu mitattavan materiaalin tai pinnan sähkönjohtavuuteen
RH	suhteellinen kosteus; prosenttiluku, joka ilmaisee vesihöyryn määrää ilmassa siihen nähden, mitä tietyssä lämpötilassa voi maksimissaan olla vesihöyryä, tiivistymättä vedeksi
trendi	tarkasteltavan ilmiön yleinen kehityssuunta

XC 1

rasitusluokka, joka viittaa betonirakenteissa karbonatisoitumisen aiheuttamaan korroosioon. Luokka 1 tarkoittaa, että ympäristö voi olla joko kuiva tai jatkuvasti märkä.



# 1 Johdanto

Rakennusvaiheessa betonirakenteiden vaakapinnat kasvavat useimmin ulkopuolisen kosteusrasituksen takia. Tähän voidaan vaikuttaa suojaamalla, rajaamalla ja työmaaolosuhteita muuttamalla. Betonirakenne voi kuitenkin kastua myös sisältäpäin, jolloin vuoto voi jäädä piileväksi ja rakenne saattaa pyrkiä sitomaan tai varastoimaan kosteuden itseensä sekä mahdollisesti aiheuttaa haittaa terveydelle tai rakennukselle.

Opinnäytetyö on toteutettu Lujabetoni Oy:lle ja NCC Suomi Oy:lle. Tutkimuksen taustalla on tarve arvioida Luja-Superlaatan päällystyskelpoisuutta vesivahinkotilanteessa ja tarkastella suoritettujen kosteusmittausten luotettavuutta sekä luoda toimintaohje Lujabetoni Oy:n käyttöön. Luja-Superlaatta on suhteellisen uusi tuote, ja sen rakenteeseen liittyvät kosteusmittausohjeet ovat vielä määrittämättä. Työssä selvitetään, voidaanko suoritettuja kosteusmittauksia pitää luotettavina ja mitä erilaisia tekijöitä tulee ottaa huomioon päällystyskelpoisuuden arvioinnissa.

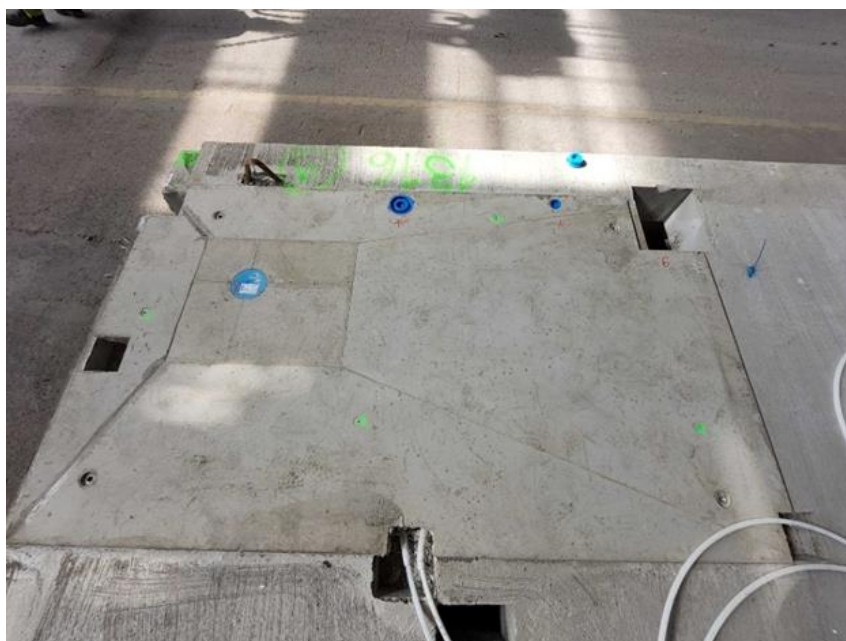
Tutkimus suoritettiin NCC Suomi Oy:n rakennuskohteessa Turussa, jossa Luja-Superlaatta on käytössä välipohjaratkaisuna. Tutkimuskohde käsittää kaksi esimerkkitapausta, joissa Luja-Superlaatan lattialämmitysputki vahingoittui ja aiheutti betonirakenteen kastumisen. Kummassakin tapauksessa suoritettiin kosteusmittaukset ja päällystyskelpoisuuden arviointi.

Työ muodostuu taustaosuudesta, jossa käsitellään Luja-Superlaatan valmistusprosessia ja rakennetta, sekä tutkimuksen tavoitteista, teknisistä tiedoista, tutkimuskohteen esittelystä, rajauksesta ja tutkimusongelmasta. Lisäksi esitellään käytetyt tutkimusmenetelmät, laitteet, esimerkkitapaukset sekä päällystyskelpoisuuden arviointi.

## 2 Luja-Superlaatta

Vuonna 2010 välipohjaelementtiratkaisun kaupallistamiseksi perustettiin Abeo A/S. Tuote esiteltiin markkinoille vuonna 2012 nimellä SL-Deck. Luja-Superlaatta on Lujabetoni Oy:n kehittämä innovatiivinen välipohjalaatta, joka perustuu Abeo A/S:n kehittämään SL-Deck-elementtirakenteeseen. Suunnittelussa on haluttu yhdistää ontelo- ja massiivibetonilaatan parhaat puolet. Elementit ovat huomattavasti kevyempiä kuin massiivibetonilaatta, niiden asennusnopeus on samaa luokkaa ontelolaatan asennuksen kanssa. Elementin 3000 mm:n perusleveys tosin vähentää nostokertoja sekä saumavalujen määrää esimerkiksi ontelolaattaan nähden, joten asennuksen kokonaisaika lyhenee ja syntyy kustannussäästöjä. (Lujabetoni Oy 2023b.)

Luja-Superlaatta edustaa uutta innovatiivista betonielementtiä ja toimii monipuolisena välipohjaratkaisuna erilaisissa rakennuskohteissa. Esijännitetyt, leveät elementit, joilla on pitkä jänneväli, asentuvat nopeasti ja helposti. Tämä välipohjaratkaisu (kuva 1) mahdollistaa tehdasasenteisen kylpyhuoneen kaivon viemäreineen ja soveltuu erilaisten muotojen ja mittojen toteuttamiseen. (Lujabetoni Oy 2023b.)



Kuva 1. Kylpyhuoneen kaatovaluelementti.

Luja-Superlaatta ei juurikaan kastu ulkopuolisesta kosteusrasituksesta. (Lujabetoni Oy ja Cramo Oy, 2019). Sen valmistukseen käytetään C55/67 korkealujuusbetonia, joka on käytännössä lähes vesitiivis ja kastuu vain muutamia millimetrejä pinnastaan. Varsinainen ongelma muodostuu, jos rakenne kastuu sisältäpäin esimerkiksi lattialämmitysputken rikkoutuessa ja vuotovesi pääsee kevytsorabetoni-insertin sisään. Elementin kantava betoniosa itsessään ei juurikaan kastu, mutta kevytsorabetoni-insertti kykenee sitomaan itseensä noin 11 litraa vettä. (Mäkelä, S., haastattelu 21.8.2023.) Vaikka kevytsorabetoni-insertti kykenee sitomaan vettä, se ei silti varastoi sitä sisäänsä, kuten esimerkiksi ontelolaatta.

Luja-Superlaattaelementin alapintaan on valettu noin 10 mm paksu C25/30-betonimassakerros. (Lujabetoni Oy 2023b.) Valettu kerros ei ole vesitiivistä betonilaatua, joten vuoto kevytsorabetoni-insertin sisällä on helposti havaittavissa vesijättöjälkeenä laatan alapinnassa. Kevytsorabetoni-insertin sijainti on helposti havaittavissa elementin alapinnassa olevan ruudukuvion perusteella (kuva 2). Lisäksi kastunut valusauma on helppo havaita pitkänmallisena, kapeana raitana.



Kuva 2. Luja-Superlaatan alapinta (Lujabetoni Oy 2018a).

Jos elementin alapinta on pinnoitettu eikä ruudukko ole näkyvässä, oikea porauskohta on vesijättöjäljen keskellä.

## 2.1 Rakenne

Luja-Superlaatan rakenne (kuva 3) on alun perin Tanskan Teknillisen Yliopiston kehittämä kevytsorainserteillä kevennetty, teräspunoksilla esijännitetty betonivälipohjaelementti lämpimiin tiloihin.



Kuva 3. Luja-Superlaatan rakenne (Lujabetoni Oy 2023b).

Superlaatan rakenne muodostuu pääosin betonista sekä kevytsorabetoni-inserteistä. Itsetasoittuva korkealujuusbetoni ja esijännitetyt teräspunokset antavat rakenteelle lujuuden. Korkealujuusbetonin vesitiiviyyden ansiosta Superlaatta ei kastu helposti eikä sisällä onkaloita, joten vesi ei pääse kerääntymään rakenteen sisään. Tämä helpottaa rakennusaikaista kosteudenhallintaa ja mahdollista varastointia työmaalla. Kevytsorabetoni-insertit keventävät elementtiä, lisäävät rakenteen ääneneristävyyttä sekä suojaavat teräspunoksia alapuolelta mahdollisessa tulipalotilanteessa. (Lujabetoni Oy 2023b.)

Laskennallisesti Luja-Superlaatalle on saatu tuloksena 120 minuutin palonkestävyys, mutta Tanskassa suoritettu polttokoe antoi tulokseksi 240 minuutin palonkeston, jonka se kesti särkymättä. Testissä käytetty laatta oli 220 mm paksu. (Danish Institute of Fire and Security Technology 2014.) Polttokoe

suoritettiin täysin harkotetulle välipohjalaatalle. Tyypillisesti asuinkerrostalossa kylpyhuoneiden alueella ei yleensä ole käytössä kevytsorabetoni-inserttejä. Tämä tarkoittaa, että tiettyjä rakennuksen osa-alueilta ei ole suunniteltu kestämään 240 minuutin palorasitusta. On kuitenkin huomionarvoista, että 120 minuutin palonkestoon päästään helposti pelkällä suojabetonilla. Kokonaistilanne suurimmassa osassa rakennusta muiden tilojen osalta on todellisuudessa vieläkin parempi kuin mitä alun perin on suunniteltu tai mitoitettu. (Mäkelä, S., haastattelu 6.11.2023.)

Rakenteeseen voidaan tarvittaessa jo tehtaalla asentaa valmiiksi sähkö-, vesi-, viemäri- ja vesikiertoiset lattialämmitysputket tai vaihtoehtoisesti lattialämmityskaapelit kylpyhuonelaattoihin vesikiertoisten lattialämmitysputkien asemesta. Lisäksi kylpyhuoneen kaatovalut voidaan toteuttaa valmistusvaiheessa. Kylpyhuonelaatta ei sisällä kevytsorabetoni-inserttejä. (Lujabetoni Oy 2023b.)

Luja-Superlaatan pintaan tyypillisesti pumpataan tasoite. Tutkimuskohteen laatan pintaan pumpattiin Bostik 1007 Base Fiber (C16), sementtipohjainen kuitutasoite. Tasoitteen paksuus vaihteli 10–40 mm:n välillä.

## 2.2 Valmistus

Luja-Superlaatta valmistetaan Järvenpäässä sijaitsevassa Suomen suurimmassa elementtitehtaassa (kuva 4), jossa on kolme hehtaaria tuotantotilaa. Järvenpään elementtitehtaan päätuotteita ovat (Lujabetoni Oy 2023a):

- Luja-Superlaatta
- ontelolaatat
- väliseinäelementit
- seinäelementit
- jännitetyt parveke-elementit
- valmisbetonit.



Kuva 4. Järvenpään tehdas (Lujabetoni Oy 2018b).

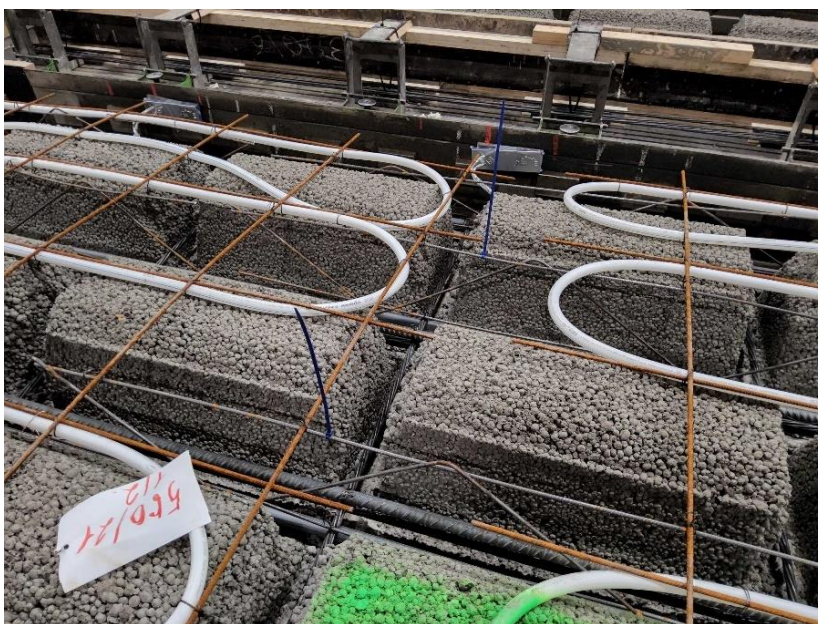
Luja-Superlaatat valmistetaan pitkällä teräspedillä, joka puhdistetaan ja muotitetaan joka sivulta. Pedille asetellaan sähkörsiat suunnitelman mukaisesti. Tämän jälkeen muotin pohjalle valetaan noin 10 mm paksu pohjalaasti. Seuraavaksi valetaan harkkokoneella puristustäryttämällä kevytsorabetoni-inserit BIM-mallinnuksen mukaisesti. Lisätään teräspunokset harkkojen väliin ja suoritetaan esijännitys. Ylimääräisiä teräspunoksia tuotantolinjalla voidaan tarvittaessa ohittaa elementeistä sukittamalla. (Kuva 5.)



Kuva 5. Superlaatan varustelu ja esijännitys.

Tämän jälkeen tehdään muu varustelu, kuten esimerkiksi sähköputkitukset, lisäraudoitukset sekä tarvittavat lovet ja läpiviennit tai aukot.

Lattialämmitysputkiston sisältävän pintaverkon (kuva 6) asennuksen jälkeen kantava betonirakenne valetaan itsetiivistävällä korkealujuusbetonilla. (Lujabetoni Oy 2023b.) Lattialämmitysputket pystytään toimittamaan paineistettuna. Tällöin putken mahdollinen vaurioituminen havaitaan välittömästi paineistetun ilman purkautumisena. (Mäkelä, S., haastattelu 15.3.2024.)



Kuva 6. Pintaverkko ja lattialämmitysputkisto.

Kuivumisen jälkeen laatta siirtyy laadunvarmistusmittaukseen sekä jälkikäsittelyyn. Tuote on tämän jälkeen valmis toimitettavaksi tilaajalle. (Lujabetoni Oy 2023b.)

### 2.3 Tekniset tiedot

Tutkimuksen kohteena on 270 mm paksu välipohjalaatta, jonka perusleveys on 3 000 mm ja maksimipituus 10–12 m kohteen kuormien mukaan. Sen raskuusluokka on XC1. Laatan leveyttä voidaan suunnitteluvaiheessa pienentää vapaasti aina 0,6 metrin minimileveyteen asti. (Mäkelä, S., haastattelu 15.3.2024.) Erityisen rakenteensa ansiosta laatan suunnittelupaino on 500 kg/m<sup>2</sup> eli noin 150 kg/m<sup>2</sup> vähemmän, kuin massiivibetonilaatalla. Lujja-Superlaatan valmistuksessa käytettävät materiaalit ovat (Lujabetoni Oy 2023b)

pohjabetoni C25/30

kevytsorabetoni C2,5/3

itsetiivistyvä betoni C55/67

märkätilavarausten betoni C55/67

jännepunos J12,5 (93 mm<sup>2</sup>) 1630/1860 N/mm<sup>2</sup>

raudoitusteräket B500B normaali harjateräs eri dimensioissa sekä mahdollinen erikoisraudoitus kohteen suunnitelman mukaisesti.



### 3 Kosteusmittausten luotettavuus

Ennen betonirakenteen päällystämistä on olennaisen tärkeää varmistua siitä, että rakenne on riittävän kuiva päällystettäväksi. Tämän päällystettävyyden arvioinnin tarkkuus saavutetaan suorittamalla kosteusmittauksia rakenteesta. (Merikallio 2002, 5.) Yleisesti käytetty menetelmä tarkkojen kosteusmittausten tekemiseen on porareikämittaus. (Merikallio 2002, 13.) Pintakosteudenosoittimet eivät sovellu betonirakenteen päällystettävyyden arviointiin. (Merikallio ym, 2007, 81.) Kun rakenteen pintaosat ovat riittävän kuivia ennen pinnoittamista, kosteuden siirtyminen syvemmältä betonista tapahtuu hitaasti ja kosteus haihtuu vesihöyrynä läpi päällysteen, eikä kerääny sen alle aiheuttaen vaurioita. (Merikallio 2002, 23.)

#### 3.1 Porareikämittaus

Porareikämittaus (kuva 7) mahdollistaa betonin sisältämän ilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan mittaamisen rakenteesta halutulta syvyydeltä. Mittausreikä on sivuiltaan suljettu ja ulottuu haluttuun syvyyteen, ja yläpään on oltava tiiviistetty. Mittauksen syvyyden tulee olla vähintään 10 mm, ja mittausepä-tarkkuus voi olla parhaimmillaan 1 mm. Mittaussyvyys mitataan reiän reunoilta, ei keskeltä. Menetelmä on laiteriippumaton ja soveltuu vapaasti valittavaan rakenteen kohtaan.



Kuva 7. Porareikämittaus.

Lämpötilaolosuhteet rakenteen ja mittalaitteen välillä on pysyttävä lähes muuttumattomina. Suositeltava lämpötila päällystyksen arvioinnissa on +18...+25 °C.

Porareikämenetelmä on herkkä lämpötilojen muutoksille, jotka voivat vaikuttaa mittaustarkkuuteen negatiivisesti. Mikäli käytetään lämpöä johtavaa sauvamaista mittapäätä, ero mittapään ja ympäröivän ilman sekä rakenteessa olevan mittapään lämpötilojen välillä ei saa ylittää 2 °C:ta. (RT 103333, 2021, 5.)

### 3.2 Mittausepävarmuustarkastelu

Mittauksen luotettavuus on keskeinen tekijä tulosten tulkinnessa ja päätöksenteossa. Kosteusmittauksissa on useita tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa mittauksen tarkkuuteen ja luotettavuuteen. On tärkeää, että kosteusmittaaja kykenee tunnistamaan ja vähentämään näitä virhelähteitä sekä arvioimaan

mittausepävarmuutta. Mittalaitteen antaman lukeman lisäksi mittausraportissa tulisi olla arvio mittauksen luotettavuudesta. Tämä arvio perustuu tarkkaan selvitykseen siitä, miten mittaus on tehty ja mitkä tekijät saattavat vaikuttaa mittauksen tarkkuuteen. Mittaajan on otettava huomioon mahdolliset virhelähteet ja arvioitava niiden vaikutusta mittausepävarmuuteen. Kosteusmittauksissa erityisesti muut kuin mittarista aiheutuvat virhelähteet voivat olla merkittäviä. Näihin voivat kuulua esimerkiksi ympäristön kosteusolosuhteet, mittauspisteen valinta, mittausmenetelmän soveltuvuus kohteeseen ja mittauslaitteen kalibrointi. Mittaajan tulee olla tietoinen näistä tekijöistä ja ottaa ne huomioon arvioidessaan mittauksen luotettavuutta. (Merikallio ym. 2007, 88.)

Eri epätarkkuustekijöiden tapauskohtaiseen tarkkaan arviointiin ei yleensä ole olemassa selkeitä laskentaperusteita. Seuraavassa esitetään kuitenkin tarkkuuden arviointi kokonaismittausepävarmuusluokkiin perustuen. Taulukossa 1 havainnollistetaan, miten eri mittausperiaatteilla saavutetaan kokonaismittausepävarmuusluokat  $\pm 2$ ,  $\pm 4$  tai  $\pm 6$ . Esimerkiksi porareikämittauksessa lattialämmityksen vaikutusalueella tulee tarkkuusluokkaa heikentää vähintään yhdellä, esimerkiksi  $\pm 2 \rightarrow \pm 4$ . Jaksoissa luettavien ja jatkuvatoimisten mittalaitteiden tapauksessa lattialämmityksen aiheuttama mittaustarkkuuden heikentyminen riippuu järjestelmäkohtaisista tekijöistä, kuten mittalaitteiden asennustavasta.

Taulukko 1. Kokonaismittausepävarmuusluokat (RT 103333, 2021, 16.)

	Mittalaite-epävarmuus	Mittaussuoritus-epävarmuus	Mittaolosuhde-epävarmuus
±2	Betonimittauksiin erityisesti tarkoitettu mittalaite. ±1,5 RH-yksikön tarkkuuden kalibrointi korkeintaan 12 kk ennen. Mittapääkohtainen ryömintätieto osoittaa hyvän näyttämäpysyvyyden.	Syvyys 1 mm tarkkuudella. Tiivistys vuotamaton. Mittapään hyvä tasapaino betonin kanssa tunnetaan kokemuseräisesti.	Tila/rakenne normaalissa käytössä tai lähes normaalilämpötilassa. Porauksen ja mittauksen välisenä aikana ei suurta olosuhdevaihtelua. Ei lattialämmitystä käytössä.
±4	±2 RH-yksikön tarkkuuden kalibrointi korkeintaan 12 kk ennen. Mittapään ryömintätiedetään melko vähäiseksi.	Syvyys 2 mm tarkkuudella. Hyvä tiivistys. Mittapään melko hyvä tasapaino betonin kanssa tunnetaan kokemuseräisesti.	Tila/rakenne 5 asteen tarkkuudella normaalilämpötilassa. Porauksen ja mittauksen välisenä aikana ei suurta olosuhdevaihtelua.
±6	±3 RH-yksikön tarkkuuden kalibrointi korkeintaan 12 kk ennen. Ryöminnästä ei tarkkaa tietoa.	Syvyys 2 mm tarkkuudella. Melko hyvä tiivistys. Mittapään tasapaino betonin kanssa epävarmaa.	Tila/rakenne 10 asteen tarkkuudella normaalilämpötilassa, mutta olosuhteet epävakaut.

Mittaustarkkuutta on mahdollista parantaa tekemällä samasta kohtaa rinnakkaisia mittauksia, joiden keskiarvon kokonaismittausepävarmuus voi olla yksittäistä mittausta pienempi.

Mikäli laskennallinen kokonaismittausepävarmuus ylittää ±4 RH-yksikköä, ei tulosta suositella tarkkojen johtopäätösten tekemiseen. Epätarkempiin mittauksiin tulee suhtautua kriittisesti, mutta niitä voidaan hyödyntää, kun esimerkiksi arvioidaan vesivahingon laajuutta. Tällöin kastumattoman kohdan kosteus voi olla mittaussyvyydellä alle 50 % RH, kun taas kastuneella alueella se voi olla lähes 100 % RH. Tällainen ero voidaan havaita, vaikka tarkkuus olisi ±6 tai heikompi.

### 3.3 Mittausepävarmuustekijöiden arviointi

Kosteuksien määritysmittauksissa suoritettavan mittausepävarmuuden tarkka arviointi edellyttää systemaattista tarkastelua erilaisten epävarmuuskomponenttien osalta. Tähän tarkoitukseen käytetään seuraavaa taulukkoa tai laskentakaavaa, jossa toisistaan riippumattomat epävarmuuskomponentit lasketaan yhteen neliöinä. Näin vältetään komponenttien kumoutuminen toisistaan.

$$N = \sqrt{T_{ml}^2 + T_{ms}^2 + T_{mo}^2}, \quad (1)$$

jossa

$N$  = kokonaisepävarmuustekijä

$T_{ml}$  = mittalaitteen tarkkuus sisältäen kalibrointiajankohdan, -tarkkuuden ja ryöminän

$T_{ms}$  = mittaussuorituksen yksityiskohdat

$T_{mo}$  = mittausolosuhteiden vaikutus

Epävarmuusarvioinnissa eritellään kolme pääryhmää, ja kunkin epävarmuusosatekijän erillisepävarmuus integroidaan kokonaisuittain epävarmuuden laskentakaavaan. Mikäli muita tunnettuja epävarmuustekijöitä vaikuttaa mittaukseen, lisätään ne mainittuun juureen. Lopullinen tulos esitetään kokonaislukuna.

Tulos ilmoitetaan kokonaislukuna  $\pm N$ .

Tarkkuuskomponenttien määrittelyyn ei ole vakiintuneita ohjeita, joten tarkkuuden arvioinnista tulee näkemyksellistä ja kokemusperäistä. Mittaustarkkuuden arviointi muuntuu usein halutun varmuusmarginaalin määrittelyksi. Mikäli mittaajalla ei ole luotettavaa tarkkuustietoa, esimerkiksi mittalaittevalmistajalta, kyseisen epävarmuustekijän arvioinnissa käytetään vähintään arvoa  $\pm 3$ .

Mittalaitteen tarkkuuden ja stabiiliuden lisäksi mittauksen kokonaisepävarmuuteen vaikuttavat useat mittaussuorituksen yksityiskohdat sekä mittauskohdan olosuhteet, erityisesti lämpötila koko mittaus tapahtuman aikana. Taulukossa 2 on esitetty karkeita suuruusluokkatietoja yksittäisten mittausperiaatteiden epätarkkuustekijöistä tilanteessa, jossa betonirakenteen pintaosat ovat kuivempia kuin sisäosat. Kuitenkin, mikäli betonirakenne on kastunut pintaosistaan, putkitus- ja tiivistystekijä voi aiheuttaa virheen myös kostempaan suuntaan.

Taulukko 2. Mittausepävarmuustekijät (RT 103333, 2021, 26).

	$T_{ml}$	$T_{ms}$	$T_{mo}$
±1	Betonimittauksiin erityisesti tarkoitettu mittalaite. ±1,5 RH-yksikön tarkkuuden kalibrointi korkeintaan 6 kk ennen. Mittapääkohtainen ryömintätieto osoittaa hyvän näyttämäpysyvyyden.	Syvyys 1 mm tarkkuudella. Tiivistys vuotamaton. Mittapään ehdoton tasapaino betonin kanssa tunnetaan kokemuseräisesti.	Tila/rakenne normaalissa käytössä tai lähes normaaliolosuhdetta vastaavassa lämpötilassa. Porauksen ja mittauksen välisenä aikana ei olosuhdevaihtelua. Ei lattialämmitystä käytössä.
±2	Betonimittauksiin erityisesti tarkoitettu mittalaite. ±1,5 RH-yksikön tarkkuuden kalibrointi korkeintaan 12 kk ennen. Mittapääkohtainen ryömintätieto osoittaa hyvän näyttämäpysyvyyden.	Syvyys 1 mm tarkkuudella. Tiivistys vuotamaton. Mittapään hyvä tasapaino betonin kanssa tunnetaan kokemuseräisesti.	Tila/rakenne normaalissa käytössä tai lähes normaaliolosuhdetta vastaavassa lämpötilassa. Porauksen ja mittauksen välisenä aikana ei suurta olosuhdevaihtelua. Ei lattialämmitystä käytössä.
±3	±2 RH-yksikön tarkkuuden kalibrointi korkeintaan 6 kk ennen. Mittapään ryömintä tiedetään melko vähäiseksi.	Syvyys 1 mm tarkkuudella. Hyvä tiivistys. Mittapään hyvä tasapaino betonin kanssa tunnetaan kokemuseräisesti.	Tila/rakenne 5 asteen tarkkuudella normaalilämpötilassa. Porauksen ja mittauksen välisenä aikana ei suurta olosuhdevaihtelua. Ei lattialämmitystä käytössä.
±4	±2 RH-yksikön tarkkuuden kalibrointi korkeintaan 12 kk ennen. Mittapään ryömintä tiedetään melko vähäiseksi.	Syvyys 2 mm tarkkuudella. Hyvä tiivistys. Mittapään melko hyvä tasapaino betonin kanssa tunnetaan kokemuseräisesti.	Tila/rakenne 5 asteen tarkkuudella normaalilämpötilassa. Porauksen ja mittauksen välisenä aikana ei suurta olosuhdevaihtelua.
±5	±3 RH-yksikön tarkkuuden kalibrointi korkeintaan 6 kk ennen. Ryöminnästä ei tarkkaa tietoa.	Syvyys 2 mm tarkkuudella. Melko hyvä tiivistys. Mittapään melko hyvä tasapaino betonin kanssa tunnetaan kokemuseräisesti.	Tila/rakenne 5 asteen tarkkuudella normaalilämpötilassa, mutta olosuhteet epävakaut.
±6	±3 RH-yksikön tarkkuuden kalibrointi korkeintaan 12 kk ennen. Ryöminnästä ei tarkkaa tietoa.	Syvyys 2 mm tarkkuudella. Melko hyvä tiivistys. Mittapään tasapaino betonin kanssa epävarmaa.	Tila/rakenne 10 asteen tarkkuudella normaalilämpötilassa, mutta olosuhteet epävakaut.

### 3.4 Mittaustulosten luotettavuuteen vaikuttavat tekijät

Betonilattian suhteellisen kosteuden mittauksen luotettavuuteen porareikämenetelmällä vaikuttavat useat tekijät. Näihin tekijöihin lukeutuvat muun muassa käytetty mittalaite ja sen kalibrointi, mittauspisteen sijainti, poraus ja tiiviyys, ympäristön ja betonin olosuhteet sekä mittaustulosten huolellinen analysointi. Mittausepävarmuus muodostaa merkittävän osatekijän koko mittausprosessissa, ja sen arviointi on tärkeää. Ilman tarkkaa mittaausepävarmuuden huomioimista mittauksen tulosten tulkinta voi johtaa

virheellisiin päätelmiin, mikäli tulkitsijalla ei ole riittävästi tietoa mittaukseen vaikuttavista yksityiskohdista ja hän saattaa turvautua pelkästään mittalaitteen antamaan lukemaan. (Merikallio 2002, 12.)

Mittalaitteiden toiminnan säännöllinen tarkastus ennen jokaista mittauskertaa muodostaa oleellisen vaiheen varmistaessaan mittauksen luotettavuuden. Tarkistukselle ei ole määritelty samankaltaisia tiukkoja vaatimuksia, mutta sen suorittaminen on tärkeää mahdollisten poikkeamien varhaisessa havaitsemisessa ennen varsinaista mittauksia. (RT 103333, 15.) Mittalaitteen tarkkuus muuttuu käytössä mm. pölyn, kemikaalien ja likaantumisen vaikutuksesta. Tarkkuuden muutosten dokumentointi on keskeistä, ja muutokset on huomioitava arvioitaessa mittauksen luotettavuutta. (Merikallio 2002, 12.)

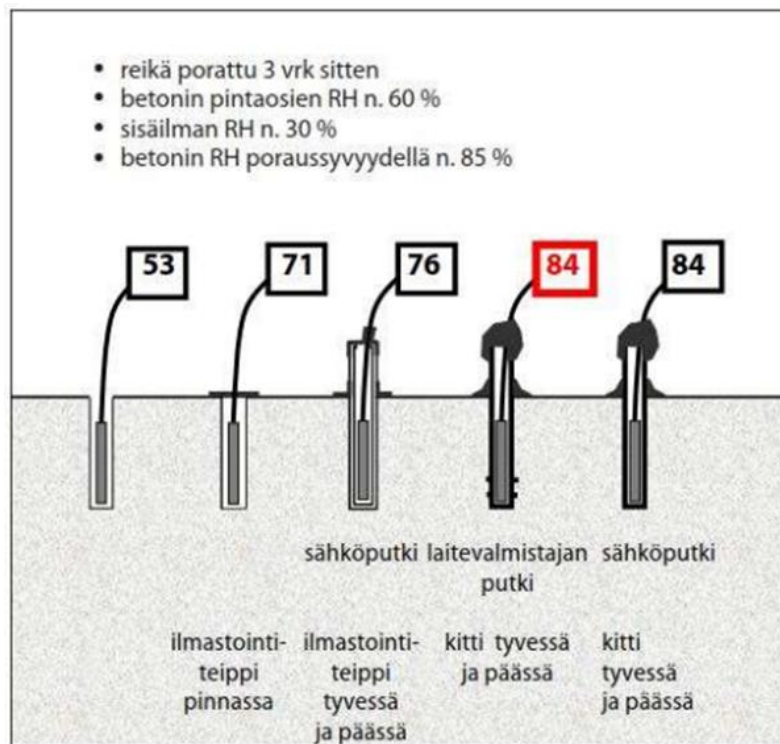
Mittalaitteen kalibroinnilla on suuri vaikutus mittaustuloksen luotettavuudelle ja sen seurauksena myös oikealle tulkinnalle. Laite, joka alun perin näyttää liian korkeita tai liian alhaisia lukemia, voi johtaa esimerkiksi rakenteen liian pitkään kuivattamiseen tai päinvastoin puutteelliseen kuivumiseen. (Merikallio 2002, 12.)

Mittalaitteen kalibrointi suositellaan suoritettavaksi vähintään valmistajan antamien ohjeiden mukaan, yleisesti vuosittain, mutta tarvittaessa useammin, mikäli mittalaitetta käytetään paljon tai mikäli mittaukselta vaaditaan erityistä tarkkuutta. Kalibrointi suoritetaan yleensä asiantuntijalla, jolla on käytössä mittapään kalibrointiin sopiva laitteisto sekä pätevyys työn suorittamiseen. Kalibroinnissa käytetään betonin kosteuden mittauksessa yleisesti käytettyjä alueita RH 70...98 %. (RT 103333, 2021, 15.)

Mittauskohdan valinnalla on suuri vaikutus mittauksen luotettavuuteen. Mittauspisteiden välillä hajonta voi olla merkittävä; yleensä useita prosenttiyksikköjä johtuen erilaisista rakenteista ja betonityypeistä. Yleensä käytettävissä on vain yksi mittauspiste kutakin tarkasteltavaa tilaa kohti ja yleisessä ohjeistuksessa suositellaan valitsemaan oletettavasti kostein kohta mittauskohdaksi. Käytännössä tämän kohdan tarkka määrittäminen on vaikeaa. (RT 103333, 2021, 19) Samassa rakenteessa saattaa esiintyä pintavalun paksuuseroja, ontelolaatan saumojen ja täyttövalujen materiaalivehityksiä, mitkä

voivat aiheuttaa mittaustulosten hajontaa. Lisäksi rakenteen epätasainen kastuminen ja kuivuminen eri olosuhteiden vuoksi vaikuttavat mittaustuloksiin. (Merikallio 2009, 108.)

Mikäli kosteusmittaus suoritetaan liian aikaisin porauksen jälkeen, voi se johtaa mittaustuloksiin, jotka ovat useita prosenttiyksiköitä liian korkeita. Porauksen vaikutus on yleensä merkittävämpi kuivemmassa betonissa. Tämän seurauksena melko kuivastakin betonista voidaan saada mittaustuloksia, jotka ylittävät ohjearvot, mikäli mittaus tehdään liian pian porauksen suorittamisen jälkeen. Porauksen kosteusmittaustulokseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa betonin laatu ja kosteus, poranterän terävyys, poraustoimenpiteen kesto sekä reiän puhdistus. Myös mittapään epätiiviyys voi aiheuttaa kosteuden haihtumista poratusta mittareistä, mikä puolestaan johtaa alhaisiin kosteusmittausarvoihin (kuva 8). Tällä tekijällä on huomattava vaikutus mittaustulokseen ja sen oikeaan tulkintaan. (Merikallio 2002, 14.)



Kuva 8. Epätiivyyden vaikutus.

Porareiän mittausputkena voidaan käyttää esimerkiksi 16 mm:n sähköputkea tai laitevalmistajan asennusputkea. Mittausputken valintaakin tärkeämpi seikka on



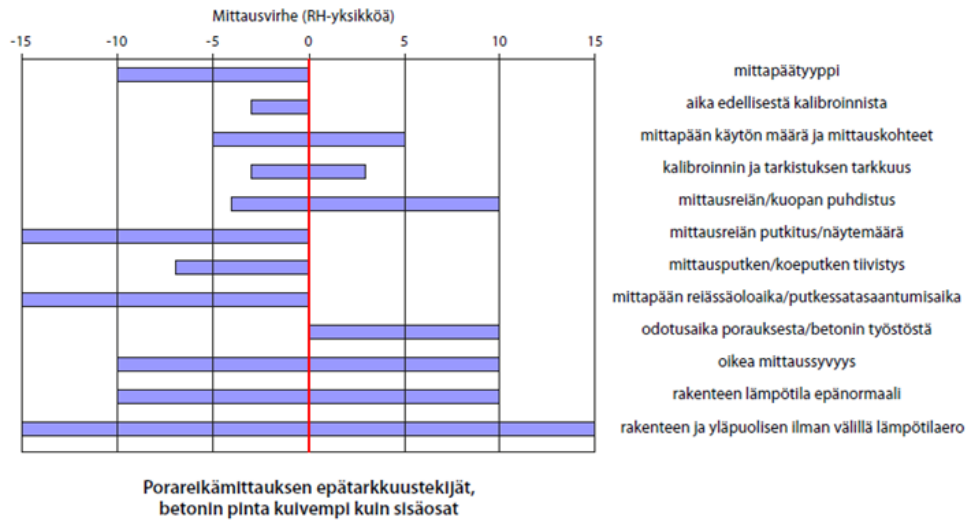
sen tiivistys betoniin. Teippi ei ole sopiva tiivistysmateriaali. Markkinoilta löytyy joustavia massoja, jotka sopivat tähän käyttöön. (Merikallio 2002, 14.) Tutkimuksessa käytettiin Unipak-saniteetikittiä, joka on helppo muotoilla tiiviisti asennusputken juureen sekä päähän.

Suosituslämpötila porareikämittauksille päällystettävyyden arvioinnissa on +18...+25 °C, koska se on lähellä tilan normaalia käyttölämpötilaa. Jos mittauslämpötila poikkeaa tästä suositusalueesta, tulee tämä ottaa huomioon tulosten tulkinnassa ja tarkastella mahdollisia vaikutuksia mittauksen tarkkuuteen. Mikäli edellä mainitut lämpötilarajat eivät toteudu, porareikämittaus ei ole sopiva mittausmenetelmä. (RT 103333, 2021, 5.)

Myös betonin ja mittapään välinen lämpötilaero vaikuttaa oleellisesti mittaustuloksiin. Betonin lämpötilan muuttuessa betonin huokosilman suhteellinen kosteus muuttuu yleensä arvojaan siten, että lämpötilan noustessa suhteellinen kosteuskin kasvaa ja vastaavasti lämpötilan laskiessa suhteellinen kosteus pienenee. (Merikallio 2002, 16.) Mittaushetkellä jo 1°C:n lämpötilaero mittapään ja betonin välillä saattaa saada aikaan noin 5 %:n virheen mittaustulokseen. (Merikallio ym. 2007, 82.)

Betonilattian kosteuden mittaamiseen liittyy useita epävarmuustekijöitä (kuva 9), jotka kosteusmittaajan on tunnettava ja joiden aiheuttamaa mittausrvirhettä tulisi pystyä arvioimaan. Pääasiallinen haaste liittyy betonin ominaisuuksiin, mikä tekee vaikeaksi arvioida eri tekijöiden yksittäistä mittauserpävarmuutta riittävällä tarkkuudella.

Palkit esittävät eri mittausmenetelmien eri tekijöiden mahdollisesti aiheuttamia virheitä. Palkin pituus kertoo mahdollisen enimmäisvirheen.



Kuva 9. Epätarkkuustekijät (RT 103333, 2021, 28).

Mittausprosessi ja mittausepävarmuuden määrittäminen ovat haastavia tehtäviä, jotka edellyttävät vahvaa osaamista kosteusmittauksista ja niiden ymmärtämisestä. Kosteusmittaajien koulutus ja erilaiset pätevyudet pyrkivät parantamaan mittauksen luotettavuutta, mutta ne eivät automaattisesti takaa, että mittaja kykenee tunnistamaan ja arvioimaan lukuisia mittaukseen ja tulosten tulkintaan liittyviä epävarmuustekijöitä. (Merikallio 2009, 108.)

## 4 Päällystyskelpoisuuden arviointi

Päällystyskelpoisuuden arviointi suoritettiin vuonna 2022 loppuvuodesta valmistuneessa NCC Suomi Oy:n kohteessa, joka sijaitsee Turussa. Sen ensimmäisessä kerroksessa sijaitsevat yhdeksän asuntoa, tekniset tilat, pesula, välinevarasto, irtaimistovarastot ja väestönsuojatilat, joissa on myös irtaimistovarastot. Kerroksissa 2–7 on 18 lähes identtistä asuntoa. Kahdeksanteen kerrokseen rakennettiin 12 asuntoa, saunaosasto ja irtaimistovarasto ja sen ullakolle porraskohtaiset IV-konehuoneet. Yksittäisissä asunnoissa ei ole omia saunoja, vaan ullakkokerroksessa on yhteinen saunaosasto ja maisematerassi. (NCC Oy 2023b.)

### 4.1 Tutkimustyön tavoite

Tutkimustyön tarkoituksena on selvittää, voiko jo suoritettuja kosteusmittauksia pitää luotettavina ja mitä rakenteellisia tekijöitä tulee ottaa huomioon päällystyskelpoisuuden arvioinnissa. Opinnäytetyön rakenne muodostuu tutkimusosuudesta, jossa käsitellään Luja-Superlaatan rakennetta ja valmistusprosessia, sekä tavoitteista, rajauksista ja tutkimusongelmasta. Lisäksi esitellään käytetyt tutkimusmenetelmät ja tutkimuskohde. Työn keskeiset käsitteet ja tekniset tiedot esitetään myös tutkimusosuudessa.

Tavoitteena on luoda selkeä ja hyvin yksinkertainen toimintaohje tilanteeseen, jossa Luja-Superlaatta kastuu lattialämmityspotken vahingoittumistilanteessa ja tutkia käytettyä päällistykseen arvioinnissa sovelletun mittausohjeen luotettavuutta kahdessa esimerkkitapauksessa.

Tutkimuskohteeksi rajataan 270 mm:n vahvuinen Luja-Superlaatta (kuva 10) kuivissa tiloissa, jonka päällistyskelpoisuutta arvioitiin vesivahingon jälkeen. Tutkimuksen kohteena olevassa rakennuksessa on käytetty muitakin eri vahvuisia ja rakenteeltaan erilaisia välipohjalaattoja, mutta vahingot olivat tapahtuneet tässä tarkasteltavassa elementtityypissä.



Kuva 10. Lujabetoni Superlaatta poikkileikkaus (Lujabetoni Oy 2023b).

#### 4.2 Lujabetoni Superlaatan päällystyskelpoisuuden arviointi

Päällystyskelpoisuuden arvioinnissa noudatettiin RT-ohjekorttia 103333 (2021) Betonin suhteellisen kosteuden mittausta. Koska Lujabetoni Superlaatta + tasoiterakenteelle ei ole mittausohjetta, päätettiin suorittaa päällystyskelpoisuuden arviointi ontelolaatta + tasoite ( $d_2$ ) -ohjeistuksen mukaan. Tämän lisäksi tapauksessa, jossa kevytsorabetoni-insertti oli kastunut, mitattiin suhteellinen kosteus myös sen sisältä. Mittausohjeen valintaan vaikutti Lujabetoni Superlaatan kantavan osan betonilaatu C55/67, jonka ominaisuudet ovat lähellä ontelolaatan tavanomaisen normaalilujuusbetonin C50/60 ominaisuuksia (Elementtisuunnittelu 2023).

Myös huokoisen kevytsorabetoni-insertin kosteussisällön ( $\text{g/m}^3$ ) mahdollinen vaikutus päällystyskelpoisuuden arviointiin haluttiin selvittää kosteumittauksin. Kevytsorabetoni-insertti (C2,5/3) on rakenteeltaan hyvin huokoinen, joten se pystyy sitomaan kosteutta huomattavasti enemmän, kuin tiivis betoni.

Lähdeaineiston tutkiminen osoitti, ettei suhteellisen kosteuden ja materiaalin kosteussisällön välille voida luoda luotettavaa korrelaatiota. Näin ollen, kevytsorabetoni-insertin huokosten ilmatilan kosteussisällöllä ei ole itsessään merkitystä. Oleellinen suure betonirakenteiden päällystyskelpoisuuden arvioinnissa on suhteellinen kosteus, joka pyrkii asettumaan tasapainoon kaikissa rakennusmateriaaleissa. (Merikallio ym. 2007, 17).

Mittausvälineenä käytettiin Vaisala HM40 (kuva 11) näyttölaitetta sekä Vaisala HMP110 (kuva 12) kosteuden ja lämpötilan antureita.



Kuva 11. Vaisala HM 40 -näyttölaite (J.H. Laaksonen Oy 2024).



Kuva 12. Vaisla HMP110 porareikäanturi (J.H. Laaksonen Oy 2024).

#### 4.3 Esimerkitapaukset

Vahingot tapahtuivat asunnoissa B108 sekä C206 ja C215. Vahinkojen syy oli lattialämmitysputken rikkoutuminen. Asunnot olivat viimeistelyjä, siivottuja ja valmiita luovutettaviksi. Vaikka kyseisiä vahinkoja tapahtui rakennuksessa ainoastaan 2 kappaletta 129 asuntoa kohden, on sanomattakin selvää, että korjaustyöt aiheuttivat huomattavia kustannuksia ja tilojen luovutus tilaajalle

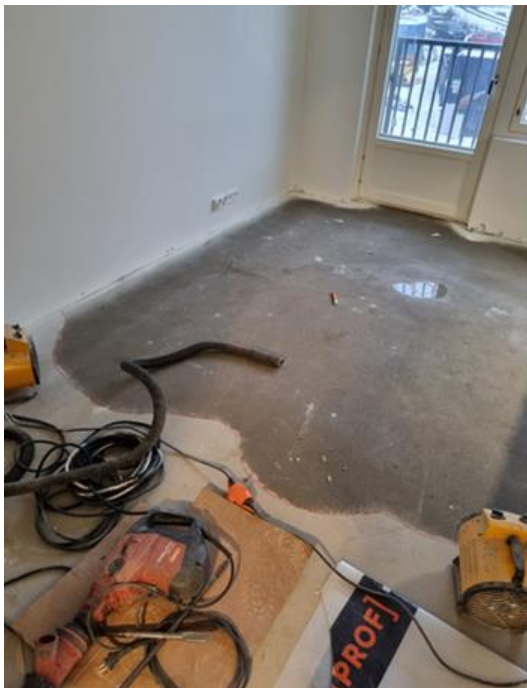
viivästy. NCC Suomi Oy:stä saadun tiedon mukaan yleisin yksittäinen syy Luja-Superlaattoihin kohdistuviin vuotovahinkoihin on seinäelementtien asennustukien kiinnitysten poraus. (Nieminen, J., haastattelu 9.10.2023).

Muita raportoituja syitä olivat:

- mittausvirhe ennen porausta
- porausalueen/-kohdan merkinnän puuttuminen
- tiedon puute porausalueesta
- poraus putkistojen kuljetusuraan.

#### 4.3.1 Tapaus 1

Asunnossa B108 havaittiin vesivahinko 30.11.2022. Lattialaminaatin alle oli vuotanut vettä. Jalkalistat ja lattialaminaatti alusmateriaaleineen poistettiin. Jälkivahinkotorjunnan jälkeen vuotokohta oli helppo paikallistaa lammikkona (kuva 13) lattiatasoitteen pinnassa.



Kuva 13. Kastunut alue.

Tasoitetta poistettiin ko. alueelta, jolloin SL-välipohjaelementissä oleva vuotoreikä tuli näkyviin. Lujja-Superlaatan kantavaa betonia poistettiin piikkaamalla vuotoreiän ympäriltä. Kävi ilmi, että lattialämmityspotkeen oli syntynyt reikä (kuva 14).



Kuva 14. Vahingoittunut lattialämmityspotki.

NCC:n työnjohto piti todennäköisimpänä syynä lattialämmityspotken rikkoontumiselle seinäelementin asennustuen (kuva 15) kiinnitysporausta välipohjaelementtiin.



Kuva 15. Elementin asennustuenta (Ramirent Oyj 2024).

Tarkastus asunnon B108 alapuolella sijaitsevassa tilassa 110 osoitti, ettei vuoto ollut tullut läpi Luja-Superlaatasta. Tästä voitiin päätellä, että kevytsorabetoni-insertti ei ollut kastunut.

Putken ympäriltä poistettiin riittävä määrä betonia, jotta putken korjaustyö voitiin suorittaa. Tässä vaiheessa oli havaittavissa, että Luja-Superlaatan tiivis betonirakenne ei ollut kastunut juuri lainkaan putken ympäriltä. Pintamittarilla ei ollut havaittavissa kohonneita kosteusarvoja Luja-Superlaatan pinnassa, mutta arvot olivat vielä koholla pinnan pumpputasoiteessa. Luja-Superlaatan vähäinen kastunut osa poistui piikkauksen yhteydessä.

Kuivaustyö aloitettiin 30.11.2022 ja päätettiin 12.12.2022, jolloin suoritettiin päällystyskelpoisuuden arviointi. Mittausohjeistuksena käytettiin RT 103333 betonin suhteellisen kosteuden mittaus- ohjekorttia. Mittausmenetelmänä käytettiin porareikämittausta, josta saatavat tulokset ilmoitetaan suhteellisena kosteutena. (Liite 2.)

#### 4.3.2 Tapaus 2

Asunnossa C206 havaittiin 12.12.2022 värimuutoksia olo- ja makuuhuoneen katoissa. Pintamittaus osoitti kohonneita kosteusarvoja. Vuoto jäljitettiin asunnon C206 yläpuolella sijaitsevaan asuntoon C215.

Asunnosta C215 poistettiin osittain jalkalistat sekä laminaattia tupakeittiöstä ja makuuhuoneesta. Lisäksi makuuhuoneen vaatekaappi poistettiin. Vuotokohta oli lattiassa hankala paikantaa, koska vuoto oli levinnyt lattiatasoihteessa kahteen huonetilaan väliseinän alta ja suurin osa vuotovedestä oli suuntautunut alaspäin (kuva 16).





Kuva 16. Vuotoalue.

Vuodon etsintä aloitettiin makuuhuoneen puolelta poistamalla pintatasoitetta ja Luja-Superlaatan betonia. Pinnan alta paljastui lattialämmitysputki, mutta se oli ehjä. Etsintä laajennettiin olohuoneen puolelle. Väliseinän alahelmaa avattiin, lattialämmitysputki piikattiin esille, mutta vuotokohta ei löytynyt sieltäkään. Etsintää jatkettiin uudelleen makuuhuoneen puolella, josta vuotokohta (kuva 17) löytyi aivan ulkoseinän/väliseinän nurkasta.



Kuva 17. Korjattu lattialämmitysputki.

Reikä putkessa oli jäljistä päätellen poranterän osittainen osuma, joka oli saanut aikaan hyvin pienen vuodon. NCC:n työnjohto piti tässäkin tapauksessa todennäköisimpänä syynä lattialämmitysputken rikkoontumiselle seinäelementin asennustuen kiinnitysporausta.

Rikkoutunut putki korjattiin. Kastunut pintatasoite ja Luja-Superlaatan vähäinen kastunut betoniosa poistettiin piikkauksen yhteydessä, joten tarvetta rakennekuivaukselle ei ollut. Ennen lattiapintojen päällystystä suoritettiin kuitenkin päällystyskelpoisuuden arviointi (kuva 18). Vuodon etsintätöitä suoritettiin kolmen työpäivän aikana.



Kuva 18. Päällystyskelpoisuuden arviointi.

Asunnon C206 makuuhuoneen kaapiston yläpuolella sijaitsevan putkikoteloinnin etulevyyn sahattiin reikä, jonka kautta määriteltiin vahinkoaluetta pintamittarin avulla Luja-Superlaatasta koteloinnin sisältä. Pintamittaus osoitti kohonneita kosteusarvoja. Tarkastelu reiästä paljasti, että vuoto oli rajautunut melko tarkasti Luja-Superlaatan kevytsorabetoni-insertin alueelle. Ainoastaan kevytsorabetoni-inserttien päistä vesi oli kapillaarisesti siirtynyt Luja-Superlaatan alapinnan ohutta betonikerrosta pitkin makuuhuoneen kattoon, koteloinnin etupuolelle sekä tupakeittiön puolelle väliseinän liittymän kohtaan (kuva 19).



Kuva 19. Vuotokohta tupakeittiön katossa.

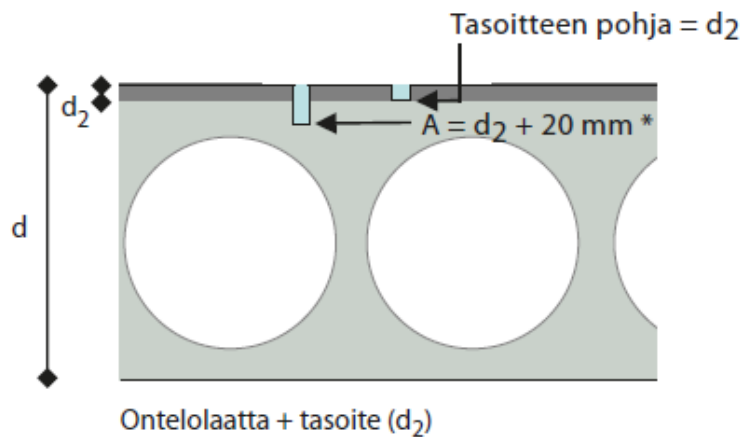
Luja-Superlaatan alapinnassa tai koteloinnin pohjalla ei ollut merkkejä pisaroinnista. Tästä voitiin päätellä, että vuoto oli jäänyt erittäin vähäiseksi, eikä nähty tarpeelliseksi porata kevytsorabetoni-inserttiin valutusreikiä vuotoveden poistamiseksi. Tässä vaiheessa resurssit jälleenrakennustöiden osalta keskitettiin yläkerran asuntoon C215, koska se ei vaatinut rakennekuivausta.

Kuivaustyöt aloitettiin 23.12.2022 ja päätettiin 9.1.2023 päällystyskelpoisuuden arviointiin.

#### 4.4 Mittausohjeistus

Ohjeet ja määräykset toimivat rakennusteollisuuden yhteisenä perustana. Niiden tarkoituksena on luoda suuntaviivat turvallisuudelle, laadunvarmistukselle ja yhdenmukaiselle toiminnalle. Betonirakenteiden osalta kosteusmittaus on keskeisessä roolissa, kun arvioidaan päällystettävyyttä rakenteen kastumisen jälkeen.

Mittauksissa käytettiin RT-ohjekorttia 103333 (2021) Betonin suhteellisen kosteuden mittaus, ontelolaatta + tasoite (d2) (kuva 20). Mittausmenetelmänä käytettiin porareikämenetelmää.



Kuva 20. Ontelolaatta + tasoite ( $d_2$ ). (RT 103333, 29).

Arviointisyvyys ( $A$ ) on rakenteesta ja sen paksuudesta riippuvainen mittaussyvyys, jossa päällystysmateriaalin valmistajan edellyttämä suhteellisen kosteuden raja-arvo on alitettava. Mittaus suoritetaan betonirakenteen pinnassa sekä 10–30 mm:n syvyydessä  $0,4 \times A$ . Suhteellisen kosteuden tulee olla alle 75 % tässä syvyydessä. Ontelolaatan saumassa sallitaan korkeammat arvot verrattuna laatan muuhun osaan. Tarvittaessa mittauspisteiden syvyyksiä voidaan tarkentaa toteutuneiden rakennepaksuuksien tai rakenteen ominaisuuksista tehtyjen havaintojen perusteella. (Merikallio ym. 2007, 88).

#### 4.5 Mittaustulosten arviointi

Mittaustulosten tulkinta vaatii olennaisesti mittausepävarmuuden huolellista arviointia. Keskeinen osa tätä prosessia on epävarmuuslähteiden tunnistaminen. Useimmissa tapauksissa mittauksissa on vain muutama päätekijä, jotka merkittävästi vaikuttavat mittausepävarmuuteen, ja siten vähäisempiä tekijöitä voidaan jättää huomiotta. Mikäli mittauksen epävarmuutta ei pystytä arvioimaan, saadut tulokset ovat korkeintaan suuntaa antavia, eikä niitä voi hyödyntää asianmukaisesti ilman virheen suuntaan ja suuruuteen perustuvaa arviota. (Heinonen 2006, 8.) Mittaustulosten arvioinnissa huomioitiin mittausepävarmuuskomponenttien laskennallinen vaikutus sekä poikkeamat asunnon B108 poraussyvytydessä sekä mittapäiden tasaantumisasajassa.

Mittausepävarmuustekijöiden tarkka arviointi suoritettiin matemaattisesti summaamalla epävarmuuskomponentit neliöllisesti taulukosta 1 kaavalla

$$N = \sqrt{Tml^2 + Tms^2 + Tmo^2}, \quad (1)$$

Kaavaan 1 liittyvät epävarmuuskomponentit:

Mittalaitteiden kalibroinnista yli 6 kk mutta kuitenkin alle 12 kk; valitaan epävarmuuskomponentin arvoksi  $\pm 2$

Porareiän syvyys on tehty 1 mm:n tarkkuudella ja mittausputken tiivistys on vuotamaton sekä mittapään ehdoton tasapaino betonin kanssa tunnetaan kokemusperäisesti; valitaan epävarmuuskomponentin arvoksi  $\pm 1$

Tila on normaalissa käytössä tai lähellä normaalia käyttölämpötilaa ja porauksen sekä mittauksen välisenä aikana ei esiinny olosuhdevaihteluja eikä lattialämmitys ole käytössä; valitaan epävarmuuskomponentin arvoksi  $\pm 1$

Sijoitetaan epävarmuuskomponentit kaavaan:

$$N = \sqrt{(\pm 2^2) + (\pm 1^2) + (\pm 1^2)}$$

$$N \approx \pm 2,5$$

$$N = \pm 3$$

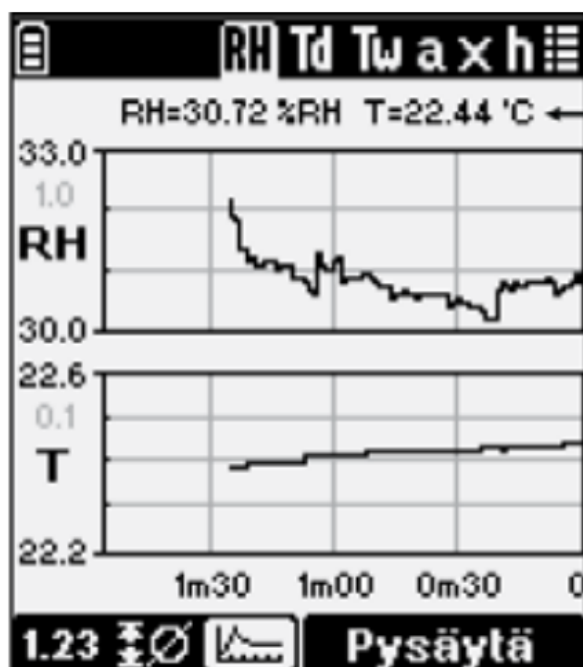
Kokonaismittausepävarmuuden tulokseksi saadaan  $\pm 3$  % RH. Mittaustulokset huomioiden laskennallinen tulos ei vaikuta negatiivisesti päällystyskelpoisuuteen.

Esimerkkitapauksissa pintatasoitteen paksuus vaihteli 13–37 mm:n välillä. Asunnossa B108 tasoitteen paksuus oli 37 mm. Varmistettiin rakenteen pintaosan kosteustilanne poraamalla 10 mm syvä mittareikä, mutta pintasoite oli hyvin hauras ja lohkeili reunoista, joten lopullinen syvyys oli 24 mm, jotta mittausputken tiivistys saatiin luotettavasti suoritettua. Saatu mittaustulos (liite 2)

alitti reilusti arviointisyvyyden A vaatimuksen  $< 75\%$  RH, joten poraussyvyyden poikkeama ei vaikuttanut negatiivisesti päällystettävyyteen.

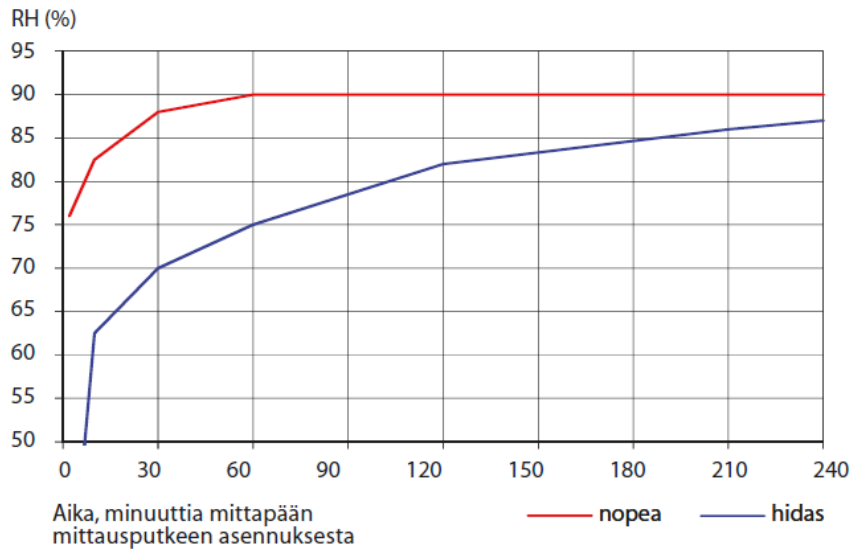
RT-ohjeistus 103333 (2021, 9) määrittelee mittapään tasaantumisaikaksi yleensä vähintään tunnin. Tutkimuksen mittauksissa tasaantumisaika oli pääosin 30 minuuttia. Ohjeistuksen mukaan tätä voidaan pitää liian lyhyenä tasaantumisaikana. Liian lyhyeen tasaantumisaikaan liittyy riski, että mittaustulos johtaa todellista alhaisempaan lukemaan. Ohjeistuksen mukaan on mahdollista saada luotettavia mittaustuloksia myös lyhyemmällä tasaantumisajalla. (RT 103333, 9). Mittaajan kokemus, ammattitaito ja mittalaitteen tuntemus ovat tällaisessa tilanteessa avainasemassa.

Käytetyt Vaisala HMP110 -mittapäät ovat nopeasti tasaantuvia. Valmistajan ohjeen mukaan tasaantumista on odotettava 30 minuuttia mittapään mittaosputkeen asentamisen jälkeen. Käytetyssä Vaisala HM 40 -näyttölaitteessa on ominaisuus, jolla voi kuvaajanäkymällä (kuva 21) seurata lämpötilan ja kosteuden trendiä. (Vaisala Oy 2024).



Kuva 21. HM 40 -kuvaajanäkymä (Vaisala Oy 2024).

Mikäli kosteusarvo on 30 minuutin kohdalla reilusti alle raja-arvon, eikä mittauksen trendi ole enää jyrkästi nouseva, voidaan mitattavaa rakennetta pitää riittävän kuivana ja mittaus voidaan päättää. (Kuva 22). Jos raja-arvo alkaa olla lähellä 30 minuutin aikana, tulee mittausaikaa pidentää. (RT 103333, 2021, 9).



Kuva 22. Tasaantumisaika, graafinen esitys. (RT 103333, 2021, 9).

Mittausaikaa pidennettiin 60 minuuttiin kahden mittauspisteen (mittauspisteet 2 ja 4) osalta asunnon C215 mittauksessa, jossa lähestyttiin 75 %:n suhteellisen kosteuden rajaa 30 minuutin kohdalla. Tasaantumisaajan pidennyksestä huolimatta mittautulos jäi alle raja-arvon (liite 2). Muiden mittauksen osalta 30 minuutin tasaantumisaika verrattuna 60 minuutin tasaantumisaikaan ei vaikuta negatiivisesti päällystettävyyteen. Vaikka saatuihin tuloksiin lisättäisiin (kuva 9) mittauksen enimmäisvirhe 15 % RH tasaantumisaajan osalta, jäädään silti alle raja-arvon 75 % RH.

## 5 Toimintaohjeen suunnittelu ja toteutus

Rakennushankkeet altistuvat usein odottamattomille tapahtumille, jotka voivat vaikuttavat merkittävästi aikatauluun, kustannuksiin ja projektin läpimenoaikaan. Odotettavissa on aina odottamatonta, ja siksi rakennushankkeissa on tärkeää olla valmiina tunnistamaan ja hallitsemaan näitä riskitekijöitä jo suunnitteluvaiheessa. Kaikkeen ei huolellisesta valmistautumisestakaan huolimatta voi varautua, jolloin nopea reagointi tapahtumaan ja oikeiden toimenpiteiden suorittaminen nousevat tärkeään asemaan vahinkotilanteessa. Tästä syystä Lujabetoni Oy halusi osaksi opinnäytetyötäni yksinkertaisen toimintaohjeen, joka helpottaa ja nopeuttaa rakennustyömaan henkilökunnan vianetsintää sekä ohjaa tekijän oikeiden toimenpiteiden äärelle.

Toimintaohjeen suhteen aiheesta ei juurikaan ole olemassa taustatietoa. Lujabetoni Oy:n Superlaatan suunnitteluohje ja Lujabetoni Oy:n sisäiset testausraportit sekä NCC Suomi Oy:n kohteen rakennepiirustukset olivat tärkeimmät dokumentit tutkimuksen kohteena olevan välipohjalaatan rakennusfysikaalisen profiilin luomisessa. Ohje syntyi tehtyjen kosteusmittausraporttien, mittaustulosten sekä havaintojen pohjalta.

Toimintaohje tehtiin Lujabetoni Oy:n toivomuksesta kaaviomuotoon (liite 1), jolloin se on selkeä ja helppolukuinen. Kaavio voidaan tarvittaessa tulostaa yhdelle paperille ja kiinnittää työmaatoimiston seinään näkyvälle paikalle tai ottaa mukaan vahinkopaikalle toimenpiteiden tueksi myös sähköisessä muodossa.



## 6 Yhteenveto ja pohdinta

Tämä opinnäytetyö tutkii Luja-Superlaatan päällystyskelpoisuutta ja suoritettujen kosteusmittausten luotettavuutta sekä luo toimintaohjeen välipohjarakenteen vesivahinkotilannetta varten. Tutkimus suoritettiin Turussa sijaitsevalla kerrostalotyömaalla, jossa pääurakoitsijana toimi NCC Suomi Oy. Opinnäytetyön toimeksiantajina toimivat Lujabetoni Oy ja NCC Suomi Oy.

Käytettynä mittaussuunnitelmana oli porareikämenetelmä, jota sovellettiin ontelolaatan kosteusmittausohjeistukseen. Teoreettinen osa pohjautui aiempiin tutkimuksiin, alan julkaisuihin sekä rakentamisen ohjeistuksiin ja määräyksiin. Mittaustulosten arviointi osoitti, että suoritettujen kosteusmittaukset olivat luotettavia ja tulokset johtivat hyvän rakennustavan mukaiseen lopputulokseen, vaikka jokainen mittaustulokseen vaikuttava tekijä ei kohdannutkaan rakentamisen ohjeistusta.

Tutkimus tarjosi myös käytännön näkökulman, kun Luja-Superlaatan päällystyskelpoisuutta arvioitiin RT 103333 Betonin suhteellisen kosteusmittausohjeen avulla. Koska Luja-Superlaatalle ei ollut vielä määritelty mittaussuunnitelmia, päätettiin käyttää ontelolaatta + tasoite (d2) -ohjeistusta. Tutkimuksessa käsiteltiin myös kaksi käytännön esimerkkitapausta, joissa Luja-Superlaatta kastui lattialämmityspotken rikkoontumisen vuoksi. Opinnäytetyö antaa arvokasta tietoa toimeksiantajille NCC-Suomi Oy:lle ja Lujabetoni Oy:lle sekä tarjoaa konkreettisia toimenpidesuosituksia vastaavien tilanteiden varalta.

Pitkän työurani aikana olen tehnyt lukuisia kosteusmittauksia ja vähintään yhtä paljon siihen liittyvää raportointia. Opinnäytetyöni aikana huomasin, että raportoinnissani on ollut muutamia puutteita erityisesti mittausepävarmuustekijöiden huomioinnin osalta. Nämä havainnot antavat syyn muuttaa raportointia jatkossa. Lisäksi opinnäytetyöni tutkimus vahvisti ammatillista pohdintaani siitä, että kosteusmittaus on ainoastaan yksi osa päällystyskelpoisuuden arviointia. Erityisesti tutkittavan tilan olosuhteiden tulisi olla itse päällystysen suorittamiselle kelpoiset. Kosteusmittauksen luotettavuuteen liittyy useita tekijöitä, jotka voivat luoda epävarmuutta

mittaustoimenpiteen aikana. Parhaassakin tapauksessa luotettava kosteusmittaustulos on laskennallinen suhteellisen kosteuden arvo niissä olosuhteissa, joissa mittaus on suoritettu. Erilaiset menetelmät mahdollistavat mittaukset huonoissakin olosuhteissa, kuten esimerkiksi näytepalamenetelmä. On pohtimisen arvoista, onko järkevää arvioida päällystettävyyttä, jos olosuhteet eivät salli mittaustulosten lukemista tilassa, johon arviointi pitäisi tehdä? Tutkimuksessani käytettiin kosteusmittausmenetelmänä porareikämenetelmää. Se on ohjeistuksen mukaisesti tehtynä varsin luotettava, mutta lämpötilaolosuhteet on pysyttävä mittauksen aikana lähes muuttumattomina alueella +18...+25°C. Päätös käyttää kosteusmittausmenetelmänä porareikämenetelmää ohjaa rakentajaa luomaan mittaukselle ja päällystykselle oikeanlaiset olosuhteet. Samalla tämä tukee rakennuskohteelle laadittua kosteudenhallintasuunnitelmaa, jossa tulee esittää mm. rakenteiden kuivumisaika-arviot. Kun rakennukselle luodaan rakennusaikana hyvät sisäolosuhteet, kosteusmittaukseen liittyvät epävarmuustekijät vähenevät, rakennuksen kosteusongelmien riski vähenee, pinnoitustöiden aikataulutukset helpottuu ja rakentamisen läpimenoaika lyhenee. Lisäksi säästyy energiaa ja työssäviihtyvyys lisääntyy.

Päällystyskelpoisuuden arviointi vaatii tekijältään vahvaa rakennusfysiikan tuntemusta, loogista ajattelukykyä, käytetyn mittalaitteiston tuntemusta, paljon mittaustoistoja, tahtoa kehittyä sekä ammattitilpeyttä. Ilman näitä tekijöitä mittaaja saattaa päätyä dokumentoimaan mittaustuloksia ilman kokonaisvaltaista ymmärrystä työnsä tarkoituksesta.

Lisäksi Luja-Superlaatta osoittautui tutkimuksen aikana rakenteeksi, jonka tuotekehitys on viety hyvin pitkälle; nopeampi asennus, rakenteen keveys ja paloturvallisuus. Lisäksi tiiviin betonirakenteensa ansiosta se ei juurikaan kastu, joten kosteusongelmia ei pääse syntymään. Vesivahinkotilanteessakaan Luja-Superlaatta ei varastoi vettä sisäänsä, vaan päästää sen läpi, jolloin vuoto on helposti havaittavissa. Tutkimuskohteessa rakennekuivaus oli suhteellisen nopeaa ja kohdistui lähinnä Luja-Superlaatan rakenteiden ylä- ja alapintojen tasoite- ja betoniosiin. Erittäin hyödyllisinä jatkotutkimusaiheina Luja-

Superlaatalle näkisin elementtitukien kiinnityspiste- ja kosteusmittausalueiden selkeämmän merkinnän sekä optimaalisen rakennekuivausmenetelmän määrittämisen.

## Lähteet

Danish Institute of Fire and Security Technology 2014. Resistance to fire. Classification report. Yrityksen sisäinen asiakirja.

Elematic Oyj 2024. Lujabetoni invests in future-proof precast factory. Viitattu 22.2.2024. <https://www.elematic.com/concrete-issues/lujabetoni-invests-in-future-proof-precast-factory/>

Elementtisuunnittelu 2023. Ontelolaatat. Viitattu 15.10.2023. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/runkorakenteet/laatat/ontelolaatat>

Heinonen, M. 2006. Uncertainty in humidity measurements. Publication of the EUROMET Workshop P758. Mittatekniikan keskus. J4/2006. Espoo.

J.H. Laaksonen Oy 2024. Tuotteet. Viitattu 22.2.2024. <https://www.kosteusmittari.fi/tuotteet.html?id=65948/>

Lujabetoni Oy & Cramo Oy 2019. Kaatoalueelementin tutkimusraportti.

Lujabetoni Oy 2018a. Asennusohje. Viitattu 22.2.2024. <https://www.luja.fi/app/uploads/sites/2/2018/03/Luja-Superlaatan-Asennusohje-27.2.2018.pdf>

Lujabetoni Oy 2018b. Järvenpään tehdas. Viitattu 12.10.2023. [https://lujabetoni.fi/vahvin-betoniosaaja-palveluksessasi/dcim100mediadji\\_0004-jpg-2/](https://lujabetoni.fi/vahvin-betoniosaaja-palveluksessasi/dcim100mediadji_0004-jpg-2/)

Lujabetoni Oy 2023a. Yritysesittely. Viitattu 27.12.2023. <https://www.luja.fi/yritys/yhtiomme-2/>

Lujabetoni Oy 2023b. Suunnitteluohje. Viitattu 14.10.2023. <https://lujabetoni.fi/app/uploads/sites/2/2021/09/Luja-Superlaatta-suunnitteluohje.pdf>

Merikallio, T. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Rakennustieto Oy. Helsinki.

Merikallio, T. 2009. Betonilattian ”riittävän” kuivumisen määrittäminen uudisrakennuksessa. TTK Rakenne- ja rakennustuotantotekniikan laitoksen väitöskirja TKK-R-VK4. Espoo.

Merikallio, T.; Niemi, S. & Komonen, J. 2007. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. 2. painos. Helsinki. Suomen Betonitieto Oy.

Mäkelä, S. 2023. Haastattelu. Lujabetoni Oy:n tuotepäällikkö Samu Mäkelää haastatteli Rami Penttinen.

Mäkelä, S. 2024. Haastattelu. Lujabetoni Oy:n tuotepäällikkö Samu Mäkelää haastatteli Rami Penttinen.

NCC Oy 2023a. Yritysesittely. Viitattu 27.12.2023. <https://www.ncc.fi/tietoa-nccsta/ncc-konserni/historia/>

NCC Oy 2023b. Projektit. Viitattu 25.11.2023. <https://www.ncc.fi/projektit/>

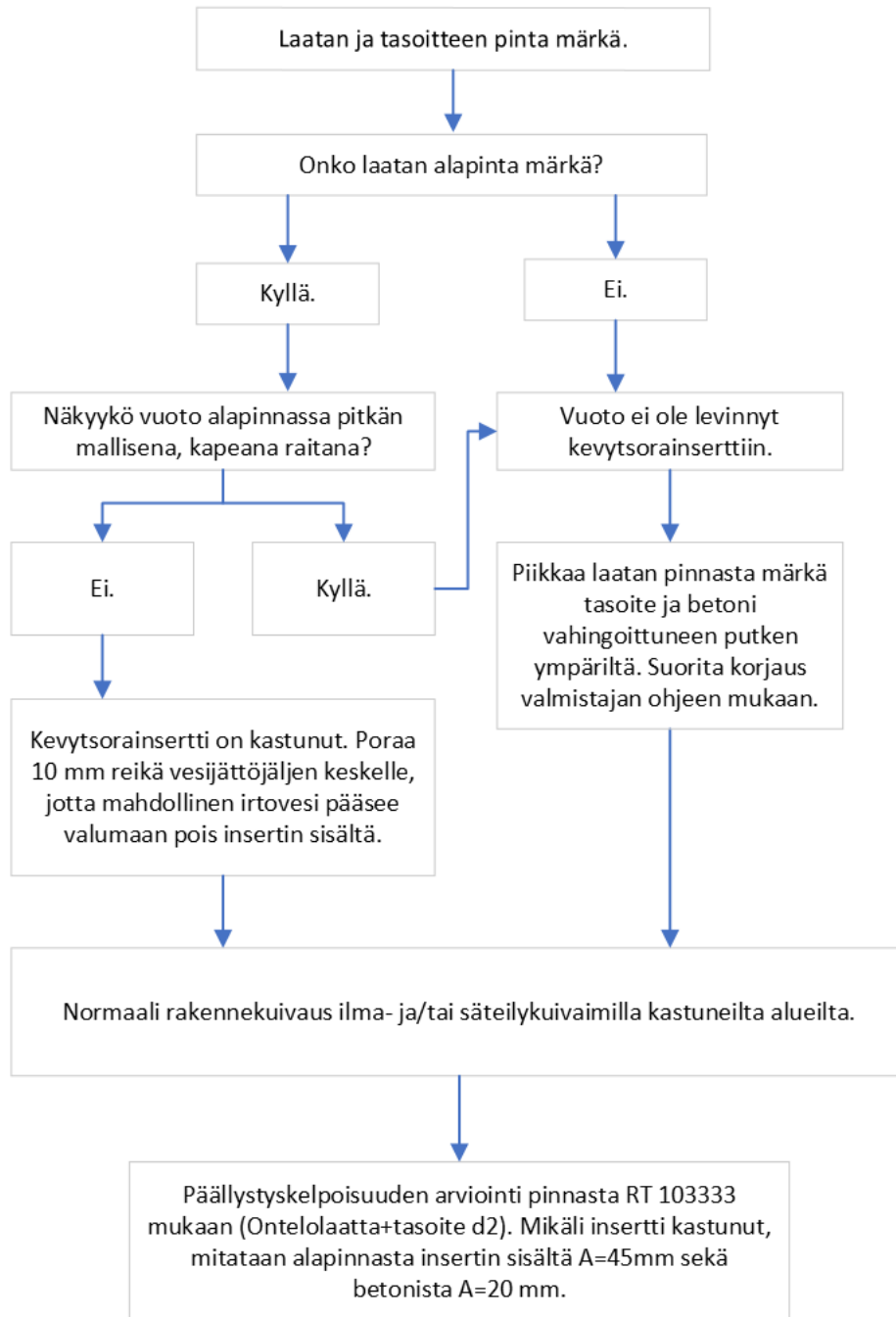
Nieminen, J. 2023. Haastattelu. NCC Suomi Oy:n työpäällikkö Jari Niemistä haastatteli Rami Penttinen.

Ramirent Oyj. 2024. Elementtituki. (Viitattu 22.2.2024). <https://www.ramirent.fi/vuokraa/aidat-portit-portaat-ja-tuentakalusto/tuentakalusto/808880/elementtituki-rsk-8-620-760cm>

RT 103333. 2021. Betonin suhteellisen kosteuden mittaus. RT-ohjekortit. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Vaisala Oyj. 2024. Käyttöohje. (Viitattu 12.3.2024). <https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/SHM40%20Suomenkielinen%20k%C3%A4ytt%C3%B6ohje.pdf>

## Toimintakaavio



## Mittaustulokset

<b>Käytetyt mittauslaitteet</b>	<b>Selite</b>
<b>Suhteellisen kosteuden mittauslaitteet (RH-mittaus)</b> Vaisala HM 40 + mittapää HMP 110	RH = Suhteellinen kosteus   T = Lämpötila

Mittapiste	Porauspäivä	Mittauspäivä	Mittaus-syvyys (mm)	RH (%)	T (°C)	Kohde
1	5.1.2023	9.1.2023	45	58,4	24,3	C 206 MH, katto
2	5.1.2023	9.1.2023	24	55,5	24,0	C 206 MH, katto
<b>Ulkoilma</b>		9.1.2023		90,0	-2,8	Ilmatieteenlaitos, Artukainen
<b>Sisäilma</b>		9.1.2023		15,8	24,5	

Mittapiste	Porauspäivä	Mittauspäivä	Mittaus-syvyys (mm)	RH (%)	T (°C)	Kohde
1	9.12.2022	12.12.2022	37+20	38,3	25,0	B 108, lattiatasoite+välipohja
2	9.12.2022	12.12.2022	24	43,2	25,0	B 108, lattiatasoite
3	9.12.2022	12.12.2022	24	24,9	25,0	B 108, lattiatasoite
4	9.12.2022	12.12.2022	37+20	56,3	25,0	B 108, lattiatasoite+välipohja
<b>Ulkoilma</b>				85,0	-7,0	Ilmatieteenlaitos, Artukainen
<b>Sisäilma</b>				17,0	25,0	

Mittapiste	Porauspäivä	Mittauspäivä	Mittaus-syvyys (mm)	RH (%)	T (°C)	Kohde
1	20.12.2022	23.12.2022	18	50,5	23,5	C215 Tupak./OH lattia
2	20.12.2022	23.12.2022	18+20	73,4	23,4	C215 Tupak./OH lattia
3	20.12.2022	23.12.2022	13	39,5	23,5	C215 MH lattia
4	20.12.2022	23.12.2022	13+20	72,3	23,2	C215 MH lattia
<b>Ulkoilma</b>		23.12.2022		96,0	3,2	Ilmatieteenlaitos, Artukainen
<b>Sisäilma</b>		23.12.2022		28,4	23,5	