

# NYKYAIKAISEN TEKNOLOGIAN HYÖDYNTÄMINEN SPRINKLERIPUTKISTOJEN SUUNNITTELUSSA

Lasse Mäkelä

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2012

Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma  
Tekniikan ja liikenteen ala



JYVÄSKYLÄN AMMATTIKORKEAKOULU  
JAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Tekijä(t) MÄKELÄ, Lasse	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä 31.05.2012
	Sivumäärä 50	Julkaisun kieli suomi
	Luottamuksellisuus ( ) saakka	Verkojulkaisulupa myönnetty ( X )
Työn nimi NYKYAIKAISEN TEKNOLOGIAN HYÖDYNTÄMINEN SPRINKLERIPUTKISTOJEN SUUNNITTELUSSA		
Koulutusohjelma Hyvinvointiteknologia		
Työn ohjaaja(t) SÄLLINEN, Pekka		
Toimeksiantaja(t) ProSolve Oy MALVISALO, Timo		
Tiivistelmä Opinätetyön toimeksiantaja ProSolve Oy on suunnittelutoimisto, joka tarjoaa erilaisten konesuunnittelupalvelujen lisäksi muun muassa laserkeilauspalveluja. Työssä tutkittiin, kuinka laserkeilausta ja SolidWorks- ohjelmalle luotua putkentaivutusmacroa voitaisiin yhdessä hyödyntää sprinkleriputkistojen suunnittelussa.  Työn ensisijainen tavoite oli selvittää, voitaisiinko tyyppillisen olemassa olevan vanhusten palvelutalon sprinkleriputkistojen suunnittelu tehdä SolidWorks- ohjelmalla 3D- ympäristössä laserkeilausaineistoa hyödyntäen. Suunnittelu tulisi tehdä niin tarkasti, että sprinklerilaitteiston jälkiasennus voitaisiin suorittaa käyttämällä valmiiksi taivutettuja ja mitoitettuja putkia. Työssä arvioitiin kyseisen toimintatavan kannattavuutta yleisesti, mutta talouslaskelmat rajattiin työstä pois. Työn sivutuotteena tavoiteltiin yritykselle tietoa siitä, kuinka laserkeilausaineistoa, SolidWorksia sekä sen putkitustoimintoja kannattaa ylipäättään käyttää yhdessä.  Työn ensimmäiseksi osuudeksi muodostui Lievestuoreessa sijaitsevan Männikön palvelukeskuksen laserkeilaus, laserkeilausaineiston käsittely, sekä sprinkleriputkistojen mallinnus. Aineiston käsittely tehtiin yhdessä yrityksen työntekijän kanssa tutkien, millä asetuksilla saavutettaisiin SolidWorks- ohjelmalle paras mahdollinen lopputulos. Työn toisessa osuudessa arvioitiin toimintatavan mahdollisuutta ja kannattavuutta tehdyn putkistomallinnuksen ja haastattelujen perusteella.  Tuloksena löydettiin laserkeilausaineiston käsittelyyn toiminnot ja asetukset sekä tietoja, joiden avulla yritys voi mahdollisesti hyödyntää SolidWorks- ohjelmaa myöhemmissä projekteissaan. Työn tuloksena voidaan myös todeta, että palvelutalon sprinkleriasennuksen toteuttaminen esivalmistetuilla putkilla on teoriassa mahdollista, mutta menetelmän käyttöön otto vaatii lisää suunnittelua ja yhteistyötä urakoitsijan kanssa. Yritys voi harkita menetelmän jatkokehitystä tulevaisuudessa.		
Avainsanat (asiasanat) Laserkeilaus, sprinkleriputkisto, putkistomallinnus		
Muut tiedot		



Author(s) MÄKELÄ, Lasse	Type of publication Bachelor's Thesis	Date 31052012
	Pages 50	Language Finnish
	Confidential ( ) Until	Permission for web publication ( X )
Title MODERN TECHNOLOGY IN THE DESIGN OF SPRINKLER PIPING		
Degree Programme Wellness Technology		
Tutor(s) SÄLLINEN, Pekka		
Assigned by ProSolve Oy MALVISALO, Timo		
Abstract The applicant of the Bachelor's Thesis is ProSolve Oy which offers different mechanical design services as well as for example laser scanning services. The purpose of the Bachelor's Thesis was to explore how laser scanning and pipe bending macro created for SolidWorks software can be combined in the design of sprinkler piping.  The primary goal was to survey if it is possible to design the sprinkler piping of a nursing home for old people in 3D by using both Solidworks software and laser scanning material. The design should be carried out so accurately that the sprinkler installation could be made by using pre-bended and pre-measured pipes. The viability of this kind of concept was estimated in general but the economic calculations were ruled out. The other goal was to survey how to use laser scanning material, SolidWorks software and the routing functions of SolidWorks together in general.  The technical part of the Bachelor's Thesis included the laser scanning of The Männikkö nursing home, the processing of laser scanning material and the 3D modeling of sprinkler piping. The processing of laser scanning material was made together with an employee of the company by clarifying which functions and settings are the best options for later use of SolidWorks software. The other part of the Bachelor's Thesis was the assessment of possibility and viability of the concept. The assessment was made based on the technical process of the Bachelor's Thesis and interviews.  The best functions and settings in processing of scanning material were found. By utilizing them, the company may use SolidWorks software in later projects. As a result of the Bachelor's Thesis one may state that the sprinkler installation of a nursing home for old people could be done in theory by using pre-made pipes. The introduction of the concept still requires more design and team work with a contractor. The company may consider the further development of the concept in the future.		
Keywords laser scanning, sprinkler piping, piping modeling		
Miscellaneous		

# SISÄLTÖ

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>5</b>
1.1	Toimeksiantajan esittely .....	5
1.2	Työn lähtökohdat ja tavoite.....	6
<b>2</b>	<b>LASERKEILAUS</b> .....	<b>7</b>
2.1	Laser mittavälineenä.....	7
2.2	Laserkeilaimen eri toimintaperiaatteet .....	9
2.2.1	Pulssilaser .....	9
2.2.2	Jatkuva-aaltainen laser .....	9
2.2.3	Optiseen kolmiomittaukseen perustuva laser .....	10
2.3	Laserkeilaimien käyttötarkoitusten mukainen luokittelu .....	10
2.3.1	Kaukokartoituslaserkeilaus .....	10
2.3.2	Maalaserkeilaus .....	10
2.3.3	Teollisuuslaserkeilaus .....	11
2.4	FARO focus <sup>3D</sup> laserkeilain .....	11
2.4.1	Ominaisuudet.....	12
<b>3</b>	<b>SPRINKLERILAITTEISTOT</b> .....	<b>15</b>
3.1	Asuntosprinklerilaitteistot .....	16
3.2	Asuntosprinklerilaitteiston suunnittelu.....	18
3.2.1	Sprinklerien rakennetyypit .....	18
3.2.2	Laitteistojen luokittelu .....	18
3.2.3	Suojauksen laajuus ja asennuksen koko.....	19
3.2.4	Sprinklerien sijoitus ja sijoitustiheys .....	21

<b>4</b>	<b>KÄYTETYT OHJELMISTOT .....</b>	<b>23</b>
4.1	Faro Scene .....	23
4.2	Geomagic studio .....	23
4.3	SolidWorks .....	23
<b>5</b>	<b>TYÖN SUORITUS .....</b>	<b>24</b>
5.1	Männikön palvelukeskuksen laserkeilaus .....	24
5.1.1	Kellarikerroksen laserkeilaus .....	26
5.1.2	2. kerroksen laserkeilaus .....	26
5.1.3	1. kerroksen laserkeilaus .....	27
5.2	Laserkeilausaineiston käsittely .....	28
5.2.1	Faro Scene .....	28
5.2.2	Geomagic Studio .....	29
5.3	Putkistomallinnus .....	30
5.4	Virtauksen aiheuttaman painehäviön laskeminen.....	37
<b>6</b>	<b>TULOKSET JA POHDINTA .....</b>	<b>40</b>
6.1	Laserkeilaus ja putkistomallinnus.....	40
6.2	Toimintatavan toteuttaminen .....	42
6.2.1	Toimintatavan mahdollisuuden arviointi .....	42
6.2.2	Toimintatavan kustannustehokkuuden arviointi.....	45
6.3	Tulosten yhteenveto .....	45
6.4	Tavoitteiden saavuttaminen ja tulosten hyödyntäminen.....	46
	<b>LÄHTEET .....</b>	<b>47</b>
	<b>LIITTEET .....</b>	<b>49</b>

<b>Liite 1. 1. kerroksen putkistomallinnus.....</b>	<b>49</b>
<b>Liite 2. Esimerkki taivutetusta putkesta ja sen taivutuspöytäkirjasta .....</b>	<b>50</b>

## KUVIOT

KUVIO 1. Pistepilvi.....	8
KUVIO 2. FARO focus <sup>3D</sup> laserkeilain jalustaan kiinnitettynä .....	12
KUVIO 3. Kosketusnäyttö ja skannausprofiilin valinta.....	14
KUVIO 4. Sprinkleriasennuksen pääosat.....	15
KUVIO 5. Suuttimien hajotuslevyjen välisiä eroavaisuuksia .....	17
KUVIO 6. Periaatekuva palvelutalon sprinkleriasennuksesta.....	21
KUVIO 7. Tähsypallo sekä laitteen valmistajan tähsysarkki .....	25
KUVIO 8. 360° näkymä kellarin käytävän eräästä risteyskohdasta .....	26
KUVIO 9. Laserkeilausta ruokailusalista, jonka pöydille on sijoitettu tähsypalloja...	27
KUVIO 10. Pistepilvien rekisteröinti Scene- ohjelman <i>Preprocess</i> - toiminnolla.....	29
KUVIO 11. <i>Object Mover</i> - toiminnon käyttöä.....	32
KUVIO 12. Ensimmäisen putkiliittimen paikoitus luotuihin aputasoihin .....	33
KUVIO 13. Käytävän ja asuinhuoneen kattojen vertikaalisen etäisyyden mittaaminen .....	34
KUVIO 14. Kahdella 90° taivutuksella saavutettu putkireititys, joka mukailee alakattojen korkeusvaihteluja .....	36

KUVIO 15. *Hazen-Williamsin* kaava..... 37

KUVIO 16. Kevennystoimintojen vaikutus mallin tarkkuuteen ..... 41

## **TAULUKOT**

TAULUKKO 1. FARO focus<sup>3D</sup>- laserkeilaimen teknisiä ominaisuuksia..... 13

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Toimeksiantajan esittely

Opinnäytetyön toimeksiantaja on ProSolve Oy, joka on yksityisen omistama monipuolinen suunnittelutoimisto. Yrityksessä on noin 30 työntekijää, joista suurin osa istuu Jyväskylän toimistossa. Yrityksen pienempi toimipiste sijaitsee Kotkassa. ProSolven toiminta jakautuu kolmeen osa-alueeseen seuraavalla tavalla:

- ProLine – kone- ja mekaniikkasuunnittelu
- ProDigit – 3D-skannaukset
- ProKipa – Kiinteistöpalvelut (ProSolve Oy 2011.)

ProSolve pyrkii olemaan toimialajakoineen kokonaisvaltaisten ratkaisujen tarjoaja. Sekä yrityksen käytössä olevaa laitteistoa, että eri osastojen henkilöosaamista voidaan tarvittaessa yhdistää tehokkaasti.

ProLinen mekaniikkasuunnittelua tehdään 2D- ja 3D-ympäristöissä.

Mekaniikkasuunnittelun lisäksi henkilöstön osaamiseen lukeutuu lujuuslaskentaa, hydraulikka- ja pneumatiikkasuunnittelua, putkistosuunnittelua sekä sähkö- ja koneautomaatiosuunnittelua. Yritys pyrkii olemaan mukana suunnittelun lisäksi myös koko tuotantoprosessissa. (ProSolve Oy 2011.)

ProSolvella voidaan valmistaa erilaisia mallikappaleita käyttäen hyödyksi pikamallinnusta tekevää 3D- tulostina. Käytännössä suunnitteluohjelmalla tehdystä tuotteesta voidaan tulostaa aidon näköinen ja mahdollisesti kokoinen käsin kosketeltava prototyyppi. Pikamallinnusta voidaan käyttää myös esimerkiksi valumuottien tai -mallien valmistukseen. Pikamallinnusta voidaan hyödyntää eri tavoilla myös 3D-skannausten yhteydessä. (ProSolve Oy 2011.)

ProDigitin tarjoamat 3D-skannauspalvelut voivat olla eri sovellusmuodoissa olemassa olevan osan skannausta, ympäristön digitointia tai tarkistusmittausta, jolla voidaan



varmistaa esimerkiksi valukappaleen mittojen asianmukaisuus. Skannauksen avulla voidaan esimerkiksi laatia mittatiedot sisältävät uudet piirustukset kappaleesta, jonka kirjalliset dokumentit puuttuvat kokonaan. (ProSolve Oy 2011.)

ProKipa tarjoaa asiakkaille muun muassa kiinteistöjen kuntoarvioita ja -tutkimuksia, kosteusmittauksia, putkisto- ja lämpökamerakuvaus- sekä laserkeilauksia. Lisäksi ProKipan osaamisalueisiin kuuluu muun muassa rakennesuunnittelut, asuntokaupan kuntotarkastukset ja rakennushankkeen projektinjohto- ja valvontapalvelut. (ProSolve Oy 2011.)

## 1.2 Työn lähtökohdat ja tavoite

Pro Solve Oy: n käytössä on FARO focus<sup>3D</sup>- laserkeilain, jolla on monipuolisuutensa vuoksi paljon erilaisia käyttösovelluksia. Laserkeilauksen niin sanotun nuoruuden puitteissa käyttösovelluksia voidaan myös kehittää jatkuvasti lisää.

Yrityksellä on käytössään myös 3D- suunnitteluohjelmia, kuten SolidWorks. Tälle ohjelmalle oli yrityksessä luotu erillinen putkentaivutukseen liittyvä *macro*, jonka avulla saadaan selville putkien taivutuspisteitä vastaavat koordinaatit. Näiden koordinaattien avulla taivutusautomaatti voi tehdä valmiita suunnitellun mukaisia putkia.

Opinnäytetyössäni tutkittiin, kuinka laserkeilausta ja mainittua SolidWorksille tehtyä putkentaivutusmacroa voitaisiin yhdessä hyödyntää olemassa olevien rakennuksien automaattisten sammutusjärjestelmien putkistojen suunnittelussa. Erityisesti palvelutaloissa, joissa asuu toimintakyvyltään rajoittuneita ihmisiä, on suuri tarve automaattisille sammutusjärjestelmille. Ennen varsinaiseen työhön ryhtymistä haastattelin Keski-Suomen pelastuslaitoksen riskinhallintapäällikkö Jarkko Jänttiä. Hän näki aiheen ajankohtaisena, koska sammutusjärjestelmiä vaativa lainsäädäntö on tiukkenemassa jatkuvasti.

Työn ensisijainen tavoite oli selvittää, voitaisiinko tyypillisen olemassa olevan vanhusten palvelutalon sprinkleriputkistojen suunnittelu tehdä SolidWorks- ohjelmalla 3D- ympäristössä laserkeilausaineistoa hyödyntäen. Suunnittelu tulisi tehdä niin

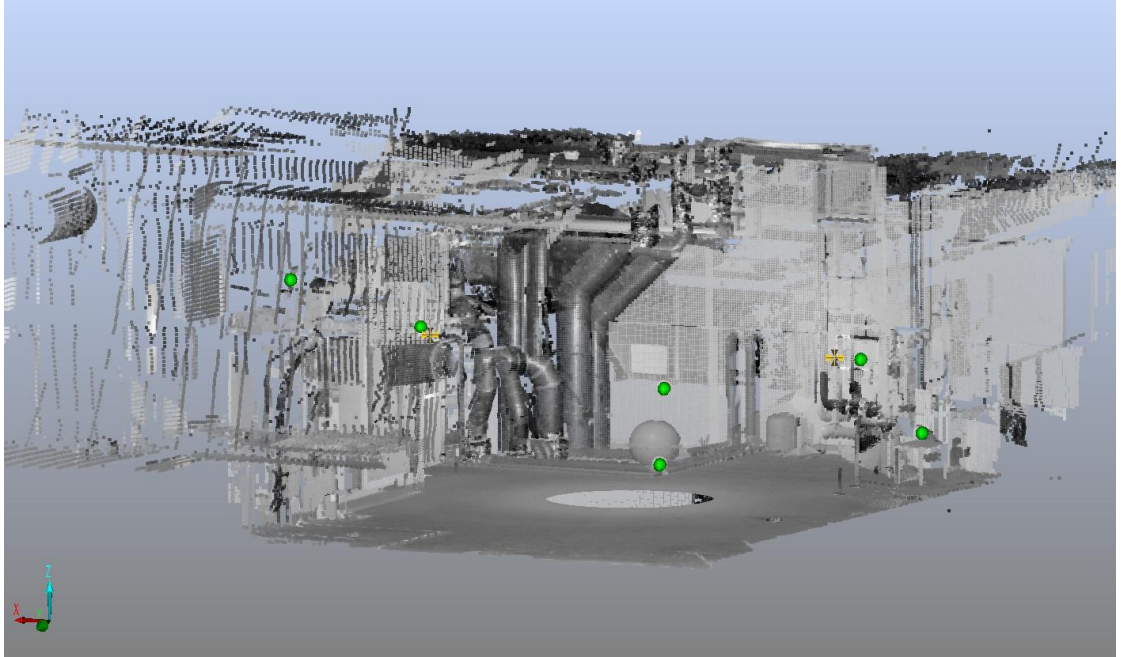
tarkasti, että sprinklerilaitteiston jälkiasennus voitaisiin suorittaa käyttämällä valmiiksi taivutettuja ja mitoitettuja putkia. Työssä arvioitiin kyseisen toimintatavan kannattavuutta yleisesti, mutta talouslaskelmat rajattiin työstä pois. Työn sivutuotteena tavoiteltiin yritykselle tietoa siitä, kuinka laserkeilausaineistoa, SolidWorks- ohjelmaa sekä sen putkitustoimintoja kannattaa ylipäättään käyttää yhdessä. Yrityksellä ei juurikaan ollut kokemusta laserkeilausaineiston ja SolidWorksin yhteiskäytöstä.

Työn ensimmäiseksi osuudeksi muodostui Lievestuoreessa sijaitsevan Männikön palvelukeskuksen laserkeilaus, laserkeilausaineiston käsittely, sekä sprinkleriputkistojen mallinnus. Aineiston käsittely tehtiin yhdessä yrityksen työntekijän kanssa tutkien, millä asetuksilla saavutettaisiin SolidWorks- ohjelmalle paras mahdollinen lopputulos. Työn toisessa osuudessa arvioitiin mainitun toimintatavan mahdollisuutta ja kannattavuutta tehdyn putkistomallinnuksen sekä haastattelujen perusteella.

## **2 LASERKEILAUS**

### **2.1 Laser mittavälineenä**

Laserkeilaus eli on mittausten menetelmä, jossa mittaustieto saadaan lasersäteiden kulkeman matkan perusteella, kun mittaustila eli laserkeilain lähettää lasersäteiden mitattavaan kohteeseen ja takaisin. Nämä eri suuntiin lähtevät lasersäteet muodostavat ympäristöstä kolmiulotteisen näkymän eli pistepilven, jossa jokaisella pisteellä on tarkat koordinaatit (x,y ja z). Pisteitä yhdessä pistepilvessä voi olla jopa miljoonia. (Ilvonen 2008, 4.) Laserkeilaus on turvallinen mittausten menetelmä, sillä mitattavaan kohteeseen ei tarvitse koskea lainkaan. Vaaralliset ja hankalasti tavoitettavissa olevat kohteet voidaan siis mitata turvallisesti kauempaa. (Koski 2001, 24.) Kuvio 1 esittää erään IV-huoneen pistepilveä.



KUVIO 1. Pistepilvi

Virheellisiä mittaustuloksia saavat aikaan vesi- ja lumisade, sekä muut laitteen ja kohteen välissä olevat partikkelit. Ne aiheuttavat säteiden ennen aikaista heijastumista, absorbointia sekä säteiden poikkeuttamista. (Mts. 24.) Toisaalta esimerkiksi kasvillisuus voi olla läpäisevä kohde, jolloin mittahavainto saadaan sekä siitä, että varsinaisesta mitattavasta kohteesta (Rönnholm & Haggrén 2004). Myös kohteen muoto, pinnan materiaali, väri, valonlähteen sijainti ja asento keilaimeen nähden vaikuttavat mittaustyön lopputulokseen (Ilvonen 2008, 4).

Pistepilven jokaisella pisteellä on tietty sävyarvo, joka määräytyy sen mukaan, millä intensiteetillä lasersäde palaa skannattavan kohteen pinnasta. Esimerkiksi kohteen pinnassa oleva teksti ja muu grafiikka erottuvat keilauksessa, koska väri vaikuttaa säteen intensiteettiin. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa materiaali, kohteen tasaisuus ja osumiskulma kohteeseen. (Koski 2001, 25.)

## **2.2 Laserkeilaimen eri toimintaperiaatteet**

Laserkeilain koostuu lasertykistä, keilainosasta sekä ilmaisinosasta. Tykki tuottaa lasersäteen, jota keilainosa poikkeuttaa. Ilmaisinosatulkitsen säteen aiheuttaman signaalin ja sen avulla määrittää etäisyyden kohteeseen. Laitteen tyypistä riippuen, etäisyyden määrittäminen voi perustua valon kulkuaikaan, vaihe-eroon, näiden yhdistelmään tai kolmiomittaukseen. Mittaustiedot voivat tallentua sekä keilaimen sisäiseen muistiin, että suoraan tietokoneelle. (Ilvonen 2008, 4-5.)

### **2.2.1 Pulssilaser**

Pulssi- eli aikaerolaserit toimivat lähettämällä erillisiä pulssimaisia lasersäteitä, joiden kulkuaika mitataan kohteen ja laitteen välillä. Etäisyys voidaan määrittää aikaeron perusteella. (Kukko 2005, 6-7.)

Pulssilaserilla mittaaminen mahdollistaa suuren vaihteluvälin etäisyydelle, joka voi olla muutamasta metrillä jopa yli kilometriin. Tosin toistotaajuus on usein pieni, vain muutamia tuhansia havaintoja sekunnissa. Mittaetäisyyteen vaikuttavat toistotaajuuden määräämä enimmäiskulkuaika sekä lähetetyn pulssin teho. Usein pulssilaserien mittausetäisyydet ovat muutamia satoja metrejä. (Mts. 7-14)

### **2.2.2 Jatkuva-aaltainen laser**

Jatkuva-aaltainen laser eli vaihe-erolaser eroaa pulssilaserista siten, että se lähettää jatkuvaa signaalia, jonka intensiteettiä moduloidaan usein siniaallolla. Vaihtoehtona voi olla myös monimuotoisempi aalto, jossa on useampia kanta-aallon pituuksia. Kuten pulssilaserilla mitattaessa, signaali heijastuu kohteen pinnasta, ja lähetetyn ja vastaanotetun signaalin välinen vaihe-ero mitataan. (Mts. 7.)

Vaihe-erolaserin toistotaajuus pulssilaseriin verrattuna on huomattavan suuri, tavallisesti jopa 250 kHz eli 250 000 havaintoa sekunnissa. Mittausetäisyydet ovat kuitenkin pieniä, suurimmillaankin usein alle 100 metriä. (Mts. 8.)

### **2.2.3 Optiseen kolmiomittaukseen perustuva laser**

Optista kolmiomittausta käyttävät laserkeilaimet muodostavat valopisteen, joka suunnataan mittauskohteen pintaan. Valopiste heijastuu kohteesta takaisin ja kulkee sensorin pinnalle linssin läpi, minkä jälkeen tieto valopisteen sijainnista rekisteröidään. Valonlähteen ja sensorin välisen etäisyyden sekä havaittavan valon saapumiskulman perusteella lasketaan kohdepinnan etäisyys. Tätä menetelmää käyttävillä laserkeilaimilla on pienet mittausetäisyydet ja suuret katvealueet, minkä vuoksi niitä käytetään lähinnä suurta tarkkuutta vaativissa teollisuusmittauksissa. (Ilvonen 2008, 6-7.)

## **2.3 Laserkeilaimien käyttötarkoitusten mukainen luokittelu**

Toimintaperiaatteeseen liittyvän jaon lisäksi laserkeilaimet voidaan jakaa myös käyttötarkoitusten mukaan seuraavasti: kaukokartoituslaserkeilaimet, maalaserkeilaimet sekä teollisuuslaserkeilaimet (Suominen 2009, 45).

### **2.3.1 Kaukokartoituslaserkeilaus**

Kaukokartoituslaserkeilauksella eli ilmalaserkeilauksella suoritettava mittaus tehdään helikopterista tai lentokoneesta. Järjestelmään kuuluu keilain, paikannusjärjestelmä sekä koneen asentoa tarkkaileva inertiajärjestelmä. Mittaukset suoritetaan nauhamaisina, hieman limittäin menevinä lentolinjoina usein 60-1500 metrin korkeudesta. Tavallisesti ilmalaserkeilauksella mitataan maanpintaa ja sillä olevia kohteita, ja parhaillaan päästään jopa 10 cm tarkkuuteen. (Ilvonen 2008, 7-9.)

### **2.3.2 Maalaserkeilaus**

Maalaserkeilaimella eli terrestriaalisella laserkeilaimella mittaus tapahtuu tavallisesti maanpinnalta, mutta erityistapauksissa keilaimen voi kiinnittää myös liikkuvaan ajoneuvoon, kuten autoon tai veneeseen. Itse keilaimen lisäksi maalaserkeilausjärjestelmään kuuluu kolmijalka, pakkokeskistysalusta ja PC, jonka avulla voidaan valvoa ja ohjata mittaustapahtumaa reaaliaikaisesti. (Suominen 2009,

45-46.) Joissakin laserkeilaimissa mittaustieto tallentuu laitteen sisäiseen muistiin, ja tietokonetta tarvitaan vasta mittatietojen jälkikäsitteilyvaiheissa. (Ilvonen 2008, 11.)

Maalaserkeilaimien mittausetäisyydet vaihtelevat noin metristä satoihin metreihin. Mittaustarkkuus on parhaillaan alle 1 cm. (Mts. 11.)

Maalaserkeilausta hyödynnetään muun muassa laitosprojekteissa, joissa vanhojen tehtaiden piirustuksia ei ole saatavilla tai ne eivät pidä paikkaansa. Laserkeilauksen avulla voidaan välttää toistuvat mittauksia ja tarkistuksia varten tehtävät matkat mahdollisesti kaukana olevaan saneerauskohteeseen. Hyödyt ja kustannukset saadaan jaettua suuremmalle joukolle, koska laserkeilausaineistoa voivat hyödyntää ilmastointi-, sähkö-, prosessi- ja rakennesuunnittelijat. (Lehtinen 2007, 33.)

Muita sovelluskohteita ovat muun muassa maasto- ja kaivosmittaukset, joiden avulla voidaan tarkkailla esimerkiksi maanpinnan muotoja, tunneleiden sijainteja ja sorakasojen tilavuuksia. Lisäksi menetelmää hyödynnetään onnettomuuksien tutkimisessa ja arkkitehtuuritarkoituksissa. (Lehtinen 2007, 34.)

### **2.3.3 Teollisuuslaserkeilaus**

Teollisuuslaserkeilaimet ovat maalaserkeilaimien tyyppisiä pienten kohteiden mittaukseen soveltuvia laitteita, jotka toimivat yleensä optisen kolmimittauksen periaatteella. Suurimmatkin mittausetäisyydet ovat yleensä alle 30 metriä, ja laitteilla voidaan päästä alle 1 mm mittatarkkuuksiin. (Mts. 13.)

## **2.4 FARO focus<sup>3D</sup> laserkeilain**

ProSolve Oy:n käytössä oleva FARO focus<sup>3D</sup> on laserkeilain, jonka mittaus perustuu jatkuva-aaltoisen laserin eli vaihe-erolaserin käyttöön. Laite toimii lähettämällä infrapuna-alueen lasersäteitä kaltevapintaiseen peiliin, joka pyörii laitteen vaaka-akselin ympäri poikkeuttaen lasersäteitä eri suuntiin. Kun samanaikaisesti laite pyörii jalustansa päällä 360° pystyakselinsa ympäri, saadaan laaja ja tasainen pistepilvi laitetta ympäröivästä alueesta. Laite tallentaa mittatiedot irrotettavalle SD-

muistikortille. (FARO laser scanner focus<sup>3D</sup> Manual 2011, 2-3.) Kuva FARO focus<sup>3D</sup> laserkeilaimesta on esitetty kuviossa 2.



KUVIO 2. FARO focus<sup>3D</sup> laserkeilain jalustaan kiinnitettynä

#### 2.4.1 Ominaisuudet

Taulukossa 1. on esitetty FARO focus<sup>3D</sup>- laitteen teknisiä ominaisuuksia.

TAULUKKO 1. FARO focus<sup>3D</sup>- laserkeilaimen teknisiä ominaisuuksia (FARO laser scanner focus<sup>3D</sup> Manual 2011, 93)

Mittausetäisyys	0,6 – 120 metriä. kun $\rho = 90\%$
Mittausnopeus	122 000 / 244 000 / 488 000 / 976 000 pistettä sekunnissa
Etäisyyden mittausvirhe	$\pm 2$ mm (10 ja 25 m etäisyydellä, kun $\rho = 10\%$ ja $\rho = 90\%$ )
Kohina	10 m etäisyydellä: 0,3 mm, $\rho = 90\%$ ja 0,6 mm, $\rho = 10\%$ 25 m etäisyydellä: 0,5 mm, $\rho = 90\%$ ja 1,1 mm, $\rho = 10\%$
Kameran resoluutio	70 megapikseliä
Mittausalue	Pystysuunnassa 305°, Vaakasuunnassa 360°
Kulmaresoluutio	0,009° sekä pysty, että vaakasuunnassa
Laserin teho	20mW (Laserluokitus 3R)
Aallonpituus	905 nm
Lasersäteen halkaisija lähtiessä	3,8 mm
Tiedon tallennus	SD- muistikortti
Hallinta	Kosketusnäyttö
Virtalähde	19 V (verkkovirta) ja 14,4 V (akku)
Akun käyttöaika	5 tuntia
Paino	5,0 kg
Koko	240 mm x 200 mm x 100 mm

Taulukossa esitetty  $\rho$  ilmaisee skannattavan kohteen heijastusarvoa, joka vaikuttaa mittausten tarkkuuteen. Usein pienempi ilmoitettu heijastusarvo ( $\rho = 10\%$ ) on oleellisempi, koska se vastaa paremmin useimpia ympärillämme esiintyviä materiaaleja. Esimerkiksi kuivan asfaltin  $\rho = 20\%$  ja tiilin  $\rho = 35\%$ . (Heiska 2010, 16.)



Taulukossa esitetyt kohina-arvot vastaavat suodatettujen pistepilvien kohinaa. Suodattamattomien pistepilvien vastaavat arvot ovat suurempia. (FARO laser scanner focus<sup>3D</sup> Manual 2011, 93.) Kohina on mittauspisteen hajontaa.

Skannaukseen kuluvaan aikaan ja tiedostokokoon vaikuttavat ennen kaikkea käytettävä resoluutio, laatu, mittausnopeus sekä mittausalue. Näiden ominaisuuksien säätämisen lisäksi voidaan asettaa päälle myös valokuvaus, joka pidentää skannauksen kestoa ottamalla värikuvia varsinaisen mittauksen perään. Mittausaika voi vaihdella alle minuutista jopa kahteen tuntiin. Laitteella on neljä ns. valmista skannausprofiilia, jotka antavat tietyt oletusarvot käytettävälle resoluutiolle ja laadulle. Profiilikohtaiset muuttujat ovat skannausympäristö sekä skannausetäisyys (ks. kuvio 3). (FARO laser scanner focus<sup>3D</sup> Manual 2011, 40-47.)



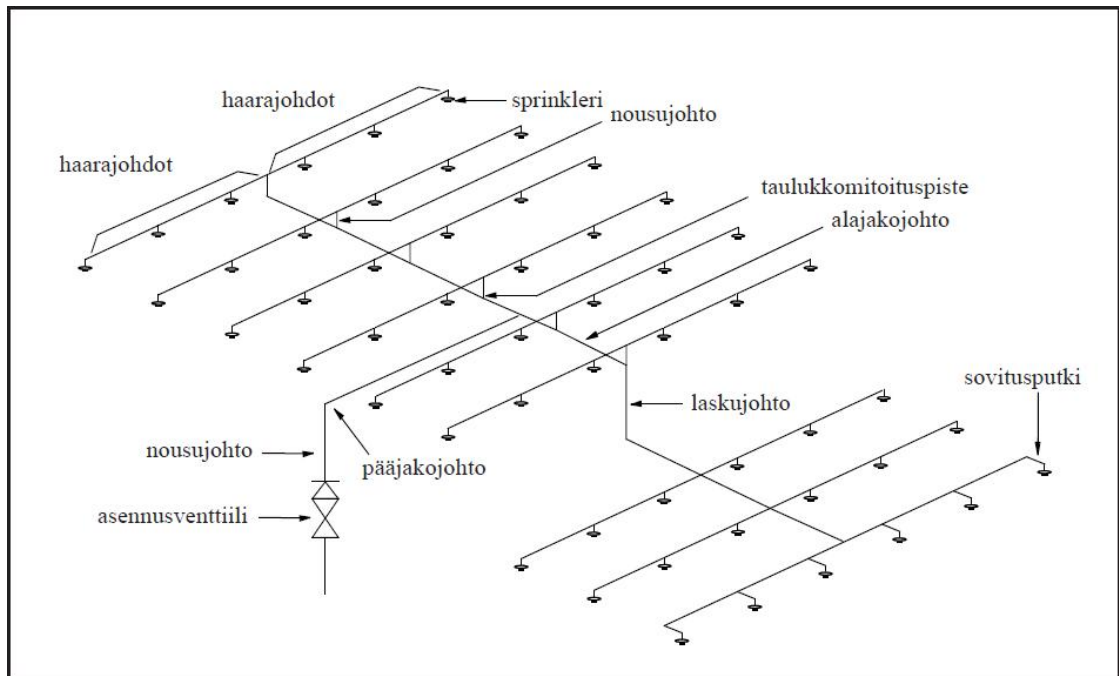
KUVIO 3. Kosketusnäyttö ja skannausprofiilin valinta (FARO laser scanner focus<sup>3D</sup> Manual 2011, 58)

Laitte käyttää taulukossa mainittavaa 3R- luokan lasersädettä, joka voi suoraan suojaamattomaan silmään osuessaan aiheuttaa pysyviä vaurioita. Käytännössä tällaisia vahinkoja ei kuitenkaan tapahdu 3R- luokan laseria käytettäessä. (Lasereiden turvallisuusluokat 2010.)

### 3 SPRINKLERILAITTEISTOT

Automaattisen sprinklerilaitteiston tarkoitus on sammuttaa ja ilmaista kohteessa syttynyt tulipalo alkuvaiheessa, tai pitää paloa hallinnassa siihen saakka, kunnes sammutustyö on saatu päätökseen muilla keinoilla. Laitteisto ei siis tee muita sammutustoimenpiteitä tarpeettomiksi. Tiettyjä poikkeuksia lukuun ottamatta laitteisto suunnitellaan suojaamaan rakennusta kokonaisuudessaan.

Sprinklerilaitteistoon kuuluu vesilähde ja yksi tai useampi sprinkleriasennus. Jokaiseen sprinkleriasennukseen kuuluu asennusventtiili muine laitteineen, putkisto sekä sprinklerisuuttimet. (Ks. kuvio 4.) Suuttimet asennetaan kattoon, tai tarvittaessa varastotelineisiin, hyllyihin ja muihin määriteltyihin tiloihin. (CEA 4001, 2007, 14-15.) Henkilöturvallisuuskohteissa käytetään myös seinätasoon asennettavia sivusuuttimia (Jäntti 2009, 72).



KUVIO 4. Sprinkleriasennuksen pääosat. (CEA 4001 2007, 17)

Suuttimet reagoivat tiettyyn lämpötilaan laueten ja levittäen vettä paloalueelle. Sprinklerin laukeaminen aiheuttaa vedenvirtauksen hälytysventtiilin läpi, mikä saa aikaan paikallisen palohälytyksen sekä paloilmoituksen hätäkeskukseen. (LVI 10475, 2011, 2.)

Sprinklerilaitteiston hankintaperusteena voi olla rakentamista säätelevä lainsäädäntö, viranomaisvaatimus, vakuutusyhtiön vaatimus, rakennuttajan tarpeet tai rakennuksen omistajan tarpeet. Rakennuttajan tarpeilla tarkoitetaan sitä, että sprinklerilaitteiston avulla voidaan saada lievennyksiä Suomen rakennusmääräyskokoelman sanelemiin määräyksiin, ja näin saavutetaan kustannussäästöjä. (Mts. 1.)

### **3.1 Asuntosprinklerilaitteistot**

Asuinkohteiden suojaaminen sprinklerijärjestelmillä on lähtenyt varsinaisesti käyntiin vuonna 1973 kun "Amerikka palaa"- raportti herätti amerikkalaiset puuttumaan korkeisiin palokuolemalukuihinsa. Oli huomattu, että aiemmat lähinnä omaisuuden suojeluun ja vakuutusmaksujen pienentämiseen suunnitellut sprinklerijärjestelmät lisäsivät huomattavasti myös henkilöiden, kuten palomiesten turvallisuutta. Ensimmäiset sprinklerijärjestelmät oli kehitetty teollisuuskäyttöön jo 1800- luvun puolella. (Jäntti 2009, 23.)

Vuosina 1975 ja 1980 ilmestyneissä NFPA 13D- standardeissa määriteltiin muun muassa sprinklereiden lauetessa syntyviä vähimmäisvirtausvaatimuksia, sprinklerikohtaisia enimmäissuojausaloja, sprinklerien välisiä etäisyyksiä sekä vesivuon tiheyksiä. Sprinklerien sekä sprinklerijärjestelmien ominaisuudet ovat kehittyneet jatkuvasti uusien päivittyvien standardien myötä. (Mts. 24-26.)

Suomessa asuntosprinklereiden läpimurron on mahdollistanut CEA 4001- standardin vuonna 2007 ilmestynyt O-liite (Mts. 27). Vuonna 2009 on ilmestynyt lisäksi laajempi SFS 5980 Asuntosprinklerilaitteistot. Osa 1: Suunnittelu, asennus ja huolto- standardi, joka on suomenkielinen käännös INSTA 900-1- standardista ja se on vahvistettu kansalliseksi SFS- standardiksi. Tämän standardin soveltamisalana on nimenomaan asuintilat, joita ovat esimerkiksi pientalot (esim. omakotitalot ja paritalot), asuinhuoneistot, siirrettävät valmistolot, hoitolaitokset (esim. hoitokodit ja sairaalat),

hotellit, opiskelija-asuntolat ja turvapaikanhakijoiden vastaanottokeskukset. (SFS 5980, 2009, 1-7.)

Sprinklerin laukeamisen aiheuttaa lämmön vaikutuksesta rikkoutunut lasikapseli tai metallinen sulkumekanismi. Kaikissa henkilöturvallisuuskohteissa käytetään nopean luokan sprinklereitä, joiden lasikapselin halkaisija on usein 3 mm. Teollisuus- ja varastointikohteissa käytettävien 5 mm tai 7 mm lasikapseleiden reagointiajat ovat pidempiä, eivätkä ne täten sovellu asuincohteisiin. Tavallisesti asuinhuoneissa käytetään sprinklereitä, joiden laukeamislämpötila on 57 – 93 celsiusastetta. (Jäntti 2009, 71.)

Erityisesti asuntokäyttöön suunnitelluissa sprinklereissä on usein hieman soikea hajotuslevy, joka ohjaa normaalista poiketen osan siihen törmäävästä vedestä yläviistoon. Nämä asuntosprinklerit on suunniteltu kastelemaan ja jäähdyttämään erityisesti palavia seinä- ja kattopintoja, verhoja sekä katon rajassa olevaa palokaasuseosta. Ylipäättään suuttimien hajotuslevyjen muodot vaihtelevat halutun hajotuskuvion mukaan. (Mts. 71-73.) Kuviossa 5 on nähtävissä alaspäin suunnattavan asuntosprinklerin, sekä alas- ja ylöspäin suunnattavan normaalin spraysprinklerin hajotuslevyjen välisiä eroavaisuuksia.



KUVIO 5. Suuttimien hajotuslevyjen välisiä eroavaisuuksia (Tyco Series TY-FRB 2010, 1; Tyco Series LFII 2010, 1)

## **3.2 Asuntosprinklerilaitteiston suunnittelu**

Seuraavissa kappaleissa esitetään opinnäytetyön kannalta oleelliset asuntosprinklerilaitteistojen suunnitteluun liittyvät vaatimukset standardiin SFS 5980 viitaten.

### **3.2.1 Sprinklerien rakennetyypit**

Asuintiloissa käytettävien sprinklerien on oltava nopeatoimisia laajennetun alan sprinklereitä, nopeatoimisia spraysprinklereitä, nopeatoimisia normaalispinklereitä tai asuntosprinklereitä, ellei toisin ole määrätty. (Mts. 41.)

Nopeatoiminen laajennetun suojausalan sprinkleri on spraysprinkleri, jonka enimmäissuojausala täyttää SFS 5980 – standardin vaatimukset. Nopeatoiminen laajennetun suojausalan sprinkleri voi olla ylöspäin tai alaspäin suunnattava tai sivusprinkleri, ja siinä on standardissa EN12259-1 määritelty lämpöherkkä elementti. Sprinklerin suojausala on valmistajan teknisissä ohjeissa ilmoitettava pinta-ala neliömetreinä. (Mts. 9-10.)

Asuntosprinkleri on sprinklerityyppi, jolta vaaditaan standardiehdotuksen prINSTA 900-2 mukaisen testauksen läpäisy. Sprinklerityyppi on suunniteltu erityisesti parantamaan selviytymismahdollisuuksia tulipalon alkupaikassa. (Mts. 10.)

### **3.2.2 Laitteistojen luokittelu**

Asuntosprinklerilaitteistot täytyy luokitella tyypeihin 1,2 ja 3 Käyttökohteen mukaan. 1 tyyppin laitteistoja käytetään esimerkiksi omakotitaloissa, paritaloissa ja korkeintaan kolmekerroksisissa rivitaloissa, joissa on myös kellarikerros. 1 tyyppin laitteistoa voidaan käyttää myös esimerkiksi asuintaloissa, joissa on kellarikerroksen lisäksi korkeintaan neljä asuin- ja majoitustilaa korkeintaan kolmessa kerroksessa. (SFS 5980, 2009, 17.)

2 tyyppin laitteistoja käytetään asuinkäyttöön tarkoitetuissa rakennuksissa, joissa on kellarikerroksen lisäksi enimmillään kahdeksan kerrosta. 2 tyyppin laitteistoilla ei voida

kuitenkaan suojata hoitolaitoksia, joiden on tarkoitus majoittaa pysyvästi rakennuksesta poistumiseen apua tarvitsevia henkilöitä. (Mts. 17.)

Tyyppin 3 laitteistoja käytetään hoitolaitoksissa tai niiden osissa, jotka on tarkoitettu pysyvään asumiseen toimintakyvyltään rajoittuneille henkilöille, jotka eivät kykene yksin siirtymään pois rakennuksesta. 3 tyyppin laitteistoilla suojataan myös vähintään yhdeksänkerroksisia asuinkäyttöön tarkoitettuja rakennuksia. (Mts. 17.)

### **3.2.3 Suojauksen laajuus ja asennuksen koko**

Asuntosprinklerilaitteiston tyyppin mukaan määriteltyjä tiettyjä poikkeuksia lukuun ottamatta sprinklerisuojauksen yhteydessä on suojattava rakennuksen kaikki osat. 2 ja 3 tyyppin laitteistoja käyttäessä sallitaan seuraavat poikkeukset:

- pinta-alaltaan alle 5m<sup>2</sup> wc- tai kylpyhuonetilat, joiden suojaverhous on vähintään euroluokkaa C ja joissa ei säilytetä palavia materiaaleja tai joissa ei ole sähkölaitteiden liitännöitä tai sprinklerilaitteiston komponentteja
- sähkölaitteettomat käyttämättömät ullakot
- erillisen palo-osaston muodostavat asuinkäytössä olemattomat tilat
- avoimet ulkoparvekkeet
- suljetut pystysuorat kuilut, kuten hissikuilut, jotka muodostavat palo-osaston ja jotka eivät sisällä palavia materiaaleja
- muilla valvontaelimen hyväksymillä automaattisilla sammutusjärjestelmillä suojatut tilat
- tyyppin 2 laitteistojen osalta: lattioiden alapuoliset ja kattojen yläpuoliset tilat, hissikuilut ja piilotilat, joita ei käytetä asumiseen tai varastointiin
- tyyppin 3 osalta: EN 12845- standardissa määriteltyt piilotilat (Mts. 16.)

2 ja 3 tyypin asuntosprinklerilaitteistoissa yksittäisellä asennusventtiilillä suojattava alue saa olla pinta-alaltaan enintään 2500 m<sup>2</sup>. Kuitenkin tilapäisessä käytössä olevien asuin- ja majoitustilojen, kuten motellien, hotellien, opiskelija-asuntojen sekä sairaaloiden ja hoitolaitosten vastaava suurin sallittu pinta-ala on 12000 m<sup>2</sup>. (Mts. 34.) Kuviossa 6 esitetään erään Keski-Suomessa sijaitsevan vanhusten palvelutalon sprinklerikeskuksen periaatekuva. Kohteen suojaus on toteutettu yhdellä asennusventtiilillä.





Asuntosprinklerien etäisyys seiniin saa suurimmillaan olla puolet sprinklerin suojausalan mitasta. Ylös- ja alaspäin suunnattavien sekä normaalispinklerien ja seinän välisen etäisyyden on oltava vähintään 100 mm. Myös sivusprinklerin etäisyyden seinään on oltava vähintään 100 mm, lukuun ottamatta seinää, johon kyseinen sprinkleri on asennettu. (Mts.37.)

Alas- tai ylöspäin suunnattavat asuntosprinklerit on sijoitettava siten, että niiden hajotuslevyn ja katon välinen etäisyys on 25 mm – 100 mm, ellei valmistajan teknisissä ohjeissa ole ilmoitettu toisia tietoja. Alas- ja ylöspäin suunnattavien nopeatoimisten laajennetun suojausalan sprinklerien kohdalla vastaava etäisyys tulee olla 25 mm – 300 mm. Sivusprinklereitä käytettäessä hajotuslevyn etäisyyden kattoon tulee olla 100 mm – 150 mm ja hajotuslevyn ja asennusseinän välinen etäisyys saa olla korkeintaan 150 mm. Lisäksi hajotuslevyn etureunan tulee olla katon kanssa samansuuntainen, ellei valmistajan tekninen ohje salli toisenlaista sijoitustapaa. (Mts. 37.)

Alas- ja ylöspäin suunnattavat sprinklerit on asennettava vähintään 900 mm:n etäisyydelle esteistä, joita voivat olla esimerkiksi valaisimet ja kattotuulettimet. Alas- ja ylöspäin suunnattavien sprinklerien etäisyydet yhtenäisiin esteisiin, kuten palkkeihin ja katon alapuolisiin kotelorakenteisiin on määritetty taulukoiden avulla. Taulukot ilmoittavat sprinklerin horisontaalisen etäisyyden esteestä sekä sprinklerin hajotuslevyn ja esteen alareunan korkeuseron. Säännöistä voidaan kuitenkin poiketa, mikäli esteen toisella puolella on ylimääräinen sprinkleri. (Mts. 37.)

Sivusprinklerin etäisyyden kattotuulettimien runkojen ja valaisimien kaltaisista esteistä tulee olla vähintään 1500 mm. Sivusprinklerien etäisyys yhtenäisiin esteisiin määritellään myös standardissa esitettyjen taulukoiden avulla. Jos sivusprinkleri asennetaan katon alapuolisiin kotelorakenteisiin, niiden vaakasuuntainen syvyys seinästä ei saa olla yli 200 mm, ellei toisin määritellä. (Mts. 39.)

Jos rakenteet, joihin sprinkleri asennetaan, ovat kaappien yläpuolella, niiden vaakasuuntainen etäisyys seinästä saa olla korkeintaan 300 mm. Jos sivusprinklerit ovat vähintään 900 mm kaappien yläpuolella ja kaappien syvyys seinästä on alle 300 mm, sivusprinklerit voidaan asentaa suoraan seinään. (Mts. 41.)

## 4 KÄYTETYT OHJELMISTOT

### 4.1 Faro Scene

Faro Scene on ohjelmisto, joka on kehitetty erityisesti Faron omien mittauslaitteiden tuottamien pistepilvien käsittelyyn. Ohjelmalla julkaistavia erimuotoisia tiedostoja voidaan käsitellä edelleen yleisimmillä teollisuudessa ja rakennusalalla käytetyillä ohjelmistoilla. Faro Scenellä voidaan julkaista pistepilvimalleja myös suoraan internetpalvelimelle Web Share- toimintoa käyttäen. (Faro 2012.)

Scenen toimintoihin kuuluu pistepilvien rekisteröinti, suodattaminen, rajaaminen, kohteen mallintaminen ja pintamallien tekeminen. (FARO SCENE Version 4.8 2011, 1) Näiden ominaisuuksien lisäksi Scenessä on rekisteröinti- ja kohteentunnistustoimintoja, joiden avulla yksittäiset pistepilvet voidaan yhdistää toisiinsa skannauksen aikana käytettyjen pallo- tai mustavalkoruututähyksien avulla. Ohjelma pystyy matemaattisia laskutoimintoja käyttäen yhdistämään kaksi pistepilveä, kun niiden välillä on vähintään kolme yhteistä referenssikohdetta eli tähyistä. Ohjelma voi tunnistaa myös pistepilvien yhteisiä piirteitä, kuten reunoja ja kulmapisteitä. (FARO SCENE Version 4.8 2011, 115.)

### 4.2 Geomagic studio

Geomagic studio on takaisinmallinnukseen tarkoitettu ohjelmisto, joka muuntaa 3D-skannausaineiston monikulmio-, pinta- ja CAD-malleiksi. Ohjelmisto tekee parametrisia malleja, joita voidaan käsitellä edelleen muilla suunnitteluohjelmilla, joita ovat muun muassa CATIA, Autodesk Inventor ja SolidWorks. Ohjelma sovittaa malliin automaattisesti tiettyjä muotoja, kuten lieriöitä, tasoja, ja kartioita. Tunnistettavia muotoja voidaan valita myös manuaalisesti. (Geomagic 2012.)

### 4.3 SolidWorks

SolidWorks on 3D- suunnittelussa käytettävä ohjelmisto, jolla voidaan mallintaa ja mitoittaa kolmiulotteisia kappaleita. Kappaleista voidaan tehdä myös kaksiulotteisia

kuvia työpiirustuksia varten. Yksittäisten peruskappaleiden lisäksi ohjelma mahdollistaa mm. ohutlevymallien, hitsausrakenteiden, profiilirakenteiden, pintamallien, muottien ja kokoonpanojen työstämisen. Lisäksi ohjelmassa on putkistosuunnitteluun käytettävät Routing- toiminnot. (Solidworks 2012.)

Solidworks Routing- toiminnoilla putket, letkut ja sähkökaapelit mallintuvat automaattisesti käyttäen keskilinjana suunnittelijan luomaa 3D-sketsiä. Ohjelmisto hyödyntää laajasti design table:ja, joiden avulla putkistokomponentteja ja putkikokoja voidaan muokata myös jälkikäteen. Design table:jen käyttö perustuu konfiguraatioihin, jotka määrittävät putkikomponenttien mittaetäisyyksiä ja ominaisuuksia. (SolidWorks Help 2011.)

Solidworksin on omistanut vuodesta 1997 ranskalaisen Dassault Systèmes S.A., joka on alallaan maailman johtava hallintoratkaisujen kehittäjä. Tällä hetkellä ohjelmaa käyttää yli 1 470 000 insinööriä ja tuotesuunnittelijaa 141 000 organisaatiossa ympäri maailmaa. Käyttökohteet ovat teollisuudessa, lääketeollisuudessa ja kuluttajatuotteiden parissa pienten muovituotteiden suunnittelusta suurten metsäkoneiden kehittämiseen. (Solidworks 2012.)

## **5 TYÖN SUORITUS**

### **5.1 Männikön palvelukeskuksen laserkeilaus**

Osana opinnäytetyötä suoritettiin kokeen omainen laserkeilaus, josta saatujen pistepilvimallien hyödyllisyyttä putkistosuunnitteluun lähdettiin tutkimaan käytännön kokeilun avulla. Työn referenssikohteeksi valittiin Lievestuoreessa sijaitseva Männikön palvelukeskuksen kahdesta syystä. Kohde oli toimeksiantajalle aiemmista yhteyksistä jossain määrin tuttu, ja kohteen kaltaiset palvelutalot ovat potentiaalisia sprinklauskohteita. Palvelutalon johtajan kanssa saatiin tehtyä sopimus, jonka mukaan Männikön palvelukeskuksen laserkeilaus suoritettiin 29.3.2012 laserkeilaukseen perehtyneen toimeksiantajayrityksen työntekijän kanssa. Myös eräs toinen opinnäytetyön tekijä oli mukana kahden ensimmäisen tunnin ajan.

Palvelukeskuksessa on pienemmän kellarikerroksen lisäksi kaksi varsinaista kerrosta, joihin on sijoitettu asuinhuoneet ja yleiset oleskelutilat. Ensimmäisessä kerroksessa on myös muun muassa ruokasali, keittiötilat, johtajan huone, kanslia sekä sauna pesuhuoneineen. Kellarikerroksessa on lähinnä pyykinpesutilat, sauna, pukuhuoneet, kattilahuone, varastotilat ja öljysäiliö sekä sähköpääkeskus. Meille oli toimitettu etukäteen pohjakuvat kaikista kerroksista, mikä helpotti laserkeilauksen esisuunnittelua.

Käytössämme oli laserkeilaimen lisäksi kahdeksan tähyspalloa ja reilusti tulostettuja laitteen valmistajan tähysarkkeja A4- ja A3-kokoisina (ks. kuvio 7). Sijoitimme tähyspalloja lattialle sekä niiden magneettien avulla muille tasoille, ja teippasimme tähysarkkeja seinille siten, että jokaisessa skannauskohdassa näkyi aina vähintään kolme jonkin toisen skannauskohdan kanssa yhteistä tähyistä. Näiden yhteisten tähyksien avulla skannaukset pystytään jälkikäsitteilyvaiheessa yhdistämään toisiinsa. Tähyspalloja pystyttiin siirtämään ja käyttämään uusissa kohdissa skannauksien edetessä. Tähyspallo toimivat arkkeja paremmin, koska pallon muoto antaa ikään kuin kohtisuoran näkymän jokaisesta skannaussuunnasta.



KUVIO 7. Tähyspallo sekä laitteen valmistajan tähysarkki



tiedostokokoja. Myös parvekkeet ja hissikuilut jätettiin skannaamatta, koska sinne ei tarvitse suunnitella putkistoja.

### 5.1.3 1. kerroksen laserkeilaus

Viimeisenä suoritettu ykköskerroksen laserkeilaus oli melko samanlainen kuin ylemmässä kerroksessa tehty. Työn loppuvaiheessa haasteita aiheuttivat ahtaahkot käytävät ja niissä kulkeva palvelukeskuksen henkilökunta. Myös asukkaiden päiväohjelma ajoi skannaamaan tiettyjä rakennuksen osia, kuten ruokailusalin erityisen nopealla aikataululla (ks. kuvio 9). Myös epävarmuus lattialla olevien tähyspallojen paikallaan pysymisestä aiheutti tiettyä huolta.



KUVIO 9. Laserkeilausta ruokailusalista, jonka pöydille on sijoitettu tähyspalloja

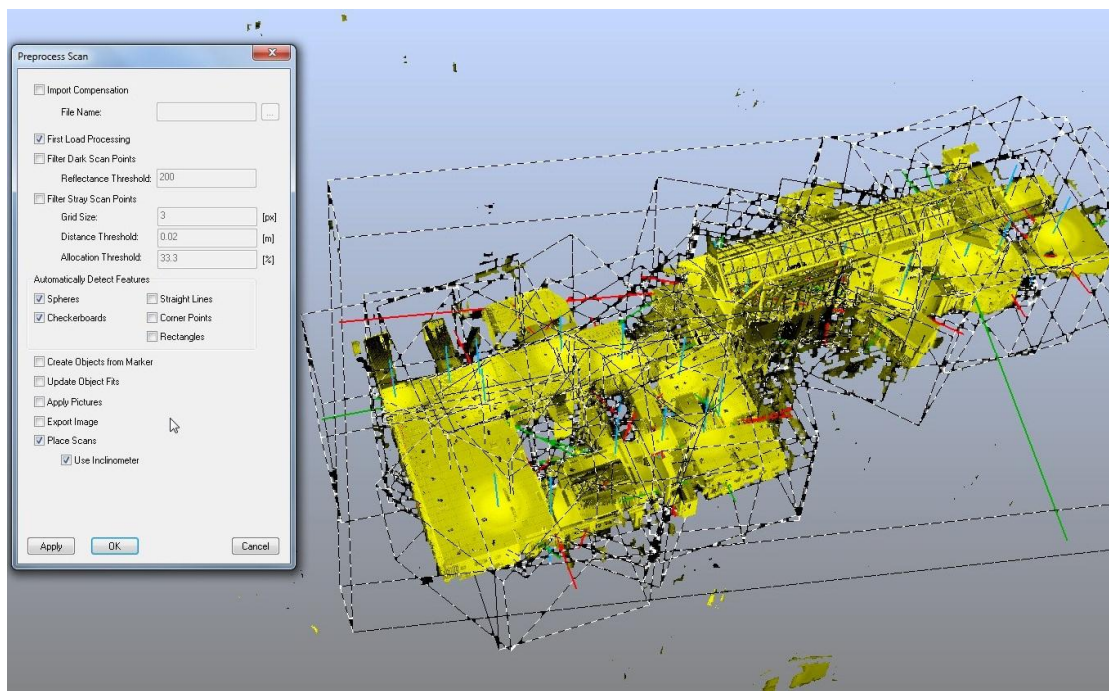
Viimeisen skannauksen jälkeen keräsimme seiniltä jääneet tähysarkit ja pakksimme laserkeilauslaitteiston ja tähyspallot. Pääsimme lähtemään palvelukeskuksesta 14:00 eli aikaa laserkeilaukseen kului kokonaisuudessaan noin kuusi tuntia.

## 5.2 Laserkeilausaineiston käsittely

### 5.2.1 Faro Scene

Kun aineistot oli siirretty tietokoneelle laserkeilaimen muistikortilta, niitä alettiin käsitellä Faro Scene- ohjelmalla pistepilvinä. Ohjelma tekee automaattisesti pistepilvelle kohinanpoistotoiminnot, sekä kansioinnin skannausprojektille. Automaattisten toimintojen jälkeen pistepilvet rekisteröitiin eli yhdistettiin kukin kerros omaksi kokonaisuudeksi *Preprocess*- toiminnolla. Aukeavan *preprocess*-valikon avulla saadaan asetella tähyksien tunnistamis- ja yhdistämistoimintoja. Valikossa on mahdollisuus käyttää myös inklinometriä, joka on niin sanotusti ohjelman sisäinen vatupassi. (Ks. kuvio 10.) Rekisteröinnin jälkeen jokainen kerros julkaistiin erikseen xyz-ascii- tiedostomuodossa *export*- toimintoa käyttäen. 1.kerros julkaistiin kaksi kertaa, joista toisella kokeiltiin käyttää skannauksia, joiden pistemäärää oli vähennetty.





KUVIO 10. Pistepilvien rekisteröinti Scene- ohjelman *Preprocess*- toiminnolla

### 5.2.2 Geomagic Studio

Aloitettiin 1.kerrosta vastaavien kahden pistepilvimallien käsittely keventämällä niitä - ensimmäistä uniform- ja toista uniform grid- toiminnoilla, joilla vähennetään pisteiden määrää määrittämällä vierekkäisten pisteiden välille uusi etäisyys. Uniform grid- toiminto keventää pistepilveä harventamalla pistepilveä nimenomaan tasavälein, kun taas Uniform- toiminnossa harvennusväli saattaa vaihdella esimerkiksi kulmakohtien ja suorien pintojen välillä. Molempia tapoja käytettiin, jotta saataisiin tietoa tarkoitukseen optimaalisesta lopullisesta tiedostokoosta ja mallista.

Kevennystoimintojen jälkeen molemmista pistepilvistä muodostettiin *mesh*- monikulmiomallit käyttäen *wrap*- toimintoa, jonka avulla määritettiin muodostuvien kolmioiden enimmäismääräksi noin 30 000 000. Monikulmiomalleista poistettiin lattiapinta valintatyökalulla rajaamalla, jotta myöhemmin seinien ja katon tuntumaan tulevien putkistojen mallintaminen olisi mahdollista.



Monikulmiomalleille luotiin origopisteet kolmen *Plane*- toiminnolla luodun erisuuntaisen tason avulla. *Alignment*- toiminnolla uusi origopiste siirrettiin korvaamaan alkuperäinen origo, joka asettuu automaattisesti projektin ensimmäiseen skannauspisteeseen. Uusi origo luotiin rakennuksen erääseen pohjoispäädyn nurkkapisteeseen.

Tulevaa SolidWorks- ohjelman kevyempää ja sujuvampaa käyttöä ajatellen 1.kerroksen monikulmiomallit pilkottiin valintatyökalua käyttäen pienempiin osiin. Näistä yhdessä osassa käytettiin mallia, josta oli Scene- ohjelmalla poistettu osa pistepilven pisteistä. Monikulmiomalleja kevennettiin vielä *Desimate*- toiminnolla, jolla vähennetään kolmioiden määrää prosentteina alkuperäisestä. Eri osien kevennyksissä käytettiin tutkimusmielessä hieman eri prosenttiarvoja.

Lopuksi kokeiltiin *Export*- toiminnolla, missä tiedostomuodossa julkaistu monikulmiomalli sopisi parhaiten käytettäväksi SolidWorks- ohjelmassa.

Parhaaksi ja kevyimmäksi osoittautui STL- muotoinen tiedosto, joka täytyi kuitenkin skaalata SolidWorksilla, koska ohjelman huomattiin tulkitsevan Geomagicin millimetrimittoja metreinä. Kokeilemalla havaittiin, että *Scale*- toiminnolla tehtävä skaalaus täytyy tehdä origokeskeisesti, jotta mallin origopiste pysyy oikeassa paikassa.

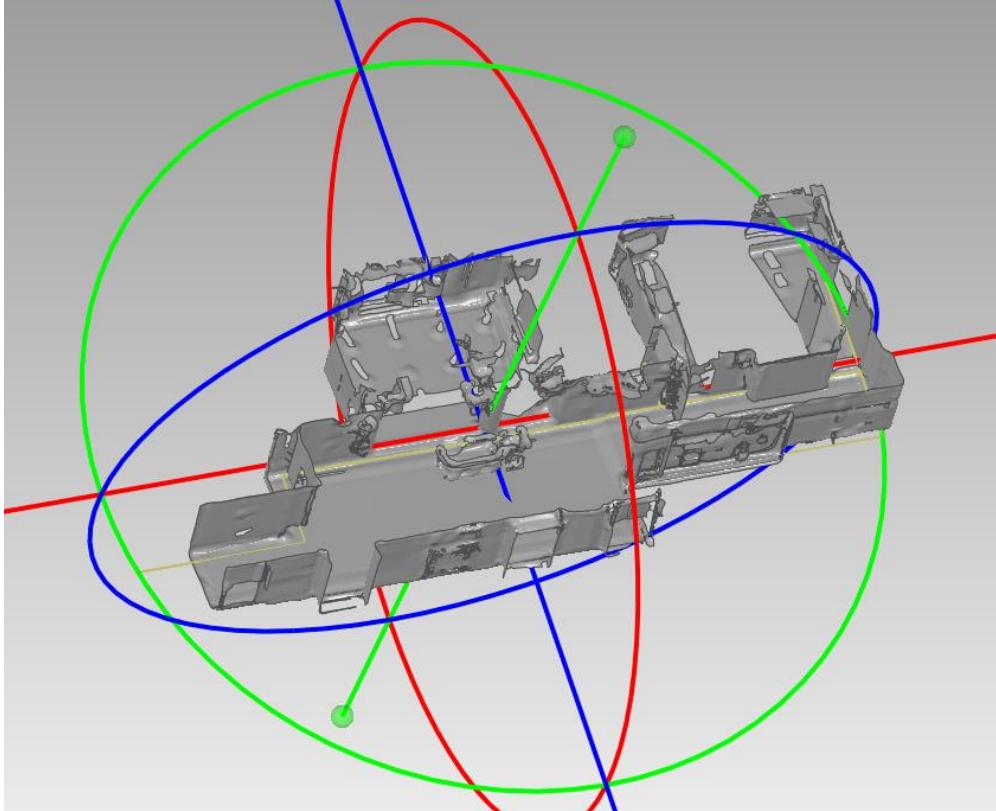
### 5.3 Putkistomallinnus

Putkireititykset tehtiin SolidWorks *Routing*- toimintoja käyttäen palvelukeskuksen 1. kerrokseen siten, että niiden avulla saataisiin suojattua kaikki SFS 5980- standardissa vaaditut alueet. Käytännössä suojaamatta voitaisiin jättää mahdollisesti wc- ja kylpytilat, joiden tilavuus on alle 5 m<sup>2</sup>. Tarvittava tieto putkitusprosessin etenemisestä ja haasteista saatiin tämän perusteella, eikä vastaava putkitussuunnittelu palvelukeskuksen 2.- ja kellarikerrokseen olisi tuonut lisäarvoa tutkimustyölle. Putkistomallinnuksessa kaikki kulmaliittimet korvattiin taivutuksilla, koska tarkoitus oli tutkia, voitaisiinko sprinkleriasennus tehdä käyttäen valmiiksi taivutettuja ja mitoitettuja putkia.

Pohjapiirrosten ja laserkeilausaineiston perusteella arvioitu palvelukeskuksen suojattava pinta-ala on noin 2200 m<sup>2</sup> eli alle 2500 m<sup>2</sup>. Kohteen sprinkleriasennus voitaisiin täten tehdä SFS 5980- standardin mukaisesti yhdellä asennusventtiilillä, mikä vaikuttaa runkoputkistojen suunnitteluun.

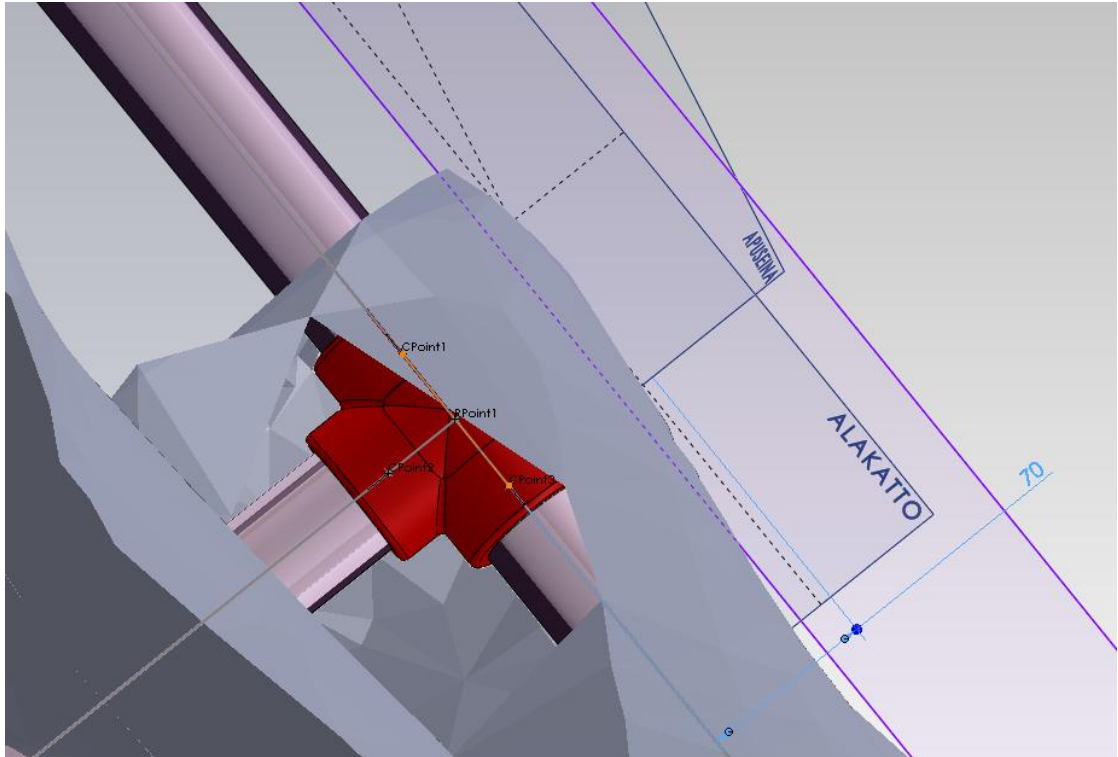
Männikön palvelukeskukseen on tulossa muun rakennushankkeen yhteydessä sprinklerijärjestelmä, jonka putkistojen päälinjojen sijainneista oli keskusteltu palaverissa. Näistä keskusteluista saatiin tietoa rakennushankkeen vetäjän kautta. Hänen mukaan kohteen sprinklerisuojuksessa suositaan seinäsuuttimia alas laskettujen kattojen purkamisen välttämiseksi, ja niitä käytetään ainakin käytävien suojuksessa. Kattosuuttimia joudutaan käyttämään ja alakattoja purkamaan ainakin laajassa ruokailusalissa ja ilmeisesti myös asuinhuoneissa. (Piiparinen 2012a.) Putkistomallinnus tehtiin tätä tiedoksi antoa mukaillen.

Ensin putkireititystä kokeiltiin tehdä kokonaan ilman ohjelmaan tuotua tilaa vastaavaa laserkeilausaineistoa. Putkilinjat mitoitettiin käyttäen Geomagic Studio- ja Scene-ohjelmien *Distance- ja Measure between scanoints-* toimintoja. Mallinnettu putkisto tallennettiin IGES- tiedostomuodossa, ja tuotiin Geomagic studio- ohjelmaan *Export-*toiminnolla. Putkisto saatiin paikoitettua kohtalaisen helposti *Object Mover-*toiminnon avulla laserkeilausaineiston pohjalle, mutta tapa osoittautui työlääksi ja myös epätasmoiseksi (ks. kuvio 11).



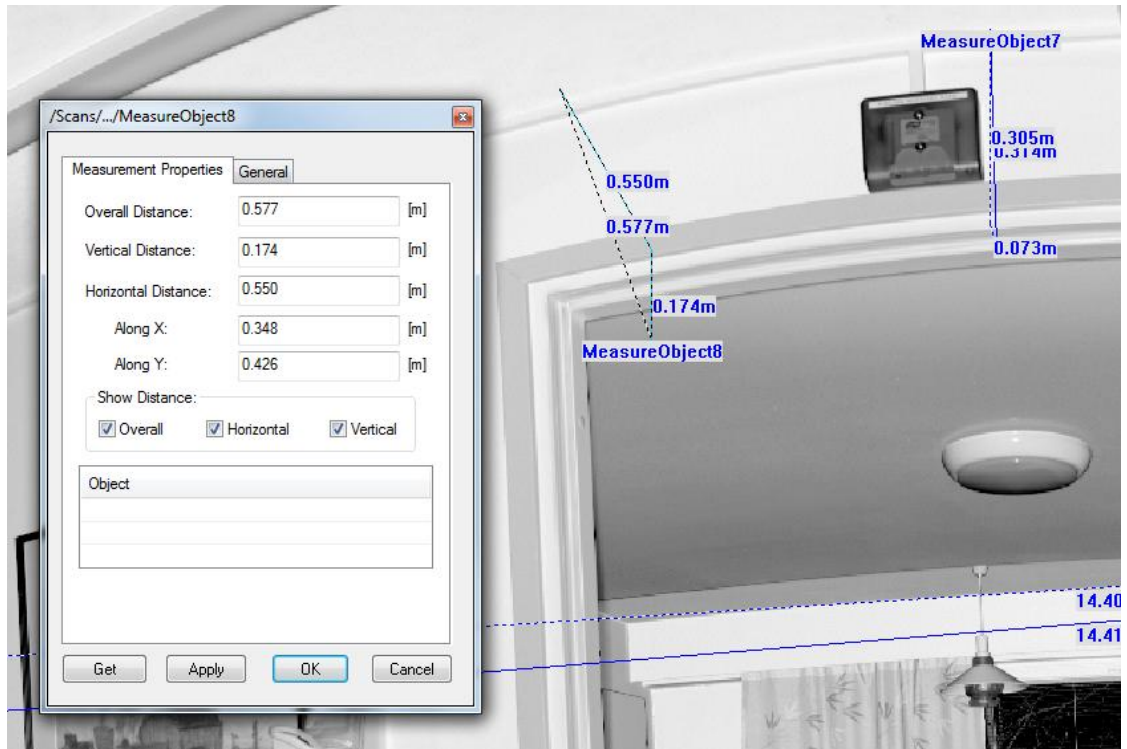
KUVIO 11. *Object Mover*- toiminnon käyttöä

STL- muotoinen skaalattu tiedosto, joka kuvaa 1.kerroksen etelän puoleista päätyä, tuotiin kokoonpanotiedostoon *Insert component*- toiminnolla. Geomagic Studio-ohjelmalla määritetty origopiste paikoittui automaattisesti yhteneväksi kokoonpanotiedoston origopisteen kanssa. Putkistomallinnus aloitettiin paikoittamalla *Mate*- komennoilla ensimmäinen t-haaraliitin kolmeen aputasoon, jotka oli luotu vastaamaan huoneiston päätyseinää, käytävän suuntaista seinää sekä alas laskettua kattoa. Paikoitusmitat annettiin siten, että sivusuuttimien hajotuslevyjen etäisyydet seinistä ja katosta olisivat SFS 5980- standardin mukaiset. (Ks. kuvio 12.)



KUVIO 12. Ensimmäisen putkiliittimen paikoitus luotuihin aputasoihin

Putkireitityksien tekemisessä järkeväksi tavaksi osoittautui piirtää aluksi käytävien seiniä mukailevat pitkät jakojohtolinjat käyttäen kohtisuoraa rakennuksen pohjasta otettua näkymää. Esimerkiksi käytävillä olevien alas laskettujen kattojen välisten etäisyyksien tarkkaan mittaamiseen käytettiin Scene- ohjelman *Measure between scanpoints*- toimintoa, joka ilmoittaa haluttujen pisteiden kokonaisetäisyyden, sekä vertikaaliset ja horisontaaliset etäisyydet (ks. kuvio 13). Scene- ohjelman *Quick*- ja *Planar view*- näkymien tarkastelu yhdessä pohjapiirustuksen kanssa osoittautui myös erittäin hyväksi apuvälineeksi putkilinjojen paikkojen esisuunnittelussa.



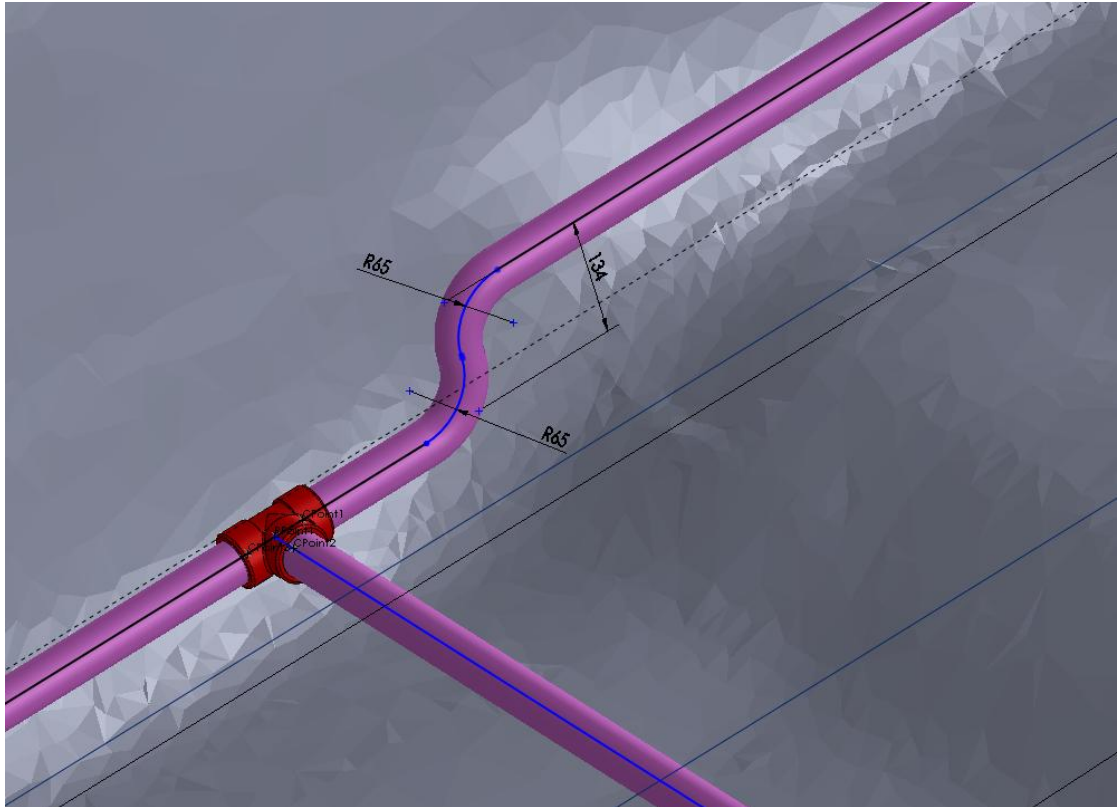
KUVIO 13. Käytävän ja asuinhuoneen kattojen vertikaalisen etäisyyden mittaaminen

Jakojohtojen mallinnuksen jälkeen piirrettiin linjat asuinhuoneisiin ja muihin tiloihin meneville haarajohdoille käyttämällä ensin *Split entities*- ja *Add fitting*- toimintoja. Täysin realistisia asuinhuoneiden putkimallinnuksia rajoittivat niiden alas lasketut kyprokkikatot sekä liukuovet, joiden etäisyyttä kattoon ei nähdä verhoilun vuoksi. Alakatot ovat rajoittavia tekijöitä myös rakennuksen kaakkoisnurkassa olevissa huoneissa ja käytävillä, koska putket asennettaisiin mahdollisesti niiden yläpuolelle. Näissä kohteissa sivusuuttimien käytön esteinä ovat muun muassa kaapistot, tilojen laajuus sekä ovien yläkarmien ja katon välinen liian pieni etäisyys. Oikean sisäkaton ja alakaton väliin mallinnetut putket mitoitettiin alakaton pintaan nähden erään suutinvalmistajan kattosuuttimen piirustuksen mukaan (Tyco Series LFII 2010, 2). Realistinen putkien mallintaminen edellyttäisi alakattojen purkamisen ennen laserkeilauksen suorittamista, koska on mahdotonta arvioida, miten oikean sisäkaton ja alakaton väliset elementit ovat sijoittuneet.

Putkilinjojen piirtämisen edetessä kokoonpanoon lisättiin huoneistoa vastaavia osia yksi kerrallaan. Tapa osoittautui hyväksi ja nopeaksi, koska osien huomattiin

paikoittuvan oikein automaattisesti, minkä mahdollistavat Geomagic- ohjelmalla luotu origo ja sen koordinaatisto. *Hide* ja *show component*- toimintoja käyttäen pidettiin näkyvillä ainoastaan tarvittavaa rakennuksen osaa, mikä helpotti ja nopeutti huomattavasti ohjelman käyttöä.

Putken taivutusmahdollisuudet ovat sitä paremmat, mitä pienempää taivutussädettä pystytään käyttämään. Putkien taivutussäteenä käytettiin 65 mm, joka on määritetty arvioitujen putkipaksuuksien ja erään putkentaivutuksia tekevän yrityksen taivutussädetaulukon perusteella (Metallikaari Oy 2007). Taivutussäde määritettiin varmuuden vuoksi hieman yläkanttiin, ja sitä voidaan muuttaa helposti myös jälkeenpäin. 65 mm osoittautui useassa kohdassa sopivaksi, mutta ylärajalla olevaksi taivutussäteeksi. Esimerkiksi muutamankin kahden alakaton väliseksi korkeuseroksi ilmeni noin 135 mm. Tällöin katon tuntumassa oleva seinään kannakoitava putki pystytään ehkä juuri ja juuri taivuttamaan kahdella 90° käänöksellä alakattojen mukaisesti, mutta pelivaraa ei juurikaan jää. Reitityksessä 90° käänökset ovat pienempiin kulmiin verrattuna nopeampia tehdä ja mitoittaa. Lisäksi ne ovat tietyissä näkyviin jäävissä putkistojen osissa esteettömämmän näköisiä. (Ks. kuvio 14).



KUVIO 14. Kahdella 90° taivutuksella saavutettu putkireititys, joka mukailee alakattojen korkeusvaihteluja

Putkitusten edessä tutkittiin myös, kuinka ohjelman *design library*:n valmiiden liittimien mittatietoja saisi muokattua halutun laisiksi. Kokeilemalla huomattiin, että avaamalla liittinten *design table*:t ja lisäämällä niihin uusia rivejä mittatietoineen saadaan luotua halutun laisia liittimiä. *Design table*:t sisältävät liittinten kaikki oleelliset mittatiedot, kuten putkien lähtöpisteiden etäisyydet toisistaan ja niistä lähtevien putkien halkaisijatiedot. Havaittiin, että uusia mittatietoja sisältävien liittimien käyttö edellyttää myös putken *design table*:n käsittelyä.

Lopuksi putkistoon lisättiin suuttimien kiinnitystä vaativat T-haaraliittimet *Add fitting*-toimintoa käyttäen. Liittimien paikoituksessa käytettiin SFS 5980- standardissa esitettyjä vaatimuksia, sekä erään sprinklerivalmistajan tuotekohtaisia tietoja kattoon ja seiniin asennettavien asentosprinklerien suojausaloista (Tyco Series LFII 2010, 3; Tyco Series LFII Horizontal 2010, 4).

Putkistomallinnukset onnistuttiin tekemään suojaamaan koko 1.kerrosta, joskin reititys- ja tallennustoiminnot kävivät melko hitaiksi projektin loppuvaiheissa. Liitteen 1 kuvassa on esitetty koko 1. kerroksen putkistomallinnus.

#### 5.4 Virtauksen aiheuttaman painehäviön laskeminen

Kuvitellun kellarikerroksen kattilahuoneessa sijaitsevan sprinklerikeskuksen asennusventtiilin ja siihen nähden kauimmaisen sprinklerin välinen painehäviö putkistossa laskettiin. Pohjapiirustuksia ja laserkeilausaineistoa tarkkailemalla määritettiin kauimmaisiksi sprinklereiksi neljä sprinklerisuutinta rakennuksen toisen kerroksen pohjoispäädystä kaaren muodossa olevista asuinhuoneista. Kyseisiksi sprinklereiksi valittiin erään valmistajan alaspäin asennettavat asuntosprinklerit, jotka vaativat 0,92 bar:n paineen ja joiden virtaama on 41,6 l/min (Tyco 2012). Putkeksi valittiin sinkitty teräsputki.

$$p = \frac{6.05 \times 10^5}{C^{1.85} \times d^{4.87}} \times L \times Q^{1.85}$$

jossa

$p$  on virtauksen aiheuttama painehäviö baareina

$Q$  on virtaama putkessa litroina minuutissa

$d$  on putken keskimääräinen sisähalkaisija millimetreinä

$C$  on putken kuntoa ja laatua vastaava kerroin (ks. taulukko 3)

$L$  on putken ja putken osien ekvivalenttipituus metreinä.

KUVIO 15. Hazen-Williamsin kaava (SFS 5980 2009, 19)



Virtauksen aiheuttama painehäviö näiden neljän sprinklerin lauetessa laskettiin suurpiirteisesti *Hazen-Williamsin* kaavan avulla (ks. kuvio 15). Laskennassa käytettiin seuraavia arvoja:

- $C=120$ , koska sinkityn teräksen C-kerroin on 120 (SFS 5980, 2009, 20).
- $Q=166,4$  l/min, joka on laskettu neljän mitoitussprinklerin yhteisvirtaama.  
 $4 \cdot 41,6$  l/min = 166,4 l/min
- $d=35,9$  mm
- $L=110$  m

Putken keskimääräinen sisähalkaisija ( $d = 35,9$  mm) laskettiin seuraavien arvioiden perusteella. Runkoputki, joka lähtisi kellarikerroksen sprinklerikeskuksesta ja veisi veden 2. kerroksen jakojohdoille, voisi olla sisähalkaisijaltaan 65 millimetriä ja pituudeltaan noin 10 metriä. Tehtyjen Putkistomallinnusten ja mittaustoimintojen avulla arvioitiin, että kerroksen katon tuntumassa kulkevan jakojohdon yhteispituus voisi olla noin 46 metriä, ja kyseisen putken sisähalkaisijaksi voitaisiin valita 32 millimetriä. Samalla tavalla arvioitiin viimeiseen asuinhuoneeseen menevän haarajohdon pituudeksi 10 metriä ja sisähalkaisijaksi 25 millimetriä. Näiden arvioiden perusteella putken keskimääräinen sisähalkaisija laskettiin seuraavalla lausekkeella:

$$d = \frac{65\text{mm} \cdot 1 + 32\text{mm} \cdot 4,6 + 25\text{mm} \cdot 1}{1 + 4,6 + 1} = 35,9 \text{ mm}$$

Putken osien ekvivalenttipituuksien määrittämisessä käytettiin erään valmistajan antamia puristusliitosten ekvivalenttipituuksia (VSH Express SPRINKLER-järjestelmä, 23). Arvioitiin, että 65 millimetrin runkoputkessa voisi olla viisi 90° kulmaliitintä ja kolme t-haaraliitintä. 32 ja 25 millimetrin putkissa voisi olla yhteensä noin 26 t-haaraliitintä. Näiden arvioiden perusteella saatiin laskettua putken ja putken osien ekvivalenttipituus seuraavasti:

$$L = 10m + 46m + 10m + 5 * 1,3m + 3 * 1,3m + 26 * 1,3m = 110,2 m$$

Sijoittamalla arvot *Hazen-Williamsin* kaavan saatiin laskettua suurpiirteinen virtauksen aiheuttama painehäviö tilanteessa, jossa mainitut neljä mitoitusprinkleriä olisivat laenneet:

$$p = \frac{6,05 * 10^5}{120^{1,85} * (35,9mm)^{4,87}} * 110,2 * (166,4l/min)^{1,85} \approx 3,3 bar$$

Scene- ohjelman *Measure between scan points*- toiminnon avulla saatiin määritettyä kellarikerroksen kuvitteellisen sprinklerikeskuksen asennusventtiilin ja mitoitusprinklerien väliseksi korkeuseroksi noin 9 metriä. Arvion perusteella pisteiden hydrostaattinen paine-ero saatiin laskettua käyttäen seuraavaa kaavaa:

$$p = 0,098h \text{ (Mts. 20.)}$$

$$p = 0,098 * 9m \approx 0,9bar$$

Virtauksen aiheuttaman painehäviön ja hydrostaattisen paine-eron summa saadaan laskettua:

$$p = p_{virtaus} + p_{hydrostaattinen} = 3,3 bar + 0,9 bar = 4,2 bar$$

Jos oletetaan, että rakennuksen yleinen vesijohto syöttäisi vettä sprinkleriputkistoon esimerkiksi 6 bar:n paineella, neljän 0,97 bar vaativan kauimmaisen sprinklerin lauetessa niille tuleva paine putkessa olisi noin 1,8 bar, joka olisi täten riittävän suuri.

## 6 TULOKSET JA POHDINTA

### 6.1 Laserkeilaus ja putkistomallinnus

Opinnäytetyön tuloksina saatiin yritykselle hyödyllistä tietoa siitä, miten laserkeilaus ja aineiston käsittely kannattaa suorittaa työn referenssikohteen kaltaisissa laajoissa projekteissa, jossa aineistoa käytetään myöhemmin SolidWorks- ohjelmalla. Aiemmin yrityksellä ei juurikaan ollut kokemusta SolidWorks- ohjelman käytöstä laserkeilausprojekteissa, eikä SolidWorks- ohjelman *Routing*- toimintojen käytöstä ylipäätään.

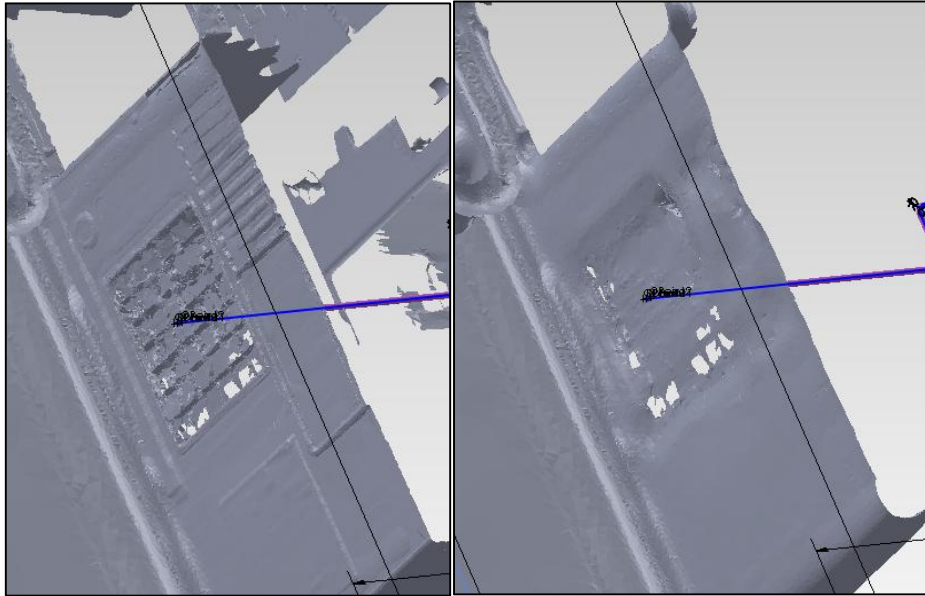
Palvelukeskuksen laserkeilauksessa käyttämämme asetukset osoittautuivat sopiviksi. Tarkemmat asetukset olisivat kasvattaneet tiedostokokoa ja skannausaikoja liian suuriksi, jolloin kustannustehokkuus olisi kärsinyt liikaa. Resoluutio osoittautui riittävän tarkaksi tähysarkkien myöhempään tunnistamiseen ja skannien rekisteröimiseen niiden avulla. Käyttämämme asetukset olivat seuraavat:

- resoluutio 1:8
- laatu x4
- mustavalkoiset kuvat

Näillä asetuksilla jokaiseen skannaukseen tallentui noin 11 000 000 pistettä, ja skannausaika oli noin 2 minuuttia.

Laserkeilausaineistoa käsiteltiin pienissä osissa, joiden kohdalla kokeiltiin käyttää eri tavoilla aineistoa keventäviä toimintoja. Havaittiin, että SolidWorks- ohjelmaa voidaan käyttää sujuvasti, kun yksittäisen kokoonpanoon tuotavan osan lopullinen tiedostokoko ei ylitä tiettyä rajaa, joka on riippuvainen käytettävästä tietokoneesta ja sen kokoonpanosta. Osien kohdalla täytyi tarkkailla mallin tarkkuuden ja tiedostokoon suhdetta. Saatiin tietoa siitä, kannattaako työn referenssikohteen kaltaisissa projekteissa Scene- ohjelmalla poistaa tietty määrä rekisteröityjen pistepilvien pisteistä. Löydettiin myös hyvät asetukset *Uniform Grid*- ja *Desimate*- toimintojen

käyttöön. Kuviossa 16 on esitetty kevennystoimintojen vaikutusta mallin tarkkuuteen. Keskellä oleva elementti on seinällä oleva ikkunaruuudukko. Myös esimerkiksi oikeassa alakulmassa näkyvässä kahden seinän välisessä kulmassa on huomattava ero.



KUVIO 16. Kevennystoimintojen vaikutus mallin tarkkuuteen

Ainoat Geomagic- ohjelmalla luotavat tiedostomuodot, joita SolidWorks- ohjelma tukee, ovat WRL ja STL. STL- tiedoston käyttäminen tässä tarkoituksessa on huomattavasti kevyempää ja järkevämpää.

Laserkeilausaineiston tuominen pienissä osissa SolidWorks- kokoonpanoon onnistuu hyvin, kun Origin ja koordinaatiston luominen on tehty oikeaoppisesti Geomagic- ohjelmalla. Osien oikeanlainen automaattinen paikoittuminen Solidworks- kokoonpanossa edellyttää etukäteen tehtävää osien origokeskeistä skaalausta suhteella 1:1000.

Sprinkleriputkistojen mallinnus SolidWorks- ohjelmalla onnistuu ainakin työn referenssikohteen kokoisen rakennuksen yksittäiseen kerrokseen kerrallaan. Opinnäytetyössä tehty yhden kerroksen putkistomallinnus kävi raskaaksi ja hitaaksi

projektin loppuvaiheissa. Tämä johtui ennen kaikkea siitä, että kokoonpanoon tuoduissa osissa oli kokeiltu erilaisia kevennystoimintoja ja –asetuksia. Ongelmalta pystytään mitä todennäköisimmin välttymään, kun tiedetään, miten kevennystoiminnot kannattaa suorittaa.

Referenssityön kaltaisessa projektissa on hyvä piirtää ensin SolidWorks- ohjelmalla pitkät pääjakojohtolinjat, jonka jälkeen voidaan tehdä huoneisiin menevät haarajohtot. Aputasojen luominen on hyvä ja vaivaton apuväline putkiliittimien ja putkilinjojen paikoitukseen ja mitoittamiseen.

SolidWorks- ohjelman *design library*:n valmiiden putkiliittimien ja putkien mittatietoja saa muutettua helposti halutun laisiksi muokkaamalla niiden *design table*:ja. Liittimien muokkaamiseen ja luomiseen saattaa löytyä myös muita keinoja, joihin ei kuitenkaan perehdytty tarkemmin tässä työssä.

## **6.2 Toimintatavan toteuttaminen**

Tässä luvussa arvioidaan tavoitellun toimintatavan mahdollisuutta sekä kannattavuutta putkistomallinnusprosessin ja tehtyjen asiantuntijahaastattelujen perusteella.

Tavoitellulla toimintatavalla tarkoitetaan sitä, että vanhusten palvelutalon sprinkleriasennus tehtäisiin valmiiksi taivutetuilla ja mitoitetuilla putkilla. Putket olisi esivalmistettu SolidWorks- ohjelmalla tuotettujen taivutuspyötkirjojen avulla. Liitteessä 2 on esitetty esimerkki taivutetusta putkesta ja sen taivutuspyötkirjasta.

### **6.2.1 Toimintatavan mahdollisuuden arviointi**

Oman arvioni, sekä haastattelemani sprinkleriasentaja Mikael Öhmanin lausuntojen perusteella voidaan sanoa, että laserkeilauksesta olisi varmasti jonkin asteista hyötyä sprinklerisuunnittelussa. Scene- ohjelmalla laserkeilatusta tilasta voidaan tarkastella 360° näkymiä, joiden avulla voitaisiin suunnitella tarkat putkistolinjat. Öhmanin (2012) mukaan sprinklerisuunnitelmat ovat tavanomaisesti suuntaa antavia, ja myös asentajat tekevät jonkin asteista suunnittelutyötä työmaalla. Laserkeilauksen kustannustehokkuutta sprinklerisuunnittelussa tarkastellaan myöhemmissä kappaleissa.

Oman arvioni mukaan sprinklerikeskuksen putkia ja paksuja runkoputkia ei ole kannattavaa mallintaa ja esivalmistaa. Myös Öhmanin (2012) arvion mukaan paksujen runkoputkien taivuttamiseen tarvitaan niin kalliita laitteita, ettei putken taivuttaminen ole kannattavaa. Hänen mukaan asennus voitaisiin suorittaa perinteisestä tavasta poiketen esimerkiksi siten, että nousevat paksut runkoputket liitettäisiin myöhemmin valmiiksi kannakoituihin huoneistoissa oleviin jakojohdoin.

Olemassa olevien asuinkohteiden sprinkleriurakoinnissa vältellään aina alas laskettujen kattojen purkamista ja pyritään suosimaan sivusuuttimien käyttöä. Alas laskettuihin kattoihin pyritään tekemään asennukset mahdollistavia luokkuja tilanteissa, joissa putket sijoitetaan niiden yläpuolelle. (Öhman 2012.) Tällaiset tilanteet ovat tämän tutkimustyön kannalta ongelmallisia, sillä jos alas laskettua kattoa ei pureta, laserkeilausaineiston avulla ei voida selvittää, mitä alakaton ja oikean katon välissä on. Toisaalta sivusuuttimien käyttö saattaa rajoittaa keskenään samanlaisten asuinhuoneiden skannaamatta jättämistä, mikä lisää laserkeilaukseen kuluvaa aikaa sekä kasvattaa tiedostokokoa.

Jo laserkeilausvaiheessa olisi hyvä olla tietoa siitä, miten putkilinjat tultaisiin asentamaan, jotta tiedettäisiin, voidaanko tiettyjä rakennusten osia jättää skannaamatta. Mikäli sprinkleriasennuksessa purettaisiin alas laskettuja kattoja, purkutyöt tulisi tehdä ennen laserkeilausta. Myös reiät, jotka tulevat seiniin sprinkleriputkia varten, olisi hyvä porata ennen laserkeilausvaihetta.

Viimeistään putkistojen mallinnusvaiheessa tarvittaisiin tarkka tietämys siitä, kuinka putket voidaan käytännössä asentaa. Laserkeilausaineiston nopea ja informatiivinen tarkkaileminen Scene- ohjelmaa käyttäen voisi mahdollistaa mallinnusvaiheessa tapahtuvan yhteistyön urakoitsijan kanssa. Sekä Öhmanin, että haastatteleman LVI-insinööri Pasi Puupposen mukaan putkien esivalmistukseen sisältyy riski siitä, että putket eivät olekaan käyttökelpoisia ja syntyy turhia lisäkustannuksia. Puupponen arvioi myös asenteiden muuttamisen urakoinnin puolella haasteeksi uuden toimintatavan kehittämisessä.

Väistämätön ongelma valmiiksi taivutettujen putkien tuomisessa työmaalle on se, että sprinkleriurakoinnissa suositaan kierreltiimiä, joihin asennetaan pyörittämällä päistä

kierteistetyt putket. Taivutettuja putkia ei voitaisi asentaa katon tuntumassa oleviin liittimiin, koska mutkan jälkeiset osat osuisivat kattoon ja seiniin putkea pyörittäessä. Öhmanin (2012) mukaan puristusliitoksia käytetään usein vain kohteissa, joissa välimatka kierteentekokoneen ja asennuskohteen välillä on erityisen raskas kulkea. Esimerkkikohteina hän mainitsee monikerroksiset rakennukset ja erään kirkon vintin, johon joudutaan kulkemaan tikapuita pitkin. Hän kertoo, että kierteentekokone joudutaan usein sijoittamaan myös ulos, koska se vaatii paljon tilaa. Hänen mukaan puristusliitoksia käytettäessä putkia taivutetaan usein asennuspaikalla.

Öhman (2012) toteaa, että myös työn referenssikohteen kaltaisen rakennuksen sprinkleriurakointi toteutettaisiin todennäköisesti kierreliitoksia käyttäen, koska se olisi halvin vaihtoehto. Hän lisää, että siistimpi, ja palvelutalon henkilökuntaa miellyttävämpi lopputulos saavutettaisiin puristusliitoksia käyttämällä, mutta tarjouskilpailussa luultavasti hinta ratkaisisi. Toisaalta haastattelemani sprinkleriasiantuntija Vesa Keskihon (2012) mukaan puristusliitoksia käytetään juuri olemassa olevissa kohteissa, joissa putket jäävät näkyviin pinta-asennuksiksi.

Keskihon (2012) mukaan puristusliitoksilla tehty asennusurakka urakka lyhenisi jonkin verran, jos jako- ja haarajohdot olisivat valmiiksi mitoitettuja ja taivutettuja. Tällöin aikaa ei kuluisi kulmaliittimien asennuksiin, työmaalla tapahtuvaan putkireittisuunnitteluun eikä putkien mittaamiseen ja katkaisemiseen. Hän lisää, että tarkempaa savutettavaa ajan säästöä on vaikea arvioida ilman kokemusta. Keskihon sekä Öhman arvioivat kuitenkin yksittäisen puristettavan kulmaliittimen asennusajaksi noin 3 minuuttia, minkä avulla voidaan tehdä suuntaa antavia arvioita ajan säästämisestä.

Rakennushankkeen vetäjä Piiparisen (2012b) mukaan olemassa olevassa kohteessa sprinkleriasennukseen kuluvan ajan väheneminen voisi olla jopa ratkaiseva tekijä urakoitsijan valinnassa, jos hinta ei olisi kohtuuttomasti kilpailevaa tarjousta korkeampi. Hän lisää, että ennen kaikkea asuinkohteissa asennustöistä on aina haittaa.

### 6.2.2 Toimintatavan kustannustehokkuuden arviointi

Referenssikohteen kaltaiseen rakennuksen kokonaisvaltaiseen tarkkaan laserkeilaamiseen aikaa menee vähintään 8 tuntia kahdella ihmisellä ja aineiston käsittely vie tiedetyn ajan. Vaikka työssä suoritettu laserkeilaus ja aineiston käsittely onnistui hyvin, on otettava huomioon se, että laajoissa kohteissa skannien rekisteröinnissä saattaa esiintyä epätarkkuutta. Voidaan sanoa, että työssä käytetyillä menetelmillä kolmen kerroksen putkistomallinnus työpiirustuksineen voisi viedä noin neljä miestyöviikkoa.

Jori Palomäen opinnäytetyössä tullaan tarkastelemaan toimintatavan toteuttamista logistisesta näkökulmasta. Hänen tekemissä alustavissa talouslaskelmissa on otettu huomioon putkentaivutuskoneen investointikustannukset, kuljetuskustannukset, putkien ja tarvittavien putkiliittimien materiaaliset kustannukset, arvio työprojektien määrästä viidessä vuodessa sekä säästetty kulmaliittimien asentamiseen kuluva aika. Kun laskelmien lisäksi otetaan huomioon edellisessä kappaleessa esitetyt laserkeilauksesta ja putkistomallinnuksesta aiheutuvat kulut, voidaan laskea, että tavoitellun toimintatavan kustannustehokas toteuttaminen voisi olla teoriassa mahdollista. Tämä edellyttäisi kuitenkin sitä, että asennuksen kokonaisaika pienentyisi melko paljon. Lopullisen kannattavuusarvion tekeminen on ilman käytännön kokeilemista vaikeaa, ellei mahdotonta, koska haastateltu asiantuntijakaan ei osannut arvioida asennusajan pienenemistä. Tästä mainitaan sivulla 44.

## 6.3 Tulosten yhteenveto

Työn tuloksena löydettiin hyvät asetukset ja toiminnot laserkeilaukseen sekä laserkeilausaineiston käsittelyyn projekteissa, jotka ovat laajuusluokaltaan suuria ja joissa laserkeilausaineistoa käsitellään SolidWorks- ohjelmalla. Saatiin myös tietoa siitä, kuinka muun laisia putkitusprojekteja voitaisiin tehdä SolidWorks- ohjelmalla mahdollisesti laserkeilausaineistoa hyödyntäen.

Kaikkien luvussa 6.2 esitettyjen tutkimushavaintojen perusteella voidaan todeta, että tavoitellun toimintatavan saaminen saumattoman toimivaksi ja täten kustannustehokkaaksi on teoriassa mahdollista, mutta haastavaa. Toimintatavan



käyttöön ottaminen vaatii lisää suunnittelua ja yhteistyötä sprinkleriasentajan kanssa. Toimintatavan kannattavuus riippuu paljon siitä, kuinka paljon se todellisuudessa nopeuttaisi asennusprojektia. Tätä on kuitenkin äärimmäisen vaikea arvioida ilman käytännön kokeilua. Sen lisäksi, että asennusajan pieneneminen vähentäisi asennuskuluja, se olisi merkittävä kilpailuetu urakoitsijan valinnassa etenkin asuinkohteissa.

#### **6.4 Tavoitteiden saavuttaminen ja tulosten hyödyntäminen**

Ohjelmistojen käyttöön liittyvät tavoitteet saavutettiin mielestäni kiitettävästi. Työssä saavutettujen löydösten ansiosta yritys voi mahdollisesti käyttää SolidWorks-ohjelman putkitus- ja muita toimintoja projekteissa, joissa käytetään myös laserkeilausaineistoa.

Myös työssä esitellyn toimintatavan tutkimustavoite saavutettiin osittain. Saatiin tietoa siitä, että yrityksen laitteistoa ja ohjelmistoja käyttäen työn referenssikohteen kaltainen projekti saadaan teknisesti toteutettua, eikä esimerkiksi tietokoneiden tehokkuus ole rajoittava tekijä. Työssä löydettiin toimintatapaan liittyviä ongelmia, kuten alas laskettujen kattojen yläpuolelle tehtävät putkiasennukset ja kierreliittimien suosiminen. Ongelmien ratkaiseminen vaatisi jatkotutkimuksia. Toimintatavan yksiselitteinen arviointi on vaikeaa, koska siitä ei ole käytännön kokemusta ja siihen vaikuttaa monet tekijät. Esimerkiksi sprinklereillä suojattavat palvelutalot ja muut kohteet voivat olla keskenään hyvin erilaisia esimerkiksi alas laskettujen kattojen osalta. Myös esimerkiksi sprinkleriurakoitsijan valintakriteerit eri kohteissa ja urakoitsijan asenteet uutta toimintatapaa kohtaan saattavat vaihdella voimakkaasti.

Työssä tehtyjen tutkimushavaintojen perusteella yritys voi harkita työssä esitetyn toimintatavan jatkokehitystä ja sen soveltamista muun laisiin projekteihin.

## LÄHTEET

CEA 4001. 2007. Sprinklerilaitteistojen asennus ja huolto. Paris: Euroopan vakuutus- ja jälleenvakuutusalan keskusliitto CEA. Viitattu 12.4.2012.

Faro. 2012. Viitattu 14.4.2012. <http://www.faro.com/focus/uk/software>.

FARO laser scanner focus<sup>3D</sup> Manual 2011. Käyttöohje.

FARO SCENE Version 4.8 2011. Käyttöohje.

Geomagic. 2012. Viitattu 14.4.2012. <http://www.geomagic.com/en/products/studio>.

Haggrén, H. & Rönholm, P. 2004. Optinen 3D-mittaus ja laserkeilaus 19.10.2004. Luentomateriaali. Viitattu 8.3.2012. [http://foto.hut.fi/opetus/301/luennot/301\\_10\\_2004.pdf](http://foto.hut.fi/opetus/301/luennot/301_10_2004.pdf).

Heiska, N. 2010. Maalaserkeilaimet ovat kehittyneet geodeettisiksi mittauslaitteiksi. Maankäyttö 4/2010, 14-17.

Ilvonen, K. 2008. Lasekeilauksen hyödyntäminen infrarakentamisessa. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu, rakennustekniikan koulutusohjelma. Viitattu 13.3.2012.

Jäntti, J. 2009. Asuntosprinkleriopas. Tampere: Esa Print Oy.

Keskiaho, V. 2012. Toimitusjohtaja. Jypro Oy. Haastattelu 21.5.2012.

Koski, J. 2001. Laserkeilaus - uusi ulottuvuus paikkatiedon keräämiseen. Maankäyttö 4/2001, 24-26.

Kukko, A. 2005. Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetrisiin mittaustehtäviin. Erikoistyö. Teknillinen yliopisto, fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio. Viitattu 9.3.2012.

Lasereiden turvallisuusluokat 2010. Säteilyturvakeskus. Viitattu 14.3.2012. [http://www.stuk.fi/sateilytietoa/sateilevat\\_laitteet/fi\\_FI/laser/](http://www.stuk.fi/sateilytietoa/sateilevat_laitteet/fi_FI/laser/).

Lehtinen, L. 2007. Laserkeilaus luo tilasta 3D-mallin. Sähköala 1-2/2007, 32-34.

LVI 10475. 2011. Sprinklerilaitteistot. Helsinki: Rakennustietosäätiö. Viitattu 11.4.2012. <http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali, Rakennustieto.

Metallikaari Oy. 2007. Viitattu 10.5.2012.  
<http://www.metallikaari.fi/index.php?id=14>.

Piiparinen, L. 2012a. Suunnittelija. Rakennussuunnittelu Liisa Piiparinen Tmi. Puhelinkeskustelu 10.4.2012.

Piiparinen, L. 2012b. Suunnittelija. Rakennussuunnittelu Liisa Piiparinen Tmi. Puhelinkeskustelu 24.5.2012.

ProSolve Oy. 2011. Viitattu 7.3.2012. <http://www.prosolve.fi/>.

SFS 5980. 2009. Asuntosprinklerilaitteistot. Osa 1: Suunnittelu, asentaminen ja huolto (Insta 900-1:2009). Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS. Viitattu 16.5.2012. <http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali, SFS Online.

Solidworks. 2012a. Viitattu 30.4.2012.  
[http://www.solidworks.fi/sw/6455\\_SVF\\_HTML.htm](http://www.solidworks.fi/sw/6455_SVF_HTML.htm).

Solidworks. 2012b. Viitattu 30.4.2012.  
[http://www.solidworks.fi/sw/6453\\_SVF\\_HTML.htm](http://www.solidworks.fi/sw/6453_SVF_HTML.htm).

SolidWorks Help. 2012. Viitattu 9.5.2012.  
[http://help.solidworks.com/2011/english/SolidWorks/sldpiping/LegacyHelp/SolidWorksRouting/sldpiping/SolidWorks\\_Piping.htm?id=c3de159f279e4cce933efb784fb60092#Pg0](http://help.solidworks.com/2011/english/SolidWorks/sldpiping/LegacyHelp/SolidWorksRouting/sldpiping/SolidWorks_Piping.htm?id=c3de159f279e4cce933efb784fb60092#Pg0).

Suominen, T. 2009. Laserkeilauksesta apua 3D-mallintamiseen. Tierakennusmestari 4/2009, 44-47.

Tyco Series TY-FRB. 2010. Tuote-esite. Viitattu 18.5.2012. [http://www.tyco-fire.com/TD\\_TFP/TFP/TFP171\\_07\\_2010.pdf](http://www.tyco-fire.com/TD_TFP/TFP/TFP171_07_2010.pdf)

Tyco Series LFII. 2010. Tuote-esite. Viitattu 18.5.2012. [http://www.tyco-fire.com/TD\\_TFP/TFP/TFP402\\_04\\_2012.pdf](http://www.tyco-fire.com/TD_TFP/TFP/TFP402_04_2012.pdf)

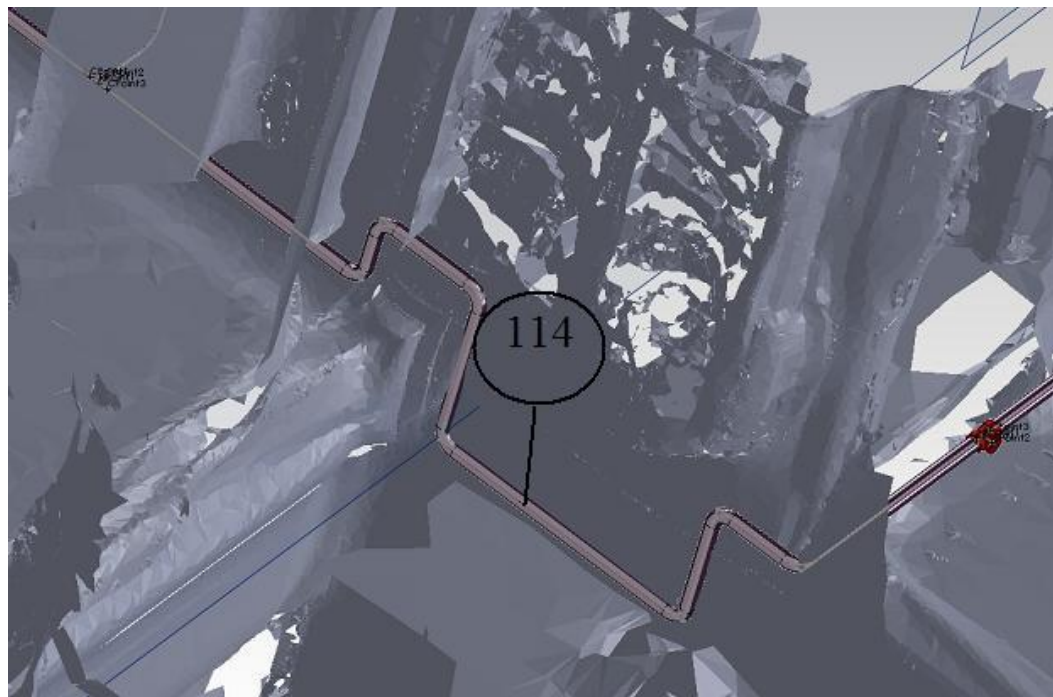
Tyco Series LFII Horizontal. 2010. Tuote-esite. Viitattu 12.5.2012. [http://www.tyco-fire.com/TD\\_TFP/TFP/TFP410\\_04\\_2012.pdf](http://www.tyco-fire.com/TD_TFP/TFP/TFP410_04_2012.pdf)

VSH Express SPRINKLER-järjestelmä. Broen. Viitattu 16.5.2012.  
[http://www.broen.fi/Sprinkler/~/\\_media/ProductBase/BI/Sprinkler/Sprinkler%20katalog.ashx](http://www.broen.fi/Sprinkler/~/_media/ProductBase/BI/Sprinkler/Sprinkler%20katalog.ashx)

Öhman, M. 2012. Sprinkleriasentaja. Aftex Oy. Haastattelu 15.5.2012.



## Liite 2. Esimerkki taivutetusta putkesta ja sen taivutuspöytäkirjasta



G7							
	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3							
4							
5	Document ID:	114					
6	RFS				SIZE:		
7	CUSTOMER NAME				MATERIAL:		
8	FACTORY				DIMENSION STD:		
9					PRESSURE CLASS:		
10					SEAMLESS (mm)		
11					PIPE ENDS:		
12	Current Linear Unit:	mm					
13	Current Angular Unit:	deg					
14		Element Name	Node Index.	X	Y	Z	
15							
16							
17			# 1.	0,0000	0,0000	0,0000	
18			# 2.	0,0000	-862,8354	0,0000	
19			# 3.	340,3111	-862,8354	0,0000	
20			# 4.	340,3111	-862,8354	510,0000	
21			# 5.	1326,8541	-862,8354	510,0000	
22			# 6.	1326,8541	-862,8354	-137,2996	
23			# 7.	1742,3591	-862,8354	-137,2996	
24			# 8.	1742,3591	-862,8354	144,1496	
25			# 9.	2776,1288	-862,8354	144,1496	
26							