



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Paavo Nurmesniemi

# Pistepilven prosessointiohjelmien vertailu laitossuunnittelun näkökulmasta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

30.10.2019

Tekijä Otsikko	Paavo Nurmesniemi Pistepilven prosessointiohjelmien vertailu laitossuunnittelun näkökulmasta
Sivumäärä Aika	34 sivua + 3 liitettä 30.10.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	Kemiantekniikka
Ohjaajat	Toimitusjohtaja Esa Eklund, JETS consulting Oy Lehtori Timo Seuranen
<p>Tässä opinnäytetyössä vertailtiin kolmea eri pistepilven prosessointiin ja mallinnukseen käytettävää lisäosaa Autodesk Plant 3D:ssä. Vertailu tehtiin putkisto- ja laitossuunnittelun näkökulmasta ja apuna älykkään laitosmallin luomiseen pistepilvidatasta. Työssä pyrittiin selvittämään tärkeimmät toiminnot ja menetelmät älykkään putkistomallin luomiseen pistepilvestä kullakin ohjelmalla. Työn tavoitteena oli löytää tehokkaampi mallinsohjelma nykyisen käytössä olevan ohjelman tilalle JETS consulting Oy:lle. Tarkoituksena oli löytää eroavaisuuksia vertailtavien ohjelmien väliltä ja selvittää, mikä ohjelma soveltuu yrityksen käyttötarpeisiin parhaiten.</p> <p>Pistepilviaineiston ja rakenteiden sekä laitteiden pintamallinnuksen toimittaa alihankkija A. JETS consulting Oy:n tuottaa älykkään mallin asiakkaan prosessi- ja käyttöhyödykeputkistoista. Älykkään laitosmallin on tarkoitus toimia asiakkaalle suunnittelu- ja kunnossapitotöiden lähtötietona.</p> <p>Vertailtaviksi ohjelmiksi valittiin AVEVA LFM server, FARO As-Built ja Leica Geosystems Cloudworx. AVEVA LFM server on ollut yrityksessä aikaisemmin käytössä. Ohjelmien valintaan vaikuttaa merkittävästi keilattava kohde ja haluttu tieto pistepilvestä. Vertailua tehtäessä huomattiin tiettyjen ominaisuuksien tehokkaan toiminnan tärkeys putkistomallinnuksessa. Rajaus ja sylinterimuodon tunnistaminen pistepilvestä olivat keskeisiä toimintoja tehokkaan mallinnuksen saavuttamiseksi. Jokaista ohjelmaa testattiin noin kahden viikon mittaisilla testijaksoilla, joissa ohjelmien toimintoja ja mallinnusprosessia käytiin läpi.</p> <p>Vertailun tuloksena parhaiten yrityksen käyttötarpeita palveleva ohjelma oli Leica Geosystems Cloudworx for Autocad Pro versio. Ohjelma oli huomattavasti muita ohjelmia tehokkaampi sylinterimuodon tunnistuksessa. Ohjelma tarjosi myös muita hyödyllisiä mallinnusta edistäviä toimintoja, kuten teräsrakenteiden automaattisen tunnistuksen, jonka koettiin olevan hyödyllinen toiminto yritykselle tulevaisuudessa.</p>	
Avainsanat	pistepilvi, laserkeilaus, putkistosuunnittelu, älykäs malli

Author Title	Paavo Nurmesniemi Comparison of Point Cloud Processing Software From a Plant Engineering Perspective
Number of Pages Date	34 pages + 3 appendices 30 October 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Chemical Engineering
Instructors	Esa Eklund, JETS consulting Oy, CEO, Partner Timo Seuranen, Senior Lecturer
<p>This thesis compares three different add-ons for point cloud processing and modelling in Autodesk Plant 3D. The comparison was made from the point of view of piping and plant design, with the program helping to create an intelligent plant model from point cloud data. The aim of this thesis was to determine the most important functions and methods of each program for creating an intelligent 3D piping model from the point cloud. The goal of the thesis was to find a more efficient modelling program to replace the current one used by JETS consulting Oy. The purpose was to find the differences between the programs being compared and to determine which program best suited the needs of the company.</p> <p>Surface modelling of structures and equipment is provided by subcontractor A. JETS consulting Oy produces an intelligent model of the customer's process and utility pipelines. The purpose of the intelligent plant model is to serve as a starting point for design and maintenance work for the customer.</p> <p>AVEVA LFM server, FARO As-Built and Leica Geosystems Cloudworx were selected for comparison. AVEVA LFM server has previously been used by the company. The choice of programs is significantly affected by the area to be scanned and the desired information from the point cloud.</p> <p>During the comparison, the importance of efficient operation of certain properties in pipe modelling was recognized. Point cloud cropping and cylindrical shape recognition from a point cloud were key functions for effective modelling. Each program was tested in test cycles of approximately two weeks, during which the program functions and the modelling process were reviewed.</p> <p>The results of the comparison indicate that Leica Geostystems Cloudworx for Autocad Pro version was the program that best served the needs of the company. The program was significantly more effective than other programs in recognizing cylindrical shapes. The program also provided other useful modeling features, such as automatic recognition of steel structures, which was recognized as a useful function for the company in the future.</p>	
Keywords	point cloud, laserscanning, intelligent model, piping design.

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Laserkeilaus	2
2.1	Yleistä	2
2.3	Käyttömahdollisuudet	4
2.4	Pistepilven laatutekijät	5
3	Tehdassuunnittelu ja CAD	8
3.1	Älykäs malli	8
3.2	Laitossuunnittelun ohjelmistot	9
3.3	Autodesk Plant 3D	10
3.4	Pistepilvi apuna laitosmallinnuksessa	12
3.5	Työaseman järjestelmävaatimukset	12
4	Ohjelmien valinta	13
4.1	Leica Cloudworx	15
4.2	Aveva LFM server	20
4.3	FARO As-Built for Autocad	24
5	Vertailu	28
5.1	Rajaustoiminnot	29
5.2	Sylintereiden tunnistaminen	30
5.3	Muut ominaisuudet	31
6	Vertailun tulokset	31
7	Yhteenveto	32
	Lähteet	34
	Liitteet	
	Liite 1. Leica Cloudworxin järjestelmävaatimukset	
	Liite 2. AVEVA LFM serverin suositellut järjestelmävaatimukset	
	Liite 3. FARO As-Builtin järjestelmävaatimukset	

## 1 Johdanto

Insinööriyön tilaajana on JETS consulting Oy, joka on prosessi- ja laitossuunniteluun keskittynyt suunnittelu- ja konsultointitoimisto. Opinnäytetyön tarkoituksena on vertailla nykyisin saatavilla olevia mallinnusohjelmia pistepilville ja auttaa yritystä uuden ohjelman valinnassa. Työssä tullaan keskittymään suurimmaksi osaksi mallinnukseen vain putkistosuunnittelun näkökulmasta, sillä vertailun tilaajayrityksessä ei suoriteta pintamallinnusta rakenteista ja laitteista, jotka eivät liity putkistoihin. Tällä hetkellä käytössä oleva ohjelma on AVEVA LFM server, joka valittiin myös yhdeksi vertailtavaksi ohjelmaksi. Muut vertailtavat ohjelmat ovat FARO As-Built ja Leica Cloudworx. Työssä oli lähtökohтана ohjelmien yhteensopivuus JETS consulting Oy:n käytössä olevan laitossuunnitteluohjelman Autodesk Plant 3D:n kanssa.

Pistepilvien ja laserkeilainten käyttö rakennusalalla ja teollisuudessa on ollut Suomessa kasvussa jo 1990-luvulta lähtien. Viimeisen 10 vuoden aikana tekniikka on yleistynyt suuresti johtuen suunnittelun digitalisoitumisesta, laserkeilainten kehittymisestä ja hinnan laskusta. Suomessa lähes kaikkiin uusiin prosessilaitoksiin ja rakennuksiin on hyödynnetty 3D-mallinusta jossain työvaiheessa. Jos 3D-mallia ei ole, se voidaan tehdä myös jälkikäteen olemassa olevasta laitoksesta hyödyntäen laserkeilauksen tuottamia pistepilviä. Vanhojen rakennusten, teollisuuslaitosten, infrastruktuurin ja muiden kohteiden laserkeilaus on yleistynyt suuresti korjausrakentamisen tai laajennuksen tullessa ajankohtaiseksi.

Koska opinnäytetyön tilaajayrityksen tehtävänä on mallintaa älykästä dataa putkistoista, ei perinteisiä pintamallinnusohjelmia voida käyttää. Älykkään putkimallin rakentaminen pistepilvestä eroaa huomattavasti perinteisemmästä pintamallinnuksesta. Pintamallinnukseen on olemassa huomattavasti edistyneempiä ja tehokkaampia ohjelmia kuin työssä vertailtavat ohjelmat, mutta kyseisillä ohjelmilla ei pystytä mallintamaan älykästä dataa.

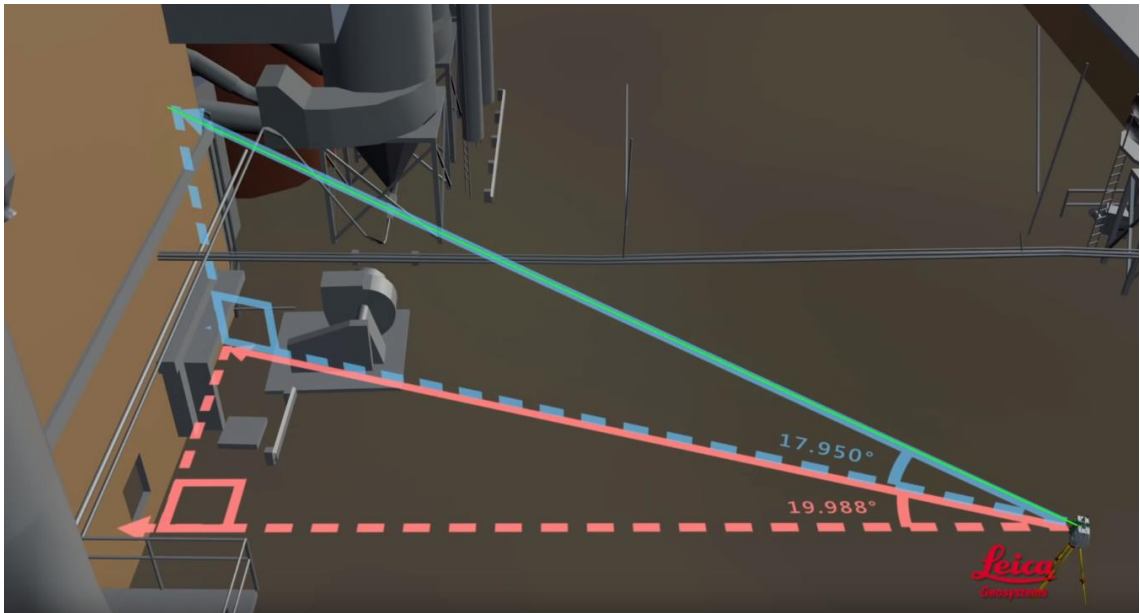
Työn suurimpia haasteita tulee olemaan ohjelmien valinta ja lisensointi. Ohjelman sopivuutta putkistosuunniteluun ja juuri yrityksen käyttöön on hyvin vaikea todeta ilman

käytännön testausta. Valituista ohjelmista tiedettiin kohtalaisen vähän ennen testijakson aloittamista. Yrityksellä on aikaisempaa kokemusta vain LFM server -ohjelmasta, eikä muiden ohjelmien vertailua ollut tehty aiemmin. Tietoa ja osaamista eri ohjelmista löytyi siis niukasti. Älykkään datan mallintaminen pistepilvestä on kohtalaisen uusi aihe ja siitä löytyy verrattain vähän tietoa.

## 2 Laserkeilaus

### 2.1 Yleistä

Laserkeilaus on mittaustekniikka, jolla voidaan mitata kohteen, kappaleen tai alueen muoto ja mitat erittäin tarkasti. Mittaukseen käytettävä laserkeilain lähettää kohteeseen lasersäteen, joka heijastuu takaisin mitattavasta kohteesta. Lasersäde lähtee laitteen nollapisteestä, joka on merkitty laitteen sijaintitietoihin. Valon kulkuaikaan perustuvissa keilaimissa laserkeilain tallentaa jokaisen pisteen x-, y-, ja z-koordinaattitiedot perustuen lasersäteen lähtökulmiin (sekä vaaka- että pystysuunnassa) ja kuluneeseen aikaan. Keilaimen asetettava mitattava pisteväli määrää pistepilviaineiston tiheyden, joka voi aineiston käyttötarkoituksesta riippuen vaihdella. Keilauksen tuloksena saadaan pistepilvi, joka on kolmiulotteinen malli pisteiden sijainnista koordinaatistossa. [1.] Kuvassa 1 on esitettyä laserkeilaimen toimintaperiaate.



Kuva 1. Laserkeilaimen toimintaperiaate [2]

Keilain tallentaa myös säteen intensiteettiä eli säteen paluuvoimakkuuden. Intensiteettiä riippuu mitattavan kohteen etäisyydestä, heijastavan pinnan materiaalista, heijastuskulmasta ja muodosta. Haastavia kohteita laitosten kuvantamisessa ovat pyöreät ja kiiltävät pinnat, kuten kuperat laitteiden osat tai päädyt tai ruostumattomasta teräksestä valmistetut laitteet ja putket. Oikein mitatulla intensiteetillä pisteelle voidaan antaa sävyeroja, sävyerot helpottavat kohteen geometrian hahmottamista. Katvealueiden välttämiseksi kohde pitää usein keilata useasta eri suunnasta. Katvealue tarkoittaa kohteita joihin lasersäde ei osu, johtuen tulokulmasta tai esteistä kohteen ja keilaimen välillä. Eri suunnista mittaaminen vaatii aina keilaimen siirtämistä. Yksittäiset keilaukset yhdistetään yhteisten pisteiden avulla samaan koordinaatistoon. [1.]

## 2.3 Käyttömahdollisuudet

Pistepilviaineistoa voidaan käyttää moneen tarkoitukseen. Yleisimmät käyttökohteet liittyvät geotieteisiin, infrastruktuuriin ja teollisuuteen. [3]:

- lento- ja ajoneuvokeilaus (kartat ja maastomallit)
- suuret infrahankkeet, tulvamallit, eroosion seuranta, karttapalvelut
- Kohteesta ei ole olemassa nykyaikaista dokumentaatiota tai piirustuksia (vanhat rakennukset, kirkot, sillat, linnat)
- vaikeakulkuiset tai vaaralliset kohteet (louhokset, kallioseinät, vuoret, korkeat rakenteet)
- yksityiskohtaiset 3D-mallien luonnit
- virtuaalimallit (elokuvat, pelit, animaatiot)
- lähtötilanteen selvittäminen (as built-mallit, korjaus- ja saneeraushankkeet).

Teollisuudessa laserkeilausta hyödynnetään paljon kohteissa, joista esimerkiksi 3D-tehdasmallia ei ole, se on vanhentunut tai piirustukset ovat puutteellisia. Keilausten pohjalta pystytään luomaan hyvin tarkka ja älykäs malli, jossa tehtaan nykytilasta näkyvät niin rakenteet, laitteet kuin putketkin. Pistepilvestä mallinnetun ympäristön avulla päästään myös suurempaan putkiston esivalmistusasteeseen, joka puolestaan mahdollistaa esimerkiksi seisokkiaikojen minimoimisen. Pistepilveä ja 3D-mallia voidaan hyödyntää laitoksissa mm. seuraavissa tapauksissa [4]:

- as built 3D-mallin-luonti laitoksesta tai yksittäisestä osasta laitosta.
- uuden putkiston, yksikön tai laitteen suunnittelu ja rakentaminen olemassa olevan joukkoon.
- laitoksen katselmointi ja kommentointi
- purkutöiden suunnittelu
- kustannusarviot ja materiaalitiedot
- henkilöstön koulutus.

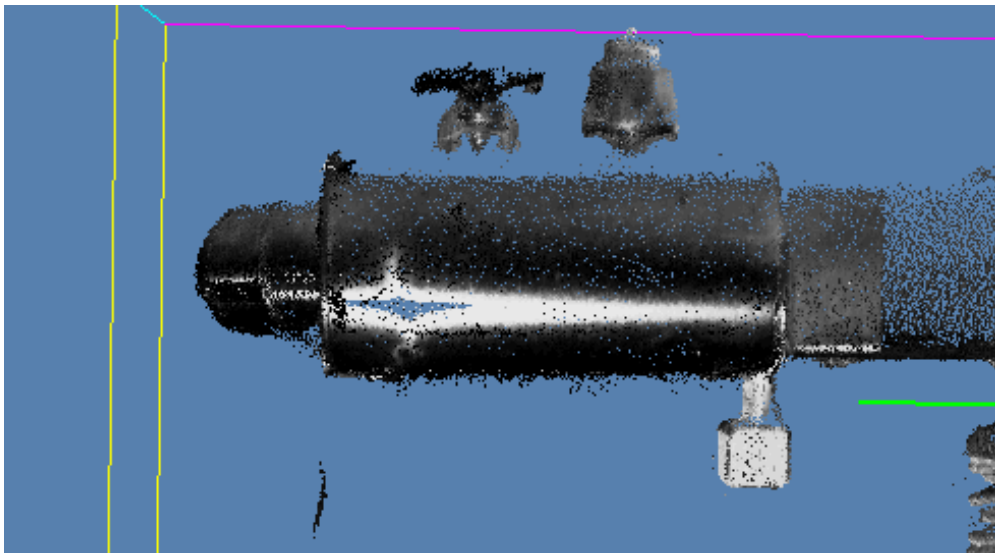
Osa edellä mainituista voidaan tehdä pelkällä pistepilvellä, mutta yleensä on aina kannattavaa tehdä myös pistepilveen pohjautuva 3D-malli. Pistepilvi kuvaa vain laitoksen sen hetkistä tilaa. 3D-mallia on helppoa ja yksinkertaista päivittää laitoksen muuttuessa [5; 6.]



## 2.4 Pistepilven laatutekijät

### Pistepilven hajonta ja laatu

Pistepilviaineiston laatuun vaikuttavia tekijöitä ovat mm. lasersäteen halkaisija, mittauksen kohina ja pisteiden hajonta. Pistepilveen voi muodostua heijastumia ja hajontaa säteen osumakulmasta, etäisyydestä, ja pinnan materiaalista. Kun mittausmatka kasvaa säteen paluuvoimakkuus heikkenee. Kuten aikaisemmin jo mainittu, säteen intensiteetti riippuu myös paljon pinnan materiaalista, voimakkaasti heijastavat pinnat saattavat aiheuttaa mittavirheitä. Erittäin voimakkaasti heijastavat pinnat voivat myös sokaista laitteen ja pistepilveen voi syntyä ”reikä” (kuva 2). [1.]

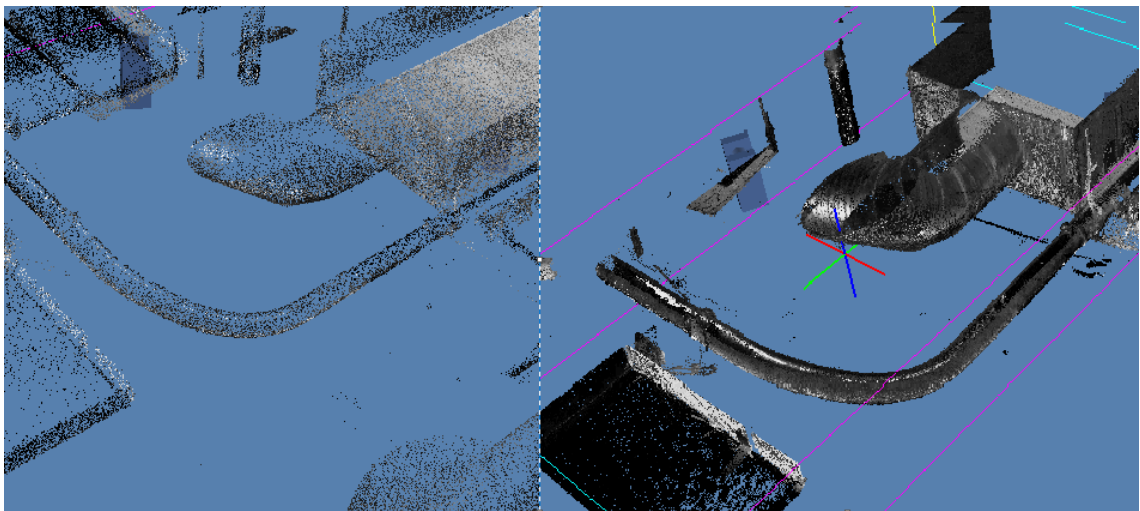


Kuva 2. Heijastuksen aiheuttama reikä kirkaassa eristepellissä.

Ikkunoiden, lasien ja pelien kautta heijastuvia pisteitä ei tulisi käyttää. Sää ja lämpötilaolosuhteet voivat myös vaikuttaa. Voimakas lämpö taittaa säteiden kulkua. Sade, sumu tai ilmassa leijailleva pöly voi aiheuttaa säteen ennenaikaisen palautumisen ja näin tehdä keilaamisen tietyissä olosuhteissa hankalaksi. [4.]

## Pistepilven tiheys

Pistepilvessä pisteiden tiheydellä on merkittävä vaikutus aineiston laatuun. Mitä tiheämmin pisteitä esiintyy, sitä tarkempi pistepilvi on (kuva 3). Kohteen mallintaminen on tarkempaa ja helpompaa tiheämmällä aineistolla. Tarkkojen as built-mallien luomiseen pistepilven tulisi olla hyvin tiheä ja tarkka, yli 10 000 pistettä/m<sup>2</sup> [4]. PSK Standardisointitijhdistys on asettanut laitosmallinnuksen kohdalla sallittavaksi virheeksi putkissa ja teräsrakenteissa  $\pm 10$  mm [7]. Pistepilven tiheys heikkenee matkan funktiona, eli mitä kauempana mitattava kohde sijaitsee, sitä harvempaa pistepilvi on. Tiheästä pistepilvestä ei kuitenkaan ole hyötyä, jos pistepilven tarkkuus on huono.



Kuva 3. Vasemmalla väljempää ja oikealla tiheämpää pistepilviaineistoa samasta kohdasta.

Kuvattavan kohteen mukaan valitaan pistepilven tiheys skannerista ennen kuvauksen aloittamista. Aina tiheää aineistoa ei tarvita ja liian tiheään mittaaminen on resurssien tuhlausta. Tiheää pistepilveä on myös huomattavasti raskaampi käsitellä pisteiden määrän takia. [1.]

## Pistepilvien yhdistämisen tarkkuus

Yksittäisen keilauksen muodostama pistepilvi voidaan yhdistää muihin keilauksiin monella eri tavalla. Tarkin yhdistämismenetelmä on yhteisten tähyksien käyttö [1]. Kuvassa

4 on esitettyinä kaksi erilaista tähystä. Tähyksiä kiinnitetään keilattavaan ympäristöön, mistä keilaimella on selkeä näkymä tähykseen.



Kuva 4. Tähyys [8].

Tähykset ovat tasomaisia, puolipalloja tai pallomaisia helposti havaittavia kuvia, joiden keskipisteet määritetään. Jokaisesta yksittäisestä pistepilvestä pitäisi löytyä vähintään kolme yhteistä tähystä, joiden avulla pistepilvet yhdistetään samaan koordinaatistoon. Prosessia kutsutaan rekisteröinniksi, pistepilvien prosessointiohjelmat pystyvät tekemään tämän vaiheen automaattisesti tunnistamalla tähykset pistepilvestä. Huomioitavaa on, että rekisteröinti on hyvin raskas, aikaa vievä ja laskentatehoa vaativa prosessi. Riippuen projektin laajuudesta, käytettävästä ohjelmasta ja käytetystä työasemasta, voi rekisteröinnissä kestää jopa päiviä. Pistepilviä voidaan myös yhdistää automaattisesti tunnistamalla yhteisiä pisteitä ja muotoja pistepilvestä. Suurien kokonaisuuksien yhdistäminen tällä menetelmällä saattaa kuitenkin aiheuttaa aineistoon virhettä, kuten kasvua, viinoutta ja kiertymää. [6.]

### 3 Tehdassuunnittelu ja CAD

Tietokoneavusteinen (CAD, *Computer Aided Design*) 3D-mallinnus yleistyi 1990-luvulla suunnitteluohjelmien kehittymisen ja hintojen laskun myötä. Sitä ennen suunnittelua toteutettiin 2D-suunnitteluna ja se oli epätarkkaa sekä aikaa vievää. Suunnittelun ensimmäinen digitaalinen vallankumous tapahtui, kun siirryttiin käsin piirtämisestä tietokoneille ja se toi suuria harppauksia teollisuuteen. Digi aika mahdollisti paremman tarkkuuden ja nopeuden. Malleja oli helpompi jakaa, muokata ja yhdistää. [9.]

3D-mallien yleistyminen 2000-luvun alussa oli verrattavissa samanlaiseen harppaukseen kuin siirryttäessä tietokoneavusteiseen 2D-piirtämiseen. 3D-malli tarkensi entisestään suunnittelua. 3D-mallista pystyi nähdä ongelmakohtia, mitä 2D-suunnittelussa ei pystytty huomaamaan. 3D-malli on sidottu X-,Y-,Z-koordinaatistoon, joka mahdollistaa eri korkeustasojen väliin jäävän tilan havaitsemisen. 2D-aikakauden rakennusvaiheiden ongelmat pystyttiin välttämään, kun tehdasta voitiin tarkastella jo etukäteen virtuaalisesti. Onkin sanottu, että huonoinakin 3D-mallin on monin verroin parempi kuin paras 2D-suunnitelma. Kolmiulotteisia malleja hyödynnetään nykypäivänä todella laajasti. Tarkat 3D-ovat korvaamattomia esimerkiksi kalliiden tehtaiden ja laitteiden suunnittelussa. Mallia voi tarkastella rajattomasti halutusta suunnasta, hajottaa, leikata ja muokata. [5.]

#### 3.1 Älykäs malli

Älykäs malli tarkoittaa tietosisältöä, joka sisältää sekä geometriatietoa että attribuuttitietoa. Attribuuttitiedolla tarkoitetaan erilaisia taustatietoja mallinnetusta kohteesta. Yleisimmin putkistosuunnittelussa attribuuttitietoja annetaan 3D-mallissa seuraaville objekteille:

- putkistot
- venttiilit
- laitteet
- instrumentit
- muut putkistovarusteet.

Yleisimpiä annettavia attribuuttitietoja ovat tilavuus, materiaali, linjatunnus, nimelliskoko, seinämävahvuus, paineluokka, käytetty standardi, eristepaksuus ja -tyyppi, liitäntätyyppi, virtaava aine, suunnittelu- ja käyttöarvot, laitetunnus, valmistaja ja mittatiedot. [5.]

Älykäs malli on erittäin hyödyllinen työkalu rakennusvaiheessa ja varsinkin laitoksen elinkaaren aikana. Vikaantuneet laitteet pystytään heti tunnistamaan ja tiedot materiaaleista sekä osista tarkastamaan. Korjaus, muutos, ja uudet rakennustyöt pystytään hyvin tarkasti suunnittelemaan ja valmistamaan etukäteen älykkään tiedon pohjalta. Tämä nopeuttaa ja tehostaa merkittävästi suunnittelua alentaen kustannuksia ja käyntejä kohteen luona. [9.]

### 3.2 Laitossuunnittelun ohjelmistot

Laitossuunnittelussa yhdistetään useiden eri suunnittelualojen erikoisosaaminen yhdeksi kokonaisuudeksi. Eri aloilla on käytössä yleensä juuri oman alan sovelluksiin sopeva suunnitteluympäristönsä ja mallinnusohjelmansa. Esimerkiksi rakennesuunnittelu toteutetaan useimmiten siihen tarkoitukseen suunnitelluilla ohjelmilla, kuten esimerkiksi Tekla Structures, josta teräsrakennemalli vietään laitossuunnitteluohjelmaan. Toimivan suunnittelun lähtökohtana ovat toimivat suunnittelutyökalut sekä sulava yhteistyö eri suunnittelijoiden kesken. Myös asiakkaalla ja urakoitsijalla tulisi olla kyky hyödyntää laitostalleja tehokkaasti. Suunnitteluohjelmien yhteensopivuus onkin erittäin tärkeää tehokkaan työskentelyn kannalta. [9.]

Laitossuunnitteluun keskittyviä ohjelmia tarjoavat monet suuret ohjelmistoyritykset. Yleisimmät käytössä olevat ohjelmat ovat:

- Smart 3D ja PDS – Integraph / Hexagon
- Everything 3D ja PDMS – Plant design & Management software – Aveva
- AutoPLANT, Open plant, Microstation - BENTLEY
- AutoCAD Plant 3D – Autodesk
- Cadmatic – Cadmatic Oyj
- Vertex G4Plant – Vertex systems.

Kaikkia yleisimpiä käytössä olevia suunnitteluohjelmia yhdistää tietomallipohjaisuus ja projektikohtainen työskentely. Yhteistä on myös tasomainen (layers) työskentelytapa, eli asiakokonaisuudet jaetaan omille tasoilleen suunnittelun ja tarkastelun selkeyttämiseksi. Yhden kokonaisuuden grafiikkaelementit mallinnetaan aina samalle tasolle suunnittelu-alasta riippumatta, esimerkiksi yhden kokonaisuuden sisältämät laitteet mallinnetaan samalle tasolle [10, s. 6]. Asiakokonaisuudet voivat sisältää erilaisia graafisia elementtejä. Ohjelmat sisältävät useimmiten omat moduulit tai työkalupaketit eri toiminnoille, kuten putkisto-, tukirakenne-, laite-, ilmastointi- ja kaapelihyllysuunnittelulle. Ohjelmilta löytyy myös toiminnot 2D-dokumentaation ja luetteloiden luontiin rakennustöiden avuksi kuten, tasopiirustus, layoutkaaviot, PI-kaaviot (putkisto- ja instrumentointikaavio), isometrit, laiteluettelot, putkiluettelot ja materiaalilistat. [9.]

### 3.3 Autodesk Plant 3D

Autodesk Plant 3D on toiminut JETS consulting Oy:n pääsuunnittelutyökaluna projekteissa vuodesta 2013. Ohjelman valintaan vaikutti monet tekijät, ja se koettiin sopivaksi pienen suunnittelutoimiston toimintoihin. Autodeskin tuotekehitys ja ohjelmisto oli jo silloin vakaalla pohjalla. Ohjelmasta julkaistaan vuosittain uusi versio ja tiheämmin pienempiä päivityksiä ohjelman ylläpitoon. Autodeskin muut tuotteet ovat laajasti käytössä suunnittelualalla ja ne ovat monelle tuttuja sekä yhteensopivia keskenään. Autodeskin lisensiointijärjestelmä on yksinkertainen, ja myös ilmaisversioita on saatavilla. Oppilaitoksissa Autodeskin tuotteet ovat laajasti käytössä, internetistä helppo löytää ohjeita ja ohjelmalla on aktiiviset keskustelufoorumit. Ohjelma on helppokäyttöinen eikä vaadi erillistä managerointia toisin kuin monet muut laitossuunnitteluohjelmat. Lisäksi ohjelman lisensiointikustannukset ovat edullisia verrattuna muihin vastaaviin ohjelmiin. [5.]

Autocad Plant 3D on Autodesk Inc. ohjelmistoyrityksen oma tuotepaketti, joka on suunnattu laitossuunnitteluun ja erityisesti putkistosuunnitteluun. Plant 3D sisältää työkalut varhaisen suunnittelun vaiheista lähtien 2D-layout-piirtämisestä aina loppuvaiheen putkistojen isometrien luontiin. PI-kaavioiden piirtämiseen tarkoitettulla PI&D-työkalulla pystytään tuottamaan älykkäitä prosessikaavioita. Ohjelma sisältää myös toiminnot putkistosuunnitteluun sekä laite- ja rakennemallinnukseen. Ohjelmilla luodut projektit toimivat keskenään saumattomasti niin, että PI-kaavioiden tiedot linkittyvät haluttaessa 3D-malliin. PI-kaavioon piirretyn putkilinja, jolle on määritetty älykästä tietoa, kuten nimelliskoko,

virtaava aine, materiaali, ja paineluokka voidaan 3D-mallia tehdessä valita ja putkilinja saa kaikki kaavioon määritetyt attribuuttitiedot. Lisäksi ohjelma tukee useita erikseen asennettavia lisäosia ja moduuleita mallinnuksen tueksi. Esimerkiksi pistepilvien mallinnukseen voidaan asentaa eri ohjelmistoyritysten tai harrastelijoiden tuottamia lisäosia avuksi suunnitteluun. Plant 3D on yhteensopiva muiden Autodeskin tuotteiden kanssa ja tämä on hyödyksi erityisesti silloin, kun malliin halutaan tuoda projektin ulkopuolelta laitteita tai malleja. Ohjelmalla voidaan tehdä mistä tahansa grafiikasta älykäs laite ja antaa sille attribuuttitietoja, jolloin niiden tiedot tunnistetaan tietokantaan. Plant 3D tukee laajaa tiedostomuotokantaa, mikä helpottaa referenssitietojen tuontia ja vientiä muiden ohjelmien välillä. Ohjelman käyttöliittymä on hyvin samankaltainen AutoCAD-ohjelman kanssa. [11.]

Putkiston mallinnus tapahtuu hyödyntäen ohjelmistoon luotuja komponenttikirjastoja ja putkiluokkia. Kirjastot sisältävät standardinmukaiset putkiluokkien osat mittatietoineen, joille syötetään attribuuttitiedot. Kirjastoista luodaan vielä standardinmukaisia putkiluokkia, joita ohjelma pystyy lukemaan. Jos esimerkiksi tiedetään, että laitokseen tullaan sijoittamaan satoja saman mallin venttileitä, on kannattavaa lisätä venttiili kirjastoon ja putkiluokkaan, josta se voidaan helposti ottaa malliin ja antaa attribuuttitiedot. Huomioitavaa kuitenkin on, että tietyntyyppiset mallit voivat kasvattaa mallin kokoa huomattavasti. Suotavaa olisi käyttää vain laitteen kevyitä ja yksinkertaisia pintagrafiikka- tai 3D-solid-malleja. [12.]

Kirjastojen ja putkiluokkien muokkaaminen tapahtuu Spec/Catalog Editorilla. Työkalulla voidaan luoda kirjastoihin omia putkenosia ja putkivarusteita joko ohjelman omasta tai valmistajalta saaduista grafiikoista. Valmistajan grafiikat vastaavat yleensä täydellisesti todellisuutta, ja niiden käytöllä saadaan mallista erittäin realistisen näköinen. Tehdasympäristössä tai suunnittelussa visuaalinen toteutus ei ole yleensä kovin tärkeää ja se vie enemmän aikaa. Usein tyydytään vain yksinkertaisimpiin grafiikoihin, joissa mittatiedot tilanvarauksen suhteen kuitenkin täyttyvät ja näin saadaan säästettyä aikaa sekä resursseja.

### 3.4 Pistepilvi apuna laitosmallinnuksessa

Laserkeilausprojektit eroavat useimmiten hyvin paljon toisistaan. Asiakas yleensä luottaa suunnittelutoimiston tai konsultoinnin esittämiin ehdotuksiin. Keilaus ja mallinnus koetaan kalliina ja yleensä tehdään vain välttämättömyydet. Joissain tapauksissa kohteesta riittää muutama keilaus ja pistepilvestä tarkastetaan vain kohteen yhteet, joihin uusi mallinnettava putki liitetään eikä aineistosta luoda mallia tai käytetä muuhun. Kokonaista tehtaan, isojen kokonaisuuksien ja rakennusten pintamallinnusta ei ole kustannustehokasta tehdä Pohjoismaissa. Älykkään mallin rakentaminen pistepilven pohjalta on lähes mahdotonta toteuttaa ilman tiivistä asiakaskontaktia. Riippuen projektista, yleensä keilauksen, pistepilven ja pintamallin projekteihin toimittaa alihankkija A ja JETS consulting älykkään putki- ja laitemallinnuksen. Älykkään mallin tuottamisessa olisi hyvä, jos suunnittelijalla on mahdollisuus päästä käymään kohteessa. Putkistosuunnittelu vaatii suunnittelijalta osaamista ja kokemusta tehdasympäristöistä, prosessilaitteistoista ja putkivarusteista. [5.]

Putkien mallinnuksessa erittäin tärkeänä tekijänä ovat putkiston olemassa olevat dokumentaatiot, esimerkiksi PI- ja layout-kaaviot. Nämä helpottavat paljon suunnittelijan työtä. Osaava putkistosuunnittelija osaa helposti löytää ja yhdistää tietyn kohteen tai putkiston mallin, pistepilven ja PI-kaavioiden välillä. Ajan tasalla olevat PI-kaaviot vähentävät tehdaskäyntejä ja nopeuttavat mallinnusta, sillä laitetietoja, putkikokoja ja attribuuttitietoja ei tarvitse etsiä bubbleview-näkymistä tai asiakkaalta. Jos kohteesta ei ole dokumentaatiota, tulee putken koko, varustelu ja materiaali selvittää. Usein kohteissa, joissa dokumentaatio ei ole ajan tasalla, voi mallin rakentaminen hidastua niin kauan, kunnes oikeat tiedot saadaan varmistettua malliin. Eristetyissä putkissa, joista ei ole tietoa, jätetään malliin vain pintamallit, kunnes oikea kokotieto varmistuu.

### 3.5 Työaseman järjestelmävaatimukset

Asiakkaan ja suunnittelutoimiston on huomioitava, että pistepilven prosessointi ja 3D-mallinnusohjelmat ovat verrattain raskaita ohjelmia. Järjestelmävaatimuksiltaan ohjelmien sulava käyttö vaatii lähes aina ammattikäyttöön suunnitellun työaseman. Työasemaa valitessa on muistettava, että kannettavissa tietokoneissa käytetyt



mobiliiprosessorit eivät vastaa laskentateholtaan vastaavia pöytätietokoneissa käytettyjä suorittimia. Suositeltavat järjestelmävaatimukset löytyvät ohjelmien manuaaleista ja voivat vaihdella pistepilviaineiston koosta riippuen. (Liitteet 1–3.)

Suosittelavat vähimmäisvaatimukset:

- prosessori: vähintään uusimpien sukupolvien neliydinsuoritin yli 3 Ghz:n kellotaajuudella. Ohjelmat toimivat sulavammin kellotaajuuden ja ytimien määrän kasvaessa.
- keskusmuisti: vähintään 16 Gb, suositeltava olisi enemmän, esim 32 Gb tai 64 Gb
- näytönohjain: Autodeskin sertifioima grafiikkakortti, vähintään 4 Gb grafiikkamuistia
- levytila: vähintään 500 Gb SSD, suositeltavaa 1 teratavua tai enemmän.

Autodeskin ohjelmat ja varsinkin Autocad ovat enemmän riippuvaisia yksittäisen ytimen tehosta ja kellotaajuudesta kuin monen ytimen yhteenlasketusta tehosta, sillä ohjelma ei hyödynnä perustoiminnoissaan ja grafiikan esittämisessä kuin yhtä ydintä. Usein kuitenkin Autocad ei ole suunnittelijan ainoa työkalu, ja monet ominaisuudet myös hyötävät suuremmasta ytimien määrästä. Pistepilvien tiedostokoko voi olla huomattava, jopa useita satoja gigatavuja, ja tämä kannattaakin ottaa huomioon tiedonsiirtonopeuksissa ja järjestelmissä. Pistepilvet toimitetaan ulkoisilla kovalevyillä, sillä useimmissa tietokoneissa ei ole tarpeeksi käytettävää muistia pistepilven tallentamiseen.

Insinööriyön esimerkkikohdissa ja mallinuksissa käytetyn työaseman tiedot:

- prosessori: Intel i7-8700K
- näytönohjain: Nvidia Quadro P1000 4 Gb
- keskusmuisti: 32 Gb 2666 Mhz DDR4
- levytila: 500 Gb SSD.

#### 4 Ohjelmien valinta

Koska JETS consultingin käytössä oleva laitossuunnitteluohjelma Autodesk Plant 3D on ollut hyvä, eikä siitä ole ollut aikomusta luopua tai ottaa rinnalle toista ohjelmaa. Plant 3D pystyy hyödyntämään pistepilviä ja sille on saatavana lukuisia eri lisäosia liittyen

pistepilviin. Valittavan ohjelma pitää siis olla yhteensopiva Plant 3D:n kanssa. Valintaan on otettava kaksi eri näkökulmaa huomioon, yritykselle suotuisat kriteerit ja suunnittelijan kokemuksiin perustuvat.

JETS consultingin valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat seuraavat:

- Vaaditaanko koulutuksia vai pystytäänkö esimerkiksi verkkomateriaalilla opiskelemaan ohjelmiston käyttö?
- Ohjelmiston tarjoaja. Onko yhtiö sellainen, jonka tuotteella tiedetään olevan jatkuvuutta, ja ohjelmaa päivitetään tasaisin väliajoin sekä onko myös tuotetukea tarvittaessa saatavilla?
- Minkälainen on lisenssin tyyppi ja hinnoittelu?
- Ohjelmiston vaatimukset työasemilta. Vaatisiko esimerkiksi jonkun lisenssin hankinta huomattavasti tehokkaampia työasemia?

JETS consultingin puolelta tulevat tekijät eivät ota niin paljon kantaa itse mallintamiseen ja ohjelman käyttöön. Suunnittelijan näkökulmasta halutut ominaisuudet keskittyvät putkimallinnukseen. Tärkeimpiä ominaisuuksia ohjelmistolle ovat pistepilven leikkaaminen, rajaaminen, ohjelman helppokäyttöisyys ja sylintereiden tunnistaminen. Pistepilveä on hyvin vaikea hyödyntää ilman rajauksien tekoa. Rajauksella tarkoitetaan sitä, että pistepilvestä rajataan vain haluttu alue näkyviin ja turhat pisteet jäävät alueen ulkopuolelle. Työhön ei valittu pintamallinnukseen käytettäviä ohjelmia, sillä ne ovat hyvin erilaisia toiminnoiltaan kuin vertailtavat ohjelmat. Tavoitteena oli pitää vertailtavat ohjelmat vertailukelpoisina toisiin ohjelmiin nähden. Ohjelmaa valittaessa onkin huomioitava ohjelman käyttötarkoitus.

Leica Cloudworxin valintaan vaikutti sen johtava markkina-asema alalla ja ohjelmaa on myös käytetty aikaisemmin putkistosuunnittelun apuna. Cloudworxilla on lukuisia käyttäjiä maailmanlaajuisesti, ja opetusaineistoa on helposti saatavilla. Leica Geosystems tarjoaa myös suuren määrän laitteistoja ja ohjelmia eri käyttötarkoituksiin. Leica järjestää koulutuksia, ja sillä on Suomessa tukipalvelut, jälleenmyyntiä sekä toimipiste.

Aveva LFM server on ollut JETS consultingin käytössä aikaisemmin, ja ohjelman valinta perustui silloin suosituksiin. Ohjelma valittiin yhdeksi vertailtavaksi ohjelmaksi, sillä siitä oli käyttökokemusta, lisenssisopimus ja pistepilviprojektit valmiina.

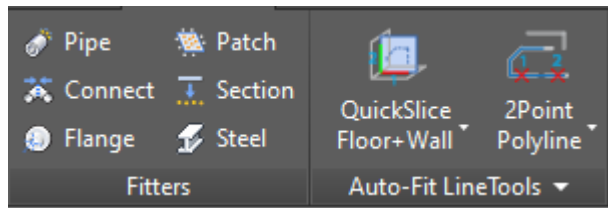
FARO As-Built for autocad valittiin, koska sillä oli lupaavia ominaisuuksia putkimallinnukseen liittyen. Sillä on erillinen työkaluvalikko räätälöitynä putkimallinnusta varten, ja ohjelmasta löytyy opetusmateriaalia.

#### 4.1 Leica Cloudworx

Cloudworx on Leica Geosystems:n tarjoama lisäosa perinteisiin suunnitteluohjelmiin pistepilven mallinnusta varten. Lisäosan voi asentaa suurimpaan osaan laitos- ja rakennesuunnitteluohjelmista sekä joihinkin 3D-mallinnusohjelmiin. Ohjelman perustoimintaperiaate on samankaltainen FARO As-Builtin kanssa, mutta toiminnot eroavat selkeästi. Cloudworx ei tarjoa As-Builtin tavoin erillistä ohjelmaa pistepilven tarkasteluun, vaan tarkastelu tapahtuu Autocadissa ja Bubbleview-näkymiä joudutaan tarkastelemaan erillisessä katselmointiohjelmassa, esimerkiksi Autodesk ReCapissä. Bubbleview-näkymä on siis 360° panoraamakuva keilaimen näkemästä alueesta. Ohjelma sisältää työkalut sylintereiden ja pintojen tunnistukseen, pistepilven rajaukseen ja asennointiin. Pistepilven voi tuoda autocadiin joko Cyclone-, LGS-, tai ReCap-projektina. Kaikki toiminnot eivät kuitenkaan ole käytettävissä ReCap projektien kanssa.

##### Toiminnot

Itse pistepilven mallintamiseen ohjelma ei tarjoa laajaa työkaluvalikoimaa, mutta silti enemmän kuin LFM server. Toiminnot ovat kuitenkin helppokäyttöisiä ja suhteellisen toimivia useimmissa tilanteissa. Kuvassa 5 on esitettyä tärkeimmät ja käytetyimmät toiminnot.



Kuva 5. Cloudworxin tärkeimmät mallinnukseen käytettävät työkalut.

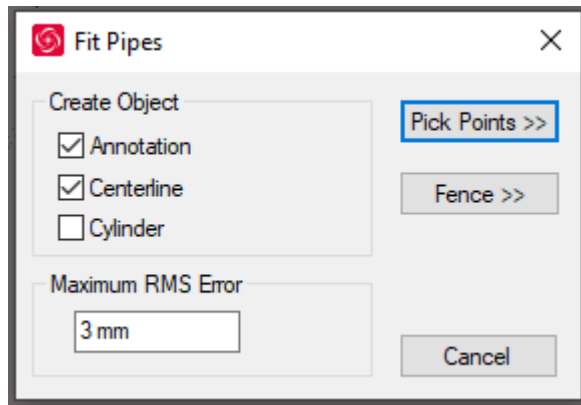
Käytetyimmät komennot ovat rajaustoimintojen lisäksi *Fitters*-valikon komennot, jotka sisältävät sylintereiden, teräsrakenteiden ja tasojen mallintamiseen käytettävät toiminnot. Viivatyökaluilla pystyy erittäin nopeasti tekemään 2D-pohja- tai layoutpiirustuksia rakennuksista.

*Steel*-toiminnoilla pystytään mallintamaan teräsrakenteita. Ohjelma tunnistaa yleisimmin käytössä olevat teräsprofiilit ja valittavissa on myös standardeihin perustuva mallinnus, jossa ohjelma ehdottaa sopivaa profiilia tunnistettuun kohteeseen.

## Mallinnus

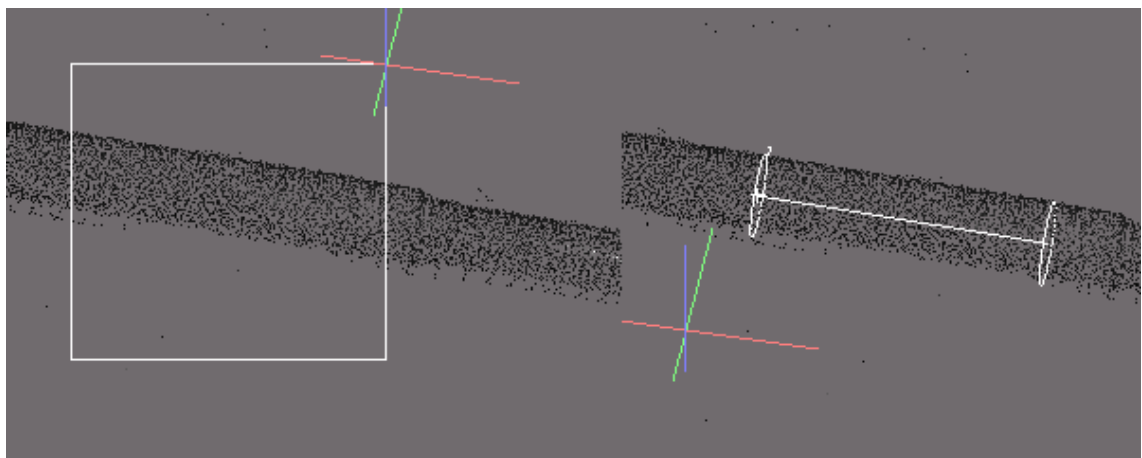
Kun pistepilvi on liitetty malliin, haluttu alue täytyy rajata. Rajaamiseen Cloudworx tarjoaa monia eri vaihtoehtoja käyttötarkoituksen mukaan. Rajaaminen tapahtuu samankaltaisesti kuin FARO As-Builtissa, eli pistepilvestä rajataan pois pisteet, joita ei tarvita. Hyödyllisimpiä komentoja rajaamiseen ovat *clipping box* ja *slice*. Clipping boxilla voidaan rajata suorakulmainen alue ns. "laatikko" halutusta alueesta joka rajaa joko kaiken laatikon ulko- tai sisäpuolelta pois näkymästä. *Slice*- komennot leikkaavat poikkileikkauksen halutusta akselista. Poikkileikkauksen korkeutta tai leveyttä pystyy muuttamaan ja leikkausta voi liikutella kaikkien koordinaatiston akselien suuntaisesti.

Putkilinjan, laitteen tai pinnan mallintamiseen voidaan käyttää useaa eri menetelmää ja menetelmiä voi myös käyttää eri tavoilla. Työssä käydään läpi vain putkilinjan tehokkaimman mallinnustekniikan ja siihen käytettävät työkalut.



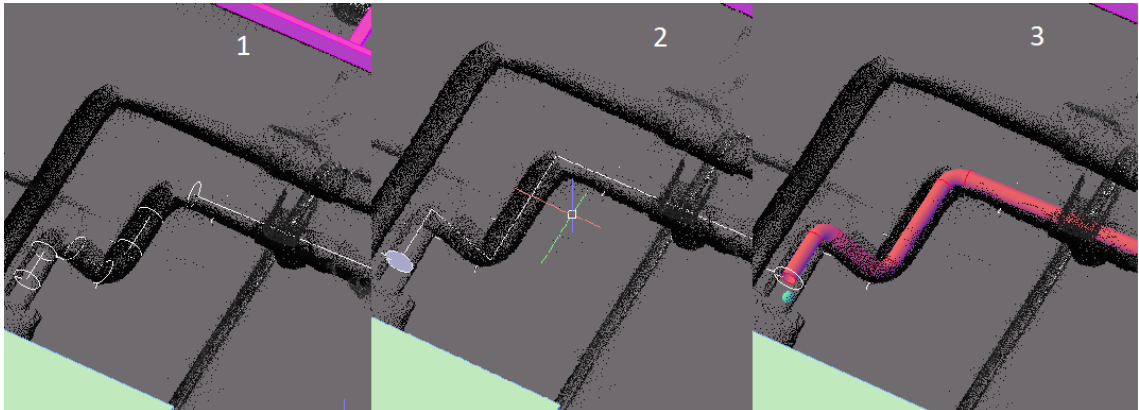
Kuva 6. Fit pipes aloitusikkuna (Cloudworx)

Putkilinjan mallinnus aloitetaan *Fitters*-valikon *Pipe*-komennolla, joka avaa kuvassa 6 näkyvän valintaikkunan. Valikosta voidaan valita mitä ohjelma mallintaa, tarkkuuden ja millä tekniikalla putkilinja valitaan. *Pick points*-valinnalla ohjelma mallintaa valittua sylinterimuotoa niin pitkälle kuin keskilinja pysyy asetetuissa raja-arvoissa. Tämä on erittäin hyödyllinen toiminto pitkissä ja suorissa putkilinjoissa ja nopeuttaa mallinusprosessia huomattavasti. *Fence*-valinnalla ohjelma mallintaa halutun objektin vain valitun suorakulmaisen ikkunan sisälle (kuva 6) ja mallinnettava alue tai osa alueesta täytyy olla valittuna valintaikkunan sisälle.



Kuva 7. *Fence*-komento sylintereiden tunnistuksessa. Vasemmalla alue mihin tunnistus halutaan tehdä, oikealla ohjelman luoma keskilinja putkelle.

Koska älykästä mallia tehdessä täytyy putkistot aina mallintaa Plant 3D:n grafiikalla, voidaan valintaikkunasta jättää sylinterigrafiikat mallintamatta ja mallintaa pelkät keskilinjat putkille.



Kuva 8. Mallinnusprosessi Cloudworxilla. 1. keskilinjat 2. Keskilinjojen yhdistäminen *Connect*-komennolla 3. Keskilinjain muuttaminen älykkääksi putkeksi *line to pipe* -komennolla.

Kun mallinnettava putkilinja on rajattu, mallinnetaan ensimmäiseksi keskilinjat suorille osuuksille. Keskilinjat yhdistetään *connect*-komennolla yhtenäiseksi linjaksi, joka räjäytetään *explode*-komennolla. Räjäytyksen jälkeen keskilinja muuttuu 3D-polylineksi, joka voidaan muuttaa *line to pipe* -komennolla älykkääksi putkimalliksi. *Connect*-komento on erittäin hyödyllinen toiminto sillä se säästää suunnittelijalta aikaa, koska keskilinjaa ei tarvitse erikseen piirtää. Komento ei kuitenkaan aina toimi, mikäli ohjelma ei tunnista putken muotoa kahden yhdistettävän kohteen välillä. Esimerkiksi jos putkilinja kulkee seinän läpi, pistepilvi on epätarkka tai linjassa on putkivarusteita, jotka hajottavat sylinterimäisen muodon. Jos keskilinjaja ei saada yhdistettyä, putkilinjat yhdistetään manuaalisesti. Räjäytyksen jälkeen keskilinjasta jää mittatiedot ja sylintereidän ääriviivat näkyviin, ja ne pitää poistaa mallinnuksen loppuksi.

#### Hyvät puolet

Rajauksia tehdessä kaikki rajaukset tallentuvat ohjelman rajauskirjastoon, josta pääsee tarkastelemaan sekä muokkaamaan kaikkia tehtyjä rajauksia. Rajaukset säilyvät myös, vaikka ohjelma suljettaisiin, sillä Cloudworx luo erillisen tiedoston projektille. Ohjelmaa avatessa edellisen kerran rajattu ja tallennettu rajausnäkyvä tulee automaattisesti näkyviin. Tämä nopeuttaa työtä, sillä rajauksia ei aina tarvitse tehdä uudestaan silloin kun

ohjelma avataan uudelleen. Rajauksia pystytään myös liikuttelemaan mallissa, eli aina uuden alueen mallintamiseen ei tarvita uutta rajausta, vain pistepilven liikuttamisen alueelle. Ohjelma tunnistaa erittäin hyvin sylinterimuotoja ja teräsrakenteita. Putkien tunnistamisessa on erittäin hyödyllistä, että *pick points* -komennolla ohjelma piirtää keskilinjan koko suoran putken osuudelle, kun suorasta kohdasta valitaan vain yksi piste. Komennot pysyvät myös aktiivisena, mikä nopeuttaa työskentelyä silloin kun komentoa ei tarvitse aktivoida aina jokaisen tunnistuksen jälkeen. *Connect*-komento on erittäin hyödyllinen putkilinjoissa, joissa on tiheästi käännöksiä, eikä erillistä keskilinjaa tarvitse piirtää. Mahdollisuus teräsrakenteiden tunnistamiseen ja mallintamiseen on hyödyllistä, ja komennot toimivat hyvin. Ohjelman luomat grafiikat putki- ja teräsmallinnuksessa ovat Autocadin natiivia 3D-solid-grafiikkaa, joka on kevyttä ja kohtalaisen helposti muokattavissa. Olisi kuitenkin hyödyllisempää, jos ohjelman luomat sylinterit ja grafiikat olisivat parametrisia.

#### Huonot puolet

Vaikka rajaustoiminnot ovat kehittyneempiä ja toiminnallisesti parempia kuin FARO As-Builtissa olisi niissä varaa kehittyä. Rajauslaatikoiden kokoa ei pysty helposti muokkaamaan ilman uuden rajauksen tekoa. Kaikkia toimintoja ei pystytä käyttämään ReCaptiedostomuodossa eikä ohjelma ole yhteydessä bubbleview-näkymiin. Joissakin tiedostomuodoissa isojen pistepilvien käsittely saattaa osoittautua liian raskaaksi. Tähän auttaa Leican JetStream-ohjelman hyödyntäminen, mutta se lisää lisenssikustannuksia. Pistepilvi ei ole yhteydessä bubbleview-näkymiin, mutta kameran voi asettaa mallinnusohjelmassa keilaimen paikalle. Toiminto ei kuitenkaan osoittautunut hyödylliseksi. Ohjelmassa ei ole erillisiä mittaustyökaluja ja mitat täytyy lukea erikseen ohjelman piirtämistä grafiikoista tai apuviivoista. Sylintereitä mallinnettaessa voidaan valita, esittääkö ohjelma sylinterin mitan mallinuksen kanssa luomalla erillisen mittatietografiikan sylinterin viereen. Kun mittatieto on saatu selville, mittatietografiikat poistetaan manuaalisesti. Ohjelman tarkkuus sylinterimallinnuksessa ei ole samaa luokkaa vertailtavien ohjelmien kesken silloin kun käytetään *pick points* -toimintoa, joka sovittaa mahdollisimman pitkän yhtäjaksoisen sylinterin mallinnettavan putken keskilinjalle. Tarkkuus on kuitenkin riittävä, varsinkin kohteissa missä luodaan vain pintamalla. *Fence*-komennolla tarkkuus on hyvä, mutta mallinnus on hieman hitaampaa.

## 4.2 Aveva LFM server

LFM server on Avevan tuottama pistepilvien prosessointi ja muokkaustyökalu. Se on suunniteltu teollisuuden, laitosten ja putkimallien mallintamisen avuksi. Ohjelmalla pystyy katselmoimaan pistepilviä ja sisältää ominaisuudet mittauksille, pistepilven rajaukselle, muokkaukselle sekä näkymät bubbleview-toiminnoille. Ohjelma on yhteensopiva Autodesk Plant 3D:n kanssa. LFM server on erillinen ohjelma, jossa pistepilveä voidaan katselmoida. Pistepilvi saadaan näkyviin mallinnusohjelmaan erillisen linkin kautta, joka on yhteydessä LFM serverin näkymään. Pistepilven rajausta tapahtuu LFM serverin puolella ja näkymä päivittyy aina jokaisen rajauksen jälkeen, kun linkki ohjelmien välille on luotu. LFM serverin hyviä puolia ovat erittäin hyvät pistepilven rajausta- ja navigointitoiminnot, mutta muissa ominaisuuksissa ohjelma ei tarjoa yhtä tehokkaita työkaluja.

### Toiminnot

Täysin mallintamiseen tarkoitettuja toimintoja LFM server ei tarjoa kuin yhden, joka on sylinterimuodon tunnistus ja grafiikan luonti tunnistettuun kohteeseen. Komentojen toiminnalle ei ole selkeää ohjeistusta tai esimerkkejä, mutta toiminta on selitetty ohjelman oppaassa. Koska pistepilveä ei ladata Plant 3D:hen ReCap-projektina, Autodeskin omat toiminnot pistepilviin eivät toimi LFM serverin kanssa. LFM server ei myöskään pysty hyödyntämään omia toimintoja Recap projektien kanssa.



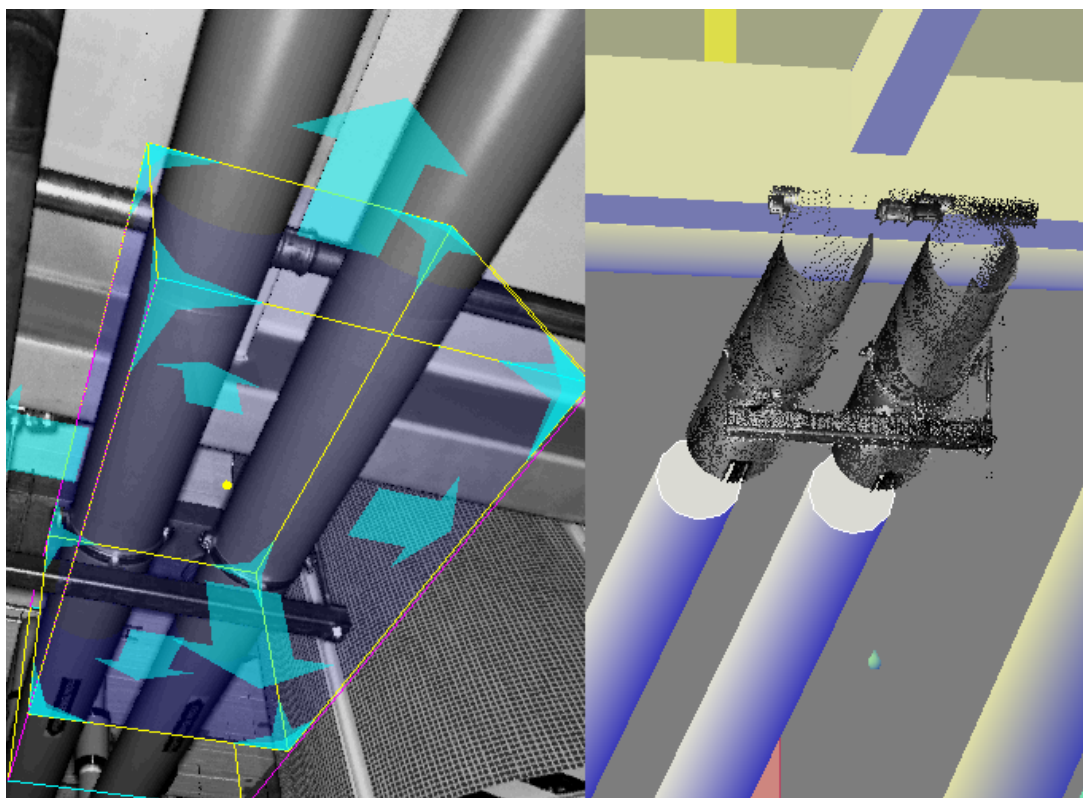
Kuva 9. AVEVA LFM serverin mukana tulevat työkalut pistepilven mallinnukseen ja tarkasteluun Plant 3D:ssä

Ohjelma tarjoaa erilaisia toimintoja, varsinkin tarkasteluun, mutta nämä ei hyödytä suuresti mallinnusprosessia. Tarkastelua hyödyttäviä toimintoja on esimerkiksi Plant 3D mallin lataaminen LFM serverin puolelle, jolloin kaikki plant-grafiikat näkyvät pistepilvessä. Ohjelmassa on myös ominaisuudet törmäystarkastelulle ja pinta-analyysille. Pinta-analyysijä voi käyttää esimerkiksi lattian kaltevuuden tai pinnanmuodon tarkasteluun. LFM serverin puolella hyödyllisiä toimintoja on mittaustyökalut, joilla voi esimerkiksi mitata putken halkaisijoita tai etäisyyksiä.



## Mallinnus

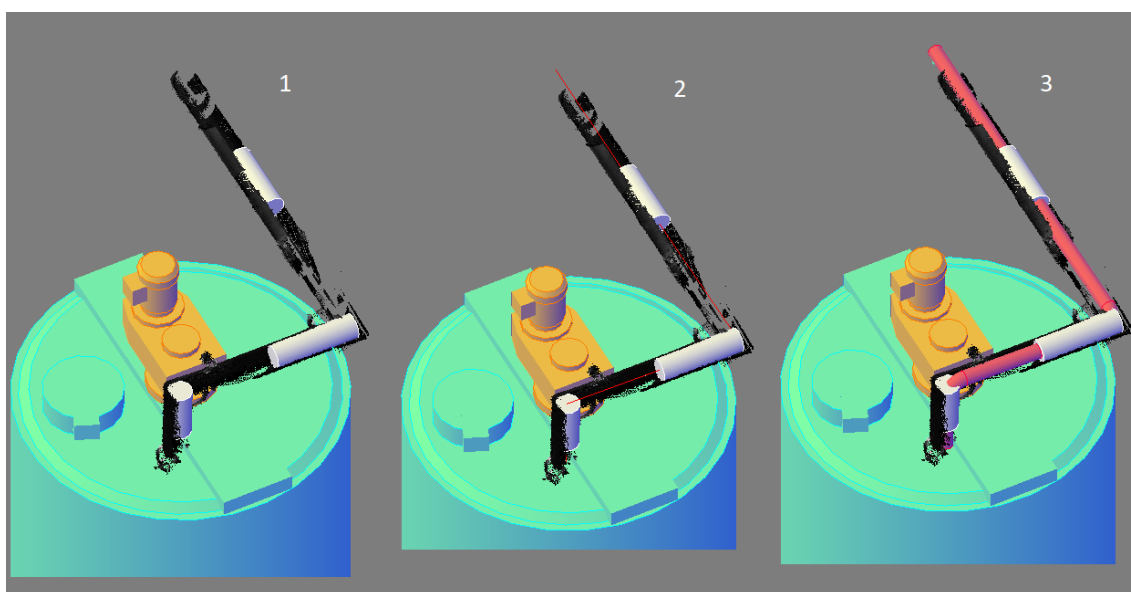
Mallinnusprosessi putkilinjan mallintamiselle on hyvin yksinkertainen. Kun molemmat ohjelmat on käynnistetty ja linkki luotu näiden välille mallinnus voidaan aloittaa. Ohjelma ja pistepilviprojektit aukeavat nopeasti sekä toimivat sulavasti. LFM serverin puolella siirrytään alueelle, joka halutaan mallintaa ja valitaan *select volume* -komennolla kolmiulotteinen laatikko haluttavan mallinnusalueen ympärille (kuva 10).



Kuva 10. Vasemmalla mallinnettava alue valittu LFM serverin puolella. Oikealla vastaava näkymä Plant 3D:stä.

Kaikki alueen sisälle jäävät pisteet tulevat näkyviin plant 3D-mallinnusnäkyvässä, kun linkin yhteys on päivitetty. Seuraavaksi putken kohdalle sovitetaan sylinteri *lmmfitpipe* -komennolla valitsemalla kaksi pistettä halutusta putkesta. Sylintereitä tehdään halutun tarkkuuden mukaan mallinnettavan putkilinjan varrelle 0,5–20 metrin välein. Jokaisen suunnanmuutoksen ja putkivarusteen jälkeen olisi hyvä tehdä sylinteri, riittävän tarkkuuden ylläpitämiseksi. Ohjelma piirtää pintamallin (sylinteri) valittujen pisteiden väliin. Putket ovat usein eristettyjä, jolloin ohjelman tuottama sylinteri ei ole todellinen

putken ulkohalkaisija. PI-kaavioihin on merkitty putkiston todellinen nimelliskoko, joiden mukaan putket mallinnetaan käyttäen sylintereitä apuna. Jos PI-kaaviota ei ole saatavilla tai se ei ole ajan tasalla, joudutaan pistepilvestä etsimään eristämättömiä kohtia tai tekemään kenttäkäynti nimelliskoon selvittämiseksi. Ohjelman tunnistamat ja tuottamat sylinterit toimivat putken mallintamisen apuviivoina, joita käytetään älykkään putkiston reitityksessä. Kun sylinterit on mallinnettu, ne yhdistetään yhtenäisellä viivalla (polyline) joka kuvaa putkilinjan keskiliinjaa. Keskiliinja muutetaan komennolla *linetopipe*-halutuksi älykkääksi putkilinjaksi. Lopuksi sylinterit poistetaan.

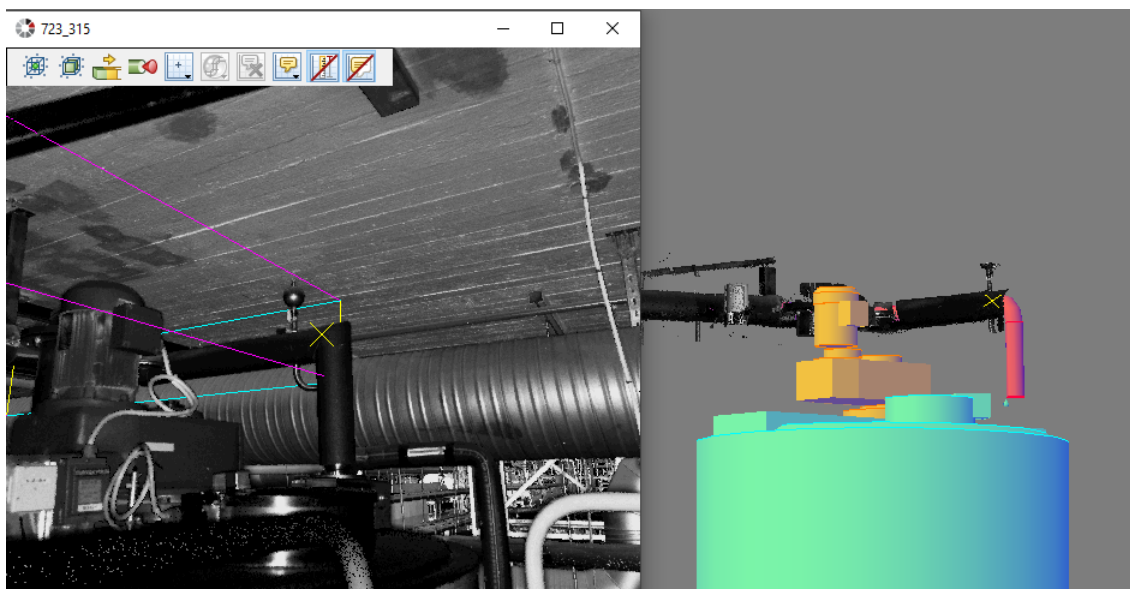


Kuva 11. Mallintamisprosessi LFM serverillä ja Plant 3D:llä pistepilvestä älykkääksi malliksi. 1. sylinterit 2. keskiliinja 3. keskiliinja älykkääksi putklinjaksi.

### Hyvät puolet

LFM serverin hyviä puolia on erittäin hyvät navigointi- ja rajaustoiminnot. Rajaus on nopeaa, helppokäyttöistä ja tehtyjä rajauksia on helppo tarkastella sekä muokata bubbleview-näkymästä tai 3D-pistepilvestä. (kuva 10). Rajauksen koon muuttaminen *adjust*-komennolla on myös erittäin hyödyllinen toiminto. Bubbleview-näkymissä on helppo liikkua skannausnäköistä toiseen tai 3D-näkymästä valita haluttu skannaus tarkasteltavaksi tarkemmin. Rajaukset on helppo muokata Bubbleview-näkymistä, jolloin suunnittelija on paremmin perillä tehtaasta ja mallinnettavasta ympäristöstä. Suuretkin pistepilvet toimivat sulavasti, eikä erityisen suurta hidastelua tai toimintojen lataamista tarvitse

odotella. *Point in bubble* -toiminto on myös toimiva ja hyödyllinen tapauksissa, jossa pistepilvi ei ole kovin tarkka ja kohde halutaan nopeasti löytää tarkasteluun bubbleview-näkymästä. Toiminto avaa valitusta koordinaatista bubbleview-ikkunan näkyviin. (kuva 12)



Kuva 12. "Point in bubble" avaa halutusta pisteestä bubbleview-ikkunan ja osoittaa Autocad-koordinaattia vastaavan sijainnin näkymässä.

Koska pistepilvi on näkyvissä erillisessä ikkunassa LFM server -ohjelmassa, joka on huomattavasti paremmin optimoitu pistepilvien käsittelyyn kuin Autocad. Ohjelma ei vaadi niin paljon laskentatehoa tietokoneelta ja käyttö on sulavampaa. Kuitenkin pistemäärän lisääntyessä suoritusteho, pistepilven tiheys ja FPS (Frames Per Second) puutoavat merkittävästi Autocadissa. LFM server ei vaadi järjestelmältä niin paljon keskusmuistia kuin vastaavat ohjelmat.

#### Huonot puolet

LFM server ei tarjoa yhtä monipuolisia työkaluja mallintamiseen kuin muut vertailtavat ohjelmat. Ainoa mallintamista helpottamaan luotu työkalu on sylinterin muodon tunnistaminen. Rakenteiden ja laitteiden mallintaminen onkin työläämpää LFM serverillä. Tunnistaminen tapahtuu manuaalisesti kahden eri pisteen välille, eikä ohjelma sisällä automatisoituja toimintoja. Ohjelma on myös erittäin tarkka toleransseista, joten

huonolaatuisen pistepilven tai epäsäännöllisen putken mallintaminen voi tuottaa haasteita. Rajatun alueen koon kasvaessa pistepilven tiheys laskee huomattavasti sekä FPS laskee tasolle, jossa työskentely hankaloituu huomattavasti. Jos putkessa on esimerkiksi lommo, taipuma tai kohinaa, tunnistaminen vaikeutuu. Joissain tilanteissa ohjelma ei mittaa tarkasti ja toistuvalla tarkkuudella kohdetta. LFM serverin katselupuolen navigointi, liikkuminen ja pistepilven 3D-katselmointiin käytettävät toiminnot ja komennot poikkeavat huomattavasti vastaavista Autocad- komennoista, ja varsinkin ohjelman käytön alkuvaiheessa käsittely voi tuottaa hankaluuksia, mutta ohjelmaa käytettäessä käyttäjä sopeutuu toimintojen erilaisuuteen.

Poikkeavaa on, että Aveva ei ole kehittänyt enempää toimintoja mallintamiseen, ja vertailtavien ohjelmien toiminnot mallinukseen ovatkin usein monin verroin kehittyneempiä. Vaikka ohjelma onkin hyvä, se paransi erittäin paljon, jos esimerkiksi automaattinen sylinterien luonti tai teräsrakenteiden tunnistus olisi mahdollista rajatusta pistepilvestä.

#### 4.3 FARO As-Built for Autocad

FARO Technologies on 3D-mittaus-, kuvaus- ja sovellusratkaisuja tarjoava yritys. FARO As-Built for Autocad on Autocadiin ladattava lisäosa joka tuo työkaluvalikkoja ja ominaisuuksia pistepilvestä mallinukseen. Ohjelman on alun perin kehittänyt saksalainen ohjelmistoyritys Kubit-, PointCloud- ja Pointsense- nimillä. FARO Technologies osti Kubitin toiminnot vuonna 2015 [13] ja näin ohjelmat siirtyivät FARO:n alaisuuteen sekä saivat uuden nimen, joista tuli nykyinen kokonaisuus. Kubitin jälkiin voi vieläkin törmätä koulutusmateriaaleissa ja lisäosaa käytettäessä.

As-Built ei tarjoa erillistä tarkasteluohjelmaa pistepilvelle ja pistepilven tarkastelu täytyy tehdä kolmannella ohjelmalla. Tarkasteluun on käytetty Autodeskin ReCap Pro -ohjelmaa. ReCap on hyvin samankaltainen LFM serverin kanssa poissulkien yhteys Autocadiin. ReCapissa voidaan tarkastella pistepilveä tarkemmin kolmiulotteisessa ympäristössä ja saada bubbleview-näkyymiin liitetyt kuvat näkyviin ja tarkasteltaviksi. Kolmiulotteiseen tarkasteluun rajaustoiminnot ovat kuitenkin huonot. Pistepilvi toimii myös huomattavasti sulavammin tarkasteluun käytettävissä ohjelmissa kuten ReCap, Leica Viewer tai LFM server. ReCapin huono puoli on se, että se ei ole missään yhteydessä Plant 3D:hen. As-Builtin lisenssin mukana tulee myös oikeus käyttää FARO:n VirtuSurv-

ohjelmaa, jossa on linkki CAD-ohjelmaan. Tämän hyödyt, käytettävyys ja tehokkuus eivät kuitenkaan osoittautuneet käytännöllisiksi. VirtuSurvin puolelta saadaan näkymään vain bubbleview-kuvat ja niistä linkittämään haluttu koordinaatti esim. venttiilin tarkasta sijainnista Autocadin puolelle.

## Toiminnot

FARO As-Built tarjoaa lukuisan määrän lisäosia eri tarkoituksiin. Ominaisuuksien hyödynnettävyys on kuitenkin rajallinen tehdasmallinnuksessa. Tärkeimpiä toimintoja ovat manuaalinen ja automaattinen sylintereiden tunnistus. Muita toimintoja ovat mm. *walk the run*-toiminto, joka pystyy automaattisesti rakentamaan ja tunnistamaan älykästä putkimallia pistepilvestä. Toiminto vaatii kuitenkin toimiakseen hyvin tarkan pistepilven, mallinnettava putki pitää olla eristämätön tarpeeksi tehokkaan mallintamisen saavuttamiseksi ja mallinnettavasta kohteesta täytyy löytyä oikea sekä oikeinrakennettu standardikirjasto, joka sisältää putkenosat ja varusteet. Vaikka toiminto olisikin hyödynnettävissä, osoittautui, että pelkästään käsin sylintereiden mallinnus ja keskilinjan piirtäminen on nopeampaa ja yksinkertaisempaa. Kuvassa 13 on näkyvissä putkistomallinnukseen käytettävät toiminnot.

As-Built tuo mukanaan monia eri moduuleita eri käyttötarkoituksiin, moduulit ovat

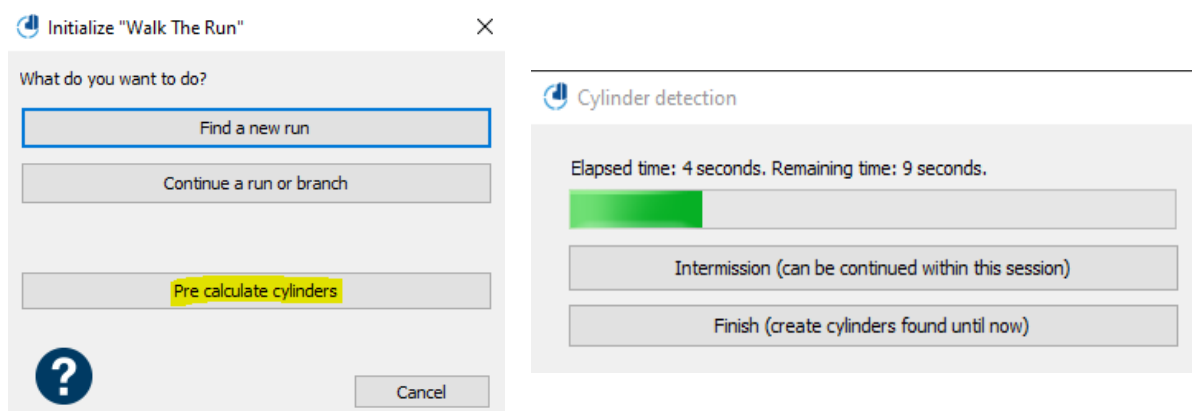
- Modeller, perusmallinnuksiin ja toimintoihin
- Analysis, pinta-analyysihin tarkoitettuja toimintoja
- Plant, putkistomallinnukseen liittyvät toiminnot
- Building plans, pohjapiirustuksia helpottavat toiminnot
- TS design, teräsrakenteiden mallinnukseen ja tunnistamiseen liittyvät toiminnot
- Photo, fotogrammetrinen kuvankäsittely.



Kuva 13. Plant-moduulin sisältämät toiminnot

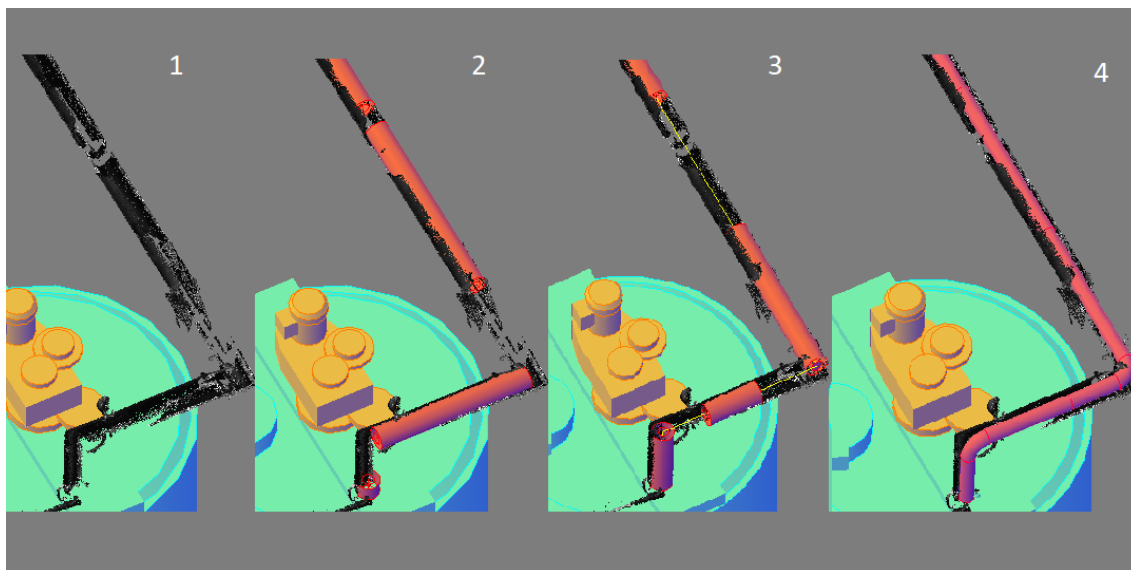
## Mallinnus

Pistepilvi tuodaan Autocadiin *insert*-komennolla .rcp-projektitiedostona, joka tuo koko pistepilven muokattavaksi Plant 3D-näkymässä. Putken mallintamiseen voidaan käyttää montaa eri tekniikkaa tai yhdistellä näitä. Työssä esitellään vain työn tekijän käyttökokeuksiin perustuen tehokkain mallinnusmenetelmä. Kun pistepilvestä on rajattu haluttu kohta mallintamista varten, voidaan automaattisesti mallintaa sylinterit kaikkiin pistepilvestä rajatun alueen sisällä esiintyviin sylinterin muotoisiin kappaleisiin. Algoritmiin perustuva sylinterimallinnus on alun perin tehty *walk the run* -toimintojen nopeuttamiseen putkimallinnuksessa, mutta kysestä toimintoa ei ole huomattu nopeammaksi kuin manuaalisesti mallintaen perustuen automaattisesti mallinnettuihin sylintereihin. Sylinterin mallinnetaan *walk the run* -komennon alta aukeavasta ikkunasta (kuva 14) *pre calculated cylinders* -toiminnolla.



Kuva 14. FARO As-Built *Walk The Run* -komennon valintalaatikko.

Ohjelma mallintaa kaikkiin sylinterin muotoisiin kappaleisiin sylinterit perustuen algoritmiin, jonka parametreja voidaan muuttaa. Kaikki sylinterit tallentuvat ohjelman luomalle uudelle tasolle As-Built Cylinder. Oletusarvona taso on piilotettuna, ja se saadaan näkyviin poistamalla piilotus taso-valikosta. Kun sylinterit on mallinnettu, täytyy malli siivota, sillä ohjelman luomissa sylintereissä on paljon epätarkkuuksia ja sopivan keskilinjan löytäminen voi olla haastavaa. Tästä eteenpäin mallinnus on hyvin samankaltaista kuin LFM serverin kanssa. Putkilinjojen keskilinjat piirretään perustuen mallinnettujen sylintereiden keskinjaan ja lopuksi keskilinja muutetaan halutuksi älykkääksi putkeksi.



Kuva 15. 1. Mallinnettava putki rajattuna. 2. Pistepilveen automaattisesti sovitettut ja luodut sylinterit. 3. Keskilinjän sovittaminen 4. Keskilinja muutettuna älykkääksi putkimalliksi.

#### Hyvät puolet

Automaattinen sylintereiden tunnistaminen nopeuttaa huomattavasti työskentelyä mallintaessa putkilinjoja. Automaattisesti lasketut sylinterit ovatkin ohjelman parhaita ominaisuuksia. Ohjelma myös tunnistaa hieman paremmin muotoja eikä välitä niin paljon epätarkkuuksista tai väljästä pistepilvestä kuin LFM server, säilyttäen silti hyvän tarkkuuden. Eristämättömillä putkilinjoilla ja oikein rakennetulla standardikirjastolla myös ”walk the run” komennot ovat toimivia, ja pienen opettelun jälkeen älykäs putkimalli voi olla hyvinkin nopeasti valmis. Ohjelma tarjoaa myös lukuisan määrän eri toimintoja ja niistä voi olla hyötyä joissain tilanteissa. Esimerkiksi tasojen, seinien ja muotojen tunnistamiseen sekä mallintamiseen on tehty työkaluja työskentelyn helpottamiseksi. FAROn ohjelma voisi olla varteenotettava kilpailija esimerkiksi rakennusten pohjapiirustusten luomiseen pistepilven pohjalta.

#### Huonot puolet

Suurimpia esteitä on erittäin huonot pistepilven rajaustoiminnot. Ladattu pistepilvi tulee kokonaisuudessaan näkyviin mallinnusikkunaan, ja pilvestä täytyy rajata haluttu putki näkyviin. Komennot rajaavat vain yhden akselin suuntaisesti haluttua aluetta, eli aluetta täytyy rajata monesta eri suunnasta ja mallia käännettä useita eri kertoja ennen kuin



mallinnettava putki saadaan näkyviin. Rajauksia voidaan tallentaa, mutta rajausten ko-koa ei voi muuttaa. Eli kun siirrytään työskentelyalueelta toiselle, kaikki rajauskomennot täytyy tehdä uudestaan ja tämä vie suunnittelijan aikaa. Toiminta on ikään kuin päinvas-taista verrattuna LFM serveriin, jossa pistepilvestä tuodaan vain haluttu alue valmiiksi rajattuna Plant 3D-näkymään. Rajaustoimintoja hidastaa myös huomattavasti pistepilven suuri tiedostokoko ja järjestelmävaatimukset. Jo yli muutaman kymmenen keilauksen projektit tuottavat vaikeuksia ohjelmalle ja tämä on suuri ongelma, sillä pistepilvet teh-dasmalleista sisältävät usein satoja eri keilauksia. Opinnäytetyössä käytetyn aineiston pistepilvet sisältävät noin 100–500 keilauksen tiedot. Varsinkin rajaustoimintoja käytet-täessä ja suuren pistepilven ollessa näkyvissä ohjelma hidastuu merkittävästi. Ohjelmaa ei siis ole tarkoitettu näin suurien pistepilvien käsittelyyn. As-Built käyttää myös tietoko-noon keskusmuistia merkittävästi enemmän kuin LFM server, ja tämä voi näkyä joissain muissa toiminnoissa pidempinä latausaikoina ja hidasteluna.

FARO As-Built ei ole linkitettyä erikseen pistepilven katseluintiohjelmaan ja se tarkoit-taa, ettei esimerkiksi haluttua aluetta pääse tarkastelemaan muualla kuin Plant 3D-nä-kymässä. Koska As-Built ei ole kovin hyvin optimoitu isoille projekteille, rajatun alueen tarkastelu olisi tehokkaampaa tehdä ohjelmassa, joka kykenee sulavasti käsittelemään pistepilveä. Koska pistepilvi ei ole linkitettyä bubbleview-näkymiin, tämä hankaloittaa hieman ohjelman käyttöä.

## 5 Vertailu

Tärkeimmät vertailtavat alueet ovat keskeisiä tehokkaan työskentelyn saavuttamiseksi. Rajaus on yksi tärkeimmistä, mutta ohjelma ei ole pätevä, mikäli se on huono sylinterei-den tunnistamisessa. Rajauksien tekeminen vie huomattavan osan suunnittelijan käyt-tämästä ajasta, ja sen takia rajauksien sulava toiminta on oleellista ohjelmaa valittaessa. Riippuen kohteesta voi hyvälle rajaustoiminnoille olla enemmän tarvetta. Esimerkiksi si-sätiloissa sijaitsevia putkia mallintaessa täytyy aina seinät, lattia ja katto rajata pois. Oh-jelman kyky tunnistaa putkilinjoja pistepilvestä on lähes yhtä tärkeää kuin toimivat ra-jaustoiminnot. Mitä enemmän putkilinjojen tunnistaminen on automatisoitu, sitä tehok-kaampaa työskentely on. Manuaalisesti piirretyt sylinterit ja keskilinjat ovat hitaita ja



työläitä vaiheita mallinnuksessa. Vertailuun vaikuttaa oleellisesti myös ohjelman käyttökokemus ja muut toiminnot.

## 5.1 Rajaus-toiminnot

### LFM server

LFM serverin rajuustoiminnot eroavat suuresti vertailtavista kahdesta muusta ohjelmasta. Rajauksien luominen ja muokkaaminen on ohjelman vahvimpia kilpailuetuja. Toiminnot ovat toimivia ja helppokäyttöisiä ja lisää tehokkuutta tuo se, että rajauksia voi tehdä suoraan mallinnettavan alueen bubbleview-näkymästä, jolloin kuvanlaatu on erittäin selkeä ja suunnittelija saa hyvän kuvan suunniteltavasta ympäristöstä. Yksittäisen linjan tai laitteen löytäminen ja rajaaminen mallinnusta varten toteutuu LFM serverillä erittäin tehokkaasti, eikä erillistä katselmointiohjelmaa tarvita. Rajaus ja navigointitoiminnot sekä niiden sulava toiminta bubbleview-näkymien kanssa ovat vertailtavia ohjelmia parempia.

### FARO As-Built

As-Builtin rajuustoiminnot ovat selkeästi huonoimmat vertailtavista ohjelmista. Rajauksien tekeminen vaatii monta eri työvaihetta, koska ohjelma ei tarjoa 3D-rajaustyökaluja. Rajauksia pystyy tekemään vain kahden pisteen väliin muodostettavalla suorakulmiolla tai ympyrällä eli toiminnot jättävät aina yhden koordinaatistoakselin rajaamatta. Rajaukset täytyy tehdä aina lähes alusta silloin kun halutaan siirtyä mallinnettavalla alueella.

### Cloudworx

Erona As-Builtiin Cloudworxin rajuustoiminnot ovat kolmiulotteisia. Rajausperiaatteet ovat muuten hyvin samankaltaisia. Mallinnettava alue rajataan suorakulmaisen laatikon sisälle ja työkalu poistaa ulkopuolelle jäävät pisteet. Rajaukset tallentuvat projektiin ja *slice*-komennolla tehtyjä rajauksia voi liikutella akselien suuntaisesti. *Slice*-komentojen nopea liikuteltavuus on etu LFM serveriin nähden, mutta muuten rajuusten tekeminen on hieman hitaampaa. Etuna on myös se, että rajuusnäkyvä aukeaa samasta kohdasta

mihin ohjelma edellisellä tallennuksella jäi, joten uusia rajoituksia ei aina ohjelman ava-  
tessa tarvitse tehdä.

## 5.2 Sylintereiden tunnistaminen

### LFM server

LFM server ei tarjoa minkäänlaista automatisoitua vaihtoehtoa mallinnettaviin sylinterei-  
hin. Sylintereitä voidaan mallintaa vain kahden eri pisteen välille pistepilvestä. Komento  
ei pysy aktiivisena, ja jokaisen sylinerin jälkeen komento täytyy aktivoida uudestaan. Sy-  
linterien mallintaminen onkin hitainta verrattuna muihin ohjelmiin. Tarkkuus on paras  
verrattuna muiden ohjelmien automaattisiin toimintoihin. Manuaalisesti mallinnettavien  
putkien tarkkuus kaikilla ohjelmilla on erittäin hyvä. Sylintereiden tunnistamisessa on  
huonoa se, että toleransseja tarkkuudelle ei voi muuttaa ja ohjelma tarvitseekin hyvän  
pistedatan ja selkeät sylinterimuodot mallinnuksen onnistumiselle. Hyvää on, että mal-  
linnettavat sylinterit ovat autocadin sylinterigrafiikkaa ja parametrisia toisin kuin muilla  
ohjelmilla oletuksena.

### FARO As-Built

As-Built tarjoaa monta eri vaihtoehtoa putkimallinnukselle. Eri tekniikoita käytettäessä  
huomattiin kuitenkin nopeasti, että nopein tekniikka on joko identtinen LFM serverin  
kanssa tai käyttää hyväksi automaattisesti tunnistettuja sylintereitä. Automaattisessa  
tunnistuksessa oli kuitenkin paljon epätarkkuuksia eivätkä hyödyt olleet kovin suuria tai  
niitä ei ollut laisinkaan. Vaikka *Walk The Run* -komennot toimisivatkin erittäin hyvin, mal-  
linnus on silti kohtalaisen hidasta ja manuaalista eikä tuo merkittävää hyötyä.

### Cloudworx

Sylintereiden tunnistaminen eroaa selkeimmin muista vertailtavista ohjelmista ja se on  
Cloudworxin parhaimpia ominaisuuksia. Ohjelma tunnistaa hyvin muodot ja vaihtoehtoja  
mallinnettaville objekteille sekä toleransseja tarkkuudelle pystytään muokkaamaan. *Pick  
Points* -toiminnolla ohjelma mallintaa keskilinjan yhdellä klikkauksella koko suoralle put-  
kiosuudelle ja komento pysyy aktiivisena, mikä nopeuttaa työskentelyä erittäin paljon.

Ylimääräisiä keskilinjoja ei tarvitse piirtää erikseen, sillä ohjelman mallintamat keskilinjat voidaan muuttaa 3D-polylineksi ja siitä eteenpäin älykkääksi putkeksi. *Pick Pipes* -toiminnolla tarkkuus ei kuitenkaan ole aivan muiden ohjelmien tasolla, mutta täysin riittävä.

### 5.3 Muut ominaisuudet

#### LFM server

LFM server tarjoaa hyvin suppeasti ominaisuuksia mallinnuksen avuksi. Muita työkaluja mallinnukseen sylintereiden tunnistamisen lisäksi ei ole. Mittaustyökalut ja bubbleview-näkymät ovat erittäin hyödyllisiä varsinkin kohteissa, joista ei ole saatavilla pistepilven lisäksi muita tietoja.

#### As-Built

As-Built tarjoaa selkeästi eniten ominaisuuksia, mutta toimintojen hyöty yritykselle ei ole merkittävä. Ominaisuudet toimivan rajauksen ja putkimallinnuksen lisäksi olisivat hyödyllisiä, ja niitä voisi hyödyntää joissain tapauksissa, mutta tärkeimpien toimintojen huono suorituskyky ei korjaa tilannetta As-Builtin hyödyksi.

#### Cloudworx

Hyödyllisimpiä toimintoja putkimallinnuksen lisäksi on erittäin hyvin toimiva teräsrakenteiden automaattinen tunnistus ja mallinnus. Tälle ominaisuudelle JETS:illä voisi olla käyttöä tulevaisuudessa. Ohjelmalla pystytään myös jonkin verran mallintamaan tasaisia pintoja sekä pohjapiirustuksia.

## 6 Vertailun tulokset

Ohjelmia vertaillessa saatiin nopeasti selville, kuinka tärkeää on nopea yhteensopivuus mallinnettavan alueen ja bubbleview-näkyvien välille. Pistepilvi on harvoin niin tarkka, että yksittäisen putkivarusteen tai laitteen mallin ja tyyppin voisi päätellä pelkän pistepilven perusteella, joten näissä tilanteissa kohdetta joudutaan tarkastelemaan aina bubbleview-

näkymästä, josta tunnistaminen on selkeämpää. Lisäksi usein rajatun alueen tarkastelu 3D-näkymässä on hyödyllistä. Tämä onnistuu myös Plant 3D:ssä, mutta silloin pistepilvi on jo mallinnetun grafiikan keskellä, mikä voi vaikeuttaa tarkastelua. Tarkasteltavan pistepilven ympärillä olevien objektien piilottaminen tehokkaasti on työlästä.

Putkistomallinnuksen näkökulmasta tärkeimpien komentojen toiminnallisuus As-Builtissa ei ollut vertailtavien ohjelmien tasolla. Varsinkin rajaustoimintojen käyttö verrattuna lähes identtiseen mallinnusprosessiin LFM serverin kanssa oli työläämpää. Ohjelmaa ei ole suunniteltu yhtä suurille aineistoille, mitä yrityksellä oli käytössä, mikä tuotti ongelmia suorituskyvyssä.

LFM serverin käyttö putkimallinnuksessa on aikaisemmin osoittautunut toimivaksi ja pärjäsi vertailussa hyvin. Varsinkin ohjelman rajaustoiminnot ovat erittäin hyviä. Muissa ominaisuuksissa, varsinkin putkimallinnuksen tehokkuudessa ja teräsrakenteiden tunnistuksessa, jota LFM:stä ei löydy, se ei pystynyt tarjoamaan samanlaista mallinnustehokkuutta kuin Cloudworx.

Cloudworx osoittautui ominaisuuksiltaan hieman LFM serveriä paremmaksi, varsinkin putkiston tunnistamisessa ja keskilinjojen piirroksessa. Lisäksi mahdollisuus teräsrakenteiden mallinnukseen osoittautui hyväksi ja tälle ominaisuudelle on tulevaisuudessa käyttöä yrityksessä. Vertailun ja käyttökokemusten perusteella seuraavaksi ohjelmaksi kokeillaan Leica Cloudworxia putkistojen mallinnuksessa pistepilvestä.

## 7 Yhteenveto

Pistepilvestä mallinnus on erittäin paljon aikaa vievä prosessi. Riittävän dokumentaation puute hidastaa myös prosessia huomattavasti, kun älykäs tieto halutaan syöttää malliin. Työssä huomattiin, että ohjelmien ja järjestelmän tehokkuudella on merkittävä rooli mallinnuksen nopeudessa sekä tarkkuudessa. Myös käsiteltävän pistepilven koko vaikuttaa ohjelmien nopeuteen. Varsinkin suurten pistepilvien kohdalla jokaisella vertailtavalla ohjelmalla oli vaikeuksia niin suuren datamäärän käsittelyssä. Olisi hyödyllistä, jos tulevaisuudessa toimitetut pistepilvet olisi jaettu useampaan osaan.

Ohjelmaa valittaessa on aina huomioitava tarkasti käyttötarkoitus. Ohjelmia olisi hyvä vertailla ja testata hyvissä ajoin ennen käyttöönottoa. Tällöin yrityksellä on selkeämpi tieto projektin suorittamisesta ja vaadittavista resursseista. Pintapuolinen tutustuminen ja vertailu ilman käytännön kokeilujaksoa ei tuota yleensä tarpeeksi tietoa ohjelman soveltuvuudesta haluttuun käyttötarkoitukseen. Ohjelmistoihin on saatavilla ilmaisia kokeilujaksoja ja koulutuksia, joita kannattaa hyödyntää.

Työn tavoitteena oli vertailla pistepilven mallinnukseen käytettäviä ohjelmia ja löytää tehokkaampi ratkaisu nykyisen ohjelman tilalle. Työn tavoitteeseen päästiin ja Leica Geosystems'in Cloudworx for Autocad todettiin ominaisuuksiltaan parhaimmaksi vertailtavista ohjelmista. Tuloksena saatiin myös lisää arvokasta tietoa ja osaamista älykkään mallin luomiseen pistepilvestä sekä tehokkaan toiminnan saavuttamiselle.

## Lähteet

- 1 Joala, V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Leica Oy. Verkkoaineisto <<https://docs.google.com/file/d/0B3MfAqwXowIN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGMylTIkOWUtNTQzMDIwZTI3NDVm/edit?hl=en&pli=1>> Luettu 15.8.2019
- 2 Laser scanning: Chapter 2 of 3 - How It All Works. Leica Geosystems. Verkkoaineisto <<https://www.youtube.com/watch?v=1IDO1UevAJI>> katsottu 2.9.2019
- 3 Laskerkailauspäivä, Leica Geosystem, Joala Vahur. 23.9.2019 Helsinki
- 4 Heikkinen, J. 2018. Neopoint, laserkeilaus tehdassuunnittelussa. Putkistosuunnittelu, luentoaineisto. 2019
- 5 Eklund, E. 2017. Toimitusjohtaja, JETS consulting Oy. Suullinen tiedonanto. 2.9.2019
- 6 Heikkinen, J. 2019. Toimitusjohtaja, Neopoint Oy. Suullinen tiedonanto sekä sähköpostikeskustelu. 2019
- 7 PSK Standardisointiyhdistys Ry. 2013. PSK 3402, Laserkeilauksen ja mallinnuksen hankinta teollisuudessa liitteinen.
- 8 Ngeo.fi, tuotteet, tähykset laserskannerille. Verkkoaineisto <<https://www.in-geo.fi/tuotteet.html?id=74/>> luettu 15.8.2019
- 9 Paulin, S. 2018. Neste engineering solutions. 3D plant design systems. Putkistosuunnittelu, luentoaineisto.
- 10 PSK Standardisointiyhdistys Ry. 1999. PSK 5821. Prosessikaavioiden ja sijaintia kuvaavien piirustusten laadinta CAD -järjestelmillä. 3 painos. 1999
- 11 Autodesk, Inc. AutoCAD Plant 3D Features. Verkkoaineisto. <<https://www.autodesk.com/products/autocad-plant-3d/features>>. Luettu 26.8.2017.
- 12 Profox Companies Oy. 2016. AutoCAD Plant 3D opetusmateriaali (yrityksen sisäinen materiaali).
- 13 FARO Expands Presence In Architecture, Engineering And Construction With Acquisition Of Kubit. Verkkodokumentti. <<https://www.FARO.com/news/FARO-expands-presence-in-architecture-engineering-and-construction-with-acquisition-of-kubit/>>. Luettu 10.10.2019

## Leica Cloudworx työaseman järjestelmävaatimukset

### MINIMUM SPECIFICATIONS

**Processor:** 2 GHz Dual Core processor or better

**RAM:** 2 GB (4 GB for Windows Vista or Windows 7)

**Hard disk:** 40 GB

**Display:** SVGA or OpenGL accelerated graphics card  
(with latest drivers)

**Supported operating systems:**  
Windows 7 (32 and 64 bit), Windows 8 & 8.1 (64 bit), Windows 10 (64 bit)

**File system:** NTFS

**Supported AutoCAD versions:** AutoCAD, Civil3D and Map3D 2010-2018

Support of RCP data: AutoCAD, Civil and Map3D 2015 and later.

### RECOMMENDED SPECIFICATIONS

**Processor:** 3.0 GHz Quad Core w/ Hyper-threading or higher

**RAM:** 32 GB's or more 64 bit OS

**Hard disk:** 500 GB SSD Drive

**Large project disk option:** RAID 5, 6, or 10 w/ SATA or SAS drives

**Display:** Nvidia GeForce 680 or ATI 7850 or better, with 2 GB's memory or more

**Operating system:** Microsoft Windows 7 – 64bit

**File system:** NTFS

**AVEVA LFM server suositellut järjestelmävaatimukset**

COMPONENT	RECOMMENDATION
<b>Processor</b>	Intel Core i7 Processor. 8MB cache 4/8 Cores
<b>Operating System</b>	Windows 10 Pro x64
<b>Memory</b>	DDR3 1600 MHz 8GB RAM 1600 MHz
<b>Graphics</b>	NVidia Quadro K2200 with 4GB of GPU memory
<b>Data Storage</b>	500GB SSD (Operating System & local project storage – if required)
<b>Network</b>	1GB Ethernet Card



## FARO As-Built järjestelmävaatimukset

### 2.1 System requirements

As-Built for AutoCAD 2019.0 requires:

#### Software

- AutoCAD 2017 to 2020
- the operating system according to the system requirements of the chosen AutoCAD version: Windows 7, 8, 8.1 or 10 (all 64bit).

#### Hardware

- Graphics card as recommended or certified by Autodesk(<http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/syscert?siteID=123112&id=18844534>),
- RAM at least 8 GB, better 32GB and more (depending on the size of the scan or photo projects)
- SSD for larger projects (swap file)
- 64bit processor at least 2.5 GHz, better 3-4 GHz and 4-8 cores

In order to be able to have the queries to a point cloud processed with high performance (e.g. selection of points within a prism) you should also make sure you have a high CPU performance