

Tuomas Väliaho

## **Profiiliskanneri betoninäytekappaleiden mittauksessa**

Opinnäytetyö

Kesä 2019

SeAMK Tekniikka

Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU  
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Sähköautomaatio

Tekijä: Tuomas Väliaho

Työn nimi: Profiiliskanneri betoninäytekkappaleiden mittauksessa

Ohjaaja: Jarkko Pakkanen

Vuosi: 2019

Sivumäärä: 32

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää betonisten näytekkappaleiden mittaus- ja dokumentointiprosessin automatisointimahdollisuuksia Seinäjoen Ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa. Tarkoituksena oli hyödyntää toimeksiantajalla jo olemassa olevaa profiiliskannerilaitteistoa. Automatisoinnilla pyrittiin vähentämään mitausten työmäärää sekä poistamaan inhimillinen tekijä mittausvirheestä.

Työtä varten selvitettiin skannerilaitteiston tekninen tarkoituksenmukaisuus kannettavaa tietokonetta, pyörivää alustaa ja säädettävää kamerajalkaa hyödyntäen. Tavoitteena oli selvittää skannerin resoluution riittävyys, skannausalan riittävyys ja skannerin ohjelmiston soveltuvuus pyörivien betoninäytekkappaleiden skannaamiseen.

Skannerin resoluutio todettiin riittäväksi vertaamalla teknisiä lukuja oleellisten standardien vaatimuksiin. Skannerin skannausala riitti käytännön testeissä kuution koko ala läpi käymiseen. Isommat, lieriön muotoiset kappaleet eivät mahtuneet skannerin keilaan, joten yksi skanneri ei soveltunut näiden mittaamiseen. Kahden tai useamman skannerin riittävyttä ei voitu laitteiston puutteen takia testata. Skannerin ohjelmisto ei suoraan soveltunut pyörivien kappaleiden skannaamiseen. Näytekkappaleiden skannaaminen laitteen ohjelmistorajapintoja hyödyntämällä olisi ollut liian haasteellista, joten ohjelmistorajapintojen tarkastelu jätettiin työn ulkopuolelle.

Avainsanat: betoni, lujuus, näytekkappale, profiiliskanneri

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Electrical Automation

Author: Tuomas Väliaho

Title of thesis: Suitability of a Profile Scanner for Measuring Concrete Samples

Supervisor: Jarkko Pakkanen

Year: 2019

Number of pages: 32

---

The purpose of this thesis was to research the automatization possibilities for the measurement- and documenting process of concrete sample objects. The intention was to utilize the scanning hardware the commissioner of the thesis already had. The aim of the automatization was to minimize the need for manual labor in measurements and to remove the human factor from the measurement errors.

The technical suitability of the scanner was determined using a laptop, a rotating platform and an adjustable camera leg. The objective was to find out if the scanner resolution, scanner area and scanner software were suitable for scanning rotating concrete samples.

The scanner resolution was determined to be sufficient by comparing technical values to the requirements set by relevant standards. The scanning area of the scanner was large enough to go through the whole surface area of the sample cube. Taller, cylindrical samples did not fit in the scanning area, so the scanner is not suitable for measuring tall cylinders. Testing the usability of two or more scanners was not possible due to lack of equipment. The scanner software was not directly suitable for scanning rotating objects. Scanning sample objects using the programming interfaces of the device would have been too challenging, so the interfaces were not studied for the thesis.

Keywords: concrete, strength, sample, scan

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	4
Kuvaluettelo .....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	7
1 JOHDANTO .....	8
1.1 Työn tausta .....	8
1.2 Työn tavoite .....	8
1.3 Työn rakenne .....	8
1.4 Yhteistyötahot .....	9
2 RAKENNUSTEKNIIKAN LABORATORIO.....	10
3 BETONI .....	11
3.1 Betonin käyttökohteet.....	11
3.2 Perusaineet.....	11
3.3 Lisä- ja seosaineet .....	12
3.4 Betonin lujuutta heikentävät tekijät.....	13
3.5 Lujuusongelmat käytännössä.....	13
3.6 Tehonotkistimien käytön haasteet.....	14
4 MITTAAMINEN .....	15
4.1 Mittayksiköiden historiaa .....	15
4.2 SI-järjestelmä .....	15
4.3 Pituusmittavälineitä .....	16
4.3.1 Yksiulotteiset mitat ja anturit .....	16
4.3.2 Kaksiulotteiset profiiliskannerit .....	16
4.3.3 Kolmiulotteiset 3D-skannerit .....	17
5 BETONISET NÄYTEKAPPALEET JA NIIDEN MITTAAMINEN.....	18
5.1 Mitä ovat betoniset näytekappaleet?.....	18
5.2 Betoninnäytteiden mittaamisesta .....	18
6 SKANNERIN TEKNISEN RIITTÄVYYDEN SELVITYS.....	19

6.1 Työstä yleisesti.....	19
6.2 Tila ja välineet .....	19
6.3 Profiiliskanneri.....	20
6.4 Skannerin resoluution riittävyys.....	22
6.5 Laitteen käyttäminen ja kalibrointi .....	23
6.6 Skannausalan riittävyys .....	25
6.7 Pyörähdysskannaus ja pistepilvi .....	27
7 POHDINTAA JA YHTEENVETO.....	29
LÄHTEET .....	31

## Kuvaluettelo

Kuva 1. Gocator 2340A -laserprofiiliskanneri.....	20
Kuva 2. Liukumatto liikuttaa kohdetta skannerin alapuolella.....	21
Kuva 3. Kuvausalueet (LMI Technologies 2018, 55.).....	22
Kuva 4. Käyttöliittymä .....	24
Kuva 5. Kappaleen skannaus .....	25
Kuva 6. Skannerin kiinnitysadapteri .....	26
Kuva 7. Halkaisijaltaan 150 millimetrinen ja 300 millimetriä korkea lieriö.....	26
Kuva 8. Kuution profiili .....	27
Kuva 9. Improvisoitu pyöritysliityntä .....	28

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>Profiiliskanneri</b>	Profiilien kuvantamiseen tarkoitettu laite.
<b>Normikoekappale</b>	Valamalla valmisbetonista valmistettu koekappale
<b>Rakennekoekappale</b>	Valmiista rakenteesta poraamalla valmistettu koekappale
<b>Resoluutio</b>	Resoluutio eli kuvatarkkuus.
<b>Kalibrointi</b>	Mittalaitteen mitta-asteikon sovittaminen reaali maailmaa vastaavaksi

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta

Työn toimeksiantajana toimi Seinäjoen Ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriot, jossa tehdään betonisten koekappaleiden mittauksia eri suureilla. Osana mittauksia on kappaleiden pituussuureiden mittaus, joka nykyään tehdään käsin. Laboratoriossa on ilmennyt tarve nopeuttaa ja automatisoida mittausprosessia. Mittausprosessin automatisoinnilla pystyttäisiin myös poistamaan mittausprosessista inhimillisen virheen mahdollisuus sekä tallentamaan raakaa mittausdataa mahdollista myöhempää uudelleenanalysointia varten.

## 1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena oli selvittää koulun jo valmiiksi omistuksessa olevan laserprofiiliskannerin soveltuvuutta kuution ja lieriön mallisten betonisten näytekappaleiden mittaamiseen. Tämän pohjalta voisi olla mahdollista suunnitella laite, jolla mittaaminen voisi olla automaattista sekä nopeaa, ja jolla skannerin mittadata voidaan tallentaa digitaaliseen muotoon. Tämä edellyttää profiiliskannerilta riittäviä ominaisuuksia, kuten tarkkuutta, nopeutta ja kuvauskulmaa.

## 1.3 Työn rakenne

Työn alussa kerrotaan rakennus- ja materiaalitekniikan laboratorioista. Keskiössä kerrotaan mittalaitteista yleisesti ja betonisten näytekappaleiden mittaamisesta. Työn loppuvaiheessa käydään läpi profiiliskannerin teknisten ominaisuuksien riittävyyden selvittämistä. Aivan viimeisenä on pohdintaa ja yhteenveto opinnäytetyöstä.



## 1.4 Yhteistyötahot

Toimeksiantajana on SeAMK Rakennusala, joka on osa Seinäjoen Ammattikorkeakoulun testaus-, mittaus- ja simulointipalveluita. Elinkeinoelämän lisäksi laboratoriot palvelevat opiskelijoita. Työn tilaajaa edusti Seinäjoen Ammattikorkeakoulun laboratorioinsinööri Jorma Tuomisto.

## 2 RAKENNUSTEKNIIKAN LABORATORIO

Seinäjoen Ammattikorkeakoulun Rakennustekniikan laboratorio on SeAMKin läheisyydessä olevaan laboratoriorakennukseen sijoittuva tutkimuslaboratorio, jossa opiskelijat ja elinkeinoelämä voivat kehittää, soveltaa testata ja tutkia hyödyntäen moderneja tiloja ja laitteita. Rakennuslaboratoriossa voidaan suorittaa esimerkiksi julkisivuelementtien, ikkunoiden ja ovien tiiviystestauksia ja jälkikaikujen mittauksia, betonijulkisivujen kuntotutkimuksia, jopa täysimittakaavaisten rakenteiden rakennetekniset kuormituskokeet ovat mahdollisia. (Seinäjoen ammattikorkeakoulu, [viitattu 18.4.2019].)

Rakennustekniikan laboratorio on tarjonnut palveluitaan ja tilojaan monille yrityksille henkilökunnan ja toimintatapojen kehittämiseksi. Laboratorio on ollut yritysten apuna kehittämässä työntekijöiden osaamista sekä teoriatasolla että käytännön tasolla. (Seinäjoen ammattikorkeakoulu, [viitattu 18.4.2019].)

## 3 BETONI

### 3.1 Betonin käyttökohteet

Betoni on maailman yleisin rakennusmateriaali, ja sitä käytetäänkin maailmassa vuosittain noin 4,2 miljardia kuutiometriä. Betoni on runkomateriaalina edullista, kosteutta kestävää turvallista ja helposti muokattavaa materiaalia. Betonista valmistetaan erilaisia vaaka- ja pystyrakenteita, tasoja, pylväitä ja rakennuksia. Betonirakenteet ovat usein kantavia, minkä takia rakenteiden täytyy olla riittävän lujia ja täyttää voimassa olevat lujuusvaatimukset. (Betoniteollisuus ry, [viitattu 18.4.2019].)

Betonimateriaalin ja runkotyyppin valinta rakennusten kantaviin rakenteisiin on monitahoinen prosessi, jossa pitää ottaa huomioon omistajien, käyttäjien ja rakennushankkeeseen osallistuvien vaatimukset. Kohteen rakennustyyppi vaikuttaa eri runkotyyppien soveltuvuuteen. Esimerkiksi toimisto- ja liikerakennuksissa suositetaan pilarilaattarakennetta, kun taas asuinrakennukseen käyvät lähes kaikki runkojärjestelmät. (Betoniteollisuus ry, [viitattu 18.4.2019].)

### 3.2 Perusaineet

Betoni on seos sementtiä, kiviainesta, vettä ja mahdollisesti lisä- ja seosaineita. Sementtiä käytetään betonin sidosaineena ja se on betonin tärkein raaka-aine. Sementtiä on betonissa noin 8–16 painoprosenttia. Sementti valmistetaan luonnossa esiintyvistä mineraaleista, lähes aina kalkkikivistä, jota on maankuoressa runsaasti. Sementti reagoi veteen sekoitettuna muodostaen lujan, sementtikiveksi kutsutun materiaalin. Betonissa sementtikivi sitoo kivimurskan ja teräksen yhtenäiseksi ja lujaksi teräsbetonirakenteeksi. (Betoniteollisuus ry, [viitattu 18.4.2019].)

Runkoaineena toimii kivimurska, jonka osuus betonista on noin 65–80 % (Rakentaja.fi, 17.2.2018). Käytetyn kivimateriaalin tulee olla riittävän lujaa ja puhdasta, muuten sementin kovettuminen voi häiriintyä. Kiviaines ei saa sisältää esimerkiksi biologisia roskia, öljyä eikä jäätä. Kiviaineksen rakeisuus valitaan halutun lujuus- ja

notkeusvaatimusten mukaan. Rakeisuudella tarkoitetaan kivirakeiden kokoa ja kojojakaumaa. Betonissa suositellaan yleisesti käytettäväksi kahta raekokoa, hienoa (0–8 mm) ja karkeaa (8–16 mm). Kaksi raekokoa lisää kiviaineksen tarttumapinta-alaa lujittaen betoniseosta. (Betoniteollisuus ry, [viitattu 18.4.2019].)

Betonin toisena reaktioaineena ja seoksen notkistajana toimii vesi. Käytettävän veden tulee olla melko puhdasta, suomalainen vesijohtovesi soveltuu mainiosti betonin valmistukseen. Merivettä ja suovettä tulee välttää, pienikin määrä sokeria vedessä pilaa betoniseoksen eikä se kovetu. Betonissa vettä käytetään noin puolet sementin määrästä. Veden ja sementin suhde vaikuttaa suuresti betonin lujuuteen, joten vesimäärän kanssa täytyy olla tarkkana. Lisätty vesi parantaa työstettävyyttä, mutta toivotun lujuuden säilyttämiseksi on myös lisättävä sementtiä. (Betoniteollisuus ry, [viitattu 18.4.2019].)

### **3.3 Lisä- ja seosaineet**

Lisäaineiden käytöllä voidaan muokata ja parantaa betonin teknisiä ja taloudellisia ominaisuuksia, kuten notkeutta, ilmakuplien määrää tai kovettumisnopeutta. Lisäaineilla voidaan vaikuttaa perusainesten seossuhteisiin ja näin lujuusominaisuuksiin. Lisäksi lisäaineilla voidaan vaikuttaa betonin käyttötapaan työmaalla, kuten valuun, työstöön ja kovettumisen jälkihoitoon työmaalla. (Betoniteollisuus ry, [viitattu 18.4.2019].)

Hidastimet hidastavat betonin kovettumista, minkä ansiosta betonin valuun voi käyttää enemmän aikaa (Rakennuslehti, 19.9.2017). Tästä on hyötyä erityisesti isoissa valuissa tai lämpimissä oloissa, missä aikaa olisi normaalilla betonilla liian vähän. Huokostimet vaikuttavat betonissa olevan veden pintajännitykseen. Sekoitettaessa tällaiseen betoniin muodostuu pieni määrä ilmakuplia, noin viisi tilavuusprosenttia. Kuplat parantavat betonin pakkaskestävyyttä antamalla tilaa betonin sisällä laajenevalle vesijälle. Kiihdyttimet nopeuttavat kovettumista ja mahdollistavat nopeamman muottikierron ja betonin valun kylmällä säällä. Notkistimet lisäävät betonin juoksevuutta ja mahdollistavat pienemmän määrän vettä työstettävyyden vaarantamatta. Tämä luonnollisesti lisää betonin lujuutta sementti-vesisuhteen parantuessa.

Aiemmin notkistimina käytettyjen melamiini- ja naftaleenisulfonaattipohjaisten aineiden on todettu yksittäistapauksissa vapauttavan merkittäviä ammoniakki- ja formaldehydipäästöjä sisäilmaan. (Betoniteollisuus ry, [viitattu 18.4.2019].)

Betoniin voidaan lisäksi lisätä seosaineita, jotka ovat yleensä muiden teollisuudenalojen sivutuotteita. Ne vähentävät betonin valmistuksen ympäristökuormaa ja mahdollisesti parantavat betonin teknisiä ominaisuuksia. Lentotuhka on erittäin hienojakoista pölyä, joka syntyy kivihiilen polton sivutuotteena. Sillä voi korvata betonin hienoa rakenneainesta tai sementtiä. Masuunikuona on raudan valmistuksen sivutuote, jolla voidaan jossain määrin korvata sementtiä. Silikaa syntyy piin ja piiraudan valmistuksen sivutuotteena. Silika parantaa betonin lujuutta, kemiallista kestävyyttä, tiiviyttä ja vedenpitävyyttä. (Betoniteollisuus ry, [viitattu 18.4.2019].)

### **3.4 Betonin lujuutta heikentävät tekijät**

Betonin lujuuteen vaikuttaa useita tekijöitä, joiden hallinta on tärkeää riittävän lujuustason saavuttamiseksi (Finnsementti, [viitattu 18.4.2019]). Materiaalien puhkaus, seossuhteet ja oikeaoppinen sekoittaminen määräävät valmistetun betoni-seoksen mahdolliset ominaisuudet. Valamisen yhteydessä on seoksesta poistettava ilmakuplat vibraamalla eli tiivistämällä tai seoksen on oltava itsetasoituvaa. Valun jälkihoitoon kuuluu valun pitäminen sopivan kosteana ja oikealla lämpötila-alueella. Kuivuminen ja viileneminen hidastavat kovettumista, ja jäätyminen pysäyttää sen kokonaan. Jäätyminen on haitallista myös kovettuneelle betonille, joten betoniin lisätään ilmaa huokostusaineden avulla. Ilmataskut tekevät betonista pakkasietoista. (Betoniteollisuus ry, [viitattu 18.4.2019].)

### **3.5 Lujuusongelmat käytännössä**

Kesällä 2016 Liikenneviraston rakennuttamasta Kemijärven sillassa ilmeni vakavia betonin lujuusongelmia (Sokala 15.3.2017a). Sillasta poratuista näytteissä todettiin olevan liikaa ilmaa. Pakkaskestävissä siltarakenteissa ilman tavoitemäärä on noin viisi prosenttia, kun Kemijärven sillassa sitä oli pahimmillaan 15 prosenttia, mikä

vähentää betonin lujuuden noin puoleen (Rakennuslehti 19.9.2017). Samana syksynä Liikennevirasto suoritti pistokokeita kahteentoista siltaan, joista kuudesta löytyi lujuusvaatimukset alittavaa betonia. Saman vuoden lopulla jouduttiin Turussa uuden sairaalan juuri valmistuneet perustukset purkamaan. Niissä oli sama ongelma, eli betoni sisälsi liikaa ilmaa ja sen puristuslujuus heikkeni voimakkaasti. Kokeneetkaan asiantuntijat eivät osanneet odottaa ongelmien laajenemista yksittäistapauksista yleisemmäksi ilmiöksi. Liikennevirasto päätti tutkia 93 siltaa ympäri maata. (Sokala 15.3.2017b.)

Aalto-Yliopiston vuonna 2017 tekemässä, seitsemän kuukauden Robust Air -tutkimuksessa selvitettiin lisääntyneiden, rakennenäytteiden heikon puristuslujuuden ja heikkojen näytteiden yleistymisen syitä (Al-Neshawy & Pukki, 26.9.2017, 3). Syyksi epäiltiin liiallista ilman määrää betonissa, minkä vuoksi suoritettiin suuri määrä betonin sekoituskokeita erilaisilla betoniseoksilla (Al-Neshawy & Pukki, 26.9.2017, 4). Kokeissa selvitettiin betonin ominaisuuksien, kuten lujuusluokan, notkeuden, sementtityypin ja kiviaineksen maksimiraekoon sekä lisäaineiden vaikutusta ilman muodostumiseen betonin ainesten sekoitusprosessin jälkeen. Tutkimuksen tuloksena todettiin, että uudet, notkistimina käytetyt polykarboksylaattit saattavat vaikuttaa ilman muodostumiseen. Huokostimien toiminta saattaa jatkua varsinaisen betonin sekoitusprosessin jälkeen kuljetusautossa betonia sekoitettaessa. Lisäilman muodostumisen riski on suuri, jos betoniseos on erityisen notkeaa. (Rakennuslehti 19.9.2017.)

### **3.6 Tehonotkistimien käytön haasteet**

Polykarboksylaattipohjaiset notkistimet ovat monella tapaa parempia kuin niiden perinteiset vastineet, mutta ne saattavat aiheuttaa haasteita lisäilman määrän arvioinnissa ja hallinnassa. Ilman määrän hallinnan kannalta on erityisen tärkeää, että betonia sekoitetaan riittävän pitkään huokostimen täyden tehon saamiseksi jo ennen normaalinäytteen valua. Tällöin lisäilmaa muodostuisi näytteen oton jälkeen kuljetusautossa mahdollisimman vähän, ja normaalinäytteistä saisi luotettavamman käsityksen betonin ilmamäärästä. (Rakennuslehti 19.9.2017.)

## 4 MITTAAMINEN

### 4.1 Mittayksiköiden historiaa

Mittaaminen on toimenpide, jossa fyysisiä arvoja vertaillaan todellisen maailman kohteisiin ja tapahtumiin, suureisiin. Vertailun tulos voidaan tallentaa numeeriseen muotoon käyttämällä hyväksi etukäteen sovittuja mittayksiköitä ja numerojärjestelmää. Mittayksiköiden ja numeroiden avulla mittauksen tulos voidaan jälkikäteen palauttaa ilman fyysistä vertailukohdetta mittaustuloksesta. Suureiden mittaamiseen on perinteisesti käytetty luonnosta ja ihmiskehosta määriteltyjä yksiköitä: jalka ja kyynärä pituusmittoina, kuun kierto ajan mittana, johanneksenleipäpuun siemen roomalaisen paunan osana. (Chisholm & Zupko, [viitattu 18.4.2019].)

1700-luvun Ranskassa Ludvig XVI uudisti vanhoja suurejärjestelmiä ja perusti ”desimaalisen metrisen mittajärjestelmän”, jossa suureet johdettiin pituuden mitan, metrin, avulla ja kerrannaisyksiköt olivat desimaalisia. Nykyään yleisin käytössä oleva mittajärjestelmä on kansainvälinen yksikköjärjestelmä eli SI-järjestelmä (Système international d’unités). (Chisholm & Zupko, [viitattu 18.4.2019].)

### 4.2 SI-järjestelmä

SI-järjestelmässä on seitsemän perusyksikköä, joista muut paitsi massa määritellään luonnonvakioista. Kilogramman määritelmänä on monesti uudelleen määritelty, platinasta ja iridiumista valmistettu prototyyppi, jota säilytetään Kansainvälisen paino- ja mittatoimiston (BIPM, Bureau International des Poids et mesures) holvissa Ranskan Sèvresissä. SI-järjestelmän uusi määritelmä otetaan käyttöön 20 toukokuuta 2019, jonka jälkeen massa määritellään Planckin vakion avulla. Suurella tarkkuudella määritetyt perussuureet varmistavat, että niistä johdetut johdannaisuureet ovat myöskin tarkkoja. Tähtitiede, elektroniikka, lääketiede ja kaikki muutkin tieteen alat ovat täysin riippuvaisia kyvystä mitata tarkasti. Ilman tarkkoja mittoja ei olisi nykyajan mukavuuksia, kuten tietotekniikkaa, lääkkeitä ja rokotteita tai moderneja rakennusmateriaaleja. (Chisholm & Zupko, [viitattu 18.4.2019].)

### **4.3 Pituusmittavälineitä**

Mittaamisväline voi yksinkertaisimmillaan olla mitattavan arvon tallentamiseen käytettävä pitkä esine, kuten viivoitin. Arvon muuttamiseksi numeromuotoon, kuten metreiksi, pitää viivoitin olla varustettuna mitta-asteikolla. Lineaarisia, asteikoilla varustettuja mittavälineitä on käyttötarkoitukseltaan, tarkkuudeltaan ja suurimmalta mittapituudeltaan monenlaisia, kuten rullamittoja, työntömittoja ja mikrometriruuveja. (Kunkel 10.10.2015.)

#### **4.3.1 Yksiulotteiset mitat ja anturit**

Rullamitan kaltaiset mittavälineet vaativat fyysisen läheisyyden mitattavaan kohteeseen, toisin kuin erilaiset aaltoliikkeeseen perustuvat mittalaitteet. Kaikuluotaimet mittaavat etäisyyksiä väliaineen, kuten veden, kautta lähetetyn pulssin paluusignaalin paluuajan perusteella. Optiset laseretäisyysmittarit voivat mitata vastaavanlaisella pulssin paluuajan mittauseriaatteella pulssin ollessa laservaloa väliaineen värähtelyn sijaan. Kaikki nämä mittaavat yhden arvon ja ilmoittavat tuloksen esimerkiksi laitteen näytöllä tai siirtävät mittaustuloksen eteenpäin. (Promeet 7.2.2011.)

#### **4.3.2 Kaksiulotteiset profiiliskannerit**

Kaksiulotteisen profiilin mittaamiseen käytetään profiiliskannereita. Profiiliskannereilla kaapataan suuri määrä kaksiulotteisia profiileja, joista kootaan kolmiulotteinen malli. Yhden profiilin kaappaamiseen käytetään yleensä viivan muodossa kohteeseen heijastettavaa laservaloa. Vakioetäisyydellä laserlähteestä viistossa kulmassa sijaitsee kamera, joka kaappaa heijastuneesta laserista kohteen profiilin. (LMI Technologies 2018, 53.)



### 4.3.3 Kolmiulotteiset 3D-skannerit

Suoraan kolmiulotteisen mallin kaappaamiseen käytettävät laitteet perustuvat rakenteelliseen valoon ja heijastumien kolmiomittaukseen, kuten profiiliskannereissa-kin. 3D-skannerissa on kamera ja projektori tunnetulla etäisyydellä toisistaan. Projektorilla heijastetaan kohteeseen halutunlainen kuvio, joka heijastuskulman takia hieman vääristyy kameraan saapuessaan. Projektori, kamera ja jokainen kohteeseen heijastettu valonpiste muodostavat kolmion, josta lasketaan pisteen etäisyys skanneriin. Tällä tavoin voidaan laskea monta pistettä kerrallaan, ja 3D-mallin muodostaminen on erityisen nopeaa. (Borko 2008, 222.)

## 5 BETONISET NÄYTEKAPPALEET JA NIIDEN MITTAAMINEN

### 5.1 Mitä ovat betoniset näytekappaleet?

Betoniset näytekappaleet ovat joko valuvaiheessa valettuja normaalikoekappaleita, tai kovettuneesta betonista porattuja rakennekoekappaleita. Niiden tarkoituksena on selvittää käytetyn betoniseoksen lujuusominaisuudet. Tarve lujuusominaisuuksien selvittämiseksi voi ilmetä visuaalisen katselmuksen, asiakirjojen tai kimmovasaromittauksen pohjalta. (Betoniteollisuus ry 2.9.2017, 1.)

### 5.2 Betoninnäytteiden mittaamisesta

Betonisten näytekappaleiden lujuusominaisuudet voidaan selvittää puristuslujuuskokeella, joiden toteutusta säätelee muutama standardi. Standardi (SFS-EN 12390-3 2009) määrittelee puristuskokeiden menettelytavat ja koe suoritetaan (SFS-EN 12390-4 2000) standardin määritelmän mukaisella koelaitteella. Kyseiset standardit määrittelevät kovettuneen betonin testaukseen liittyvät määritelmät, menetelmät, laitteistot ja muut vaatimukset. Standardi (12390-1 2013) määrittelee koekappaleiden muodot, mitat ja muottien vaatimukset. Normaalikoekappaleet voidaan tuottaa valamalla käyttäen kalibroituja muotteja tai osoittaa koekappaleet vaatimuksen mukaisiksi standardin määrittelemillä menetelmillä.

Koekuutioiden sivumitoiksi tai lieriöiden halkaisijoiksi eli nimellismitoiksi on todettu 100, 150, 200, 250 tai 300 millimetriä, joista valittavat määritellyt mitat voivat poiketa  $\pm 10$  prosenttia (SFS-EN 12390-1 2013, kohta 4.2). Kalibroituilla muoteilla valmistetuista koekappaleista tarvitsee mitata ainoastaan määrämitat, joiden sallittu mittapoikkeama on 0,5 % (SFS-EN 12390-1 2013, kohta 5). Standardissa on kuitenkin vaatimuksia myös esimerkiksi kappaleen tasomaisuudelle, suorakulmaisuukselle ja mittatarkkuudelle, jos koekappale on valettu kalibroimattomalla muotilla tai valmistettu poraamalla rakenteesta (SFS-EN 12390-1 2013, kohta 4.5). Tällöin mittaustointa saattaa olla hyvinkin työlästä, minkä vuoksi automaattinen mittalaite vähentäisi merkittävästi manuaalisen työn määrää.

## 6 SKANNERIN TEKNISEN RIITTÄVYYDEN SELVITYS

### 6.1 Työstä yleisesti

Työssä perehdyttiin tuorebetonista valettujen ja rakenteesta porattujen näytekappaleiden mittaamiseen. Valetut kappaleet olivat kuutioita, joiden syrjänmitta oli 150 millimetriä, tai lieriötä 150 millimetrin halkaisijalla ja 300 millimetrin korkeudella. Työn alkuperäisenä tarkoituksena oli valita ja hinnoitella komponentit mahdollista näytekuutioiden mittauslaitetta varten. Työn osoittaututtua liian laajaksi, oli tarkoituksenmukaisempaa ainoastaan selvittää toimeksiantajalla varastossa olevan, Gocator 2340A -laserprofiiliskannerin, soveltuvuus näytekappaleiden mittaamiseen. Selvittäminen suoritettiin vertailemalla laitteen teknisiä lukuja standardien vaatimiin mittatarkkuuksiin sekä käytännön skannauskokeilla.

### 6.2 Tila ja välineet

Käytännön selvitystyö suoritettiin Seinäjoen Ammattikorkeakoulun materiaalitekniikan laboratoriossa. Työn tekohetkellä laboratoriossa oli välineistöä monenlaiseen materiaalin käsittelyyn, kuten laserleikkaukseen ja 3D-tulostamiseen. Lisäksi välineistöä oli materiaalin koestamiseen, kartiokalorimetri ja niin edelleen. Oleellisimpänä työn kannalta oli kuitenkin Gocator 2340A -laserprofiiliskanneri.

Profiiliskannerin ominaisuuksista selvitettiin erityisesti kuvaustarkkuutta ja kuvaus-alaa. Muita työssä käytettyjä välineitä olivat skannerin ohjaamiseen käytetty kannettava tietokone, monipuolisilla säädöillä varustettu kamerajalka, pyöritettävä alusta ja skannerin kameranjalkaan kiinnittämiseksi vaadittu adapteri. Esimerkkikappaleina oli sivunpituudeltaan 150 millimetrinen kuutio sekä halkaisijaltaan 150 millimetrinen ja korkeudeltaan 300 millimetrinen lieriö. Näillä välineillä oli tarkoitus selvittää kyseisen profiiliskannerin soveltuvuus standardin määrittelemään mittojen ottoon.

### 6.3 Profiiliskanneri

Työssä käytetty profiiliskanneri oli malliltaan Gocator 2340A (kuva 1). Skanneri on linjaprofiiliskanneri, tarkoittaen, että skanneri kaappaa kuvan kappaleen profiilista. Skannerin laserlähde heijastaa viivan muotoisen laservalon kohteeseen, ja skanneriin viistoon sijoitettu kamera (ulkonema kuvassa 1) ottaa viivasta kuvan. Viistoon otetusta kuvasta selviää kohteen profiili laserviivan kohdalta kolmiomittaustekniikalla. Skannerin laserlähde, kamera ja kuvauksen kohde muodostavat kolmion. Skannerissa laseremitterin ja kameran etäisyys on tunnettu vakio, laserin kulma on vakio ja kohteesta kameraan heijastuneen laservalon kulma on tunnettu muuttuja. Näillä tiedoilla Gocator laskee etäisyyden skannerilta kohteeseen. (LMI Technologies 2018, 53.)



Kuva 1. Gocator 2340A -laserprofiiliskanneri.

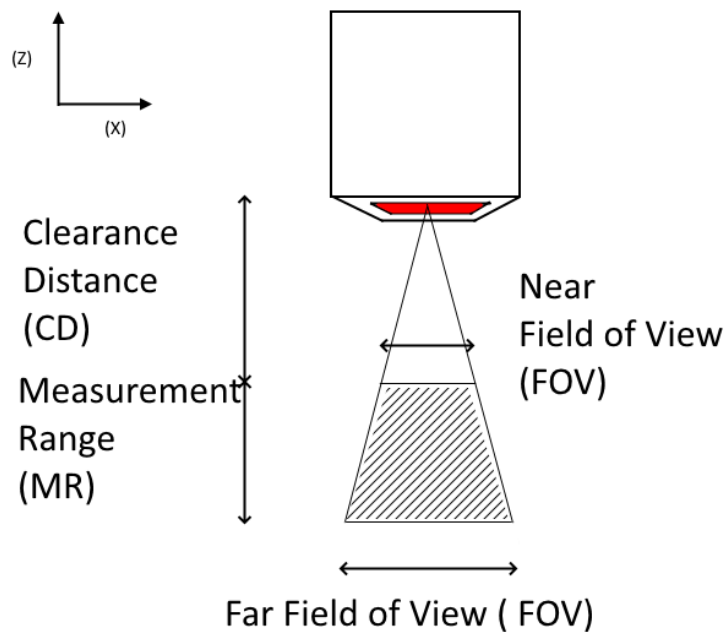
Kaapattuun profiiliin sisältyy leveys x ja z eli korkeus- ja leveysulottuvuudet muodostaen 2D-profiilin. 3D-kappaleet vaativat myös y-ulottuvuuden eli syvyysulottuvuuden (LMI Technologies 2018, 53). Tämä voidaan saavuttaa joko skanneria tai yleisemmin kohdetta liikuttamalla. Sensorin kuvausnopeus ja valotusaika ovat tärkeitä tekijöitä skannerin valinnassa nopeisiin kuvauskohteisiin. Materiaalitekniikan laboratorion Gocator 2340A -skanneri oli liitettyä opetuslaitteistoon, johon kytkeytyllä liukumatolla oli helppo liikuttaa skannattavia kappaleita (kuva 2). Liukumattoon liitetty kulma-anturi mittaa kappaleen etenemistä ja muuntaa mitatun kulman sähköiseksi signaaliksi. Signaalin perusteella Gocator kykenee tahdistamaan kuvataa-

juuden kappaleen nopeuteen sopivaksi. Tällöin muodostuvan 3D-mallin pituus vastaa todellisen kappaleen pituutta. Ilman tahdistusta kappaleen nopeuden muutokset vääristävät 3d-mallin pituuden.



Kuva 2. Liukumatto liikuttaa kohdetta skannerin alapuolella

Jotta profiiliskanneri soveltuisi näytekappaleiden skannaamiseen, sen on täytettävä tekniset vaatimukset. Skannerilla on oltava riittävän laaja kuvausalue ja riittävän suuri resoluutio. Kuvausalueita on havainnollistettu kuvassa 3: lyhin kuvausetäisyys (CD), kuvaussyvyys (MR), lähi- ja kaukokuvausleveys (FOV). Resoluutio eli erotte-  
lutarkkuus määrittelee, kuinka pieniä yksityiskohtia skanneri kykenee kuvaamaan. (LMI Technologies 2018, 53.)



Kuva 3. Kuvausalueet (LMI Technologies 2018, 55.)

#### 6.4 Skannerin resoluution riittävyys

Gocator 2000 -sarjan eri versioilla on eri tekniset ominaisuudet, kuten mainitut kuvausalueet tai kuvatarkkuus. Kuvatarkkuus eli resoluutio ja kuvausleveys riippuvat kuvattavan kohteen etäisyydestä, sillä kuvattava alue levenee etäisyyden kasvaessa. Gocator 2340A -mallille x-leveysresoluutio on 0,095–0,170 millimetriä, z-syvyyresoluutio 0,013–0,037 millimetriä, kuvauskulma 96–194 millimetriä, lähin kuvausetäisyys 190 millimetriä ja kuvaussyvyys 210 millimetriä. Kalibroiduilla muotteilla valmistetun koekappaleen sallittu mittapoikkeama on 0,5 %. Eli 150 millimetrin määrämitalalla olevalla koekappaleella se on 0,75 millimetriä. Skanneri sijoitetaan maksimaalisen kuvausalan saavuttamiseksi kuvaamaan noin 45 asteen kulmaan yläviistosta. Silloin skannerin resoluutio saadaan pythagoraan kaavalla (1). On tarkoituksenmukaista käyttää vaaka- ja syväresoluutioiden huonoimpia arvoja, eli  $a = 0,17 \text{ mm}$  ja  $b = 0,037 \text{ mm}$ . Resoluutioiden viistokomponenteiksi, eli kuution pysty-

ja vaakamittojen tarkkuuksiksi, saadaan noin 0,174 millimetriä. Tämä on täysin riittävä tarkkuus näytekuutioiden skannaamiseksi. (LMI Technologies 2018, 711.)

Skannerin resoluutio  $c$  määritetään kaavalla

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (1)$$

missä

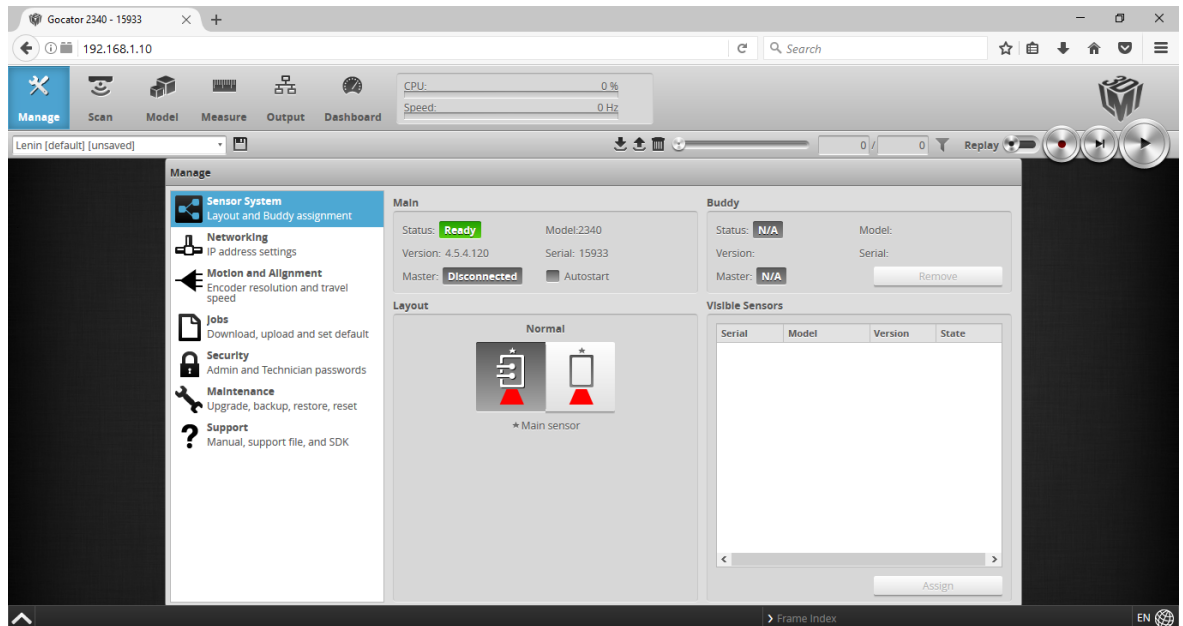
$c$  on skannerin vaaka- ja syvyysresoluutioiden viistokomponentti eli kuution kohtisuora mittakomponentti

$a$  on leveysresoluutio huonoimmillaan

$b$  on syvyysresoluutio huonoimmillaan

## 6.5 Laitteen käyttäminen ja kalibrointi

Gocator 2340A -profiiliskanneria käytetään tietokoneella, joka on kytketty skanneriin Ethernet-väylän kautta. Gocator-profiiliskannerien oletus-IP-osoite on 192.168.1.10. Kun osoitteen syöttää internetselaimen osoitepalkkiin, pääsee laitteen käyttöliittymään (kuva 4). Jos käyttöliittymän replay-painike on pois päältä ja turvalaitesisääntulo on päällä, laitteella voidaan skannata. Painamalla snapshot-painiketta voidaan ottaa yksittäinen kuva tai start-painikkeella voidaan käynnistää jatkuva kuvaus. (LMI Technologies 2018, 48-49.)



Kuva 4. Käyttöliittymä

On suositeltavaa kalibroida skanneri ennen käyttöä, jotta mahdollisia asennusvirheitä voidaan kompensoida. Ilman kalibrointia skanneri saattaa tulkitia kohdetta hieman väärin, jolloin 3D-malli vääristyy. Tätä varten tulee varmistaa, että kulma-anturi on oikein kalibroitu.

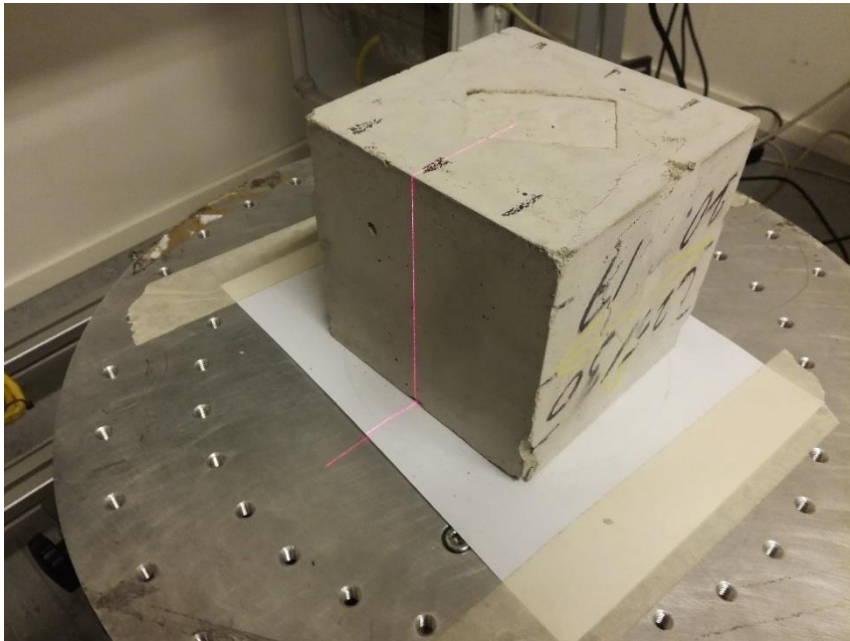
Kulma-anturin kalibrointi suoritetaan käyttöliittymän Manage-sivulla Motion and Alignment -lehdellä. Siellä Encoder-osiossa Resolution-kenttään syötetään kulma-anturin tarkkuus. Sen voi saada selville kuljettamalla mattoa tietyn matkan, erottamalla anturin lähtöarvon tuloarvosta ja jakamalla sen matkalla. (LMI Technologies 2018, 106.)

Scan-sivulla valitaan Alignment-lehti, jossa tyypiksi valitaan liikkuva kalibrointi. Kalibroitikohteen tiedot syötetään ja painetaan kalibroitipainiketta. Sensori käynnistyy ja odottaa kalibroitikohteen ohitusta. Kalibrointi suoritetaan viemällä kiekon muotoinen kalibroitikohte liukumatolle siten, että maton käynnistyessä se käy kokonaan skannerin kuvausalueella. Kalibroitikohteen poistuttua kokonaan skannausalueelta kalibrointi päättyy automaattisesti. (LMI Technologies 2018, 143-145.)



## 6.6 Skannausalan riittävyys

Jotta profiiliskanneri soveltuisi betonisten näytekappaleiden skannaamiseen, sen on kyettävä kuvaamaan kokonaan kaikki pinnat lukuun ottamatta pintaa, jonka päällä kappale lepää. Yksi helpoimmista tavoista saavuttaa mahdollisimman suuren alan kattava kuvaustapa on sijoittaa koekappale pyörivälle alustalle ja kuvata näytekappaletta yläviistosta noin 45 asteen kulmasta (kuva 5). Jotta skanneri voitiin sijoittaa haluttuun asentoon, kiinnitettiin se säädettävään kamerajalkaan adapterilevyllä (kuva 6). Koeskannaukset osoittivat, että kantiltaan 150 millimetrinen koekappale on mahdollista kuvata vain koekappaletta pyörittämällä.

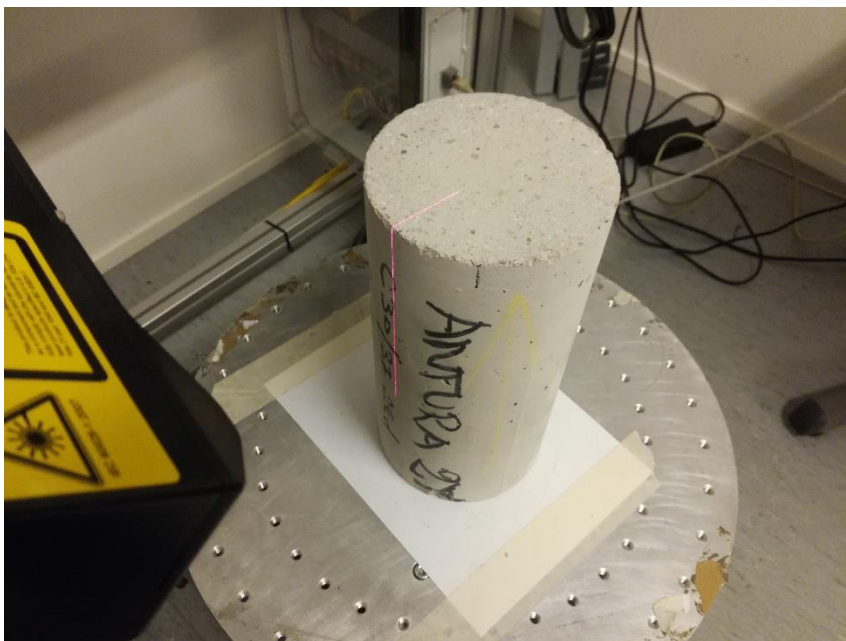


Kuva 5. Kappaleen skannaus



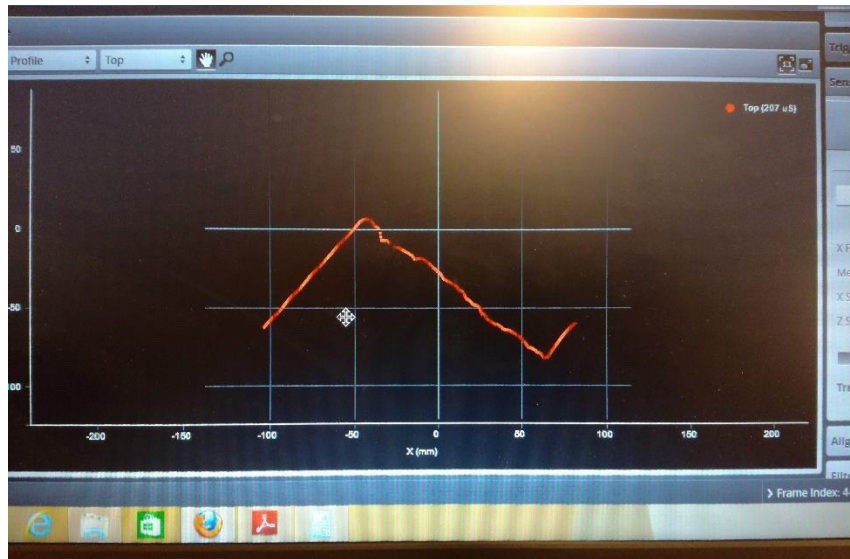
Kuva 6. Skannerin kiinnitysadapteri

Toisaalta yleinen porakappale, mittasuhteiltaan 1:2, halkaisijaltaan 150 millimetrinen ja 300 millimetriä korkea lieriö on liian korkea kuvattavaksi yhdellä skannerilla (kuva 7). Kaksi skanneria todennäköisesti riittäisi, mutta käytössä oli vain yksi laite, joten lieriön syrjän täydellinen kertaskaus jäi saavuttamatta.



Kuva 7. Halkaisijaltaan 150 millimetrinen ja 300 millimetriä korkea lieriö

Kuution profiili näkyy skannerin kuvassa (kuva 8) kokonaan myös silloin, kun kuvataan kulman kohdalta ja kuutio ei ole täydellisen keskellä. Tällöin kuution viemä kuvausala on suurimmillaan, mutta silti kuution ylätahkon keskikohta ja alin kulma näkyvät kuvassa.



Kuva 8. Kuution profiili

## 6.7 Pyörähdyskannaus ja pistepilvi

Työn tavoitteena oli myös suorittaa täydellinen pyörähdyskannaus, mutta tavoitteen edellä oli pari ongelmaa. Ensimmäinen ongelma koski alustan tasaista pyörittämistä. Pyörähdyskappaleen skannaamiseksi skannerin kuvataajuus ja alustan pyörimisnopeus täytyy tahdistaa. Tämän voidaan tehdä joko kytkemällä kulma-anturi pyörimisalustaan ja syöttämällä mittasignaalia profiiliskannerille. Kyseiseen pyörimisalustaan kulma-anturin kytkeminen olisi ollut liian haastavaa.

Toinen vaihtoehto tahdistamiseen on pyörittää pöytää hyvin tasaisesti pöytään kiinnitettävällä sähkömoottorilla. Moottorin käynnistävästä painikkeesta olisi lähtenyt myös skannerille skannauksen kulkua säättävä tulojohdin. Sitä ei kuitenkaan kannattanut tehdä, koska pyörittämistä testattiin ensin onnistuneesti improvisoiduilla pyöritysvälineillä (kuva 9). Pyöritysalustan akseliin kiinnitetty kuusiokolokärki mahdollisti akkuporakoneen kytkemisen pyöritysalustaan ja tasaisen pyörittämisen.



Kuva 9. Improvisoitu pyöritysliityntä

Ongelmana oli, että työn tekohetkellä Gocatorin hallintaohjelma ei suoraan tukenut 3D-profiilien tekemistä pyörähtävistä kappaleista kaapatuista profiileista. Gocator Software Development Kit (GoSDK) on avoimen lähdekoodin ohjelmakirjasto, joka mahdollistaa Gocator profiiliskannerien ja niistä kaapattujen profiilitiedostojen ohjelmallisen hallinnan pc-tietokoneella (LMI Technologies 2018, 656). Tietokoneella olisi ollut mahdollista ohjelmoida kaapatuista profiileista 3D-mallin kokoamaan kykenevän ohjelman. Ongelmana oli, ettei yksinkertaisenkaan pyörähdyskokeen tekeminen ollut mitenkään helppo tehtävä. Tämän takia koeohjelmien suorittaminen johti virheilmoituksiin, joita ei kyetty ratkaisemaan. Lopulta kolmiulotteisen pyörähdyskappaleen luominen jouduttiin jättämään väliin

## 7 POHDINTAA JA YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli arvioida toimeksiantajan omistaman laserprofiiliskannerin soveltuvuutta betonisten näytekappaleiden automaattiseen mittojen ottoon. Arvioinnissa tuli ottaa huomioon laitteen resoluution riittävyys, kuvausalueen riittävyys, laitteen ohjelmiston soveltuvuus automaattiseen mittaustulosten käyttöön ja tarkoituksenmukaiseen tallentamiseen.

Työ oli laajuudeltaan liian suuri johtuen osin Gocator-laserprofiiliskannerien ohjelmointirajapintojen monimutkaisuudesta. Laitteen perustoimintojen opetteluun jälkeen tuhlantui kohtuuttomasti aikaa laitteen ohjelmointirajapintojen opetteluun eikä rajapinnoista lopulta saatu riittävää selvyttä. Lopulta laitteen ohjelmointi ja automaattinen mittojen talteenotto päätettiin jättää tarkastelun ulkopuolelle.

Laitteen teknisten kykyjen, eli esim. resoluution ja kuvausalueen tarkastelu kävi onneksi helpommin. Vaadittavat mittatarkkuudet löytyivät oleellisista standardeista ja laitteen mittaresoluutiot sen käyttöohjekirjan teknisestä määritelmätaulukosta. Näitä vertailemalla laitteen yliverlainen tarkkuus oli ilmeisen riittävä.

Laitteen kuvausalueen riittävyys sen sijaan ei ollut yhtä ilmiselvää. Vaikka kuvausalueet oli mainittu laitteen ohjekirjoissa ja mainittuja lukuja vertailemalla oli mahdollista todeta alueen riittävyys kuution muotoisille ja riittämättömyys lieriön muotoisille koekappaleille, niin asian testaaminen käytännössä oli järkevää. Käytännön testaus otti huomioon käytännön toimista johtuvat muuttujat, kuten näytekappaleen mittausalustalle sijoittamisesta johtuvan keskeispoikkeaman, mikä lisää laitteen mittausalueen vaatimuksia.

Käytännön testeissä tuli todettua, että laitteella saadaan kaapattua kokonainen profiili kuution muotoisista näytekappaleista, mutta ei lieriön muotoisista. Tämä tarkoittaa, että lieriön muotoisten korkeiden näytekappaleiden mittaamiseen vaaditaan vähintään kaksi skannausta sopivilta kohdilta. Silloin skannaus voidaan suorittaa kahdessa osassa skannausten välissä joko näytekappaletta tai skanneria siirtämällä tai varustamalla mittaustaitteisto kahdella tai useammalla profiiliskannerilla. Tämä kuitenkin monimutkaistaa mittaustaitteistoa ja erityisesti ohjelmistoa, mikä on otettava

huomioon, jos projektia tulevaisuudessa suunnitellaan eteenpäin vietäväksi. Ohjelmoinnin haasteet saattavat korostua tulevissakin profiiliskanneriprojekteissa.

## LÄHTEET

- Al-Neshawy, F & Pukki, J. 26.9.2017. Securing the stable protective pore system of concrete. Espoo: Aalto yliopisto. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 18.4.2019]. Saatavana: <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/28893/isbn9789526076409.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Betoniteollisuus ry. 02.05.2017. Betonin puristuslujuuden selvittäminen valmiista rakenteesta porakappaleiden avulla. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 18.4.2019]. Saatavana: <http://www.betoniyhdistys.fi/media/by-ohje-betonin-puristuslujuuden-selvittaminen-valmiista-rakenteesta-porakappaleiden-avulla-02.05.2017.pdf>
- Betoniteollisuus ry. Ei päiväystä. Perustietopaketti. [Verkkosivusto]. [Viitattu 18.4.2019]. Saatavana: <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/>
- Borko, F. 2008. Encyclopedia of Multimedia. Toinen painos. Springer US.
- Chisholm, J.L. & Zupko, R. Ei päiväystä. Measurement system. [Verkkosivu]. Iso-Britannia: Encyclopædia Britannica, Inc. [Viitattu 18.4.2019]. Saatavana: <https://academic-eb-com.libts.seamk.fi/levels/collegiate/article/measurement-system/108505>. Vaatii käyttöoikeuden.
- Finnsementti. Ei päiväystä. Tietoa betonista pienrakentajalle ja rautakauppiaille. [Verkkosivusto]. Espoo: Finnsementti Oy. [Viitattu 18.4.2019]. Saatavana: <https://finnsementti.fi/palvelut/tietoa-betonista/tietoa-betonista-pienrakentajalle-ja-rautakauppiaille/>
- Hanhinen, H. 10.3.2017. Liikennevirasto tutkii 93 Siltaa – taustalla betonin lujuusongelmat. [Verkkosivu]. Helsinki: Yleisradio Oy. [Viitattu 18.4.2019]. Saatavana: <https://yle.fi/uutiset/3-9502929>
- Kunkel, P. 10.10.2015. The Vernier Scale. [Verkkosivu]. Yhdysvallat: McGraw-Hill Education Company. [Viitattu 18.4.2019]. Saatavana: <http://whistleralley.com/surveying/vernier/>
- LMI Technologies. 2018. Gocator Line Profile Sensors. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 18.4.2019]: Saatavana: <https://downloads.lmi3d.com/gocator-line-profile-sensor-user-manual-version-521811>. Vaatii käyttöoikeuden.
- Promeet, D. 07.02.2011. Sonar. [Verkkosivu]. Iso-Britannia: Encyclopædia Britannica, Inc. [Viitattu 18.4.2019]. Saatavana: <https://www.britannica.com/technology/sonar>
- Rakentaja.fi. 17.2.2018. Mitä betoni on?. [Verkkosivu]. Pori: Sanoma Media Finland Oy. [Viitattu 18.4.2019]. Saatavana: [https://www.rakentaja.fi/artikkelit/8989/mita\\_betoni\\_on.htm](https://www.rakentaja.fi/artikkelit/8989/mita_betoni_on.htm)



- Rakennuslehti. 19.9.2017. Sekoitusprosessin puutteet syynä betoniongelmiin. [Verkkosivu]. Helsinki: Sanoma Tekniikkajulkaisut Oy. [Viitattu 18.4.2019]. Saatavana: <https://www.rakennuslehti.fi/2017/09/sekoitusprosessin-puutteet-syyna-betoniongelmiin/>
- Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Ei päiväystä. Rakennustekniikan laboratorio. [Verkkosivu]. [Viitattu 18.4.2019]. Saatavana: <https://www.seamk.fi/seamk-info/kampukset/oppimisymparistot/rakennustekniikan-laboratorio/>
- SFS-EN 12390-1. 2013. Kovettuneen betonin testaus. Osa 1: Muoto, mitat ja muut koekappaleiden ja muottien vaatimukset. 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: Vaatimukset testauskoneille. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- Sokala, H. 15.3.2017a. Betoniongelmia ainakin kolme vuotta. [Verkkosivu]. Helsinki: Yleisradio Oy. [Viitattu 18.4.2019]. Saatavana: <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2017/03/13/betoniongelmia-ainakin-kolme-vuotta>
- Sokala, H. 15.3.2017b. Uusia siltoja betonisyyniin. [Verkkosivu]. Helsinki: Yleisradio Oy. [Viitattu 18.4.2019]. Saatavana: <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2017/03/09/uusia-siltoja-betonisyyniin>