



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# MITTAUSROBOTIN SUUNNITTELU PÄÄTE- LAITTEIDEN HEITTOKUVIOMITTAUKSIIN

Riku Viitanen

Opinnäytetyö  
Huhtikuu 2018  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Automaatiotekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Automaatiotekniikka

VIITANEN, RIKU:

Mittausrobotin suunnittelu päätelaiteiden heittokuviomittauksiin

Opinnäytetyö 41 sivua, joista liitteitä 2 sivua  
Huhtikuu 2018

---

Opinnäytetyössä suunniteltiin mittausrobottiratkaisu ilmastoinnin päätelaiteiden heittokuviomittauksille Fläkt Woods Oy:n nykyisen robottilaitteiston tilalle. Yrityksen toivomuksena oli suunnitella laitteesta kompakti sekä helppokäyttöinen kokonaisuus.

Työssä perehdyttiin standardien SFS-EN 12238, SFS-EN 12239 ja SFS-EN 13182 edellyttämiin vaatimuksiin ilmastointilaitteiden testauslaitteistolle sekä niiden määrittelemiin mittauksen suoritustapoihin. Työssä tutkittiin eri tyyppisiä robottiratkaisuja ja niiden valjastamista mittauskäyttöön. Opinnäytetyössä tutustuttiin mobiilirobottilaitteiston toimintaan ja ohjelmointiin. Työ esittelee myös mahdollisia toteutustapoja robotille luotavan ohjelman rakentamiseen.

Työssä löydettiin tarkoitukseen sopiva mobiilirobotti kehitysalustaksi sekä standardin raamit täyttävät mittauslaitteet. Resurssien puitteissa suunnitelmaa jouduttiin kuitenkin osittain muokkaamaan. Laitteiston kehittämiseksi mobiilirobottiin olisi mahdollista yhdistää robottikäsi, jolloin laitteiston toiminta saataisiin täysin automaattiseksi.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Electrical Engineering  
Automation Engineering

VIITANEN, RIKU:

Planning of measuring robot for determination of throw for air terminal devices

Bachelor's thesis 41 pages, appendices 2 pages

April 2018

---

The purpose of the thesis was to design a robotized measuring system for throw measurements of air terminal devices. Robot replaces the current measurement system which was used to measure throw destination. Company wanted that new system should be compact and user friendly.

Information collected for this thesis included SFS-EN 12238, SFS-EN 12239 and SFS-EN 13182 requirements. These standards specify correct measuring equipment as well as how measurement procedure is performed properly. Research was also done about different types of robot solutions and how they could be utilized in measuring tasks. The thesis explores mobile robot's techniques and how to program mobile robot. The thesis also shows possible ways to create measuring mission for the robot.

The result of the thesis was a mobile robot, which is suitable for this purpose. Also measuring equipment that fulfill standards requirements was found. Because of the limited resources some parts of the systems blueprints had to be redesigned. In the future the system could be improved by adding a robot arm on top of the mobile robot. That way measuring system can be made fully automated.

---

Key words: measuring system, mobile robot, air conditioning

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	ILMANJAKOPERIAATTEET .....	8
	2.1 Ilmanjaon perusta.....	8
	2.2 Laminaarinen ilmanjako .....	8
	2.3 Syrjäyttävä ilmanjako .....	9
	2.4 Sekoittava ilmanjako.....	9
	2.5 Tuloilmasuihku .....	10
3	MITTAUSJÄRJESTELY .....	11
	3.1 Testaushuone .....	11
	3.2 Mittauslaitteet .....	12
	3.2.1 Ilman tilavuusvirtaus .....	12
	3.2.2 Ilman virtausnopeus .....	12
	3.3 Heittopituus laiteluokille I, II ja III.....	13
	3.4 Tuloilmasuihkun nousu, lasku ja leveys .....	14
	3.5 Heittopituus laiteluokalle IV .....	15
4	ROBOTIIKKA .....	16
	4.1 Yleistä .....	16
	4.2 Teollisuusrobotit .....	16
	4.3 Mobiilirobotit.....	17
5	LAITTEISTO .....	19
	5.1 Määrittely.....	19
	5.2 Mobiilirobotti.....	20
	5.3 MiR100 .....	22
	5.3.1 Yleistä .....	22
	5.3.2 Anturit .....	22
	5.4 Ilmavirtausnopeusanturi.....	25
	5.5 Datan käsittely .....	26
	5.5.1 LabVIEW .....	26
	5.5.2 National Instruments CompactDAQ .....	26
	5.5.3 NI cDAQ-9188XT -moduulirunko .....	27
	5.5.4 NI-9219 -moduuli .....	27
6	TOTEUTUSSUUNNITTELU.....	29
	6.1 Laitteiston asennus.....	29
	6.2 Robotin määrittely .....	31
	6.3 Toimintakuvaus .....	35
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	37

LÄHTEET .....	38
LIITTEET .....	40
Liite 1. Apurunko .....	40

## 1 JOHDANTO

Fläkt Woods Oy:n Toijalan toimipisteen tuotekehityslaboratorio keskittyy ilmastonin päätelaitteiden sekä kanavalaitteiden tuotekehitykseen ja laaduntarkkailuun. Laboratoriossa kehitetään kaikenlaisia päätelaitteita pienistä huoneistoventtiileistä isoihin kattohajottajiin. Kanavalaitteiden tuotekehityksessä keskitytään ilmavirtauksen mittaus- ja säätölaitteisiin sekä äänenvaimentimiin.

Laboratoriossa suoritettavat mittaukset keskittyvät laitteiden äänenkehityksen, painehäviön, virtaus- sekä mittaustarkkuuden tarkasteluun ja optimointiin. Yhtenä suurena mittauskokonaisuutena on tuloilmalaitteiden heittopituuskuvion määrittäminen. Mittauksen suorittaminen on työlästä ja aikaa vievää, sillä se vaatii usean pisteen mittaamista eri etäisyyksillä mitattavasta tuotteesta. Tätä varten laboratoriolle on rakennettu 90-luvun alussa robottilaitteisto, jolla työtä on voitu helpottaa. Kyseisen robottilaitteiston tekniikka on kuitenkin ikääntynyt, eikä laitteiston toiminta ole enää täysin luotettavaa, ja sen liikkeen tarkkuus on myös heikentynyt.

Robotin ikääntymisen mukana tuomien ongelmien vuoksi on laboratoriolle muodostunut tarve uudelle robottilaitteistolle. Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella nykyisen robotin tilalle uusi moderni laitteisto. Robotin suunnittelu aloitettiin puhtaalta pöydältä, sillä lähtökohdat uudelle laitteistolle eroavat huomattavasti vanhan robotin toteutustavasta. Alkuperäinen järjestelmä oli toteutettu niin, että robotti oli koko huoneen kattava kokonaisuus, joka liikkui kiskojen päällä. Kiskot olivat kiinnitetty huoneen vastakkaisiin seiniin, joiden välissä olevan palkin varassa mittalaitteita liikuteltiin. Näin ollen se oli kiinteä osa huonetta ja vei huomattavasti tilaa laboratoriotilasta.

Korvaavan robottilaitteiston toimeksiannossa lähdettiin siitä, että järjestelmästä pyritään tekemään mahdollisimman kompakti kokonaisuus, joka on tarpeen mukaan siirrettävissä toiseen yrityksen toimipisteessä olevaan laboratoriotilaan. Tällä tehostetaan tuotekehitystoimintaa, sillä nykyisen robotin käyttö estää kaiken muun mittaustoiminnan tekemisen samanaikaisesti. Mittauslaitteiston olisi mahdollisuuksien mukaan myös keskusteltava olemassa olevien ohjelmistojen kanssa, joilla laboratorioden järjestelmiä ohjataan.

Opinnäytetyössä keskitytään soveltuvien robottiratkaisujen selvitykseen, laitteiston toteutuksen suunnitteluun ja yhdistämiseen olemassa olevien laitteistojen kanssa. Työssä pyritään löytämään kustannustehokas ratkaisu, joka vastaa yrityksen tarpeita tuotekehityskäytössä ja täyttää standardien SFS-EN 12238, SFS-EN 12239 ja SFS-EN 13182 vaatimukset ilmaston pöly- ja hiukkasten mittaamisesta.

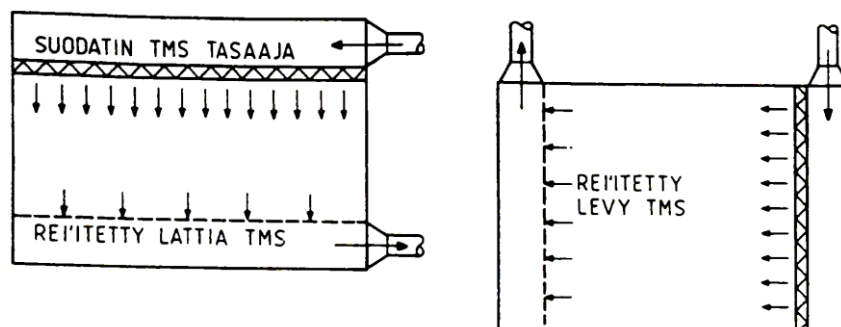
## 2 ILMANJAKOPERIAATTEET

### 2.1 Ilmanjaon perusta

Huoneiston ilmanjako muodostuu tulo- ja poistoilmalaitteiden muodostamista ilmavirtauksista ja näiden hallinnasta. Ilmanjaon suunnittelu on tärkeä osa rakennuksen suunnittelua, sillä huonolla ilmanjaolla voidaan pilata muuten toimiva ilmastointi. Käyttäjälle ilmanjako on usein ainoa näkyvä osa ilmastointijärjestelmää. Ilmanjaon toteuttamiseen on useita periaatetapoja riippuen tilan käyttötarkoituksesta ja tavoiteltavan huoneilman laadusta sekä lämpöolosuhteista. (Seppänen 1996, 153.)

### 2.2 Laminaarinen ilmanjako

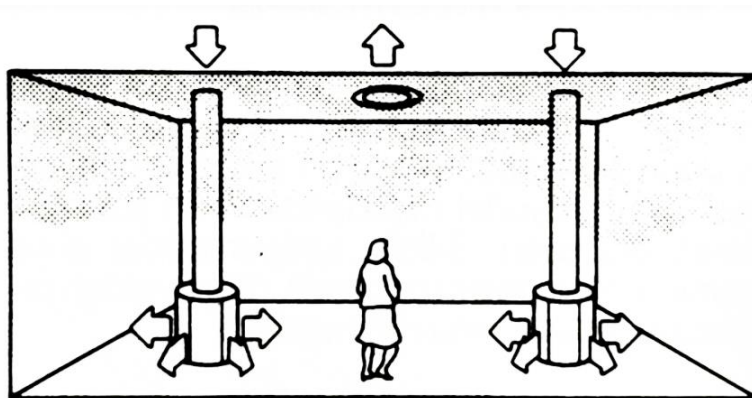
Laminaarisen ilmanjaon tarkoituksena on muodostaa mahdollisimman tasainen ilmavirtaus, joka kattaa koko huonetilan. Tällöin käytetään suuria otsapintoja omaavia usein koko seinäpinnan suuruisia ilmajakolaitteita, joista ilma johtuu tasaisesti huoneeseen. Ilman virtaus voi olla joko vaaka- tai pystysuuntaista (kuva 1). Laminaarinen ilmanjako-periaate on optimaalinen silloin, kun tilan on tärkeää olla erityisen puhdas tai se vaatii tarkkaa lämpöolosuhteiden hallintaa. Laminaarinen ilmanjako on käyttökelpoinen, kun halutaan saada vedottomasti aikaan suuri ilmanvaihtuvuus. (Seppänen 1996, 154.)



KUVA 1: Laminaarisen ilmanjaon periaate (Seppänen 1996, 154)

### 2.3 Syrjäyttävä ilmanjako

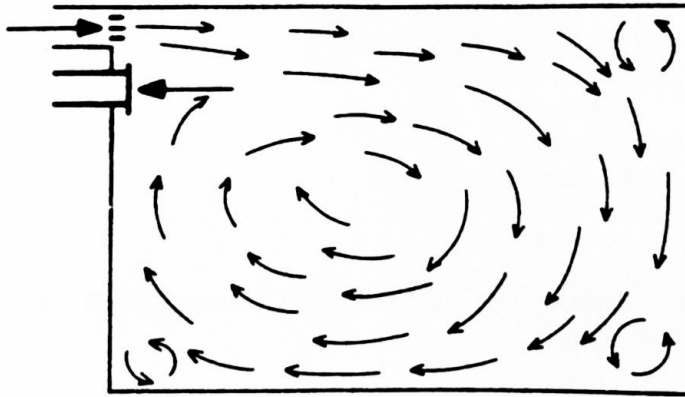
Syrjäyttävän ilmajaon periaatteessa tavoitellaan epäpuhtauksien ja lämpötilan kerrostamista. Tämän periaatteen päätavoitteena on aikaansaada hyvät olosuhteet huoneen siihen osaan, jossa oleskelu tapahtuu. Tavoitteesta poikkeavia lämpötiloja tai ilman epäpuhtauksia sallitaan muissa osissa huonetilaa. (Seppänen 1996, 154.) Syrjäyttävässä ilmanjaossa olennaista on johtaa tuloilma suoraan oleskelualueelle (kuva 2). Tuloilman virtausnopeus on hidas, tyypillisesti alle 0,5 m/s (Guangyu, Heikkinen & Sirén 2013, 5). Tuloilma pidetään yleensä alilämpöisenä huoneen lämpötilaan verrattuna, jolloin se huoneilmaa tiheämpänä ei sekoitu vallitsevaan ilmaan vaan jää oleskeluvyöhykkeelle (Seppänen 1996, 154).



KUVA 2: Periaatekuva syrjäyttävästä ilmanjaosta (Seppänen 1996, 154)

### 2.4 Sekoittava ilmanjako

Sekoittavassa ilmanjaossa tuloilma sekoitetaan huoneessa vallitsevaan ilmaan. Tämä toteutetaan johtamalla huoneeseen ilmaa tuloilmalaitteista suurella virtausnopeudella. Ilmavirtauksen nopeus välittömästi tuloilmalaitteen jälkeen on useita metrejä sekunnissa. Näin tuloilma johtuu syvälle huonetilaan kaapaten samalla huoneessa vallitsevaa ilmaa mukaansa ja sekoittuu näin tehokkaasti huonetilan ilmatilaan (kuva 3). Sekoittavalla ilmanjaoilla koko huoneen olosuhteista saadaan samanlaiset. Tätä ilmanjakotapaa käytetään pääsääntöisesti asuinhuoneistoissa. (Seppänen 1996, 153, 154).



KUVA 3: Sekoittava ilmanjako ja sen synnyttämät virtaukset huonetilassa. (Seppänen 1996, 154)

## 2.5 Tuloilmasuihku

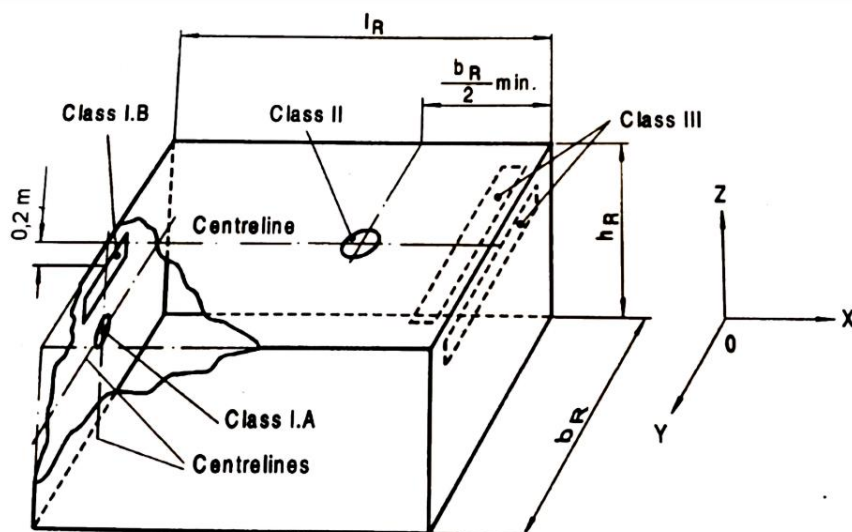
Erityisesti sekoittavan ilmanjaon suunnittelussa on tärkeää tietää tuloilmalaitteen ilma-suihkun muoto. Ilmasuihkun pituus ja leveys riippuvat tuloilmalaitteen ominaisuuksista ja ovat siten laitekohtaisia. Tuloilmasuihkun määrittelyssä käytetään käsitteitä heittopituus, suihkun leveys ja korkeus. Heittopituus on se etäisyys, jossa tuloilmalaitteen suihkun nopeus on laskenut ennalta määriteltyyn loppunopeuteen. Useimmiten loppunopeutena käytetään arvoja 0,2 tai 0,25 m/s. Tuloilmalaitteita valitessa tulisi huomioida se, että suihku yltää koko huonetilaan olematta kuitenkaan niin pitkä, että se seinästä alas taipuessaan aiheuttaa vetoa lattiatasoon. Liian lyhyt tuloilmalaitteen heittopituus aiheuttaa suihkun taipumisen liian aikaisin oleskelualueelle, jolloin ilma sekoittuu huonosti huonetilassa, joka synnyttää tilaan suuria lämpötilaeroja. (Seppänen 1996, 155, 174.)

### 3 MITTAUSJÄRJESTELY

#### 3.1 Testaushuone

Heittokuvion mittaamiseen liittyviä vaatimuksia käsitellään standardissa SFS-EN 12238. Standardin mukaan testaushuoneen ohjemitoksi annetaan, pituus 7,5 m, leveys 5,6 m ja korkeus 2,8 m. Huone saa olla myös ohjearvoja isompi tai pienempi, mutta leveyden ja pituuden välisen suhdeluvun on oltava välillä 1,5–2,2. Huoneen on oltava suorakulmainen ja sen kaikkien pintojen tasaisia. Kaikki ikkunat, lamput tai muut asennukset on asennettava seinä- ja kattopintojen kanssa samaan tasoon. Poistoilmaritilä huoneesta tulee asettaa niin, ettei se ole testattavan laitteen tuloilmavirtauksen reitillä. Huonetilan ilman lämpötila on pyrittävä pitämään tasaisena. Lämpötila ei saa muuttua yli 2 K verran mittaustapahtuman aikana. (SFS-EN 12238, 19, 20, 21.)

Tuloilmalaitteiden sijoitus huoneessa riippuu laitteen tyypistä. Laitteet on jaoteltu neljään luokkaan. Laitteet, joiden suihku on kolmiulotteinen (luokka I). Laitteet, joiden suihku etenee säteittäisesti (luokka II). Laitteet, joiden suihku etenee kaksiulotteisesti (luokka III) ja hitaan virtausnopeuden laitteet (luokka IV), joiden mittaustapa käsitellään erillisessä standardissa SFS-EN 12239. Luokan I laitteet jaetaan myös kahteen alaryhmään A (suuttimet) ja B (säleiköt ja ritilät). (SFS-EN 12238, 20.) Testihuoneen mittasuhteet sekä testattavien laitteiden sijoituskohdat luokittain on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4: Mittaushuone ja laitteiden sijoituspaikat (SFS-EN 12238, 27)

## 3.2 Mittauslaitteet

### 3.2.1 Ilman tilavuusvirtaus

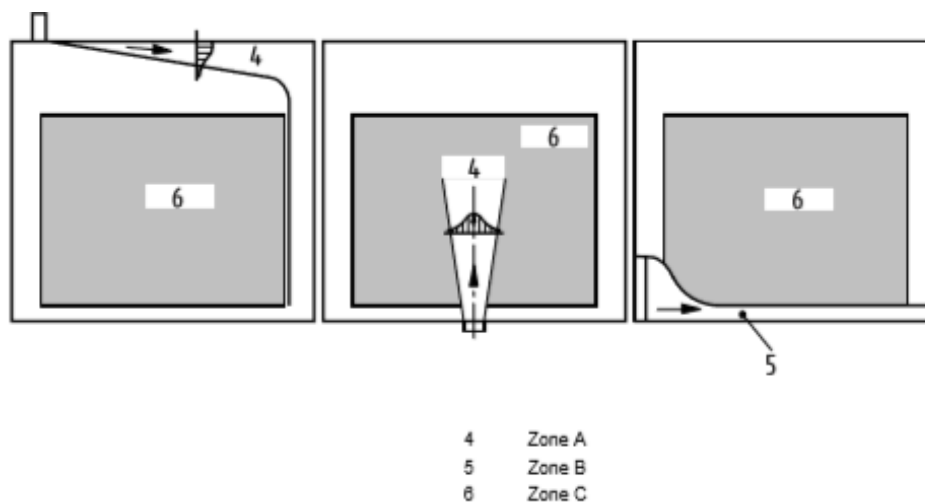
Tilavuusvirran mittauksessa käytettävien laitteiden mittaustarkkuuden on oltava määriteltujen rajojen sisällä (taulukko 2). Mittalaitteiden näyttämän mittausrvirhe on tarkastettava maksimissaan 12 kuukauden välein. (SFS-EN 12238, 11.)

TAULUKKO 1: Mittalaitteiden alueet ja mittausrvirhe (SFS-EN 12238, 11)

Mitta-alue $\text{m}^3/\text{s}$	Mittausrvirhe %
$> 0,07 \leq 7$	$\pm 2,5$
$> 0,007 \leq 0,07$	$\pm 5,0$

### 3.2.2 Ilman virtausnopeus

Ilman virtausnopeuden mittaamiseen käytettävät mittalaitteet tulee täyttää standardin SFS-EN 13182 edellyttämät vaatimukset. Standardissa on määriteltä kolme aluetta, joilta virtausnopeuksia mitataan. Alue A, tuloilmavirtausalue sekoittavan ilmanjaon laitteille. Alue B, tuloilmavirtausalue hitaan virtausnopeuden laitteille ja Alue C, joka kattaa muun huonetilan (kuva 5). Vaatimukset näillä alueilla käytettävillä mittalaitteilla eroavat tietyin osin toisistaan. (SFS-EN 13182, 6.)



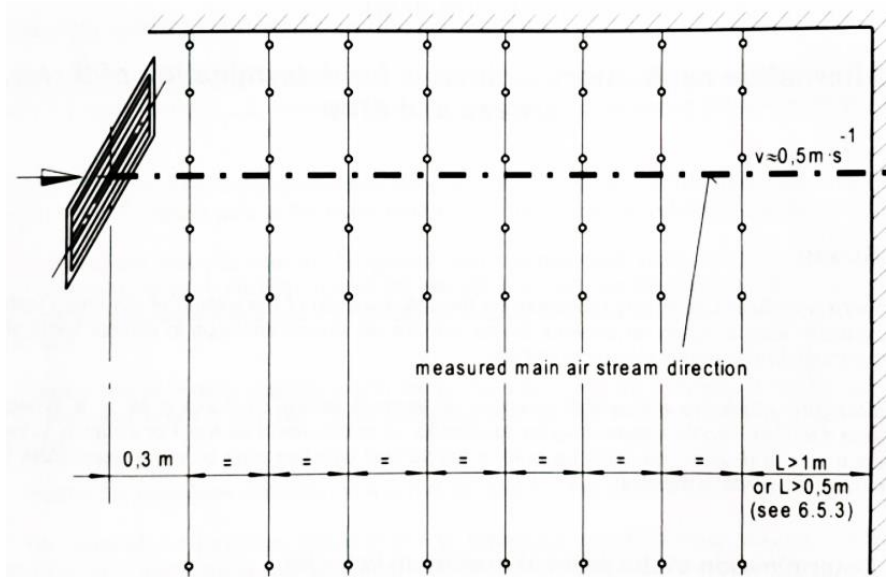
KUVA 5: Virtausnopeusalueet (SFS-EN 13182, 7)

Tuloilmasuihkua mitattaessa eli alueella A ja B virtausanturin mittapäänä voidaan käyttää suuntauksellista anturia. Alueella C tehtävissä mittauksessa mittapään on oltava suuntaukseton. Alueella A anturin mitta-alue on 0,25 m/s – 12 m/s. Alueella B anturilta edellytetään mitta-alueen kattavan välin nopeudesta 0,05 m/s nopeuteen 1 m/s ja anturin herkkyydelle annetaan vaatimukseksi, että sen on kyettävä huomaamaan alle yhden hertsin taajuudella tapahtuvat muutokset virtauksen nopeudessa. Mittalaitteen mittausperiodin on oltava yli 60 sekuntia alueella A ja näytteenottotaajuuden yli 1 hertsin. Muilla alueilla mittausperiodina on 180 sekuntia ja näytteenottotaajuutena yli 5 hertsiä. (SFS-EN 13182, 7.)

### **3.3 Heittopituus laiteluokille I, II ja III**

Standardi SFS-EN 12238 antaa kaksi vaihtoehtoista tapaa mitata tuloilmalaitteiden virtauskuvio. Tässä työssä käsitellään tapauksista toista, joka soveltuu paremmin mittauslaitteiston tulevaan toteutukseen. Heittopituuden määrittely aloitetaan etsimällä laitteen päävirtaussuunta. Etsintä voidaan suorittaa visuaalisesti puhaltamalla savua laitteen lävitse tai mittaamalla. Mittaus suoritetaan etäisyydellä, jolla mitatun ilman virtausnopeus on välillä 1m/s – 1,5m/s. Tällä etäisyydellä tarkastellaan pisteitä vaakasuuntaisella akselilla tai ympyrän muotoisesti, mikäli laite on säteittäisesti puhaltava. Laitteen ja pisteen, jolla virtauksen nopeus on suurin, kautta kulkeva suora on päävirtaussuunta. (SFS-EN 12238, 22.)

Heittopituus mitataan käyttäen tätä päävirtaussuunnan akselia. Ensimmäinen mittauspiste on tällä akselilla 0,3 m päässä tuloilmalaitteesta. Akselin suuntaisesti otetaan virtausarvoja tasaisilla välimatkoilla vähintään kahdeksan kappaletta niin, että viimeisessä pisteessä virtausnopeus on välillä 0,4 m/s – 0,5 m/s. Tämä mittapiste ei kuitenkaan saa olla 0,5 m tai 1 m lähempänä virtaussuuntaa vastakkaista seinää (kuva 6). Vaadittu etäisyys seinäpinnasta riippuu laitteen luokasta. (SFS-EN 12238, 22.)



KUVA 6: Heittopituuden mittaaminen (SFS-EN 12238, 29)

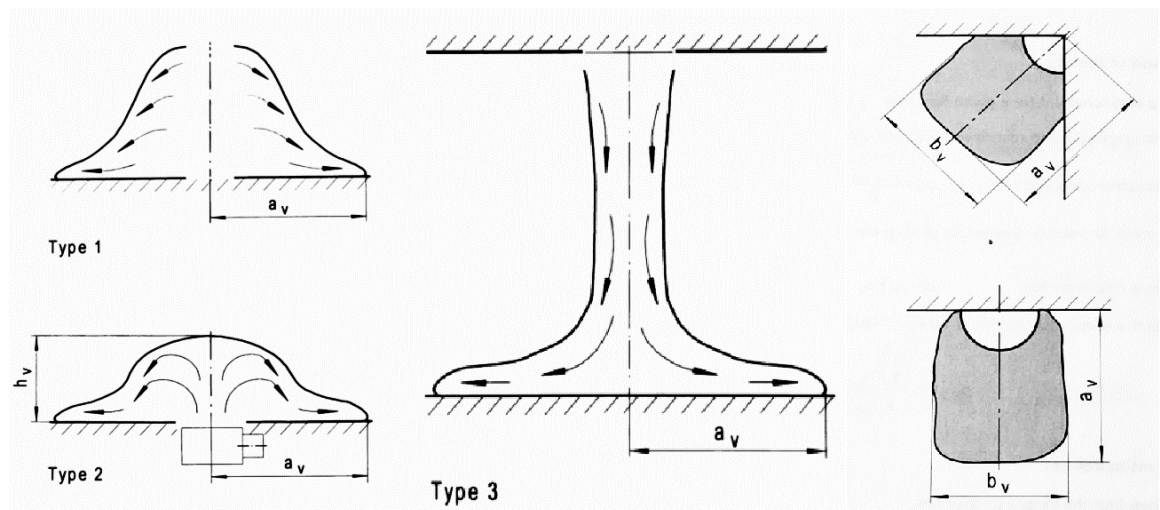
Mittausjärjestelystä saadut virtausnopeudet asetetaan logaritmiseen kuvaajaan etäisyyden funktiona. Tästä virtauskuvaajasta saadaan määritettyä heittopituus eri nopeuksille muun muassa yleisesti käytetylle 0,2 m/s nopeudelle. (SFS-EN 12238, 23, 24.) Heittopituutta ei suoraan mitata nopeudelle 0,2 m/s sillä virtaussuihkun päätevyöhykkeellä virtaus on epästabiilia ja sen nopeus saattaa heitellä laajasti, eikä mittauksen tarkkuudesta tällöin voida olla varmoja. (Seppänen 1996, 156, 158.)

### 3.4 Tuloilmasuihkun nousu, lasku ja leveys

Tuloilmasuihkun nousu ja lasku mitataan käyttäen heittopituusmittauksessa saatuja vähintään kahdeksaa mittapistettä. Näiden pisteiden pysty- ja vaaka-akselilta päävirtaus-suunta-akselin molemmin puolin haetaan ne pisteet, jossa virtausnopeus on laskenut 0,5 m/s. Nämä etäisyydet päävirtaus-suunta-akselista kertovat suihkun leveyden sekä sen nousun ja laskun. (SFS-EN 12238, 24.) Nousu-, lasku- ja leveysmittausten sekä heittopituuden yhdistelmästä voidaan muodostaa kolmiulotteinen malli laitteen virtauskuviolle.

### 3.5 Heittopituus laiteluokalle IV

Laiteluokkaa IV käsittelevän standardin SFS-EN 12239 mukaan suositellaan testaushuoneen mitoiksi yhteneviä mittoja standardin SFS-EN 12238 kanssa. Standardi antaa kuitenkin huoneelle erilliset minimimitat, jotka ovat pituus 5 m, leveys 4,2 m ja korkeus 2,8 m. Laiteluokka IV koostuu kolmesta tyyppistä. Laitteet, joissa vaakasuuntainen virtaus (tyyppi 1), lattiaan sijoitettavat laitteet, joissa pystysuuntainen virtaus (tyyppi 2), sekä kattoon sijoitettavat laitteet (tyyppi 3). Laitteiden tulovirtauskuviolle mitataan pituus  $a_v$  ja leveys  $b_v$  sekä tyyppin 2 tapauksissa korkeus  $h_v$ , jossa nopeus on laskenut arvoon 0,3 m/s mikäli laite on suunniteltu teollisuuskäyttöön, muutoin nopeuteen 0,2 m/s (kuva 7). (SFS-EN 12239, 9, 11, 12.)



KUVA 7: Havainnekuvia erilaisista tulosuihkuista (SFS-EN 12239, 16, 17)

Käytettäville mittauspisteille ei määritellä erityisiä sijainteja tai etäisyyksiä, joita mittauksessa on noudatettava. Kuitenkaan 0,03 m lähempänä lattiaa ei virtausta saa mitata. Eri-tyistä huomiota on annettava välille 0,03 – 0,1 m lattian pinnasta, sillä tällä alueella virtausnopeus on tyypillisesti suurimmillaan. (SFS-EN 12239, 9, 11, 12.)

## 4 ROBOTIIKKA

### 4.1 Yleistä

Nykykielessä robotti sanalla viitataan automatisoituun monikäyttöiseen laitteeseen, joka energiaa käyttäen suorittaa vaihtelevia tehtäviä. Sana robotti on esitelty ensimmäisen kerran 1920-luvulla tšekkiläisen Karel Čapekin näytelmässä R.U.R., jossa ihmisen kaltaiset mekaaniset olennot toimivat orjina. Sana robotti tulee tšekin kielen sanasta *robota*, joka tarkoittaa orjatyötä. (Grupta, Arora & Westcott 2017, 398).

Vuonna 1954 amerikkalainen George Devol Jr. kehitti alkukantaisen robottikäden, joka voitiin ohjelmoida suorittamaan tiettyjä yksinkertaisia tehtäviä. Vuonna 1975 Victor Scheinman kehitti nykyaikaisen kaltaisen robottikäden, joka tunnetaan nimellä PUMA. Tämä robottikäsi oli kykenevä siirtämään kappaleita haluttuun sijaintiin ja asettamaan sen mihin tahansa asentoon. (Grupta, Arora & Westcott 2017, 398).

Robottina pidetään tietokoneohjattua laitetta, joka on ohjelmoitu liikkumaan, muokkamaan kappaleita ja suorittamaan työtä vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa. Yksi robotin ominaispiirre on, että se on kykenevä operoimaan itsenäisesti, jolloin laitteen on sisällettävä älyä tai ohjelmoitavaa muistia. Amerikan robotti-instituutti (Robot Institute of America) määrittelee robotin uudelleenohjelmoitavaksi monitoimiseksi laitteeksi, joka on suunniteltu liikuttamaan materiaalia, osia, työkaluja tai erityisiä laitteita, vaihtelevilla ohjelmoiduilla liikkeillä suorittaakseen moninaisia tehtäviä. Teollisuusrobotin määritelmänä on varsien ja nivelien yhdistelmä, jota ohjaa ja tarkkailee tietokone. (Grupta, Arora & Westcott 2017, 399).

### 4.2 Teollisuusrobotit

Teollisuusrobotteja käytetään moninaisiin tarkoituksiin tuotannossa muun muassa hitsaukseen, materiaalin käsittelyyn, kuormaukseen, maalaukseen sekä kokoonpanoon. Robottien edut tulevat parhaiten esiin tehtävissä, jotka toistavat itseään, ovat tarkkuutta vaa-

tivia tai ovat työturvallisuuden kannalta vaarallisia. Japanilaiset ovat kehittäneet teollisuusroboteille luokitukset niiden toimintatavan mukaan. (Grupta, Arora & Westcott 2017, 399-401).

- Manuaalinen liikehtijä: suorittaa ennalta määriteltyä tehtäväjärjestystä
- Toistaja: toistaa esiohjelmoitua toimeksiantoa
- NC-robotti: suorittaa numeerisella ohjauksella annettua tehtävää
- Älykäs robotti: toimii oman tunnistuskykynsä mukaan

Teollisuusrobotteja voidaan jakaa ryhmiin myös niiden liikehdinnän mukaan. Cartesian-robotityyppi kykenee kolmisuuntaiseen liikehdintään lineaaristen liukukiskojen avulla. Scara-robotti pystyy kolmisuuntaisen liikehdinnän lisäksi pyörimään pystysuuntaisen akselinsa ympäri. 6-akselinen robotti kykenee liikkeeseen jokaiseen suuntaan sekä suuntaamaan käytettävää työkalua. Redundantti robotti on 6-akselisen kaltainen, mutta kykenee lisäksi pitämään käyttämänsä työkalun asennon vakiona liikkumisensa aikana (Industrial robots: What are the different types 2014).

### 4.3 Mobiilirobotit

Mobiilirobotti tarkoittaa automaattista laitetta, joka pystyy liikkumaan ympäristössään eikä ole kiinteästi sijoitettuna tiettyyn sijaintiin, toisin kuin yleiset teollisuudessa käytettävät robottikädet jotka myös kykenevät liikkeeseen, mutta joiden fyysinen sijainti on kiinteä. (Gaines & Peskov 2008, VII.) Mobiilirobotit jaetaan käyttötarkoituksensa perusteella luokkiin, joita ovat maanpäälliset, akvaattiset, lentävät sekä avaruudessa operoivat (Durek & Jenkin 2000, 15, 16).

Maanpäällisille mobiiliroboteille on kehitetty useita liikkumistapoja, jotka usein jäljittelevät ihmisten tai eläinten liikkumista. Näitä evoluution kehittämiä liikkumistapoja ovat muun muassa kävely, hyppiminen ja ryömiminen. Edellä mainituista poikkeavana ja ainoana ihmisen keksimänä liikkumistapana on moottoroitu rengas. Eläimiä jäljittelevät liikkumistavat ovat suorituskykyisiä epätasaisissa ja pehmeissä maastoissa, kun taas renkasiin perustuva liikkumismuoto on tehokkaimmillaan tasaisilla ja kovilla alustoilla. (Siegwart, Nourbakhsh & Scaramuzza 2014, 13.) Yleisimmin mobiilirobotit liikkuvat käyttäen renkaita tai käyttämällä pientä lukumäärää jalkoja pääsääntöisesti yhtä, kahta, neljää (kuva 8) tai kuutta. Jaloin liikkuvien robottien heikkouksina ovat vaikeus säilyttää

tasapaino liikkussa sekä energian kuluminen robotin jatkuvaan painon kannattelemiseen ja tasapainon ylläpitämiseen. (Siegwart, Nourbakhsh & Scaramuzza 2014, 21-30.)



KUVA 8: Nelijalkainen mobiilirobotti SpotMini (Boston Dynamics, 2018)

Renkaita liikehdintään käyttävä mobiilirobotti on yleisin sen yksinkertaisemman toteutustavan sekä energiatehokkuuden vuoksi, sillä muun muassa robotin tasapainoa ei ole tarpeen ylläpitää. Kyseisen robottityypin huonoina puolina voidaan kuitenkin pitää tarvetta suhteellisen tasaiselle ja pitävälle alustalle. (Siegwart, Nourbakhsh & Scaramuzza 2014, 30.) Pyörillä liikkuvien robottien rengasmäärää ja asetelua muuttamalla voidaan vaikuttaa robotin vakauteen, liikuteltavuuteen ja ketteryuteen. Yleisimmin käytetyt rengasmäärät ovat kaksi, kolme, neljä ja kuusi rengasta, joista vetäviä pyöriä on kaksi tai yksi (Siegwart, Nourbakhsh & Scaramuzza 2014, 34-36.) Kuluttajille tuttu renkailla liikehtivä mobiilirobottiratkaisu on robotti-imuri (kuva 9).



KUVA 9: Robotti-imuri (Moneual 2018)

## 5 LAITTEISTO

### 5.1 Määrittely

Mittausrobottilaitteiston pääsääntöinen toimintaympäristö on yrityksen virtauslaboratorio. Laboratoriotila on 12 m pitkä, 8 m leveä ja huoneen säädettävän katon korkeutta on mahdollista muuttaa 2,5 – 4,7 m välillä. Mitattavat laitteet sijoitetaan pituussuunnassa 3,5 m päähän seinästä ja leveysuunnassa huoneen keskilinjalle. Koska mitattavasta laitteesta riippuen pitää virtaussuuntaa vastakkaisen seinän ja viimeisimmän mittapisteen väliin jättää 0,5 – 1 m väli on mittauksissa käytettävä alue suurimmillaan 4 x 8 m.

Robotin päälle asennettavaksi anturilineeksi, on alustavasti suunniteltu manuaalinen nostintanko, joita yrityksessä on käytetty mittausten apuna muun muassa anturien pitiminä. Tangon paino on 34 kiloa ja lisäksi robotin kuljetettavana on anturit ja datankeruulaitteisto. Laitteiston paino mukaan arvioituna voidaan 50 kilon kantokykyä pitää riittävänä robotille. Järjestelmän on toimittava langattomasti sekä virransyöttönsä että dataliikenteen suhteen, jolloin sen helppo siirrettävyys laboratoriotilojen välillä toteutuu. Järjestelmän ohjaus pyritään toteuttamaan niin, että se voidaan liittää LabVIEW-ohjelmistoon, jolla yrityksen muut mittausohjelmat on muodostettu.

Koska laitteiston on toimittava oman akustonsa varassa, täytyy sen toiminta-aika ottaa huomioon. Mikäli mittauksia otetaan minimimäärä eli kahdeksan etäisyyttä ja leveys molemmiin puolin päävirtausakselin saadaan mittauspisteiden määräksi 24. Suihkun nousu ja lasku saadaan asettamalla useita antureita pystysuuntaiseen riviin mittatankoon. Minimittauspisteiden määrän kolminkertaistamalla voidaan olettaa saatavan riittävän hyvää otanta, jolloin mittauspisteitä saadaan 72. Jokaisessa pisteessä mittauksen keston on oltava 60 sekuntia ja kun tähän arvioidaan lisäksi robotin liikkumiseen käyttämä aika, menee yhteen mittausprosessiin noin 2 tuntia.

## 5.2 Mobiilirobotti

Tarvittavan laitteiston on kyettävä liikkumaan useaan määriteltyyn pisteeseen huonetilassa, jotta tarvittavat mittapisteet kuvitteellisen koordinaatiston  $x$ ,  $y$  ja  $z$  suunnissa saadaan määriteltyä. Koska järjestelmän vaatimuksina olivat kompakti rakenne ja siirrettävyys yrityksen kahden laboratoriotilan välillä, ei aikaisemman robottijärjestelmän tavoin voitu käyttää hyväksi kiskoja päällä liikkuvaa mittapuomia sen kiinteän asennuksen ja koon takia. Näiden vaatimusten vuoksi järjestelmän pohjana päädyttiin käyttämään mobiilirobottia.

Tulevaa käyttötarkoitusta ajatellen robotin pohjana voitaisiin käyttää sekä maanpäällisiä, että lentäviä mobiilirobotteja. Kuitenkin lentävän robotin tapauksessa aiheuttaisi sen käyttö häiritseviä ilmavirtauksia ja myöskin tarvittavien mittalaitteiden paino voisi tuottaa ongelmia. Näin ollen myöskään tämän tyyppin robotit eivät sovellu tulevaan toimintaympäristöön.

Koska tuleva robotin käyttöympäristö on sisätiloissa ja alustana tasainen maalipinnoitettu betonilattia on järkevintä käyttää mobiilirobottia, joka käyttää liikehdintäänsä renkaita. Jaloilla liikkuvan robotin tapauksessa mahdollisia robotin tasapainon ylläpitämisestä aiheutuvia heilahduksia on lähes mahdotonta ottaa huomioon. Tällaisen heilahduksen satuesssa kesken mittauksen aiheuttaa se tulokseen häiriötä, mikä tietenkään ei ole suotavaa. Renkailla liikehtivän robotin huomattavasti yksinkertaisempi rakenne tekee siitä myös edullisemmän valmistaa, jolloin järjestelmästä aiheutuvat kustannukset pysyvät kohtuullisina.

Teollisuuden käytössä olevat mobiilirobotit toimivat pääosin tavarankäsittelyssä, ja näihin tarkoituksiin suunnitellut kaupalliset robottiratkaisut ovat tyyppillisesti hyvin isoja trukkeihin verrattavissa olevia laitteita. Markkinoilta löytyi myös muutamia pienempiä mobiilirobotteja, joita käytetään muun muassa tuotannon kokoamislinjoilla välituotteiden siirtelyyn sekä sairaaloiden sisälogistiikassa lääkekuljetuksiin osastoilla (Mobiilirobotti vapauttaa sairaalohenkilöstön resursseja... 2016; Mobiilirobotit tulevat logistiikkaan 2018). Näistä parhaiten suunniteltuun käyttöympäristöön sopivat Omron LD60- ja MiR100-mobiilirobotit (kuva 10 ja 11).



KUVA 10: Omron LD60 (Omron 2018)



KUVA 11: MiR100 (Mobile Industrial Robots 2017)

Laitteiden tekniset ominaisuudet ovat pääosin hyvin yhteneväiset. Kumpikaan laitteista ei tarvitse navigointiinsa erillisiä opastusviivoja lattiaan, vaan kykenee toimimaan täysin itsenäisesti ympäristössään. Ympäristön yleinen havainnointi on toteutettu käyttäen lasersertutkia ja ultraääniskannereita, ja molemmissa on lisänä anturi edessä olevien esteiden havaitsemiseen. Omronin tapauksessa se on toteutettu käyttäen laseranturia, kun taas MiR:n tapauksessa tunnistuksessa käytetään 3D-kameraa. Paikoitustarkkuudessa päästään  $\pm 10$  mm tarkkuuteen. Robottien ohjelmointiin voidaan käyttää selainpohjaista käyttöliittymää sekä tietokoneella että mobiililaitteilla, ja kommunikointi toteutetaan langattoman verkon välityksellä. Molemmissa roboteissa on mahdollisuus virranulosottoon mukana kuljetettavia laitteita varten. (MIR 2017 & Omron 2018.)

Erot laitteiden välillä koostuvat esteen tunnistustavan lisäksi laitteen huippunopeudelle, sen kantamalle hyötykuormalle sekä laitteen ulkomittoihin. Omronin robotissa on lisäksi turvapuskuri mikä katkaisee ajomoottorilta virran, mikäli se havaitsee kosketuksen. Koska robotin kanssa samassa tilassa ei liikuta mittauksen aikana, nähtiin käyttötarkoituksen kannalta oleellisena erona ainoastaan ulkomitat, jotka MiR100-robotin tapauksessa olivat hieman suuremmat. Leveyttä robotilla on 8 cm ja pituutta 20 cm enemmän ja näin ollen sitä voidaan pitää vakaampana alustana mittalaitteille. Mittalaitteiden paino ei myöskään ylitä kummankaan robotin maksimikantavuutta, joka Omron:ssa on 60 kg ja MiR:ssä 100 kg. (MiR 2017 & Omron 2018.) Roboteista pyydettyjen tarjousten perusteella MiR100 osoittautui edullisemmaksi ja käyttötarkoituksen kannalta ei merkittäviä eroja laitteiden välillä löytynyt, joten valinta kohdistui MiR100-mobiilirobottiin.

### **5.3 MiR100**

#### **5.3.1 Yleistä**

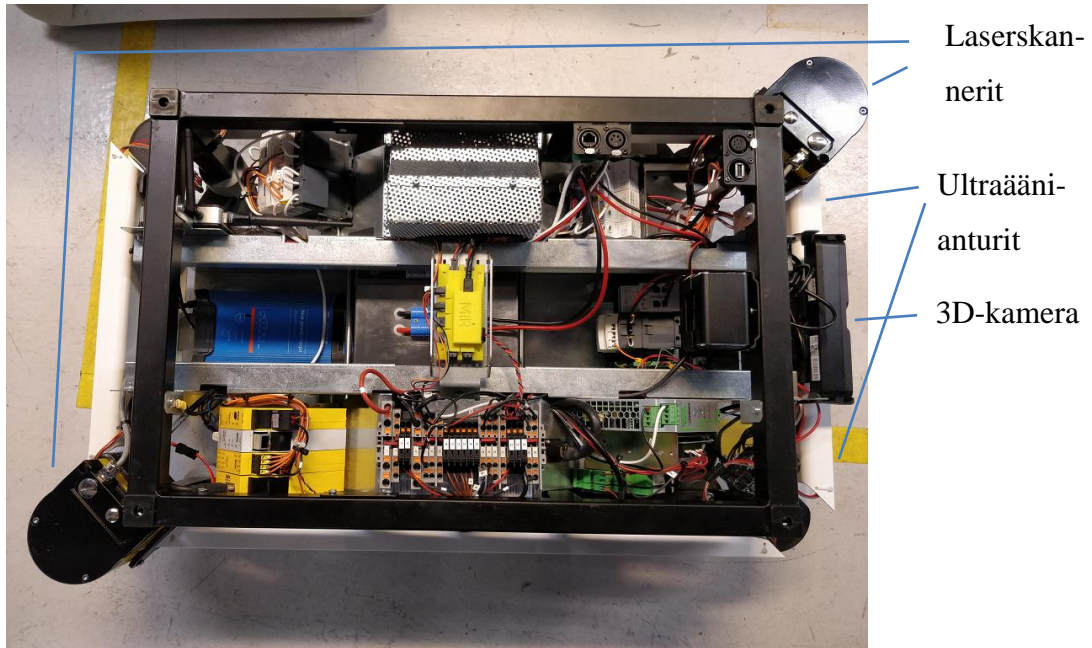
MiR100 on tanskalaisen Mobile Industrial Robots Aps:n valmistama mobiilirobotti, joka on suunniteltu kevyisiin kuljetustehtäviin teollisuudessa, logistiikassa ja terveydenhoidossa. Robotti kykenee kantamaan 100 kilon kuormaa ja robotin päälle voidaan asentaa erilaisia kuljetushäkkejä, nostolaitteita tai robotin kanssa yhteistyössä toimivia robottikäsiovelluksia. MiR100 havainnoi itsenäisesti ympäristöänsä laserskannereiden, ultraääniantureiden ja 3D-kameran avulla. (MiR 2017.)

Mobiilirobotti kykenee toimimaan yhdellä latauksellaan 10 tuntia. Laitteen kääntösäde on 520 mm ja se kykenee  $\pm 10$  mm paikoitustarkkuuteen. Laitteesta voidaan ottaa jännitteensyöttö ulkoisia laitteita varten 24 V jännitteellä ja maksimissaan 10 A virralla. Robotin pituus on 890 mm, leveys 580 mm ja korkeus 352 mm. (MiR 2017)

#### **5.3.2 Anturit**

Mobiilirobotti sisältää paljon eri tyyppisiä anturijärjestelmiä ympäristönsä havainnointiin. MiR100 anturijärjestelmä koostuu kahdesta laserskannerista, jotka on sijoitettu laitteen etu- ja takanurkkiin, yhdestä keulaan sijoitetusta 3D-kamerasta ja ultraääniantureista

(kuva 12). Laserskannerit hoitavat pääasiallisen ympäristön havainnoinnin sekä asemoinnin vallitsevassa tilassa. 3D-kamera havaitsee edessä olevia esteitä ja ultraääniskannerit havaitsevat läpinäkyviä esteitä kuten lasiseiniä. Laitteesta löytyy myös gyroskooppi ja kiihtyvyyssanturi, joita robotti käyttää asentonsa mittaamiseen sekä apuna suunnistuksessa. (MiR 2017.)



KUVA 12: MiR100 robotin laitteistoa ja anturointia (Kuva: Riku Viitanen, 2018)

### **Sick S300-laserskanneri**

Robotin sisältämät laserskannerit ovat Sickin valmistamia S300 turvalaiteskannereita (kuva 13). Skanneri tarjoaa 270 asteen kaksikulotteisen skannauskulman ja kykenee kahdeksan metrin kantamaan. Laserpulsseja lähetetään 0,5 asteen välein. Skannerin etäisyyssmittaus perustuu laservalon kulkemiseen kuluneen ajan mittaamiseen. Laite lähettää laserpulsseja ja vastaanottaa niiden takaisinheijastuksia esteistä. Lähetetyn ja vastaanotetun pulssin välisestä ajasta laite laskee esteen etäisyyden, kun laserin etenemisnopeus tiedetään. (Sick 2018.)



KUVA 13: Sick S300 Laserskanneri (Kuva: Riku Viitanen, 2018)

### 3D-kamera

Laitteen 3D-kamerajärjestelmä käyttää Intel RealSense teknologiaa. Kameramoduulina toimii Asus Xtion Pro syvyysnäkökamera (kuva 14). Moduulin näkökentän laajuus on 58° leveä ja 45° korkea. Tunnistusetäisyys 0,8 m – 3,5 m. Kamerajärjestelmää ohjataan erillisellä Intel NUC PC -yksiköllä. (MiR 2017 & Asus n.d.).



KUVA 14: Asus Xtion Pro 3D-kamera (Kuva: Riku Viitanen, 2018)

### Ultraäänianturi

Robotin keulassa on kaksi ultraäänianturia yksi molemmissa reunoissa, joita käytetään läpinäkyvien esteiden tunnistamiseen (kuva 15). Antureiden toimintaperiaate perustuu ultraäänien kulkeman ajan mittaamiseen. Lähetin tuottaa ultraääniaaltoja, jotka esteestä

heijastuessaan kulkeutuvat takaisin vastaanottimelle. Esteen etäisyys voidaan laskea, kun tiedetään ultraäänen nopeus.



KUVA 15: Ultraäänianturit (Kuva: Riku Viitanen, 2018)

#### 5.4 Ilmavirtausnopeusanturi

Käytettäväksi anturiksi valikoitui TSI 8475-ilmavirtausnopeuslähetin, joka on erityisesti suunniteltu tuotekehityksen sekä tuotannon sovelluksiin (kuva 16). Lähettimen mittapää on suuntaukseton, mikä on tärkeä ominaisuus käyttötarkoitusta ajatellen, sillä anturin tarkasta asennosta ei voida olla täysin varmoja mittauksen aikana. (TSI 2018.)



KUVA 16: TSI 8475 mittapää ja lähetin (Kuva: Riku Viitanen, 2018)

Anturin mittausalueen alaraja on 0,05 m/s ja yläraja säädettävissä 0,5 m/s ja 2,5 m/s välillä, mikä riittää hyvin standardin määrittelemille rajoille. Tarkkuudeksi annetaan  $\pm 1$  %

määritellystä mittausalueesta. Lähettimen aikavakiota voidaan säätää välillä 0,05 – 10 s. Aikavakion avulla mahdollisesti heiluvaa mittausarvoa voidaan tasata. Tällöin ulostulosignaali on aikavakion aikana mitattujen arvojen keskiarvo. Lukemia otetaan 20 mikäli aikavakio on yli sekunnin tai 20 kertaa sekunnissa alle sekunnin aikavakioita käytettäessä. Laitteen tuottama ulostulosignaali on lineaarista ja se voidaan säätää joko jännite- tai virtaviestiksi. Käyttöjännitteenä voidaan käyttää vaihto- tai tasasähköä. Laitteen hyväksymän tasajännitteen on oltava välillä 11-30 VDC, joten sen käyttöjännite voidaan ottaa suoraan robotin jännitteensyötöstä. (TSI 2016, 7, 12, 21.) Anturin yhtenä valintaperusteena oli myös se, että kyseisistä antureista oli aiempaa kokemusta yrityksen muissa projekteissa. Näissä projekteissa anturit oli todettu luotettavaksi ja helppokäyttöisiksi, ja näin ollen se oli luonteva valinta myös tähän mittauslaitteistoon.

## **5.5 Datan käsittely**

### **5.5.1 LabVIEW**

LabVIEW on graafinen ohjelmointiympäristö, jolla voidaan muodostaa laajoja mittausympäristökokonaisuuksia ja ohjaussovelluksia. Ohjelma sisältää monipuolisia toimintoja, joiden avulla dataa voidaan kerätä ja analysoida visuaalisesti. Laitteympäristö tukee hyvin laajan skaalan eri tyyppisiä I/O-laitteita. Sovelluksen ohjelmointi toimii graafisesti, joten tarvittava mittaus- ja säätöympäristö on selkeä muodostaa. LabVIEW-ohjelmistossa on myös Web Service -ominaisuus, jolla voidaan lähettää ja vastaanottaa tietoa verkon yli yhteensopivien laitteiden välillä. Ohjelmointirajapintana tässä palvelussa käytetään REST-arkkitehtuuria. (National Instruments 2009, 2018.)

### **5.5.2 National Instruments CompactDAQ**

Mittausdatan keruuseen käytetään National Instrumentsin CompactDAQ-järjestelmäperhettä, joka on laajasti muokattavissa oleva järjestelmä datan keräämiseen sekä laitteiden ohjaamiseen. Järjestelmään on saatavissa laajasti erilaisia input- ja outputmoduuleja mukaan lukien releohjaus-, ääni- ja värähtelymittaus- sekä lämpötilamittausmoduuleja. Moduulirunkoja on saatavissa yhdestä neljätöistapaikkaisiin ja liikennöintiväyläksi on valittavissa Ethernet-, USB- ja langaton verkkoyhteys. Järjestelmä on erityisesti suunniteltu

käytettäväksi yhteistyössä LabVIEW-ohjelmiston kanssa, jolla laboratorion mittausohjelmat on rakennettu. (National Instruments 2018.)

### 5.5.3 NI cDAQ-9188XT -moduulirunko

Rungoksi valittiin kahdeksanpaikkainen NI cDAQ-9188XT -moduulirunko, joka käyttää liikennöintiin Ethernet-yhteyttä (kuva 17). Rungolla voidaan ohjata kaikkia mittauksia samanaikaisesti ja käyttää erillisiä moduulikohtaisia näytteenottotaajuuksia. Rungon tarvitsema käyttöjännite on 24 VDC, joka voidaan ottaa robotin jännitteensyötöstä (National Instruments 2016, 2018). Kyseisessä sovelluskäytössä moduulipaikkoja jää vapaaksi, millä taataan mahdollisuus päivittää järjestelmän ominaisuuksia tulevaisuudessa ilman tarvetta erillisille muutoksille. Datankeruujärjestelmä liitetään Ethernet-yhteydellä MiR100-robotin langattomaan reitittimeen, jolloin kaikki liikennöinti laitteistojen ja mitaustietokoneen välillä voidaan hoitaa yhtä liikennöintiväylää käyttäen.



KUVA 17: NI cDAQ-9188XT -moduulirunko sekä siihen liitettäviä moduuleita (National Instruments 2018)

### 5.5.4 NI-9219 -moduuli

Antureiden dataliityntään käytetään National Instrumentsin neljäkanavaisia NI-9219 Universal Analog Input-moduuleja (kuva 18). Moduulit ovat monikäyttöisiä ja niillä voidaan

mitata sekä jännite- että virtaviestiä. Moduuliin voi liittää myös termoparin tai termoresistiivisen lämpötila-anturin, mikä antaa mahdollisuuden lisätä laitteistoon tulevaisuudessa myös ilmavirran lämpötilamittauksen, mikäli se todetaan tarpeelliseksi. (National Instruments 2017, 1, 8.)



KUVA 18: NI-9219 Universal Analog Input Module (National Instruments 2018)

## 6 TOTEUTUSSUUNNITTELU

### 6.1 Laitteiston asennus

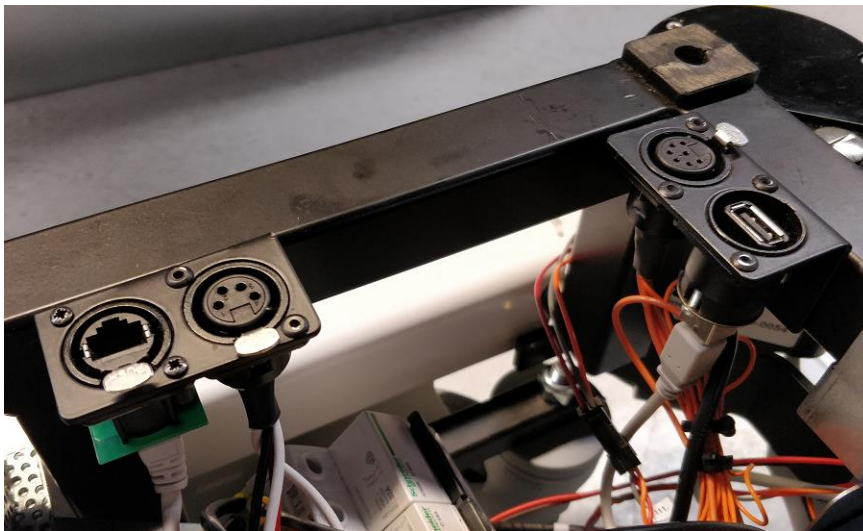
Robotin päälle rakennetaan apurunko, joka kiinnitetään robotin olemassa oleviin kiinnityspisteisiin. Apurungon malli on kuvattu liitteessä 1. Tähän apurunkoon kiinnitetään korkeussäädettävä tanko, jossa virtausanturit ovat kiinnitettynä (kuva 19). Anturien etäisyyttä toisistaan voidaan säätää tarpeen mukaan. Tangon avulla anturien korkeus saadaan säädettyä kattopinnan tasalle käytettävän huonekorkeuden mukaan. Koska mittauksen aikana anturien korkeutta ei tarvitse muuttaa, on tangon korkeussäätö manuaalinen. Mikäli tulevaisuudessa korkeuden automaattinen säätömahdollisuus todetaan tarpeelliseksi, voidaan tangon tilalle vaihtaa lineaarimoottori tai robottikäsi ja näiden ohjaus toteuttaa MiR100-robotin sisältämän PLC-logiikan tai erillisen robottikäden ohjaukselle suunnitellun rajapinnan avulla. (MiR 2017.)



KUVA 19: Korkeussäädettävä anturitanko ja mittapäät (Kuva: Riku Viitanen, 2018)

Tanko sijoitetaan robotin päälle niin, että se on pituussuunnassa laitteen keskilinjalla. Leveysuunnassa anturitanko tuodaan laitteen sivuun, jolloin se voidaan säätää myös lattian tasalle laiteluokan IV-laitteita mitattaessa. Anturit osoittavat 90 astetta robotin kulkuun nähden sivuun, jolloin ne ovat vapaasti ilmavirtauksessa eikä anturien runko aiheuta häiriötä. Mittauksessa käytetään useaa anturia, jolloin saadaan mitattua pysytysuunnassa useita pisteitä samanaikaisesti ja lyhennettyä mittaukseen kuluva kokonaistaikaa.

Datankeruulaitteisto sijoitetaan koteloon, joka kiinnitetään apurunkoon. Laitteiston käyttöjännite ja dataliikenne kytketään robotin ulkoisia laitteita varten oleviin liitäntöihin (kuva 20).

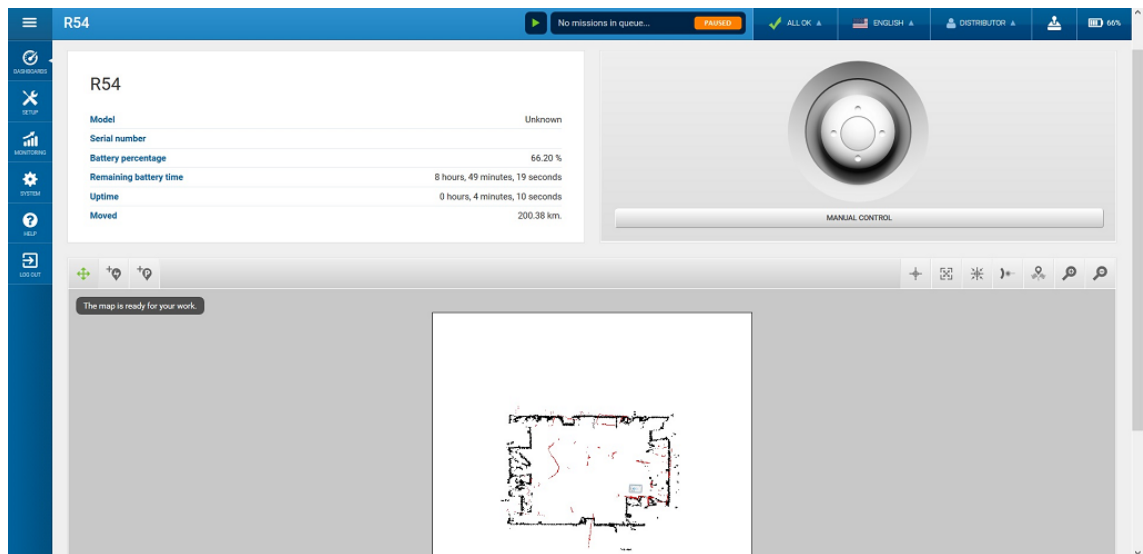


KUVA 20: Ulkoisten laitteiden liitännät (Kuva: Riku Viitanen, 2018)

Kuvan 20 vasemmalla puolella olevat liittimet ovat dataliikenteeseen tarkoitettu RJ45-Ethernetliitin ja ulkoisen jännitteensyötön nelinapainen XLR-liitin. Oikean puolen liitännät ovat robotin hätäseisäkytkimen liitin sekä USB-portti robotin tietokonejärjestelmään. National Instrumentsin moduulirunko kytketään Ethernet-porttiin ja jännitteensyöttö moduulirungolle sekä virtauslähettimille otetaan XLR-liittimeltä. Dataliikenne mittaustietokoneen LabVIEW-ohjelman välillä hoidetaan langattomasti käyttäen MiR100-robotin langatonta reititintä. Tämä mahdollistaa sekä robotin ohjauksen että datankeruun samaa langatonta yhteyttä käyttäen, mikä yksinkertaistaa ja tehostaa käyttöä.

## 6.2 Robotin määrittely

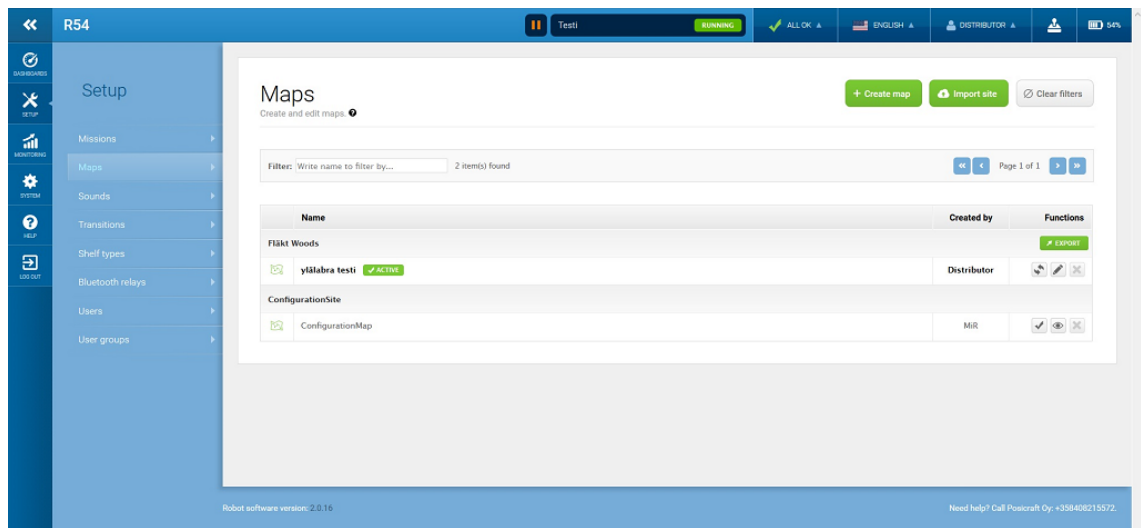
Käynnistyksen aikana robotti käy läpi sisäiset järjestelmänsä, muodostaa langattoman yhteyden ja sytyttää keltaisen valon, joka tarkoittaa robotin olevan odotustilassa ja valmis toimimaan. Robotin lähiverkkoon kytkeydytään tietokoneella tai muulla mobiililaitteella. Tietokoneen internetselaimella siirrytään *mir.com* sivustolle, joka avaa robotin käyttöliittymän (kuva 21).



KUVA 21: Robotin käyttöliittymä (Mobile Industrial Robots, 2018)

Käyttöliittymän vasemmassa sivussa sijaitsee valikko, josta voidaan tarkastella laitteelle määritettyjä ohjelmanäkymiä (DASHBOARDS), luoda ohjelmia robotille (SETUP), tutkia laitteen turvajärjestelmiä ja lokitietoja (MONITORING) ja määrittellä robotin yleisiä asetuksia (SYSTEM). Kuvassa 21 näkyvässä oletuskäyttöliittymässä on näkyvissä laitteen tilatietokkuna, manuaalisen ohjauksen sauvaohjain sekä robotin käyttämä kartta.

Ensimmäiseksi robotti tarvitsee käyttöönsä kartan tilasta, jossa sen on tarkoitus operoida. Robottiin voidaan ladata kartta valmiina CAD-kuvatiedostona PNG-muodossa tai kartan luomiseen voidaan käyttää robotin omaa kartoitussovellusta. Sovelluksen avulla käytettävästä tilasta luodaan kuva käyttäen robotin laserskannereita. Kartta lisätään robotille käyttöliittymän SETUP-valikon Maps-välilehdellä (kuva 22). Maps-välilehdellä näkyvät kaikki robotille lisätyt kartat. Karttoja voi olla tallennettuna useita, mutta vain yksi voidaan valita aktiiviseksi kerrallaan.

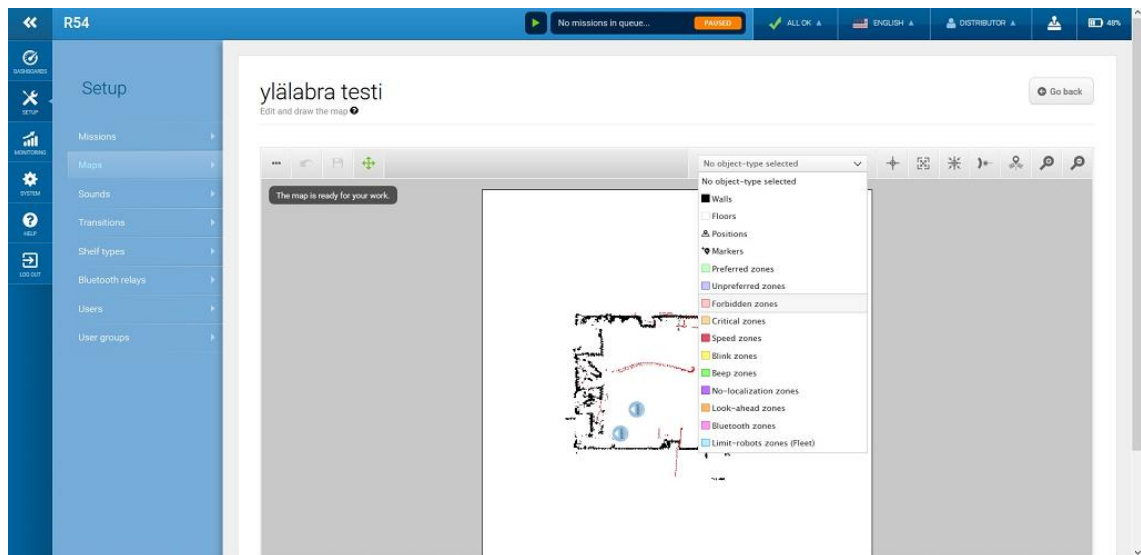


KUVA 22: Robotin käyttämien karttojen hallinta (Mobile Industrial Robots, 2018)

Karttaa luodessa valitaan, ladataanko kartta valmiina tiedostona vai luodaanko uusi kartta kartoitussovelluksella. Kartalle annetaan nimi ja tila, johon se luodaan. Tilat ovat kokonaisuuksia, joihin liitetään kartta sekä tilassa käytettävät tehtäväsovellukset. Mikäli robottia käytetään useassa eri teollisuushallissa, voidaan robotin käyttämää tilaa vaihtamalla saada käyttöön vaadittava kartta sekä sovellukset, joita kyseisessä hallissa käytetään.

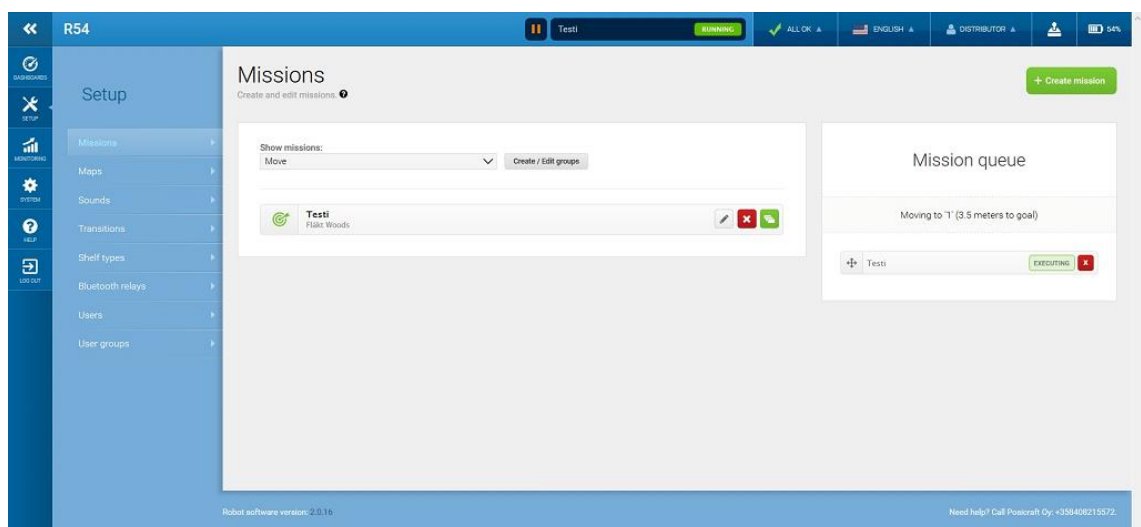
Kartan luonti käynnistää robotin kartoitussovelluksen. Tällöin robotilla ajetaan kartoitettavan alueen ympäri, jonka aikana sovellus luo laserskannereiden avulla kuvan alueesta. Alueen kuvauksen jälkeen kartoitus lopetetaan ja kartan orientaatio voidaan asettaa halutuksi. Robotilla luotua tai valmista ladattua karttapohjaa voi muokata poistamalla niistä mahdollisia laserskannauksen aiheuttamia häiriöitä tai piirtää lisää seinäpintoja aluerajoiksi.

Lopuksi karttaan määritellään tarvittavia erityisalueita, kohdepisteitä ja merkkipisteitä (kuva 23). Erityisalueita ovat muun muassa alueet, joita robotin tahdotaan välttävän, hitaan liikkumisnopeuden alueet sekä kielletyt alueet. Haluttu alue maalataan kartan päälle, jolloin alue näkyy valitun erityisalueen värisenä. Kohdepisteet ovat kiinteitä pisteitä kartassa, joita robotti käyttää tehtävissään. Pisteiden sijainti määritellään XY-koordinaatteinä kartalle. Merkkipisteet ovat pisteitä, jotka robotti tunnistaa ja joita käytetään telakoitumiseen esimerkiksi latausasemaan. Merkki asetetaan kartalle ja robotti ajetaan merkin viereen, jolloin robotti tunnistaa pisteen sekä täyttää automaattisesti merkin orientaatio ja asentotiedot.



KUVA 23: Kartan muokkausvalikko (Mobile Industrial Robots, 2018)

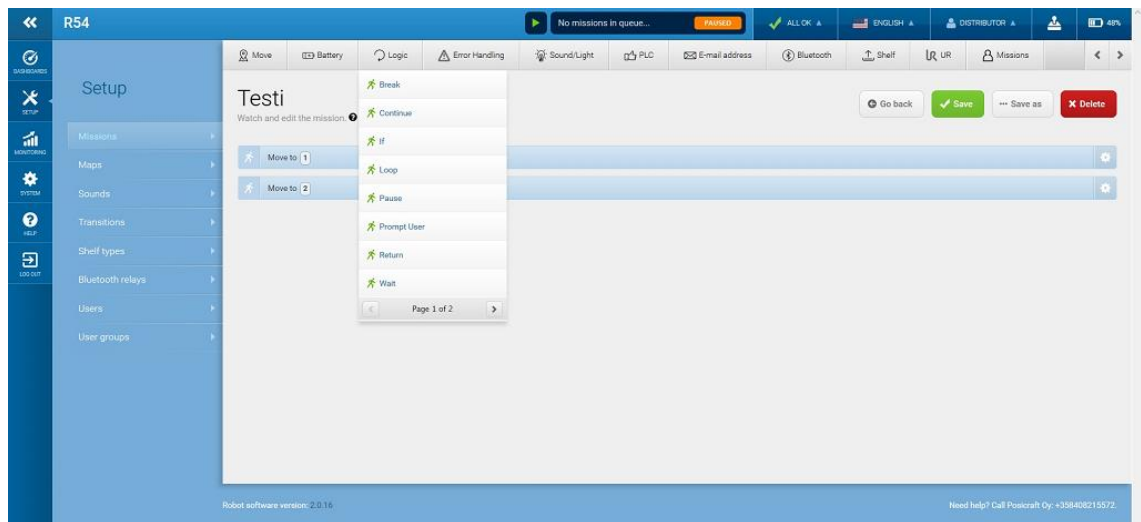
Robotin toiminta perustuu tehtävien suorittamiseen. Tehtävät ovat edeltä määriteltyjä toimintoja, jotka voivat olla yksinkertaisia ”liiku kohdepisteeseen” -käskejä tai monimutkaisia käskyjoukkoja, jotka sisältävät esimerkiksi useita kohdepisteitä, PLC-ohjauksia ja Bluetooth-releohjauksia. Laitteelle annetaan käsky aloittaa tehtävä, jonka suoritettuaan se jää odottamaan uutta tehtäväkäskeä. Eri tehtäviä voidaan myös asettaa jonoon, jolloin robotti aloittaa uuden tehtävän heti edellisen valmistuttua. Kaikki laitteelle määritellyt tehtävät näkyvät Missions-välilehdellä (kuva 24).



KUVA 24: Tehtävävälilehti (Mobile Industrial Robots, 2018)

Tehtävävälilehden kautta voidaan muokata jo olemassa olevia tehtäviä tai luoda uusia. Tehtävää luodessa sille annetaan nimi sekä kuvaus tehtävän sisällöstä ja tila, johon tehtävä liitetään. Tehtävän sisältö koostuu toiminnoista, joita tehtävään asetetaan. Toiminnot

on ryhmitelty tyypeittäin, joita ovat muun muassa liikkumiskäskyt, loogiset operaatiot, PLC-toiminnot ja robottikäden ohjaustoiminnot (kuva 25). Liikkumiskäskyjä robotilla on muun muassa ”liiku kohdepisteeseen”, ”liike pisteen suhteen” sekä ”liike koordinaattipisteeseen”. Pisteen suhteen liikuttaessa asetetaan käskyyn X ja Y suuntaisen liikkeen etäisyys. Koordinaattipistekäskyssä X ja Y määrittelevät pisteen etäisyyden kartan nollapisteen suhteen. Toiminnot järjestyvät tehtävän sisään allekkain luomisjärjestykseensä. Tätä järjestystä robotti käyttää myös tehtävien suoritusjärjestyksensä.



KUVA 25: Tehtävän sisään luodut toiminnot (Mobile Industrial Robots, 2018)

Laitteen toimintoja voidaan ohjata myös Web Service -verkkopalvelun välityksellä. Tähän toimintoon käytetään REST-tyyppistä ohjelmointirajapintaa. Rajapinnan avulla robotin ja päätelaitteen välillä voidaan lähettää ja vastaanottaa tietoa verkon välityksellä. Tämän rajapinnan kautta voidaan suorittaa kaikki määrittelyt robotille ilman tarvetta käyttää robotin omaa käyttöliittymää. Rajapintaa käyttäen lähetetään käsky ja robotti palauttaa tiedon käskyn onnistumisesta tai epäonnistumisesta. Robotin HELP-välilehdeltä voidaan avata REST-dokumentaatio, jossa on kuvattu kaikki laitteen käyttämät rajapintakäskyt ohjeineen (kuva 26).

MiR robot 2.0 REST API <sup>2.0.0</sup> [ Base URL: mir.com/api/v2.0.0 ]	
Actions ▾	
GET	/missions/{mission_id}/actions GET /missions/{mission_id}/actions
POST	/missions/{mission_id}/actions POST /missions/{mission_id}/actions
GET	/mission_queue/{mission_queue_id}/actions GET /mission_queue/{mission_queue_id}/actions
GET	/actions/{action_type} GET /actions/{action_type}
POST	/actions/{action_type} POST /actions/{action_type}
GET	/actions GET /actions
GET	/mission_groups/{mission_group_id}/actions GET /mission_groups/{mission_group_id}/actions
GET	/mission_queue/{mission_queue_id}/actions/{id} GET /mission_queue/{mission_queue_id}/actions/{id}
GET	/missions/{mission_id}/actions/{guid} GET /missions/{mission_id}/actions/{guid}
PUT	/missions/{mission_id}/actions/{guid} PUT /missions/{mission_id}/actions/{guid}

KUVA 26: REST-dokumentaation sisältöä (Mobile Industrial Robots, 2018)

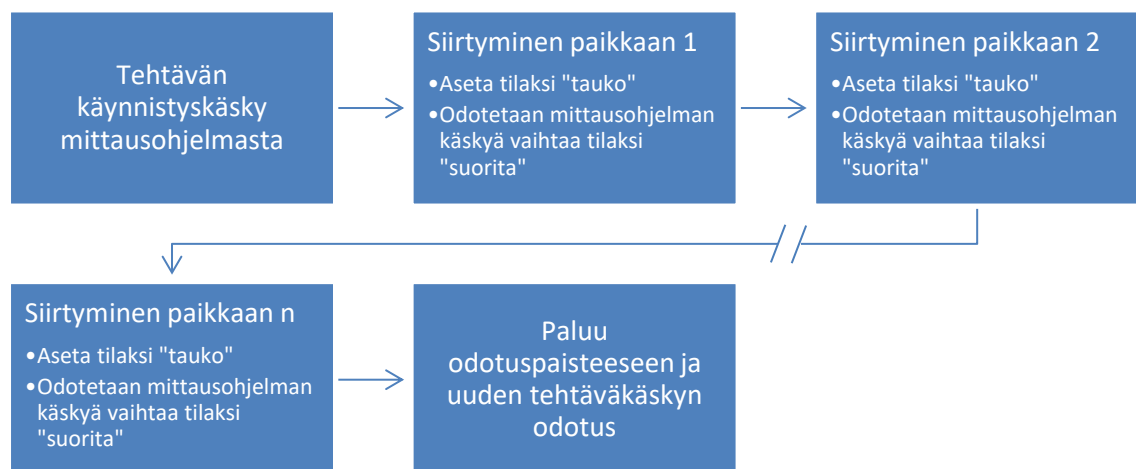
### 6.3 Toimintakuvaus

Robottiin määritellään tehtävät mittausstandardin laiteluokkien mukaan. Tehtävät sisältävät tarvittavat kohdepisteet mittauksen suorittamiseen sekä muun ohjauslogiikan. Kohdepisteitä asetetaan karttapohjalle sopivin välimatkoin kohtisuoralle akselille laitteen päävirtaussuuntaan nähden ja määritellään robotin orientaatio, johon robotin halutaan kohdepisteessä asettuvan. Ensimmäinen rivi pisteitä asetetaan standardissa vaadittavan 30 cm päähän mitattavasta laitteesta. Tehtävien kohdepisteitys voidaan toteuttaa myös käyttämällä merkkipistettä. Merkkipiste asetetaan mitattavan laitteen kohdalle ja liikkumiskäskynä käytetään liikettä pisteen suhteen.

Heittopituusmittauksen käynnistys tapahtuu mittausohjelman kautta. Ohjelmassa valitaan mitattavan tuotteen tyyppi, jonka mukaan lähetetään oikean tehtävän aloituskäsky ohjelmointirajapinnan kautta robotille. Robotti siirtyy ensimmäiseen kohdepisteeseen ja säätää asentonsa niin, että sen keula osoittaa mitattavan laitteen päävirtaussuuntaa vastakkaiseen suuntaan, jolloin anturien asento virtaukseen nähden on optimaalinen. Kun robotti on asettunut oikeaan asentoon, aloitetaan virtausnopeuden mittaus. Koska anturit on sijoitettu robotin säätötankoon pystysuuntaiseen riviin, saadaan heittokuvion nousu ja lasku määritettyä yhdellä mittauksella. Mittauksen valmistuttua robotti siirtyy seuraavaan kohdepisteeseen ja säätää asentonsa. Kun jokainen tehtävään määritelty kohdepiste on käyty läpi, siirtyy robotti sille määriteltyyn odotuspisteeseen ja jää odottamaan uutta tehtäväkäskyä.

Tehtävä voidaan muodostaa esimerkiksi käyttämällä apuna robotin ”tauko”-tilaa tai Bluetooth-releohjausta. Releohjaustapa antaa yksinkertaisemman toteutustavan, sillä ohjelmistorajapintaa ei tarvita kuin tehtävän käynnistyksessä. Tämä tapa aiheuttaa kuitenkin lisäinvestointeja sillä tällöin tarvitaan erillinen Bluetooth-rele, jolla mittauksen ohjaus voidaan toteuttaa.

Tauko-ohjaustavassa mittausohjelma lukee robotin tilaa, jonka mukaan mittaus aloitetaan. Mittauksen käynnistyksessä lähetetään ohjelmistorajapinnan kautta tehtävän käynnistyskäsky. Robotti siirtyy kohdepisteeseen yksi ja asettaa tilakseen ”tauko”. Mittausohjelma lukee robotin tilatietoa ja käynnistää mittauksen, kun tilana on ”tauko”. Mittauksen valmistuttua standardin määräämän ajan jälkeen, lähetetään rajapintaa käyttäen käsky vaihtaa tilatiedoksi ”suorita”, jolloin robotti jatkaa toimintaansa ja siirtyy tehtävämäärittelyn mukaan seuraavaan kohdepisteeseen. Kun kaikki kohdepisteet on käyty läpi palaa robotti odotuspisteeseensä. Toimintakaavio esitetty kuviossa 1.



KUVIO 1: Tauko-tilaan perustuvan ohjelman kuvaus

Bluetooth-releohjauksessa tehtävän perusrunko on samankaltainen kuin ”tauko”-tilaa käytettäessä. Kohdepisteeseen saapuessaan robotti kytkee Bluetooth-releen päälle, jonka kautta mittausohjelma saa tiedot mittauksen käynnistämisestä sekä asettaa odotusajaksi 200 sekuntia, jolloin standardin vaatima 180 sekunnin mittausperiodi ehditään suorittamaan. Odotusajan jälkeen robotti jatkaa tehtävän suorittamista ja siirtyy seuraavaan pisteeseen.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää toteuttamiskelpoinen ratkaisu päätelaitteiden tuotekehitystoiminnan heittopituusmittauksiin. Lisäksi työssä suunniteltiin mittausjärjestelyn toteutusta sekä sen määrittelyä. Alkuvaiheen työ koostui pitkälti mittaustavan sekä aiheeseen liittyvän standardoinnin sisältämien vaatimusten hahmottelusta. Oman haasteensa työhön toi myös kohdeyrityksen toivomien reunaehtojen täyttäminen muun muassa laitteen siirrettävyyden suhteen. Käyttötarkoitukseen soveltuvan mobiilirobotin löytäminen osoittautui ennakko-odotuksia haastavammaksi. Laitteiston suunnitelmaa muokattiin osittain projektin edetessä siihen määrättyjen rajallisten resurssien vuoksi.

Työssä saatiin suunniteltua robotti, joka vastaa yrityksen asettamiin vaatimuksiin siirrettävyyden suhteen sekä anturointilaitteisto, joka täyttää standardien vaatimukset. Laitteen yhdistämiseen olemassa olevien laboratorion mittausjärjestelmien kanssa löydettiin ratkaisu sekä löydettiin eri toimintatapoja mittaustapahtuman toteuttamiseksi. Laitteiston suunnittelussa otettiin huomioon päivitysmahdollisuudet ja siitä saatiin muodostettua kokonaisuus, johon on helppo lisätä anturointia tai lisälaitteita. Myös robotin monikäyttöisyys otettiin huomioon ja anturointilaitteisto apurunkoineen on helposti irrotettavissa robotista, mikäli sitä halutaan käyttää väliaikaisesti muihin tarkoituksiin.

Opinnäytetyön asettamiin tavoitteisiin pystyttiin vastaamaan työn kehysehtojen puitteissa. Laitteiston kokonaistoteutus on laaja-alainen projekti ja mittausjärjestelmän lopullista rakentamista sekä ohjelmointia ei opinnäytetyössä käsitellä. Laitteiston toimintakuntoon saattamisessa on mahdollista tulla ilmi asioita, joita teorialason suunnittelun yhteydessä ei ole osattu ottaa huomioon.

## LÄHTEET

Asus. n.d. 3D-Sensor Xtion Pro. Luettu 5.4.2018. [https://www.asus.com/3D-Sensor/Xtion\\_PRO/overview/](https://www.asus.com/3D-Sensor/Xtion_PRO/overview/)

Bouchard Samuel. Robotiq. 2014. Industrial robots: What are the different types. Julkaistu 13.3.2014. Luettu 9.4.2018. <https://blog.robotiq.com/bid/63528/what-are-the-different-types-of-industrial-robots>

Durek, G., Jenkin, M. 2000. Computational Principles of Mobile Robotics. Cambridge: Cambridge University Press.

Gaines, E. V., Peskov, L. W. 2008. New Research on Mobile Robots. New York: Nova Science Publishers.

Guangyu, C., Heikkinen, J & Sirén, K. Ilmanvaihdon tehokkuus eri ilmanvaihtojärjestelmissä. Sisäilmastoseminaari 13.3.2013. Helsinki.  
[http://www.sisailmayhdistys.fi/wp-content/uploads/2013/06/13.3.13\\_-\\_guangyu\\_cao.pdf](http://www.sisailmayhdistys.fi/wp-content/uploads/2013/06/13.3.13_-_guangyu_cao.pdf)

Gupta, A. K., Arora, S. K. & Westcott, J. R. 2017. Industrial Automation and Robotics. Dulles: Mercury Learning and Information.

Mobile Industrial Robots. 2017. Products, MIR100. Luettu 12.1.2018. <http://www.mobile-industrial-robots.com/en/products/mir100/>

National Instruments. 2009. LabVIEW Web Services. Luettu 10.4.2018.  
<http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/371361E-01/lvconcepts/webservices/>

National Instruments. 2016. Ni cDAQ-9188XT Device specifications. Luettu 1.3.2018.  
<http://www.ni.com/pdf/manuals/370087c.pdf>

National Instruments. 2017. Ni 9219 Datasheet. Luettu 1.3.2018.  
<http://www.ni.com/nisearch/app/main/p/ap/tech/lang/fi/pg/1/sn/ssnav:spc/aq/pmdmid:122171/>

National Instruments 2018. CompactDAQ. Luettu 1.3.2018. <http://www.ni.com/data-acquisition/compactdaq/>

National Instruments 2018. CompactDAQ Chassis. Luettu 1.3.2018.  
<http://www.ni.com/fi-fi/shop/select/compactdaq-chassis>

National Instruments 2018. NI LabVIEW. Luettu 10.4.2018. <http://finland.ni.com/labview>

Omron. 2018. Tuotteet, Robotiikka, Mobiilirobotti. Luettu 4.1.2018 <https://industrial.omron.fi/fi/products/mobile-robot#technology>

Sick 2018. S300 Standard. Luettu 5.4.2018. <https://www.sick.com/fi/fi/valosaehkoeiseturvalaitteet/turvalaserskannerit/s300-standard/c/g187239>

Seppänen, O. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Helsinki: Kirjapainokiitorata Oy.

SFS-EN 12238. 2002. Ventilation for buildings. Air terminal devices. Aerodynamic testing and rating for mixed flow application. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Tulostettu 5.1.2018. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/>

SFS-EN 12239. 2002. Ventilation for buildings. Air terminal devices. Aerodynamic testing and rating for displacement flow application. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Tulostettu 5.1.2018. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/>

SFS-EN 13182. 2002. Ventilation for buildings. Instrumentation requirements for air velocity measurements in ventilated spaces. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS. Luettu 13.3.2018. Vaatii käyttöoikeuden. <https://online.sfs.fi/>

Siegrwart, R. Nourbakhsh, I. R. & Scaramuzza D. 2014. Introduction to Autonomous Mobile Robots. Painos 2. Cambridge: The MIT Press.

TSI. 2016. Air velocity transducer model 8455/8465/8475 operation and service manual. U.S.A: TSI Incorporated.

TSI. 2018. Products, Ventilation Test Instruments, Air Velocity Transducers, Air Velocity Transducer 8475 Series. Luettu 13.3.2018. <http://www.tsi.com/air-velocity-transducer-8475/>

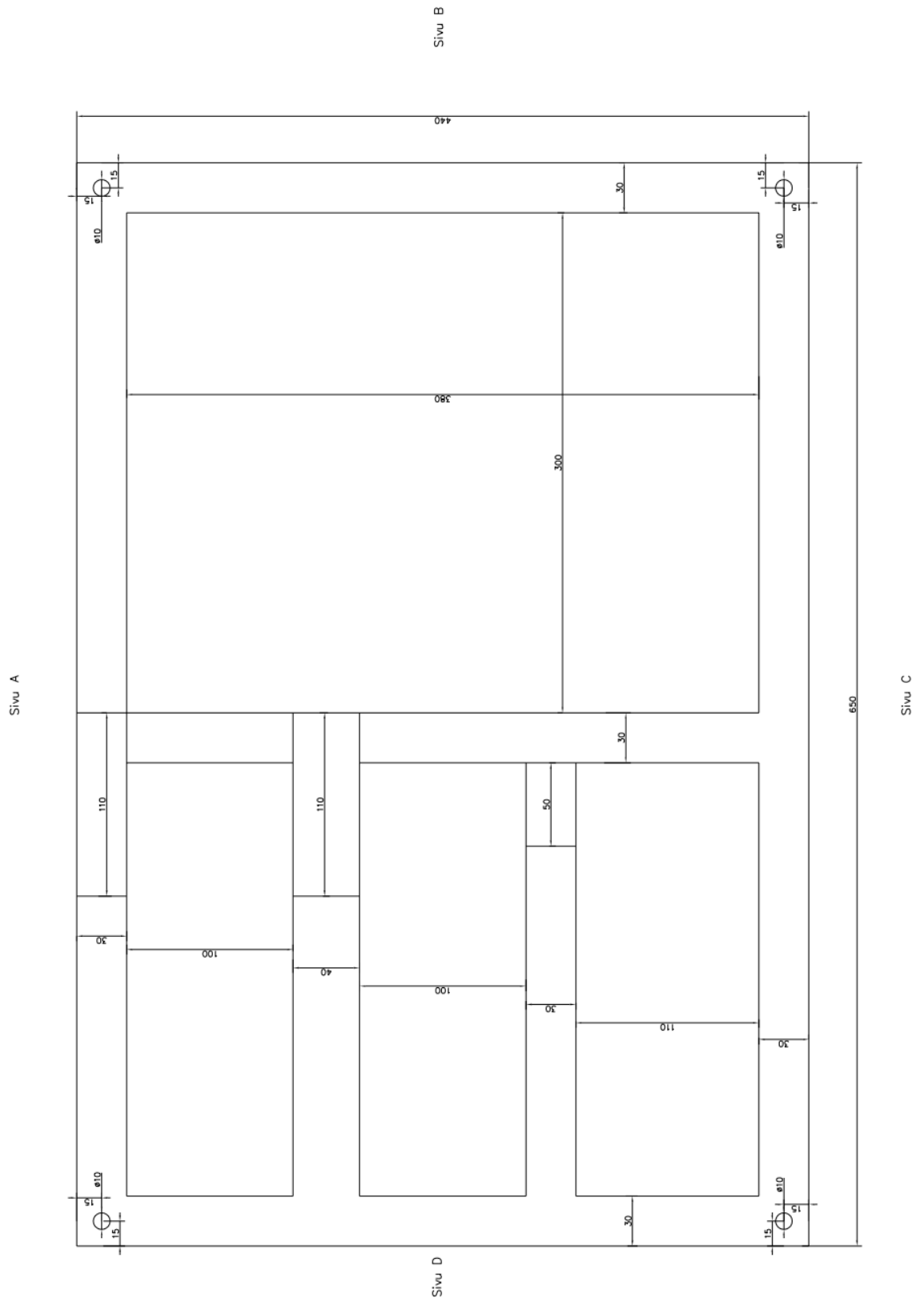
Uusiteknologia. 2018. Mobiilirobotit tulevat logistiikkaan. Luettu 23.3.2018. <https://www.uusiteknologia.fi/2018/02/16/mobiilirobotit-tulevat-logistiikkaan/>

VMP-interior. 2016. Mobiilirobotti vapauttaa sairaalohenkilöstön resursseja rutiinitöistä hoitotyöhön. Luettu 23.3.2018. <http://vmp-interior.fi/blogi/mobiilirobotti-vapauttaa-sairaalahenkil-st-n-resursseja-rutiinit-ist-hoitoty-h-n#.WrTZQqhuZIA>

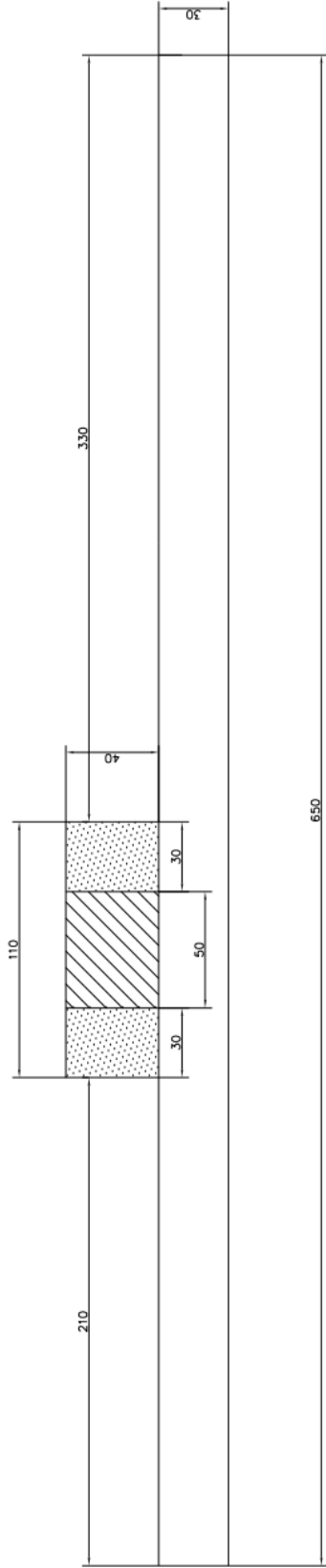
# LIITTEET

Liite 1. Apurunko

1(2)



Sivu C



Sivu D

