

Matias Rantanen

Laserkeilaus – pistepilvestä laitoksen älykkääseen malliin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kemiantekniikka

Insinöörityö

23.10.2017

Tekijä Otsikko	Matias Rantanen Laserkeilaus – pistepilvestä laitoksen älykkääseen malliin
Sivumäärä Aika	35 sivua 23.10.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kemiantekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Prosessitekniikka
Ohjaaja(t)	Toimitusjohtaja, Esa Eklund, JETS consulting Oy Lehtori Timo Seuranen
<p>Tässä opinnäytetyössä oltiin osana suurta laserkeilausprojektia, jonka pohjalta JETS consulting Oy tuottaa asiakkaan A prosessilaitoksen osasta älykkään 3D-mallin, sekä älykkäät PI-kaaviot alueeseen liittyen. Projektin älykäs malli sekä kaaviot toteutettiin Autodeskin ohjelmistoilla. Laserkeilauksen tuottaman pistepilvidatan tulkintaan käytettiin AVEVAn LFM Server -ohjelmistoa. Työssä pyrittiin tutustumaan projektin työvaiheisiin kattavasti ja pohtimaan erilaisia työskentelytapoja mallin toteuttamiseen asiakkaan vaatimusten mukaiseksi.</p> <p>Laserkeilauksen projektissa toteutti alihankkija B, jonka työskentelyyn tutustuttiin niin kentällä, kuin pistepilvidatan jatkokäsittelyvaiheessa. Alihankkija B tuotti projektissa myös laitoksen pintamallit laitteiden ja rakenteiden osalta. JETS consulting Oy:n osuus oli siis tuottaa älykäs malli asiakkaan prosessi- ja käyttöhyödykeputkistoista, sekä muuntaa alihankkijan mallintamat laitteet käytetyn laitossuunniteluun tarkoitettuun CAD-ohjelmiston laitteiksi, sekä kerätä älykkään mallin tuottamiseen tarvittavat tiedot putkistoista ja laitteista asiakkaan dokumenttien sekä kenttäkäyntien pohjalta. Älykkään laitospinnan on tarkoitus toimia asiakkaalle yleistyökaluna, esimerkiksi suunnittelutöiden lähtötietona ja henkilökunnan koulutuksissa. Mallin pohjalta voidaan luoda myös useita tarkoituksia palvelevia 2D-piirustuksia.</p> <p>Opinnäytetyötä tehdessä huomattiin useita mallintamista ja tuotettavien mallien hyödyntämistä parantavia seikkoja. Mallissa käytettävien grafiikkamuotojen tulee olla CAD-ohjelmistolle tyypillisiä, jolloin kaikkia sen ominaisuuksia pystytään hyödyntämään. CAD-tiedostojen tiedostokoolla on suuri merkitys niiden suunnittelukäytön sujuvuudelle, joten ratkaisua todellisen näköisen, mutta kompaktin älykkään mallin välillä jouduttiin pohtimaan useassa kohtaa. Projekti jatkuu opinnäytetyön valmistuttua, mutta työn aikana saatiin valmiiksi useita kokonaisuuksia, joita katselmoitiin asiakkaan kanssa. Valmiita kokonaisuuksia myös hyödynnettiin työn aikana asiakkaan muutostyöprojekteissa hyvällä menestyksellä.</p>	
Avainsanat	Laserkeilaus, pistepilvi, älykäs malli, AutoCAD Plant 3D

Author Title	Matias Rantanen Laser scanning – from point cloud to a plant intelligent model
Number of Pages Date	35 pages 23 October 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Chemical Engineering
Specialisation option	Process Engineering
Instructor(s)	Esa Eklund, JETS consulting Oy, CEO, Partner Timo Seuranen, Principal Lecturer
<p>This thesis reviews a large laser scanning project in which JETS consulting Oy produced intelligent piping and equipment model of a customer A's process plant, based on laser scanning data. JETS consulting Oy's work also included producing intelligent P&I diagrams from the project area. Intelligent model and P&I diagrams were implemented with Autodesk's software products and the point cloud data was processed with AVEVA's LFM Server software. The thesis focused on exploring the stages of this project as comprehensively as possible and to consider different working methods to implement the intelligent model that meets the customer's requirements.</p> <p>The laser scanning was carried out by subcontractor B, who introduced the work flow of laser scanning on the field as well as the point cloud preparation stage for this thesis. The subcontractor also produced surface models of the plant's process equipment and structural frameworks. JETS consulting's part was to produce an intelligent model of the customer's process and utility piping and to convert subcontractor's surface models of process equipment to intelligent equipment models in the used CAD software. JETS consulting also collected all the essential information to implement the intelligent model. The information was collected from customer's documentation and by site visits. The intelligent model is meant to serve customer's needs in many purposes, for example as a platform for engineering and personnel training. It is also possible to produce all kinds of 2D drawings from the model.</p> <p>Improvements for modelling and usability of the models were noticed while working on this thesis. Graphic formats used for modelling should be native to the CAD software so that all its applications are usable. File size of the CAD files has a great effect on the fluency of model usage, so the balance between realistic looking and compact model had to be found. The project will continue after this thesis, although at the time several models were completed and reviewed with the customer. Completed models were also used with success in the customer's construction projects.</p>	
Keywords	laser scanning, point cloud, intelligent 3D model, AutoCAD Plant 3D

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Laserkeilaus	3
2.1	Pistepilvidata	3
2.1.1	Pistepilvidatan laatutekijät	4
2.2	Laitteistot ja menetelmät	9
2.2.1	Projektissa käytetyt menetelmät ja laitteet	10
2.3	Prosessi	12
2.4	Käyttömahdollisuudet	13
3	Älykäs 3D-malli	16
3.1	Yleistä	16
3.2	Älykkään mallin hyödyt	17
3.3	Laitossuunnittelun CAD-ohjelmistot	18
3.3.1	AutoCAD Plant 3D ja P&ID	19
3.3.2	Aveva LFM server	22
4	Älykkään mallin tuottaminen pistepilvidatasta	23
4.1	Työvaiheet	25
4.1.1	PI-kaaviot	26
4.1.2	Älykkään 3D-mallin tuottaminen	29
5	Yhteenveto	33
	Lähteet	34

1 Johdanto

Laserkeilaus on mittaustapa, jolla keilattavasta kohteesta saadaan mittatarkka kolmiulotteinen data eli pistepilvi. Eri teollisuudenalat ovat hyödyntäneet laserkeilausta aina 1990-luvulta asti. Erityisesti metsäteollisuudessa oltiin kiinnostuneita laserkeilaamisesta metsäinventointien työkaluna jo varhaisessa vaiheessa. Myöhemmin myös muut teollisuudenalat ovat alkaneet hyödyntää laserkeilausta erilaisiin käyttökohteisiin. Tässä työssä tullaan keskittymään prosessiteollisuuden laitoksesta tehtävään älykkääseen as-built malliin, joka toteutetaan laserkeilauksen perusteella. Projektin tilaajana toimii asiakas A. Älykkään mallin tarkoitus on palvella asiakkaan A tarpeita useilla osa-alueella. Tärkeimpiä sovelluksia älykkäälle mallille työn näkökulmasta tulevat olemaan erilaiset suunnittelutöissä käytettävät ominaisuudet, kuten uuden prosessiputkiston ja -laitteiston suunnittelu vanhan, olemassa olevan tuotannon sekaan. Aiheessa kiehtovinta on erityisesti sen uutuus ja rajattomat kehittämismahdollisuudet. Älykkään mallin kehittäminen asiakkaan käyttötarkoitusten mukaiseksi vaatii jatkuvaa keskusteluyhteyttä asiakkaan ja toteuttavien osapuolien kanssa. Yhteyttä tullaan pitämään projektin aikana sähköpostitse, projektialavereissa sekä kenttäkäynneillä.

JETS Consulting Oy on prosessi- ja laitossuunniteluun keskittynyt konsulttiyritys, joka tulee toimimaan opinnäytetyössä työnantajana, toimitusjohtaja Esa Eklundin johdolla. Projektin toteutus on jaettu useampaan yksittäiseen segmenttiin, joista osan toteuttaa alihankkija B. Työnjako JETS consultingin ja alihankkijan välillä tullaan sopimaan tarkasti ennen projektin alkua. Opinnäytetyön tavoite on opetella ja esitellä laserkeilatun laitoksen datasta tehtävää älykästä mallia, sen eri työvaiheita ja työskentelytapoja sekä ominaisuuksia. Jotta riittävän kattava kuva projektista kokonaisuutena saavutetaan, informaatiota työvaiheista kerätään alihankkijan toimintaan tutustumalla sekä projektiin liittyvien henkilöiden haastatteluilla.

Haasteellisin ja työläin osuus projektissa tulee olemaan älykkään mallin attribuuttitietojen kerääminen. Jotta lopputuloksesta saadaan tilaajan tavoittelema työkalu, tulee laitoksen olemassa oleville prosessi- ja käyttöhyödykelaitteistolle, sekä putkistolle paikkatietojen lisäksi asettaa mahdollisimman paljon saatavilla olevaa tietoa. Asiakkaan kannalta kiinnostavia tietoja ovat muun muassa putkistojen nimelliskoko ja materiaali, virtaavat aineet sekä laitteiden, kuten pumppujen ja säiliöiden tiedot. Tiedonkeruu toteutetaan vanhojen dokumenttien sekä kenttäkäyntien avulla.

Laitoksen prosessiputkisto ja -laitteisto tulevat olemaan älykkäässä mallissa keskiössä, joten opinnoissa kerrytetystä prosessituntemuksesta tulee olemaan suuri hyöty mallia rakennettaessa. Mallinnus tullaan toteuttamaan erilaisilla CAD-ohjelmistoilla, joihin koulun kattavilla kursseilla on ollut mahdollisuus tutustua. Käyttötarkoitukseen sopivan CAD-ohjelmiston tehokkaalla ja osaavalla hyödyntämisellä pystytään mallin rakentamisen kustannukset ja aikataulu pitämään kohtuullisina. Laserkeilauksen pohjalta tuotettujen älykkäiden mallien hyödyntämisen laitosten yleistyökaluna voidaan katsoa yleistyneen voimakkaasti 2010-luvulla. On erittäin mielenkiintoista ja hyödyllistä tulevien työtehtävien kannalta päästä mukaan vastaavaan projektiin.

Laserkeilauksesta löytyy paljon tietoa erilaisista lähteistä. Älykkään mallin rakentaminen pistepilvidatan pohjalta on kuitenkin vielä suhteellisen uusi aihe. Se kuitenkin koostuu käytännössä yhdistelmästä perinteisen mallintamisen työskentelytapoja. Työssä joudutaan yhdistelemään paljon eri lähteistä saatavilla olevaa informaatiota, sekä käyttämään projektin edetessä luotua materiaalia.

2 Laserkeilaus

2.1 Pistepilvidata

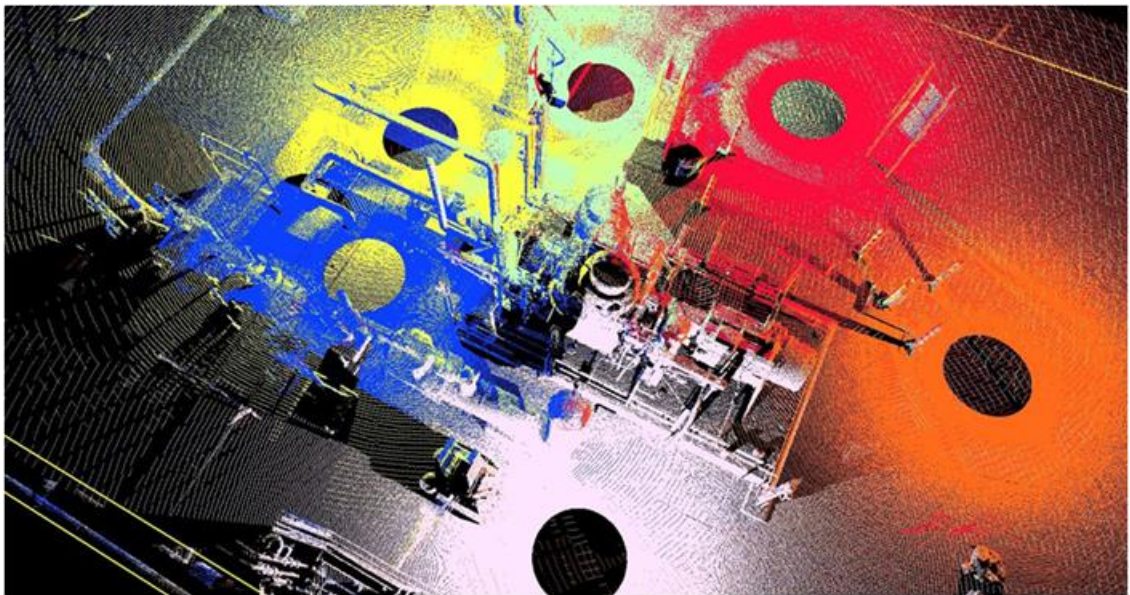
Laserkeilaus on mittaustekniikka, joka käyttää lasersäteitä mitoittamaan valitun kohteen kaikki dimensiot tarkasti. Laserkeilauksessa käytettävä mittalaite eli laserkeilain, lähettää lasersäteen mitattavaan kohteeseen, josta se heijastuu takaisin mittalaitteelle ja tallentuu pisteeksi. Jokainen laitteen lähettämä lasersäde muodostaa oman pisteen XYZ-koordinaatistoon. Laite mittaa palaavasta säteestä etäisyyden, kulmamuutoksen sekä säteen intensiteetin heikkenemän ja laskee niiden perusteella kunkin pisteen koordinaatit ja tallentaa ne keilaimen sisäiseen koordinaatistoon. (1.) Mittalaite lähettää automaattisesti säteitä säädetyllä mittausvälillä, joka on tarvittavasta tarkkuudesta riippuen 5–20 mm. Moderneilla laitteilla voidaan saavuttaa ± 1 mm:n tarkkuus. Tuloksena keilauksesta saadaan pistepilvidata, joka on keilaimen laskemista pisteistä muodostuva kolmiulotteinen kokonaisuus mitattavasta kohteesta (kuva 1). (2.)



Kuva 1. Pistepilven muodostuminen laserkeilauksessa (2).

Usein kohteen tarkka mittaaminen vaatii keilaamista useammasta suunnasta (kuva 2). Näin voidaan välttää katvealueiden syntyminen ja päästään parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen. Katvealueilla laserkeilauksen näkökulmasta tarkoitetaan lasersäteiden ulottumattomiin jääviä kohteita, jotka kuitenkin halutaan mitata. Kohde jää lasersäteiden ulottumattomiin usein johtuen laserin tulokulmasta, sekä mittalaitteen ja kohteen välillä

olevista fyysisistä esteistä. Useasta suunnasta keilaaminen vaatii aina mittalaitteen siirtämistä. Jotta useiden yksittäisten keilausten muodostamat pistepilvet voidaan sitoa samaan koordinaatistoon, tulee keilaus ympäristöstä löytää yksittäisille keilauksille yhteisiä pisteitä. Näiden pisteiden avulla yksittäiset keilaukset voidaan sitoa yhteiseen koordinaatistoon riippumatta keilauslaitteiston asennosta ja korkeudesta. (1.) Isot kokonaisuudet sidotaan vielä yhteiseen kiintopisteeseen, joka voi olla mikä tahansa kohde, esimerkiksi maaperässä, jonka tarkat koordinaatit tunnetaan. Kiintopiste on piste, josta datan jokainen piste on mitoitettu. Kiintopisteelle annettavat koordinaatit ovat aina $X=0$, $Y=0$ ja $Z=0$. Datan jokaisen pisteen koordinaatit ovat siis etäisyys kiintopisteestä avaruudessa. (2.)



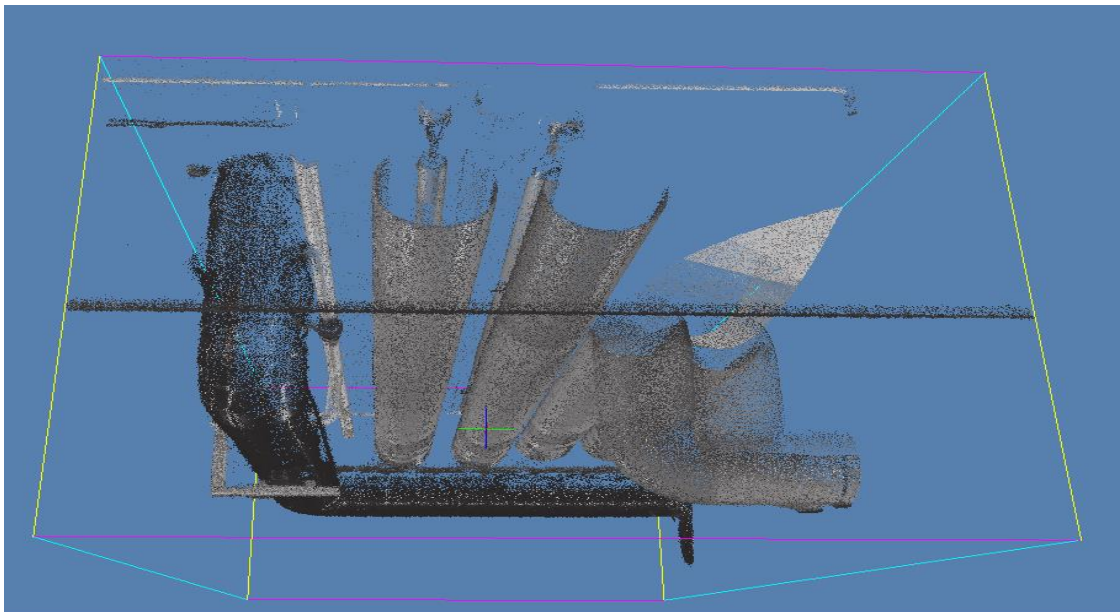
Kuva 2. Usean keilauspisteen laserkeilaus, jossa yksittäisen keilausten muodostama data värjätty (2). Kuvaa saa käyttää vain Neopoint Oy:n luvalla.

2.1.1 Pistepilvidatan laatutekijät

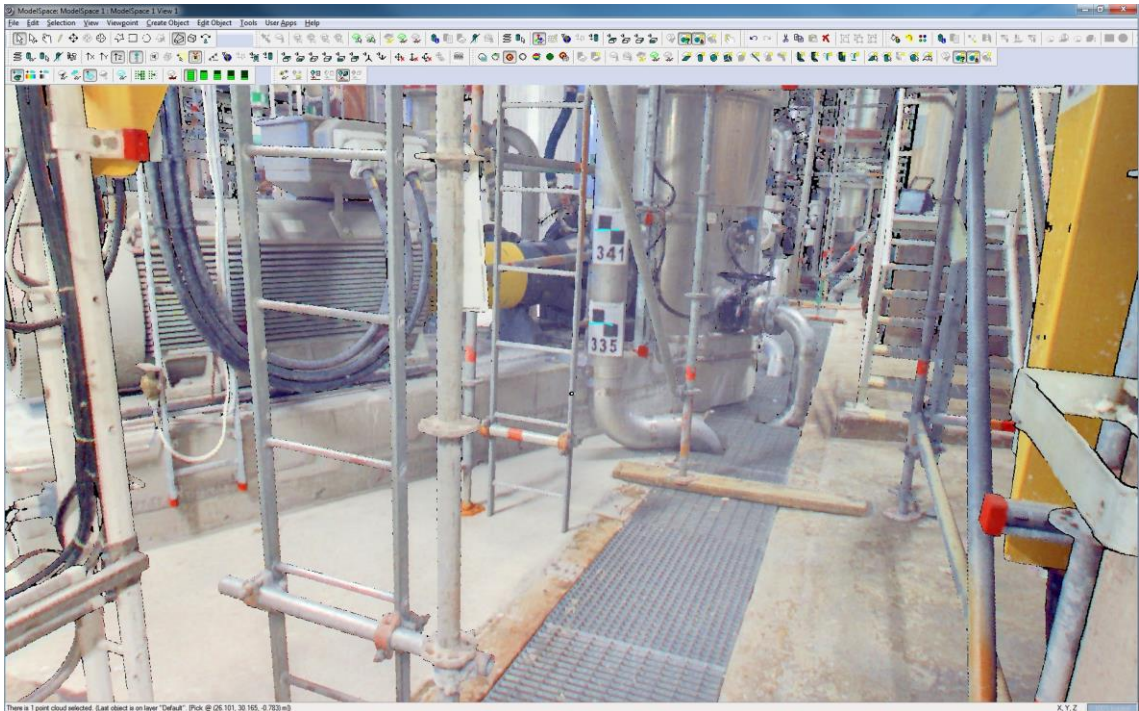
Laserkeilausten pistepilvidataa itsessään käytetään harvoin työkaluna. Yleisin datan käyttömuoto on sen pohjalta luotu 3D-malli mitatusta kohteesta. Luotua mallia voidaan käyttää esimerkiksi suunnittelun lähtötietona. Datan käyttötarkoitus määrittää pistepilveltä vaadittavan laadun. Tilaajan tulee määrittää datantoimittajalle tarkasti käyttötarkoitus, jotta toimittaja voi tarjota laatuvaatimukset täyttävän tuotteen. Määrittely voidaan toteuttaa esimerkiksi datantoimittajan määrittämällä kyselylomakkeella. Myös PSK Standardisointiyhdistys Ry:n standardissa PSK 3402 (3, liite 1) on esitetty hankintalomake, jonka pohjalta kysely voidaan toteuttaa. Datasta luotavan mallin laatu on suoraan verrannollinen pistepilvidatan laatuun. Pistepilven laatuun vaikuttaa yksittäisten pisteiden laatu, pisteiden tiheys, sekä pistepilvien yhdistämisen tarkkuus. (2.)

Yksittäisen pisteen laatu

Laserkeilain tallentaa kustakin paluusäteestä etäisyys- sekä kulmatietojen lisäksi paluusäteen intensiteetin, eli paluusignaalin voimakkuuden. Signaali on sitä heikompi, mitä kauempana kohde on. Paluusignaalin intensiteettiin vaikuttaa etäisyyden lisäksi kohteiden pinnanmuodoista ja materiaaleista johtuvat sirontaerot. Erityisesti kaarevat ja kiiltävät pinnat, kuten paljaat, eristämättömät putkistot saattavat aiheuttaa mittausvirheitä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että mitattavan kohteen sijainnille saadaan väärää tietoa dataan. Onnistuneesti mitatun paluusignaalin intensiteetin avulla yksittäisille pisteille voidaan antaa värisävyjä. Vaikka pistepilvi olisikin mustavalkoinen, eri sävyt helpottavat kohteen muotojen havaitsemista kolmiulotteisessa koordinaatistossa kuten kuvasta 3 huomataan. Toinen vaihtoehto pisteiden väriasetuksille on kunkin pisteen värin määrittäminen vastaamaan todellista, keilaimen yhteyteen asetetun kameran avulla. Esimerkki näin toteutetusta pistepilvestä nähdään kuvassa 4. Pisteiden väri- ja sävyerojen ansiosta datasta voidaan erottaa helposti tasaiselta pinnalta tekstejä ja kuvioita. Tätä hyödynnetään etenkin yksittäisten keilausten yhdistämisessä tähysten avulla. (2.) Yksittäisen pisteen laatu koostuu intensiteetin voimakkuudesta, sekä laitteistolle ominaisesta tarkkuudesta. Prosessiteollisuudessa käytettävien keilaimien tarkkuus on millimetrin luokkaa. (4, s. 18.)



Kuva 3. Sävyerot mustavalkoisessa pistepilvidatassa auttavat tunnistamaan muotoja. Näkymä AVEVA LFM Server pistepilven tulkinta ohjelmistosta.



Kuva 4. Valokuvan avulla värjätty pistepilvidata, näkymä Leica Cyclone ohjelmistosta (2). Kuvaa saa käyttää vain Neopoint Oy:n luvalla.

Pistepilven tiheys

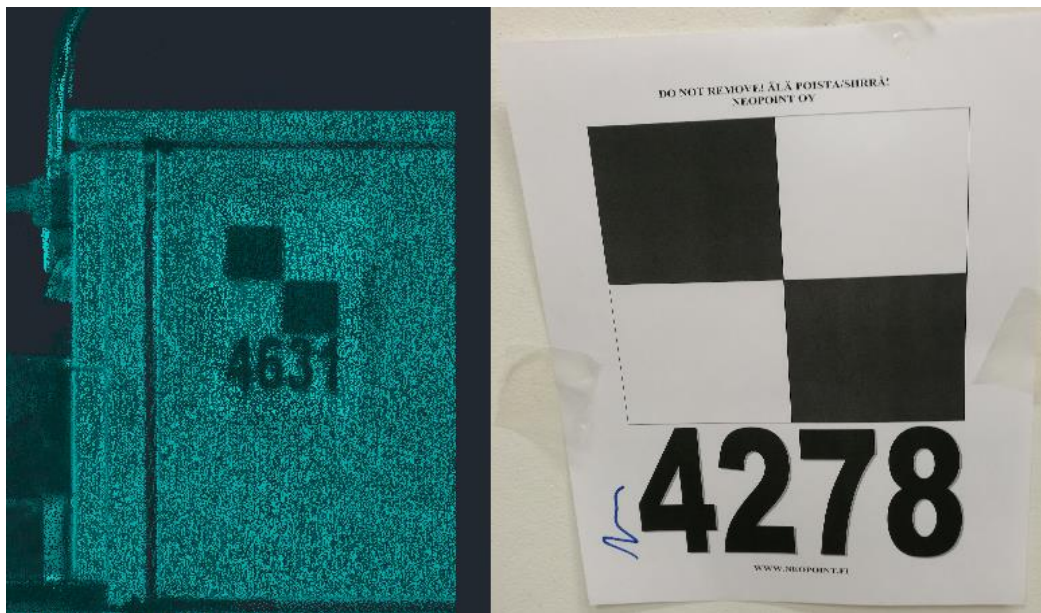
Pistepilvidatasta luotavalle mallille on määritelty tarkkuuden osalta vaatimuksia PSK Standardisointintyhdistys Ry:n standardissa PSK 3402 (3, s. 6). Laitosmallille on asetettu seuraavanlaisia vaatimuksia:

- Sallittu virhe saa olla määrittelemättömissä kohteissa ± 25 mm.
- Sallittu virhe saa olla putkistoon liittyvissä teräsrakenteissa ± 10 mm.
- Sallittu virhe saa olla putkistojen liityntäkohdissa ± 10 mm.

Putkistojen osalta sallittu virhe on hyvin pieni, jotta keilauksen perusteella luotu as-built-malli olisi hyödynnettävissä uuden putkiston suunnittelussa vanhan sekaan. Sallitussa virheessä pysyminen vaatii riittävän tiheän pistepilvidatan, jotta esimerkiksi putkilinjan reitti kokonaisuudessaan voidaan mallintaa sallitun virheen rajoissa. Laitosten as-built-mallien tuottamiseen käytettävien pistepilvien tiheys tulee olla luokkaa > 10000 pistettä/m², joka tarkoittaa noin 10 mm pisteiden välistä etäisyyttä, keilauksen tapahtuessa läheltä kohdetta. (2.)

Pistepilven yhdistämisen tarkkuus

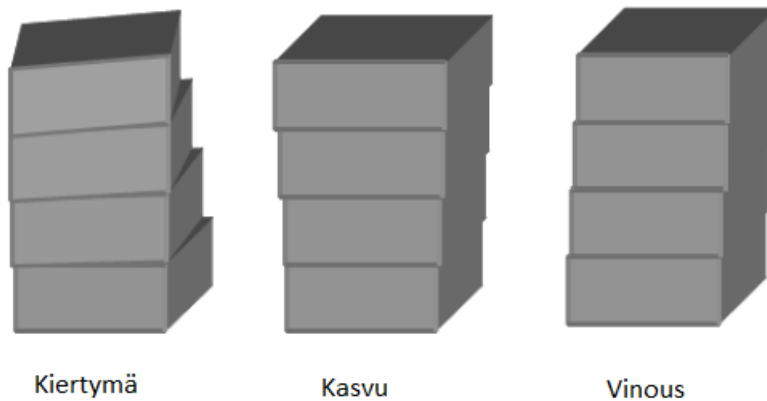
Kuten aiemmin mainittu, yksittäinen keilaus muodostaa aina yksittäisen pistepilven. Jotta yksittäiset pistepilvet voidaan yhdistää isommaksi kokonaisuudeksi samaan koordinaatistoon eli rekisteröidä, tulee keilauksista löytää joku yhteinen piste. Näitä pisteitä voivat olla esimerkiksi tasot, tai rakenteen kulmapisteet, jotka erottuvat pistepilvestä selkeästi. Myös yhteisiä alueita voidaan hyödyntää datan rekisteröinnissä. Tällöin yksittäisillä keilauksilla tulee olla vähintään kolmasosa yhteistä peittoa. Tarkin mahdollinen menetelmä rekisteröinnille on kuitenkin tähysten käyttö. (5, s. 20.) Tähykset ovat numeroituja tasomaisia kuvia, jotka ovat helposti havaittavissa pistepilvestä ja joille pystytään osoittamaan keskipiste (kuva 5). Tähyksiä asetetaan keilattavaan ympäristöön tarpeen mukaan, kuitenkin niin että kussakin yksittäisessä keilauksessa tulee näkyä vähintään kolme tähyistä. Näin mittaus voidaan sijoittaa oikein päin jokaisen koordinaatin suhteen. Suurien kokonaisuuksien rekisteröinnissä voidaan käyttää apuna takymetria, joka on maanmittaukseen käytettävä laite. (2.)



Kuva 5. Tähyks kiinnitettynä laserkeilattavaan ympäristöön, sekä yhdenmukainen tähyks pistepilvinäkymässä.

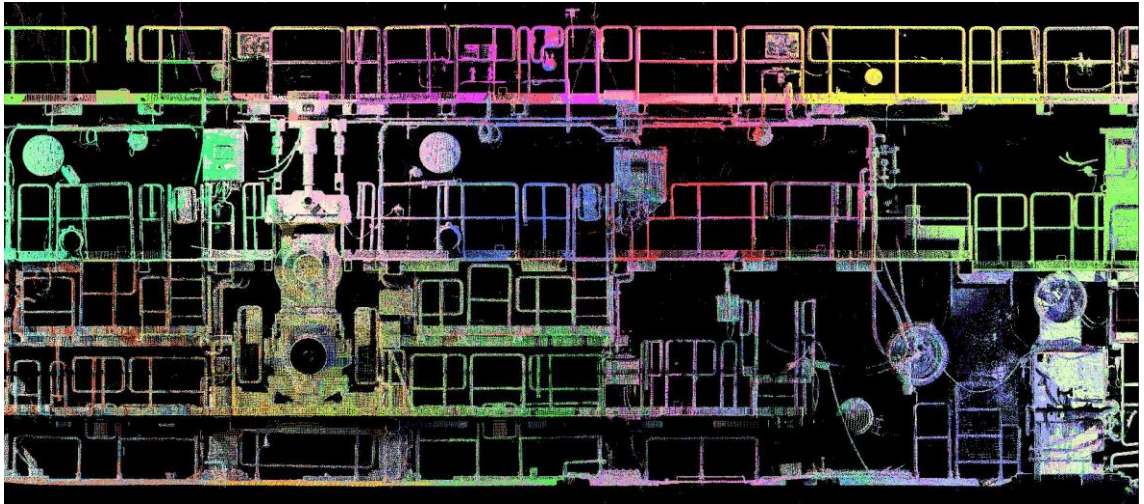
Kun suuria keilauskokonaisuuksia lähdetään rekisteröimään hyödyntäen vain keilauksien yhteisiä pisteitä, saattaa lopputuloksessa ilmetä virheitä, kuten kiertymää, kasvua ja vinoutta (kuva 6). Nämä johtuvat virheen kertymisestä; kun edellinen yksittäinen keilaus on väärässä kohdassa, myös seuraava tämän perusteella rekisteröitävä data pää-

tyy väärälle paikalle. Nämä virheet voidaan välttää käyttämällä keilauksessa apuna tähyksiä ja takymetrimittausta. Takymetrimittauksella mitataan numeroitujen tähysten koordinaatit, jolloin rekisteröintiin käytettävä ohjelmisto pystyy automaattisesti asettamaan yksittäisten keilauksien pistepilven oikeaan kohtaan hyödyntämällä tähysten tunnettuja koordinaatteja. Menetelmää hyödynnetään etenkin, kun pistepilvidata halutaan sitoa tunnettuun koordinaatistoon. Tällöin takymetrille tulee asettaa asemapisteen koordinaatit, sekä osoittaa sen paikka. Tällaisia asemapisteitä voivat olla esimerkiksi kaupungin asettaman koordinaatiston merkatut asemapisteen kaavoitusta varten. Kun rekisteröinnissä hyödynnetään koordinaatistoon sidotulla takymetrillä mitattuja tähysten koordinaatteja, voidaan laserkeilaimen sisäinen koordinaatisto korvata mitatulla. (2.)



Kuva 6. Laserkeilauksen rekisteröinnissä tapahtuvia virheitä esitetty korostetusti. Yksi laatikko kuvassa vastaa yhtä yksittäistä keilausta.

Pistepilven rekisteröinti on hyvin pitkälle automatisoitua, mutta runsaasti aikaa ja tietokoneen laskentatehoa vaativaa. Suurien kokonaisuuksien rekisteröinti, joissa keilauspisteitä on satoja, voi kestää vuorokauden. Automatisoinnista huolimatta rekisteröidyille pistepilville tehdään lähes aina manuaalinen tarkastus ennen asiakkaalle tai alihankkijalle luovuttamista. Manuaalisessa tarkastuksessa kukin yksittäisen keilauksen muodostama data värjätään tunnistettavan väriksi. Pistepilvien rekisteröinnin onnistuminen on helppo todeta, kun eri väriset pisteet muodostavat eheän kokonaisuuden kuten kuvassa 7. (2.)



Kuva 7. Näkymä Leica Cyclone-ohjelmistolla tehtävästä manuaalisesta laaduntarkastuksesta, jossa yksittäisten keilauksien muodostama data värjätty tunnistettavan värisiksi (2). Kuvaa saa käyttää vain Neopoint Oy:n luvalla.

2.2 Laitteistot ja menetelmät

Laserkeilattavat kohteet vaihtelevat hyvin paljon toisistaan. Jopa prosessiteollisuuden kohteet voivat olla hyvinkin erilaisia ja vaativat parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi ammattitaitoa. Tehokkaan ja laadukkaan keilauksen lähtökohdat ovat oikeat laitteet sekä menetelmät, jotka soveltuvat parhaiten juuri kyseiseen kohteeseen. Laitteen sekä menetelmän valintaan vaikuttavat eniten vaadittava pistetarkkuus sekä keilauslaitteiston maksimi etäisyys kohteesta. Joissakin kohteissa keilaus saatetaan joutua tekemään hyvinkin pitkältä etäisyydeltä, kun taas toisessa kohteessa priorisoidaan mittaustarkkuutta. Näiden tekijöiden perusteella laserkeilaimet luokitellaan neljään luokkaan käyttötarkoituksen mukaan. (5, s. 12–13.)

Lentolaserkeilauksessa mittaus tapahtuu kohteen yläpuolelta nimensä mukaisesti lennosta. Keilaus voidaan toteuttaa lentokoneella tai helikopterilla. Lentolaserkeilaukseen soveltuville keilaimille tyypillinen ominaisuuksia on pitkä keilausetäisyys, joka näkyy pistepilvidatan laadussa vaikuttaen erityisesti datan tiheyteen. (4, s. 12.) Nykyään lentolaserkeilaaminen voidaan toteuttaa myös kauko-ohjattavalla lennokilla, johon kompakti keilain on kiinnitetty. Lennokeissa käytetyt keilaimet hyödyntävät usein fotometristä menetelmää, eivätkä näin ole varsinaisia laserkeilaimia. Kauko-ohjattavia lennokkeja suositetaan etenkin korkeiden rakennusten keilaamisessa, sillä katolle kiipeäminen raskaan keilauslaitteiston kanssa on työturvallisuuskulmasta vaaratekijä. (2.) Tyypillisiä

käyttökohteita perinteiselle lentolaserkeilaukselle ovat maaston mittaukset ja kartoitukset esimerkiksi tie- tai ratahankkeiden lähtötiedoiksi. (4, s. 13.)

Ajoneuvolaserkeilauksessa ajoneuvoon on tapauksesta riippuen kytketty 1–2 keilainta. Keilaus on jatkuvatoimista liikkuvasta ajoneuvosta, joten keilainten tulee olla sidottu paikannusjärjestelmään paikkatietojen saamiseksi. Tyypillisiä käyttökohteita ajoneuvolaserkeilaukselle ovat 3D-kaupunkimallien tuottaminen sekä tiekartoitukset. (4, s. 15.)

Maalaserkeilauksessa keilaus tapahtuu maasta käsin. Keilain on usein tuettuna kolmijalalla, joka on helppo tasapainottaa. Mikäli keilattava kohde vaatii keilausta useammasta suunnasta, tulee keilainta siirtää ja pohtia etukäteen menetelmä, jolla yksittäiset keilaukset yhdistetään. Tämä menetelmä soveltuukin pienempiin kokonaisuuksiin, kuten rakennusten as-built-mallien luomiseen. (4, s. 16.)

Teollisuuslaserkeilauksessa halutaan usein luoda tarkka as-built-malli olemassa olevasta laitoksesta tai sen osasta pistepilvidatan pohjalta. Mallia voidaan hyödyntää esimerkiksi prosessiteollisuudessa suunnittelun lähtötietona. Näissä kohteissa keilain saadaan usein suhteellisen lähelle keilattavaa pintaa, jolloin laitteistoksi soveltuu lähilaserkeilaimet. Näiden laitteiden mittatarkkuus on millimetrin luokkaa. (4, s. 17.)

2.2.1 Projektissa käytetyt menetelmät ja laitteet

Projektissa laserkeilattava kohde on suuren prosessilaitoksen osa, jossa sisätiloissa on paljon erilaisia prosessilaitteita, putkistoa, sähköhylyjä, valaisimia, teräsrakenteita sekä ilmanvaihtokoneita ja -kanavia. Laitoksen osa keilataan sekä mallinnetaan kokonaisuudessaan niin sisältä, kuin ulkoa. Keskeisimpänä tuotettavassa mallissa tulee olemaan asiakkaan tuotteita valmistavat prosessit, käyttöhyödykkeet, sekä turvallisuuteen liittyvät kohteet. Kun tilaaja on määrittänyt tarkasti laserkeilauksen käyttötarkoituksen, alihankkija B valitsee sopivat laitteistot sekä menetelmät, jotta pistepilvidata olisi mahdollista jalostaa käyttötarkoitusten mukaiseksi. Keilausvaiheessa tärkeintä on minimoida katvealueiden muodostuminen. Katvealueiden minimoimiseksi keilaimen käyttäjän, tulee tarkkaan miettiä jokainen keilauspiste. Prosessialueet, joissa putkistoa sekä laitteita on paljon, vaativat huomattavasti enemmän keilauspisteitä, kuin esimerkiksi varastoalueet. Esimerkin kohteiden kelaamiseen käytettävät laitteetkin eroavat hiukan toisistaan. (2.)

Z+F imager 5006h ja 5010

Alihankkija on valinnut kohteen mittaamiseen kaksi eri tyyppistä laserkeilainta. Molemmat ovat saksalaisen laserkeilaimiin erikoistuneen yhtiön Zoller & Fröhlich:n toimittamia. Z+F imager 5006h on erittäin nopea kolmijalalla tuettava keilain, joka on suunniteltu erityisesti prosessilaitosten, arkkitehtuuristen ja historiallisten kohteiden tarkkaan keilaamiseen. Imager 5006h:n mittausväli on $< 0,22$ mrad ja suositeltu maksimi keilausetäisyys 79 m. Laitteen vertikaalinen keilausalue on 310° , joka toteutetaan pyörivällä peilillä, jonka pyörimisnopeus voidaan asettaa 12,5–50 r/s. 310° :n keilausalue tarkoittaa käytännössä sitä, että suoraan laitteen alle jää aina 50° :n katvealue, joka tulee huomioida keilauspisteitä suunniteltaessa. Horisontaalinen keilausalue on 360° , joka taas toteutuu laitteen pyörähtäessä oman pysty akselinsa ympäri. Keilausaika riippuu keilaukselle asetetusta resoluutiosta ja laadusta. Imager 5006h:lla keilausaika vaihtelee 50 sekunnin ja 13,5 minuutin välillä. Toinen kohteen keilaamiseen valittu laite on Z+F imager 5010. Imager 5010 on toimintaperiaatteeltaan samanlainen kuin 5006h. Suurin ero 5006h:hon verrattuna on suositeltu maksimi keilausetäisyys, joka imager 5010:lle on 187,3 m ja soveltuu näin paremmin esimerkiksi suurien varastoalueiden keilaamiseen, joissa yhdellä keilauksella voidaan mitata suurempia kokonaisuuksia ilman katvealueiden muodostumista. (7.)

Molempien laitteiden käyttämä laser on standardin EN 60825-1 mukaan luokiteltu vaarattomaksi. Keilaimien laserit kuuluvat laserluokkaan 3R ja 1, mikä tarkoittaa, ettei näille altistuminen aiheuta vahinkoa suojaamattomaan silmään. (8.) Vaarattomaksi luokitellun laserin käyttö kohteessa on välttämätöntä, sillä keilauksen aikana laitos on jatkuvassa käytössä ja asiakkaan työntekijöiden on päästävä liikkumaan alueilla esteettömästi. Keilaimien valintaan kohteessa vaikuttaa myös käytettyjen laitteiden nopeus. Kuten aiemmin mainittu, suurin osa keilauksista tapahtuu sisätiloissa. Katvealueiden muodostumisen minimoimiseksi keilauspisteitä tulee olemaan paljon. Kun keilainta joudutaan siirtämään paljon, on tehokkaampaa käyttää kohtuullisempaa resoluutiota, jolloin yksittäiseen keilaukseen kulunut aika pienenee. Menetelmällä saadaan jatkokäsittelyn kannalta riittävän laadukas pistepilviaineisto ja yli 95 %:n kattavuus kustannustehokkaasti. (2.)

2.3 Prosessi

Laserkeilausprojektin taloudellinen toteuttaminen vaatii suunnittelua. Projekti käynnistyy usein kohteeseen tutustumisella, joko valokuvien tai kenttäkäyntien perusteella. Mikäli kohteesta on olemassa piirustuksia, kuten tasokuvia tai pohjapiirustuksia, voidaan niitä hyödyntää keilauksen suunnittelussa. Seuraavassa vaiheessa tilaajan tulee määritellä laserkeilauksen toimittajalle yksiselitteisesti muun muassa projektin laajuus, käyttötarkoitus ja toimitettavat tiedostomuodot. PSK:n standardissa 3402 (3, liite 1), on määritelty tarkasti lähtötietoja, jotka tilaajan tulee antaa laserkeilauksen toimittajalle. Tärkeimpiä kohtia määrittelyssä ovat

- keilausalueen laajuuden esittäminen
 - Määritetään usein pinta-alana tai havainnekuvia käyttäen.
- mittaustulosten käyttötarkoitus
 - Tehdäänkö datan perusteella 3D-malli?
- kohteen mittausolosuhteet
- käytettävä koordinaatti- ja korkeusjärjestelmä sekä kiintopisteet
- keilauksen dokumentointimuoto
 - Tärkeää on tietää, millä ohjelmistolla datan jatkojalostus toteutetaan, jotta tiedostomuotojen yhteensopivuudesta voidaan olla varmoja.
- mallinnuksen dokumentointimuoto
- mallintamisen laajuus ja tarkkuus
 - Erityisen tärkeää on määrittää pienin putkiston koko, joka mallinnetaan.

Seuraavassa kuvassa 8 on esitelty laserkeilausprojektin yksikköprosessit kronologisessa järjestyksessä, aina kohteeseen tutustumisesta tuotteen luovuttamiseen tilaajalle. Tiedot perustuvat työssä toteutettavan laserkeilauksen ja sen perusteella tuotettavan älykkään mallin työvaiheisiin. Kohdat 1 – 4 toteuttaa alihankkija B, jonka kanssa projektin vaiheet käydään läpi.

1. Keilattavan kohteen arviointi

- Tilaaja määrittää tarkasti keilattavan alueen
- Keilauksen toteutuksen suunnittelu
 - Järjestys ja aikataulua

2. Kentällä tehtävä työ

- Tähyksen sijoittelu ja koordinaattien mittaaminen takymetrillä
- Keilauspisteiden valinta ja keilauksen suorittaminen
- Edistymänseuranta ja dokumentointi

3. Pistepilviaineiston esikäsittely

- Tiedonsiirto tietokoneelle
- Suodattaminen ja siistiminen
- Rekisteröinti
 - Tähyksien koordinaatit takymetrimittauksesta
 - Yksittäisten pistepilvien yhdistäminen
 - Aineiston asettaminen haluttuun koordinaatistoon

4. Pistepilviaineiston laadunvarmistus

- Manuaalinen laadunvarmistus
- Aineiston tallentaminen haluattuun formaattiin

5. Pistepilviaineiston jatkokäsittely

5.1 Älykäs malli

- Suunnitelujärjestelmällä luotava älykäs malli putkistosta ja laitteista

5.2 Pintamalli

- Rakenteiden mallintaminen



6. Dokumentointi ja luovutus

- Malli luovutetaan asiakkaalle sovituissa tiedostomuodossa

Kuva 8. Laserkeilaus- ja mallintamisprojektin eteneminen.

2.4 Käyttömahdollisuudet

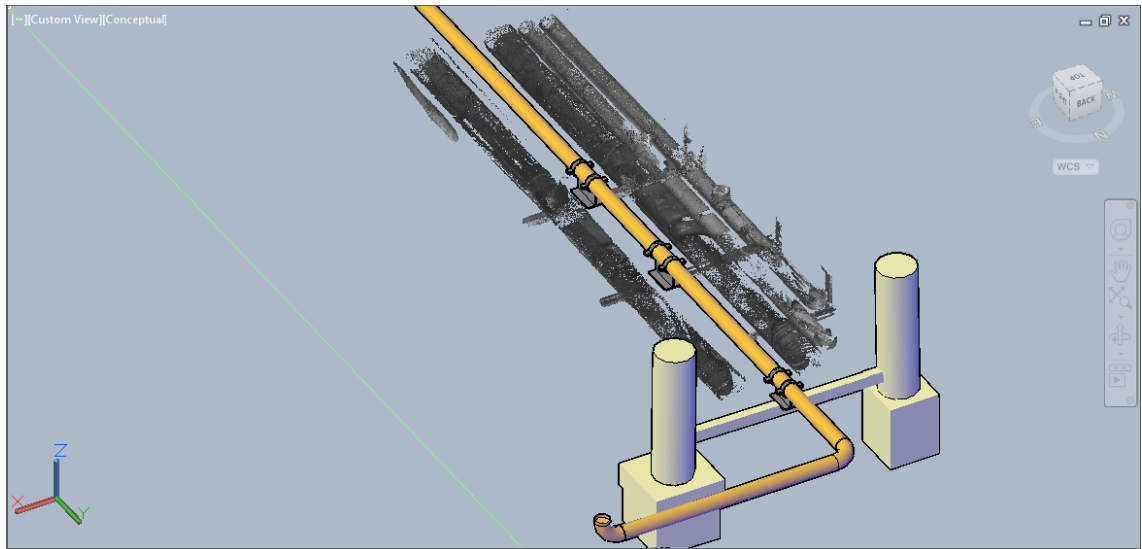
Laserkeilausta ja pistepilviaineistoa voidaan käyttää lukuisiin eri käyttökohteisiin. Lento- ja ajoneuvolaserkeilauksen tuottama aineiston tarkkuus on riittävä maastomallien luomiseen, joita voidaan käyttää tie- ja ratahakkeiden lähtötietona. Maastomalleja ollaan hyödynnetty etenkin Suomessa tulvamallinuksiin, joiden perusteella voidaan kartoittaa esimerkiksi ajoväyliä, jotka ovat erityisen alttiita tulvimiselle, ja suunnitella varajuoksutusreittejä tulvavahinkojen välttämiseksi. Kun kyseessä on prosessilaitoksen laserkeilaus,

tavoitteena on huomattavasti yksityiskohtaisempi kokonaisuus verrattuna maastomalleihin. Prosessilaitosten laserkeilauksen pohjalta luodaan usein hyvinkin yksityiskohtainen 3D-malli, jossa rakenteiden lisäksi esitetään laitoksen putkistot ja laitteet. Laserkeilauksen hyödyntäminen on yleistä kohteissa, joissa laitoksen piirustukset ovat puutteelliset, tai puuttuvat kokonaan. (2.) Keilauksen pohjalta laitokselle voidaan tuottaa ajan tasalla olevat tarkat piirustukset, sekä 3D-malli, jota voidaan hyödyntää muun muassa seuraavissa tapauksissa

- törmäystarkastelu
 - uusien laitteiden ja putkistojen sovittaminen olemassa olevien sekaan
- purkutöiden suunnittelu ja kustannusarviot
 - purettavien prosessinosien purkutöihin vaadittavat resurssit
- uudistussuunnitelmien katselmointi ja kommentointi
 - Malliin sijoitetut 3D-suunnitelmat uudistuksista mahdollistavat hyvin yksityiskohtaisen katselmoinnin.
- alihankkijoiden toimeksiannot
 - Malli voidaan toimittaa alihankkijalle, jolloin kenttäkäynnit alihankkijan puolelta eivät ole välttämättömiä.
- henkilöstön koulutus
 - Malli mahdollistaa esimerkiksi uuden prosessiosan esittelyn henkilöstölle ja operaattoreille jo ennen toteutusvaihetta.

Kaikki edellä mainitut eivät vaadi laserkeilauksen pohjalta tehtyä 3D-mallia, vaan esimerkiksi törmäystarkastelu voidaan suorittaa tarkasti myös pelkän pistepilven avulla. Kuten kuvassa 9, 3D-suunnitelmat uusista putkireiteistä sekä pistepilvidata laitoksen tämänhetkisestä tilasta on tuotu samaan näkymään AVEVAn LFM Server -ohjelmistoon. Olemassa olevien putkistojen reitit havaitaan datasta helposti rajaamalla pistepilveä ja uusille putkille voidaan löytää vapaa reitti ja tarvittavat sekundäärikannakkeet. Näin pistepilvidataa voidaan hyödyntää sellaisenaan ilman 3D-mallin kustannuksia. Pistepilven hyödyntäminen törmäystarkasteluun vaatii kuitenkin erillisen ohjelman, joka pystyy lukemaan pistepilvidataa ja esittämään 3D-suunnitelmat samanaikaisesti. Pistepilvi data on tarkka kuvanto mitatun kohteen sen hetkisestä tilasta. Mikäli mitatulla alueella tapahtuu

muutoksia, on data vanhaa informaatiota. Tästä syystä 3D-mallin luominen datan pohjalta on järkevää. Sen päivittäminen muutosten mukaiseksi on mahdollista ja helppoa.



Kuva 9. Törmäystarkastelu pistepilven avulla. Pistepilvileikkaus olemassa olevasta putkisillasta jonka sekaan suunniteltu uusi putkilinja kannakkeineen.

3 Älykäs 3D-malli

3.1 Yleistä

CAD-suunnittelussa, eli tietokoneavusteisessa suunnittelussa käytetään nykypäivänä laajasti erilaisia 3D-malleja. Ennen tietokoneiden kehittymistä suunnittelun apuna toimi 2D-piirtäminen, joka aina 1980-luvulle asti tehtiin lähes poikkeuksetta käsin. 2D-piirtämisessä monimutkaisetkin mallit tulee pystyä esittämään tasossa havainnollistavasti. 2D-piirtämiseen onkin vuosien saatossa kehittynyt paljon standardeja ja sääntöjä, jotta kuvien tulkinta olisi mahdollisimman yksiselitteistä. Tietokoneavusteinen 2D-piirtäminen yleistyi 1990-luvun alussa ohjelmien ja tietotekniikan kehittyessä syrjäyttäen lähes kokonaan käsin piirtämisen. Tietokoneavusteinen suunnittelu toi etenkin mekaaniseen suunnitteluun suuria mullistuksia, kun tietokoneen laskentaominaisuuksia pystyttiin hyödyntämään esimerkiksi dimensioiden laskemiseen. Suunnittelusta tuli huomattavasti tehokkaampaa ja tarkempaa. (9.)

Siinä missä 2D-piirtämisen lopputulos on aina tasossa ja tietyistä suunnista esitetty XY-koordinaatistossa, 3D-mallissa paikkatiedot on sidottu kolmiulotteiseen XYZ-koordinaatistoon. Tämä mahdollistaa eri korkeustasojen väliin jäävän tilan havaitsemisen ja mitaamisen. 3D-mallintamisen ja -suunnittelun voidaan katsoa olevan myös nykypäivän laitteilla huomattavasti kustannustehokkaampaa ja nopeampaa verrattuna 2D-suunnitteluun. Nämä edut saavutetaan etenkin 3D-mallin helpolla muokattavuudella, joka mahdollistaa muutosten nopean toteutuksen malliin. Lisäksi muutoksia on helppo katselmoida ja muuttaa tarpeen mukaan lisää. (10.)

3D mallintamisessa ja malleissa hyödynnetään usein tasojakoa. Tasojaossa saman tyyppiset tai samanlaista asiakokonaisuutta esittävät mallit tai sen osat jaetaan eri tasoille. Esimerkiksi suuressa prosessilaitoksen 3D-mallissa seinät, katto, lattiat, putkisto, laitteet, teräsrakenteet, ilmanvaihtokoneet ja -kanavat sekä kaapelihyllyt voidaan jakaa erillisille tasoille. Tasoja voidaan hallita kokonaisuuksina ja jos esimerkin tilanteessa halutaan tutkia tarkemmin putkistoa, voidaan kaikki muut tasot piilottaa, jolloin vain mallissa putkiston tasolla olevat osat jäävät näkyviin. Tasojaon ohjeistuksia on määritelty esimerkiksi PSK:n standardissa PSK 5821 *Prosessikaavioiden ja sijaintia kuvaavien piirustusten laadinta CAD -järjestelmillä*.

Älykkäällä mallilla tarkoitetaan 3D-mallia tietosisällöllä. Perinteisen 3D-mallin geometriatietojen lisäksi älykkäälle mallille voidaan antaa erilaisia attribuuttitietoja. (3, s. 4.) Tavallisesti laitossuunnittelussa tällaisia kohteita ovat putkisto ja siihen kuuluvat varusteet, sekä laitteet. Annettavia attribuuttitietoja voivat olla esimerkiksi

- laite- tai linjatunnus
- paineluokka
- liitännästyypit
- käytettävät standardit
- käyttö- ja suunnitteluarvot
- valmistus materiaalit
- eristepaksuus ja -tyyppi.

3.2 Älykkään mallin hyödyt

Älykkäiden mallien hyödyt korostuvat etenkin muutostöiden suunnittelussa. Erityisesti prosessiteollisuudessa saneeraustöille on varattu vähän aikaa. Muutostyöt vaativat usein prosessin tai sen osan alasajon tai vähintään tuotantokatkon, joka on tilaajalle aina suuri kustannus. Työt pyritään suunnittelemaan hyvin tarkasti etukäteen ja esimerkiksi uusittavat putkistot ja teräsrakenteet halutaan usein valmistaa asennusaikaa säästävinä esivalmistettuina kokonaisuuksina. Tarkka ja ajan tasalla oleva älykäs malli on erittäin tehokas työkalu juuri lähtötietona vastaavien saneeraustöiden suunnittelussa. Kun esimerkiksi putkistolle on malliin määritetty tarkkojen paikkatietojen lisäksi materiaali, paineluokka, eristetyyppi ja -paksuus on suunnittelijalla heti käytettävissään tarvittavat lähtötiedot. Älykäs malli on suunnitteluohjelmistosta riippuvainen, ja eri ohjelmistojen yhteensopivuus tulee selvittää erikseen, mikäli niiden ristiin käyttäminen koetaan tarpeelliseksi. (12.)

Usealta CAD-ohjelmiston toimittajalta löytyy valikoimastaan katselmoiintiin tarkoitettu ilmaisohjelmisto. Ohjelma mahdollistaa CAD-ohjelmalla tehtyjen 3D-suunnitelmien katselmoimisen virtuaalisen läpikävelyn ansiosta hyvin tarkasti. Mikäli tarkasteltava 3D-suunnitelma on tehty älykkääksi, on katselmoijalla pääsy tarkastelemaan myös malliin syötettyjä attribuuttitietoja. 3D-suunnitteluun tarkoitettujen CAD-ohjelmistojen lisenssit ovat hyvin kalliita, ja iso osa prosessilaitoksista suosii suunnittelussa alihankkijoita ja

konsulttiyrityksiä. Ilmainen katselmointiin tarkoitettu ohjelmisto mahdollistaa siis suunnitelmien kommentoimisen asiakkaan puolelta ilman kalliin lisenssin omistamista ja esimerkiksi katselmointipalaverien pitämisen etäyhteydessä. (10.)

3D-laitossuunnitteluun tarkoitettujen CAD-ohjelmistojen avulla on mahdollista myös asennustöissä tarvittavan 2D-kuvatutannon, kuten tasokuvien ja putkiston isometristen kuvien piirtämisen automaattisesti 3D-mallin pohjalta. Myös materiaali-, putkistovaruste- ja laiteluettelot on mahdollista tuottaa suoraan älykkästä 3D-mallista. (10.)

3.3 Laitossuunnittelun CAD-ohjelmistot

Laitossuunnitteluun tarkoitettuja CAD-ohjelmistoja on tarjolla lukuisilta eri toimittajilta. Yleisimmin käytössä olevia ohjelmistoja ovat

- Bentley, AutoPlant
- Aveva, Everything 3D ja PDMS
- Vertex, G4Plant
- CADMATIC
- Intergraph, SmartPlant ja PDS
- Autodesk, Plant 3D.

Kaikille yllä mainituille ohjelmistoille yhteistä on projekti kohtainen työskentely, 3D-suunnitteluun ja etenkin putkistosuunnitteluun tarkoitettu käyttöliittymä lisäosineen, sekä asennuksessa tarvittavien piirustusten kuvatutanto. Suurimmat erot ohjelmistojen välillä löytyvät niiden ylläpidon yksinkertaisuudesta, tuotepakettien laajuuksista, sekä lisenssien hinnoista. Laitossuunnitteluun soveltuvaa CAD-ohjelmistoa valittaessa kannattaa tutustua eri toimittajien vaihtoehtoihin, pitäen mielessä millaiseen käyttöön ohjelmistoa ollaan hankkimassa. Suositeltavaa on myös hyödyntää useiden toimittajien tarjoama ilmainen kokeilujakso. (10.) Tässä projektissa laitosuunnitteluohjelmistoksi valikoitui Autodeskin toimittama Plant 3D -tuotepaketti.

3.3.1 AutoCAD Plant 3D ja P&ID

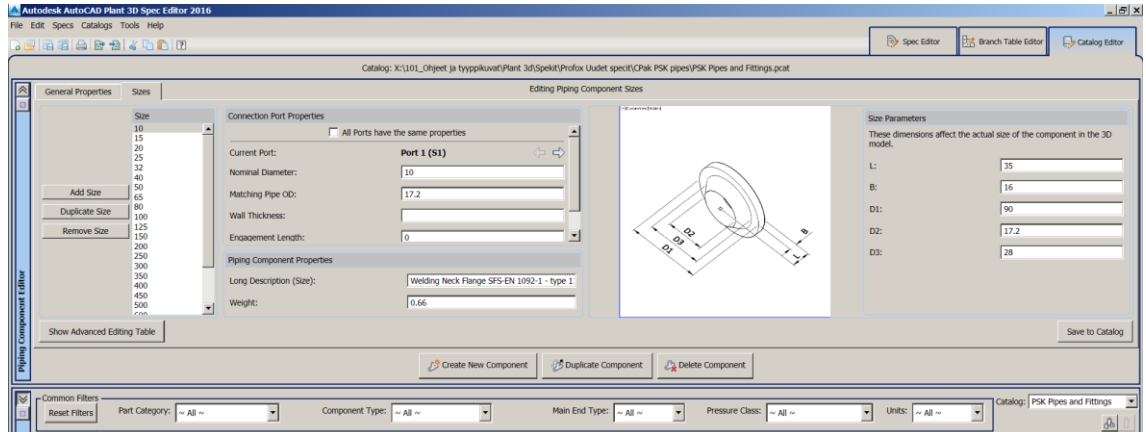
Autodeskin toimittama Autocad Plant 3D -tuotepaketti on älykkään laitosmallin tuottamiseen tarkoitettu CAD-tuoteperhe. Se koostuu älykkäiden PI-kaavioiden piirtämiseen tarkoitettusta Autocad P&ID:stä, 3D-laitossuunnitteluun räätälöidystä Autocad Plant 3D:stä, sekä useasta työskentelyn tukena toimivasta lisäosasta. Plant 3D sekä P&ID ovat projektipohjaisia suunnitteluohjelmistoja. Ohjelmilla luodut projektit toimivat keskenään saumattomasti, kuitenkin niin, ettei pelkällä P&ID -lisenssillä voi tehdä muutoksia 3D-puolelle. Plant 3D -lisenssi sisältää aina myös käyttöoikeuden P&ID:hen. (13.)

Työskentely ohjelmistoilla lähtee aina käyntiin Plant 3D -projektin perustamisella. Se voidaan perustaa esimerkiksi asiakas- tai suunnitteluprojektikohtaisesti. Projektin perustamisvaiheessa järjestelmänvalvojan tulee tietää muun muassa projektissa käytetyt mittayksiköt sekä -standardit. Perustamisen jälkeen järjestelmänvalvoja käy läpi projektin asetukset ja konfiguroi ne projektin tarpeiden mukaan. Plant 3D -projekti sisältää asetukset sekä 3D, että P&ID-puolelle. P&ID-puolella tärkeitä asetuksia ovat käytettävät piirrosmerkit ja venttiili-, linja- sekä laitetunnusformaattit. Lisäksi projektiasetuksiin määritetään, mitkä tiedot PI-kaavioista tuodaan 3D-puolelle. Plant 3D:n sekä P&ID:n taustalla on SQL-tietokanta, johon kaikki luodot attribuuttitiedot tallentuvat. (14.)

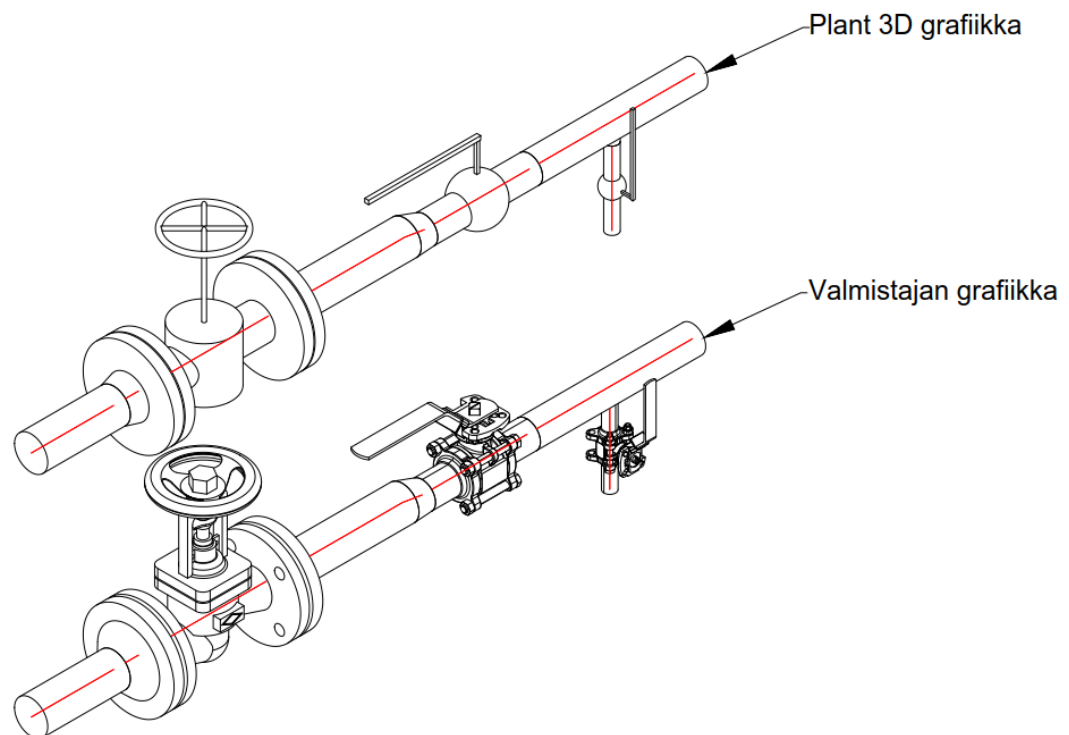
Plant 3D:llä putkistosuunnittelu tapahtuu dynaamisesti hyödyntäen ohjelmistoon luotuja putkiluokkia. Ohjelmiston mukana toimitetaan joitakin standardikomponenttikirjastoja, mutta niiden räätälöinti projektikohtaisesti on lähes välttämätöntä. Kirjastot koostuvat käytetyistä putkistoon liittyvistä putkenosista, sekä putkistovarusteista, joille attribuuttitiedot, kuten dimensiot, materiaalit ja paineluokat syötetään jo kirjaston rakentamisvaiheessa käytettyjen standardien mukaisesti. Komponenttikirjastot ovat nimensä mukaisesti vain osien säilytyspaikkoja. Kirjastoista tulee vielä luoda Plant 3D -putkiluokkia, joita suunnitteluohjelma pystyy lukemaan. Plant 3D -putkiluokkiin kootaan yhteensopivia osia komponenttikirjastoista, esimerkiksi jonkin standardin putkiluokkien perusteella. Putkiluokkien ja kirjastojen hallinta tapahtuu Plant 3D:n mukana toimitettavalla erillisellä AutoCAD Plant 3D Spec/Catalog Editor -nimisellä ohjelmalla. (15, s. 116–118)

Spec/Catalog Editorilla voidaan luoda osia ohjelmaan asetetuista valmiista grafiikoista, kuten kuvassa 10, tai vaihtoehtoisesti vapaamuotoisesta grafiikasta. Tällaisia grafiikkoja voivat olla esimerkiksi valmistajan toimittamat mittatarkat 3D-mallit venttiileistä. Käytettäessä tarkkoja 3D-malleja, tulee näiden tiedostokokoa tarkkailla. Liian yksityiskohtaiset

ja tiedostokooltaan suuret mallit tekevät mallintamisesta huomattavasti hitaampaa. Toisaalta nämä grafiikat vastaavat paremmin todellisuutta ja mallista saadaan paremman näköinen, kuten kuvasta 11 voi huomata. (14.)



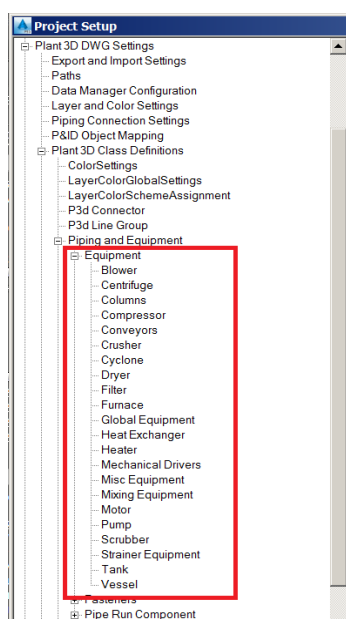
Kuva 10. AutoCAD Plant 3D Spec Editor, kauluslaipan mitoitus ohjelman oman grafiikan pohjalta.



Kuva 11. Yhdenmukainen putkisto mallinnettuna valmistajan toimittamista 3D-malleista luoduilla putkistovarusteilla, sekä hyödyntäen Plant 3D:n omaa grafiikkaa.

Tehokkain työskentelyjärjestys ohjelmistolle, riittävän konfiguroinnin jälkeen, on aloittaa älykkään PI-kaavion luomisesta. Kaavioon piirretään kaikki mallinnettavat laitteet ja putkilinjat sekä niihin liittyvät instrumentit ja venttiilit. PI-kaavion komponenteille voidaan antaa jo kaavion piirtovaiheessa attribuuttitietoja, kuten tunnus, käytettävä standardi, materiaali ja putkikoko. Kun kaavio ja 3D-malli on linkitetty toisiinsa, voidaan 3D-putkistosuunnittelussa hyödyntää kaavioon syötettyjä tietoja. Esimerkiksi PI-kaavioon piirretty putkilinja, jolle on määritetty tunnus, nimelliskoko, putkiluokka ja virtaava-aine, voidaan 3D-mallia tehdessä valita tunnuksen perusteella ja mallintaa linjan todellinen reitti laitosmalliin. Putkilinjan 3D-malli saa kaikki kaavioon määritetyt attribuuttitiedot, sekä tunnistaa mikäli linjalle on määritetty kaaviossa putkistovarusteita, kuten venttiilejä tai mittauksia. (14.)

Plant 3D:ssä on myös ominaisuus, jolla mistä tahansa grafiikasta voidaan tehdä laite. Tätä voidaan hyödyntää esimerkiksi laitetoimittajien 3D-mallien tuomisessa järjestelmään. Malli sijoitetaan halutulle paikalle, jonka jälkeen ”PLANTEQUIPMENTCONVER”-komennolla laite muunnetaan ohjelmaan laitteeksi. Komennon jälkeen ohjelma pyytää valitsemaan laitteelle tyyppin kuvassa 12 näkyvistä vaihtoehdoista. Jokaiselle laitetypille on määritelty niille ominaiset attribuuttikentät, joita voidaan täyttää tarpeen mukaan. Tämän jälkeen laitteelle voidaan tehdä yhteitä. Yhteille voidaan määrittää sijainnin ja suunnan lisäksi nimelliskoko, liitostyyppi, paineluokka ja standardi, jonka mukainen liitos on. (14.)

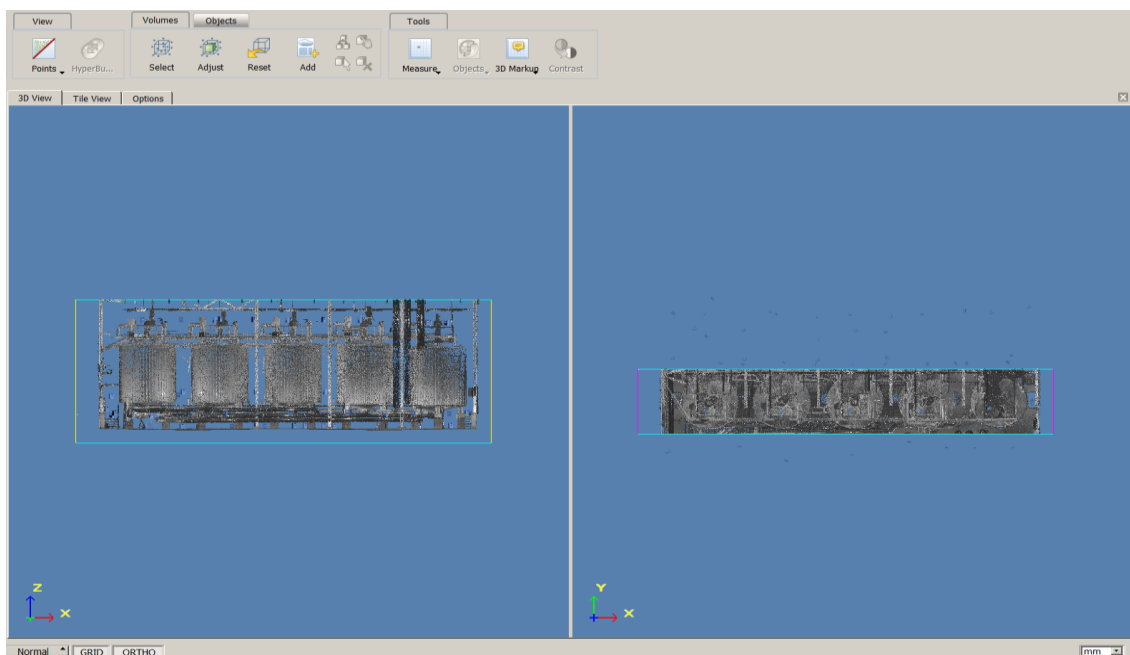


Kuva 12. Plant 3D:n laitekategoriati.

Putkistosuunnittelun voi tehdä Plant 3D:llä myös ilman taustalle liitettyä älykästä PI-kaaviota, jolloin kaikki attribuuttitiedot älykkäälle putkilinjalle tulee syöttää manuaalisesti mallintamisen yhteydessä. Manuaalinen tietojen syöttö voidaan tehdä myös Microsoft Excelin avulla, jolloin mallintaja tuottaa mallista linjaluetelon, jonka voi täyttää joku kolmasosapuoli. Tämän jälkeen Excel-tiedosto tuodaan takaisin malliin, ja linjat saavat tiedot täytetyn taulukon mukaan. Myöskään P&ID:llä tuotettu älykäs PI-kaavio ei välttämättä tarkoita, että sen pohjalta luodaan 3D-malli. P&ID:tä voidaan käyttää prosessisuunnittelussa, jolloin kaikista kaavion laitteista, putkilinjoista ja putkistovaruksista on helposti tuotettavissa luettelot esimerkiksi kokonaisvaltaista kustannusarviota varten.

3.3.2 Aveva LFM server

AVEVAn tuottama pistepilven tulkintaohjelmisto LFM Server on yhteensopiva lähes kaikkien CAD-ohjelmistojen kanssa, myös AutoCAD Plant 3D:n. LFM Server toimii pistepilvidatan palvelimena CAD-ohjelmiston taustalla, josta pistepilvinäkymä voidaan tuoda tuttuun suunnitteluohjelmistoympäristöön hyödynnettäväksi. Kun linkki CAD-ohjelmiston ja LFM Serverin välille on luotu, pisteet jotka näkyvät LFM Serverissä, näkyvät myös CAD-ohjelmassa. Näin mallintajalla on käytössä kaikki suunnitteluohjelmiston ominaisuudet, sekä lisäksi joitakin LFM Serverin tuomia lisäominaisuuksia, esimerkiksi säännöllisten muotojen, kuten putkien tunnistaminen pistepilvestä. (16.)

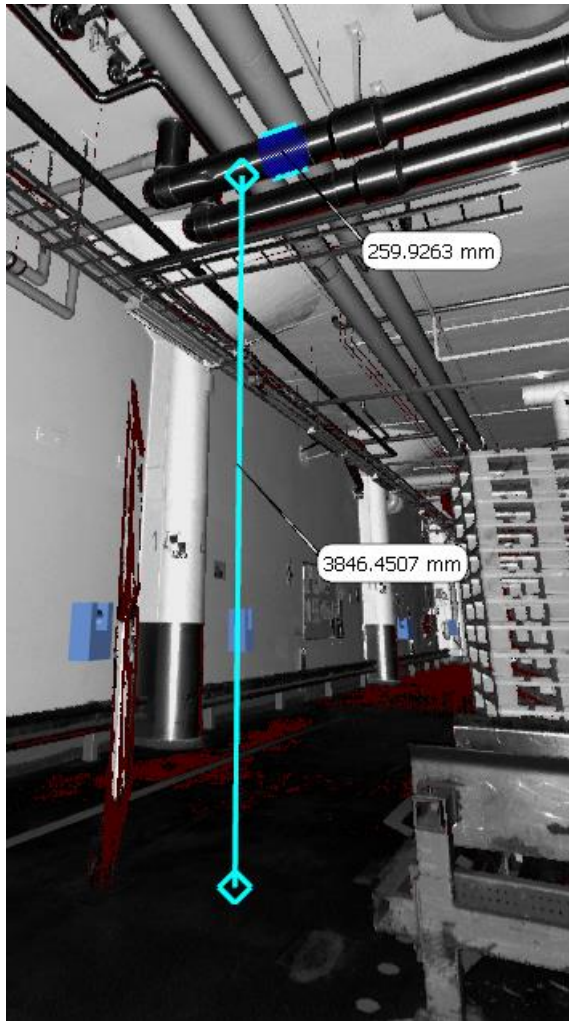


Kuva 13. AVEVAn LFM Serverin normaali työskentelynäkökulma. Vasemmanpuoleisella näkymällä hallitaan leikkauksen korkeutta ja oikeanpuoleisella syvyyttä.

4 Älykkään mallin tuottaminen pistepilvidatasta

Useimmissa tapauksissa laserkeilauksen suorittanut yritys toimittaa pistepilvidatan ulkoisella kovalevyllä jatkokäsittelyä varten. Tiedonsiirto isoissa laserkeilausprojekteissa saattaa aiheuttaa ongelmia pistepilvidatan suurien tiedostokokojen vuoksi. Tiedostokoko on suuresti riippuvainen muun muassa datan tiheydestä. Vastaavissa projekteissa työkenttelevien on hyvä ymmärtää, miksi pistepilvidata suhteellisen pienestäkin alueesta saattaa olla useita satoja gigatavuja.

Pistepilvidata koostuu nimensä mukaisesti suuresta joukosta pisteitä. Jokaisella pistepilven pisteellä tulee olla tunnetut X-, Y- ja Z-koordinaatit. Koordinaatit ovat tallennettuna tietokantaan, joka on yhteinen kaikille rekisteröidyille keilauksille. Tämä mahdollistaa eri keilauksien katselemisen ja tulkitsemisen yhtenäisesti ja selittää osan suurista tiedostoko'ista. Laserkeilauksen datan mukaan on mahdollista saada useita erilaisia katselmuksiin soveltuvia lisäosia, jotka pääsääntöisesti ovat keilaimen ottamien kuvien ja pistepilven integraatioita. Nämä integraatiot lisäävät toimitettavan datan tiedostokokoa huomattavasti. Lisäosat ovat kaikki maksullisia, ja tilaajan kannattaa arvioida niiden käyttökohteita ja hyödyllisyyttä ennen tilausta. Näiden jatkokäsittelyä ja -käyttöä helpottavien lisäominaisuuksien hyöty on kuitenkin mallintajan näkökulmasta valtava. Avevan LFM-ohjelmiston BubbleView tuo käyttäjälle mahdollisuuden päästä jokaiseen keilauspisteeseen katselemaan kyseisen yksittäisen keilauksen muodostamaa 360°-kuvaa. Tästä on suuri hyöty datan tulkinnessa, sillä joissain tapauksissa mallintajan ei ole mahdollista päästä keilattavaan kohteeseen kenttäkäynnille. Kuvan tukena taustalla on jatkuvasti pistepilvi, joka koostuu usean keilauksen datasta. Tämä mahdollistaa hyvin tarkkojen mittojen mittaamisen käytännössä valokuvasta. Kuvan ja pistepilven integraatiosta voi esimerkiksi mitata kätevästi putkilinjan korkeuden lattiasta sekä putken halkaisijan, kuten kuvassa 14 on esitetty.



Kuva 14. AVEVA:n LFM Server BubbleView™-näkyvä, jossa mitattuna putken halkaisija ja korkeus lattiatasosta.

Pistepilven tulkitsemiseen käytettäviä ohjelmistoja on lukuisia. Tärkeimpiä ominaisuuksia ohjelmistolle ovat pistepilven leikkaaminen ja rajaaminen sekä sen yhteensopivuus suunnitteluohjelmiston kanssa. Pistepilvidataa, riippumatta koosta, on lähes mahdoton tulkita ja hyödyntää ilman rajaamista. Rajaamisella saavutetaan huomattavasti käyttäjäystävällisempiä kokonaisuuksia, joiden pohjalta mallintaminen on mahdollista. Rajaamisessa tärkeintä on löytää datasta mallinnettavat kohteet ja rajata kaikki sillä hetkellä turhat pisteet ympäriltä pois. Mallintajan on tärkeä ymmärtää pistepilven muodostumistapa, jotta erilaisia leikkauksia datasta voidaan hyödyntää.

Pistepilvidatan tulkitsemiseen käytettäville ohjelmistoille tyypillistä on, etteivät ne itsessään ole mallintamiseen tarkoitettuja. Pistepilveä tulkitaan ja rajataan erillisellä ohjelmalla, joka on linkitetty johonkin mallintamiseen tarkoitettuun CAD-ohjelmaan. Pistepilven tulkintaohjelmissa on toimittajasta riippuen usein joitain mallintamista helpottavia

ominaisuuksia, esimerkiksi putkiston keskilinjan automaattinen tunnistaminen ja sylinterimäisten objektien havaitseminen. Ohjelmistoa hankittaessa onkin välttämätöntä miettiä mihin käyttöön ohjelmisto tulee, sekä tutustua eri toimittajien vaihtoehtoihin. Työn projektissa pistepilven tulkintaohjelmistona toimii AVEVAn LFM Server ja laitossuunnittelun CAD-ohjelmistona AutoCAD Plant 3D. Ohjelmistot ovat valikoituneet projektiin käyttökohteiden perusteella. Projektissa JETS consulting Oy mallintaa älykkään mallin asiakkaan F prosessiputkistosta sovitulta alueelta. AVEVAn LFM Server -ohjelmisto on optimoitu juurikin putkiston mallintamiseen pistepilvidatasta. Lisäksi Autodeskin Plant 3D on kevyt ja erittäin joustava ohjelmisto älykkään laitospilven tuottamiseen.

4.1 Työvaiheet

Projektissa mallinnettavassa laitoksen osassa on lukuisia erilaisia prosesseja. Osa prosesseista on dokumentoitu, ja niistä saatavilla oleva informaatio on tärkeää älykstä mallia luotaessa. Projekti lähtee käyntiin saatavilla oleviin dokumentteihin kuten PI-kaavioihin ja laitekuviin tutustumalla. Jotta dokumentit voitaisiin hyödyntää älykkäässä mallissa, tulee PI-kaavioissa esiintyvät prosessit pystyä paikantamaan kentällä ja myöhemmin pistepilvidatasta. Yhteistyö asiakkaan toimihenkilöiden ja operaattoreiden kanssa, jotka tuntevat laitoksen hyvin, on tässä kohtaa projektia tärkeää. Laitoksen tasokuvaa hyödyntämällä laitteet ja PI-kaaviot sidotaan alueisiin, joista ne todellisuudessa löytyvät kentältä. Tämä työkalu toimii projektin pohjana, ja eräänlaisena karttana mallintajalle. Pistepilvidata toimitetaan erikseen numeroiduissa lohkoissa, jotka kattavat noin 100 yksittäistä keilauspistettä. Lohkojen pinta-alat vaihtelevat suuresti, ja yhteensä mallinnettavasta alueesta niitä kertyy kymmeniä. Mallinnettava alue on pinta-alaltaan niin suuri, että pistepilvilohkojen kattamat alueet koettiin myös tarpeelliseksi merkitä laitoksen tasokuvan pohjalta luotuun karttaan. Tämä säästää mallintajalta aikaa oikeaa pistepilvilohkoa valittaessa.

Kuten aiemmin mainittu, projektissa tehtävä työ on jaettu kolmeen osaan seuraavasti:

- laserkeilaus ja pistepilvidatan toimitus, toteuttaja: alihankkija B
- rakenteiden ja laitteiden mallinnus, toteuttaja: alihankkija B
- putkiston mallinnus ja älykkään mallin luominen, sekä PI-kaavioiden uudelleen piirtäminen älykkääseen muotoon, toteuttaja: JETS consulting Oy.

Ensimmäisenä työvaiheena toteutetaan PI-kaavioiden uudelleen piirtäminen älykkäaseen muotoon, jotta linkki kaavioiden ja pistepilvidatan pohjalta mallinnettavien prosessien välille voidaan muodostaa. Näin kaavioiden attribuuttitiedot voidaan yhdistää oikeisiin putkilinjoihin ja -varusteisiin, sekä laitteisiin heti mallinnusvaiheessa. Prosessit ja alueet joiden dokumentit ja PI-kaaviot ovat puutteellisia, tai puuttuvat kokonaan, tulee selvittää kentällä. Ennen älykkään 3D-mallin toteutuksen aloitusta odotamme alihankkijan B pistepilvidatan pohjalta tuottamaa rakenne- ja laitemallia ensimmäisestä lohkoista. Toimitetulle mallille tehdään vastaanottotarkastus PSK 3402 standardin (3, s. 9) mukaisesti ja varmistetaan yhteensopivuus AutoCAD Plant 3D:n kanssa. Yhteensopivuustesteissä mallista ajetaan esimerkiksi taso- ja leikkauskuvia, ja varmistetaan että alihankkijan käyttämät grafiikkaformaattit toimivat moitteettomasti kaikissa Plant 3D:n kuvatuotantotyökaluissa. Vasta näiden toimenpiteiden jälkeen alihankkijalle annetaan lupa jatkaa mallien tuottamista seuraavista lohkoista. Rakenne- ja laitemallin odottaminen on järkevää myös siinä mielessä, että päällekkäistä työtä ei pääse alihankkijan ja JETS consulting Oy:n välillä muodostumaan mallintamisen osalta, kun se toteutetaan peräkkäin lohko kerrallaan.

4.1.1 PI-kaaviot

Projektin tilaaja, asiakas A, toimittaa JETS consulting Oy:lle kaikki laserkeilatun alueen prosesseihin ja käyttöhyödykkeisiin liittyvät dokumentit. Toimitetuista dokumenteista PI-kaaviot JETS consulting Oy piirtää uudelleen älykkäaseen muotoon AutoCAD P&ID:llä. Älykkäaseen muotoon saattamisen lisäksi asiakas haluaa, että olemassa olevia kaavioita yhdenmukaistetaan käytettyjen piirrosmerkkien osalta ja piirretään helposti tulostettavaan paperikokoon. Olemassa olevat kaaviot on pääsääntöisesti piirretty A0-kokoon, jolloin niiden tarkastelu tulostettuna on koettu hankalaksi. Muita asiakkaan toimittamia dokumentteja hyödynnetään älykkään mallin attribuuttitietoja täytettäessä.

Asiakkaan asettamien vaatimusten perusteella päätettiin piirrosmerkkien yhdenmukaistaminen ratkaista käyttämällä uudelleen piirrettyissä kaaviossa PSK:n standardin PSK 3605 (18) mukaisia piirrosmerkkejä. Standardissa ollaan määritelty yleisimmät PI-kaavion merkit ja niiden piirtämiskoko. Se ei kuitenkaan täysin sovellu asiakkaan harjoittamaan teollisuudenalaan. Standardin piirrosmerkkien lisäksi jouduttiin tästä syystä käyttämään laitoksella vakiintuneita laitesymboleita. Kaavioissa käytetyistä piirrosmerkeistä laaditaan tunnus- ja numerointijärjestelmän kuvaus, johon kaikki käytetyt merkit selityk-

sineen kerätään. Tämän tarkoitus on mahdollistaa kaavioiden yksiselitteinen tulkitseminen. PSK 3605 standardin (18) mukaisten merkkien piirtämiskoon johdosta kaaviot voidaan piirtää A1-kokoiselle pohjalle, jolloin ne ovat vielä helposti luettavia tulostettaessa A3-kokoon. Pohjan koon muutoksen ja piirrosmerkkien yhdenmukaistamisen takia kaavioita joudutaan kuitenkin jakamaan useisiin uusiin kaavioihin. Alkuperäisistä kaavioista tulee siis useampi älykäs kaavio, jonka johdosta piirustusnumerointi tulee toteuttaa uudelleen.

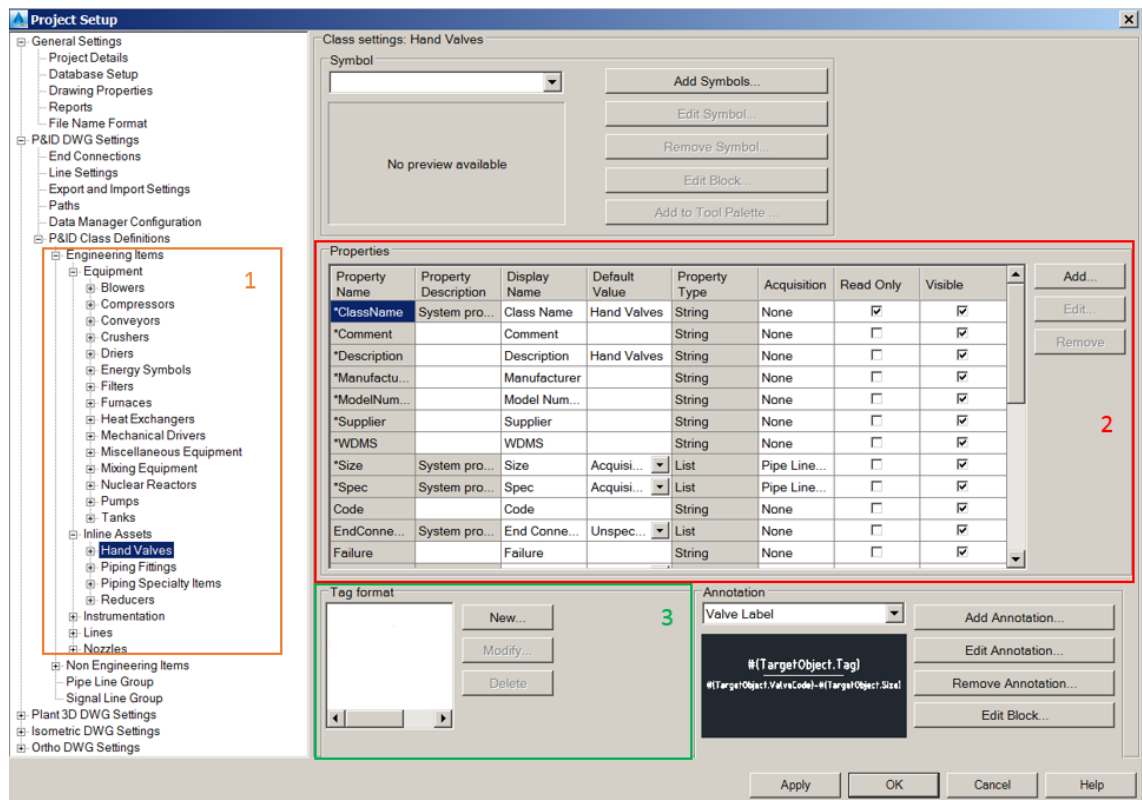
AutoCAD Plant 3D sekä P&ID ovat projektipohjaisia laitossuunnitteluohjelmia. Tämä tarkoittaa, että ohjelmiston asetukset on määritettävä projektikohtaisesti, tässä tapauksessa asiakaskohtaisesti. Tämän takia ennen Plant 3D -projektin perustamista, on syytä tutustua asiakkaan dokumentteihin, jotta asetukset voidaan konfiguroida mahdollisimman pitkälle ennen varsinaisen työn aloittamista. Plant 3D -projekti perustetaan verkkolevylle, jolloin useampi tekijä voi työskennellä projektin parissa. Tämä mahdollistaa esimerkiksi PI-kaavioiden ja älykkään 3D-mallin tuottamisen saman aikaisesti, eri henkilöiden toimesta. Verkkolevylle perustettuun projektiin tulee nimetä järjestelmänvalvoja, jolla on vastuu ja oikeudet konfiguroida projektin asetuksia.

PI-kaavioiden osalta projektin konfigurointi lähtee liikkeelle oletuspiirustusohjelman asettamisesta. Ohjelma tuo tämän piirustusohjelman jokaiseen projektiin luotuun PI-kaavioon automaattisesti ja rajaa piirustusalueen sen mukaan. Tämän jälkeen tuodaan standardin PSK 3605 (18) mukaiset piirrosmerkit projektiin. Piirrosmerkit tuodaan kuvassa 14, kohdassa 1 näkyvien kategorioiden alle. Kategorioihin jakamalla mahdollistetaan älykkään kaavion eri tyyppisten komponenttien eri tietosisällöt. Esimerkiksi säiliöille halutaan antaa täysin erilaisia attribuutteja kuin venttiileille. Kuvassa 15, kohdassa 2 näkyvään "Properties"-kenttään luodaan kategoria kohtaisesti ne attribuutit, joita kategorian komponenteilla halutaan näkyvän. Kohdassa 3 näkyvään "Tag format"-kohtaan luodaan niin ikään kategoriakohtainen tunnusformaatti. Tässä tapauksessa asiakkaan suunnittelustandardissa ollaan määritetty tarkasti laitoksella käytetyt venttiili-, laite-, instrumentointi- sekä linjatunnusformaattit. Tunnusformaatti luodaan usein ketjuttamalla attribuuttitietoja "Properties"-kentistä, jolloin tunnus muodostuu automaattisesti attribuutteja täyttämällä. Esimerkiksi linjatunnusformaatti voidaan asettaa seuraavasti:

841-50-HMP-001-E16C1B, jossa

- 841 alue, jolta putkilinja löytyy
- 50 putken nimelliskoko
- HMP virtaavan aineen tunnus
- 001 juoksevanumerointi
- E16C1B putkiluokka.

Kukin kenttä tunnuksessa on kategorialle ominainen yksittäinen attribuutti. Samaan tapaan luodaan tunnusformaattit kaikille tunnuksen vaativille kategorioille.



Kuva 15. Plant 3D Project Setup -näkyvä.

Vaikka kaikki asetukset miettisikin ennakkoon, tulee projektin edetessä aina tarvetta joihinkin muutoksiin tai lisäyksiin. Muutokset ja lisäykset ilmoitetaan järjestelmänvalvojalle, jonka tehtäväksi jää miettiä paras vaihtoehto tilanteen korjaamiseksi ja päivittää se projektin asetuksiin.

4.1.2 Älykkään 3D-mallin tuottaminen

Älykkään mallin tuottaminen aloitetaan asiakkaan toivomista alueista, joihin ollaan kaavailtu prosessimuutoksia lähitulevaisuudessa. Alueiden priorisointi on myös alihankkijan tiedossa, jolloin rakenne- ja laitemallit näiltä alueilta saadaan mahdollisimman nopeasti JETS consulting Oy:n jatkokäsittelyyn. Alueisiin liittyvien PI-kaavioiden uudelleen piirtäminen älykkääseen muotoon AutoCAD P&ID:llä toteutetaan jo ennen alihankkijan toimitamien mallien saapumista, jolloin jatkokäsittely päästään aloittamaan heti.

Projektin perustamisen yhteydessä asiakkaan Plant 3D -projektiin luodaan mallintamiseen tarkoitettuja putkiluokkia, joilla älykäs putkistomalli tuotetaan. Mallintamiseen käytettävät putkiluokat perustuvat asiakkaan toimittamista dokumenteista löytyviin vanhoihin suunnittelustandardeihin, joiden määrittelyiden mukaisesti suurin osa projektissa mallinnettavan laitoksen osan prosessiputkistosta ollaan toteutettu. Plant 3D -putkiluokkiin luodaan tavallisimpia putkenosia, kuten erilaisia käyriä, t-kappaleita, laippoja ja muita liitäntäosia. Lisäksi asiakkaan vanhoista suunnittelustandardeista löytyi putkistorustemäärittely, jonka pohjalta Plant 3D -osakirjastoihin voidaan tehdä valmiiksi yleisimpiä laitoksella käytettyjä putkistorusteita, kuten erilaisia venttiilejä, joita lisätään yhteensopiviin putkiluokkiin tarpeen mukaan. Plant 3D -kirjastojen ja -putkiluokkien rakentamiseen päätettiin käyttää Plant 3D:n omaa grafiikkaa, jolloin tuotettavien mallien tiedostokoko pysyy kohtuullisena ja niiden käyttö suunnittelutöissä sujuvana.

Alihankkijan rakenne- ja laitemallit toimitetaan JETS consulting Oy:lle määrittelemättömän kokoisina kokonaisuuksina. Mallit sisältävät tässä vaiheessa jo kaiken lukuun ottamatta putkistoa. Ensimmäinen jatkokäsittelyn työvaihe on jakaa kokonaisuudet laitoksen pilarilinjojen mukaisesti sopivan kokosiin osiin. Jakamisessa otetaan huomioon myös prosessikokonaisuudet, jolloin tiettyyn prosessiin tai sen osaan kuuluvat laitteistot sekä putkistot tulevat yhteen malliin ja näin ollen yhteen tiedostoon. Tämä helpottaa tulevaisuudessa mallin toimittamista esimerkiksi suunnittelijoille, jotka työskentelevät asiakkaan projekteissa. Kun tiedetään, mille alueelle projekti kohdistuu, voidaan suunnittelijalle toimittaa malli juuri tältä alueelta. Mallien jakamisella pyritään pitämään yksittäisen CAD-tiedoston koko alle 15 megatavussa. Tiedostoja projektissa mallinnettavasta alueesta tulee yhteensä kymmeniä. Projektin lopussa näistä alueista tehdään laitoksen taso kuvaan ohjeistus, jonka avulla oikea malli on mahdollista löytää.

Mallintamisen hankintamäärittelyssä alihankkijalle määritettiin 3D-mallin tasojaot. Tasojako toteutettiin PSK:n standardin PSK 5821 (11, s. 6–7) mukaisesti. Omille tasoilleen

sijoitettiin kaapelihyllyt, laitteet, katto, pilarit, lattia, seinät, teräsrakenteet, portaat sekä hoitotasot. Lisäksi putkiston taso määritettiin virtaavan aineen pääluokan mukaan, niin että esimerkiksi vesi- ilma- ja tuoteputkistot sijoitettiin omille tasoilleen. Plant 3D:ssä jokaiselle mallin osalle määritettiin asetus, joka säätää tämän värin tason mukaan. Näin kunkin tason alle kuuluvat asiakokonaisuudet ovat helposti hallittavissa ja havaittavissa mallista.

Kun malli on jaettu halutun kokoiseen palasiin ja älykäs PI-kaavio valitulta alueelta on valmis, luodaan näiden välille linkki Plant 3D:ssä. Näin putkistoa mallinnettaessa mallintajalla on jatkuvasti valittavissa kaavion putkilinjoihin perustuva linjaluetelo, josta sillä hetkellä mallinnettava linja valitaan linjatunnuksen perusteella. Helpoin tapa löytää oikea putkilinja pistepilvidatasta on aloittaa mallintaminen joltain laitteelta, jonka laitetunnus ja paikka tiedetään ja joka löytyy myös kaaviosta.

Ennen putkiston mallintamista alihankkijan mallintamat laitteet muunnetaan järjestelmän laitteiksi ”PLANTEQUIPMENTCONVERT”-komennolla. Osa laitteiden yhteistä oli jäänyt alihankkijalta mallintamatta, sillä rajapinta putkiston ja laiteyhteiden välillä on häilyvä. Nämä puutteet etsitään ja mallinnetaan pistepilven avulla ennen laitteeksi muuntamista. Laitteille pyritään täyttämään attribuuttitietoja asiakkaan toimittamien laitekuvien perusteella. Tiedot ovat laitetyypille ominaisia ja ainakin kuvan 16 mukaiset tiedot pyritään selvittämään.

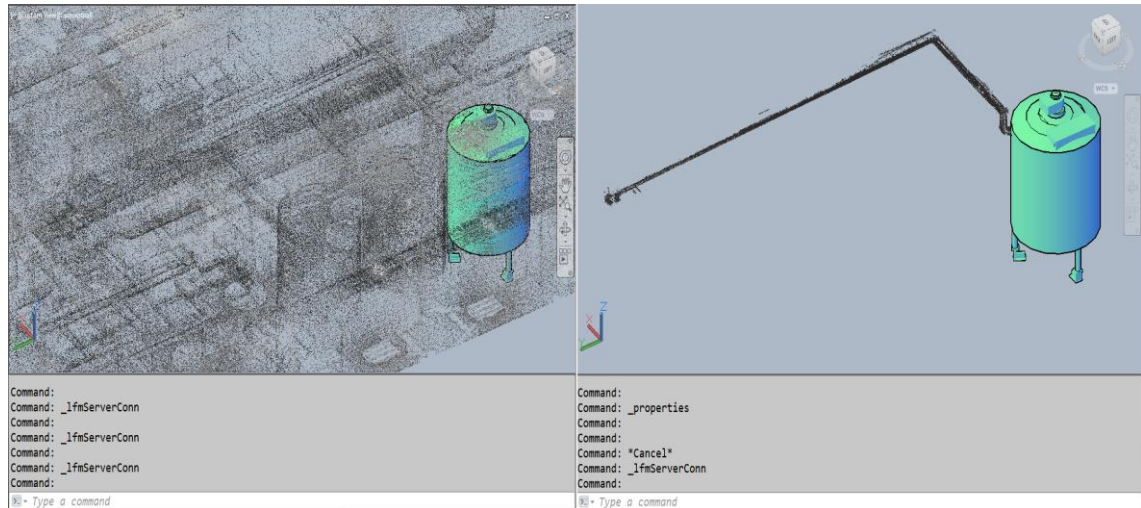
Säiliöt	Pumput	Lämmönvaihtimet	Kuljettimet	Suodattimet
Tilavuus	Tyyppi	Tyyppi	Tyyppi	Tyyppi
Materiaali	Kapasiteetti	Lämpöteho	Leveys	Suodinala
Vaipan (Tyyppi ja materiaali)	Nostokorkeus	Pinta-ala	Pituus	Rungon materiaali
Virtaava-aine	Teho	Rungon materiaali	Teho	Verkon materiaali
Orientaatio (pysty/vaaka)	Pesän materiaali	Levy-/putkimateriaali		Verkon silmäkoko
	Juoksupyörän materiaali	Yhdekoot		Yhdekoot
	Tiivisteiden tyyppi			
	Imu- ja paineyhteen koko			

Kuva 16. Laitteille tyypillisiä tietoja, jotka pyritään selvittämään ja syöttämään älykkääseen malliin.

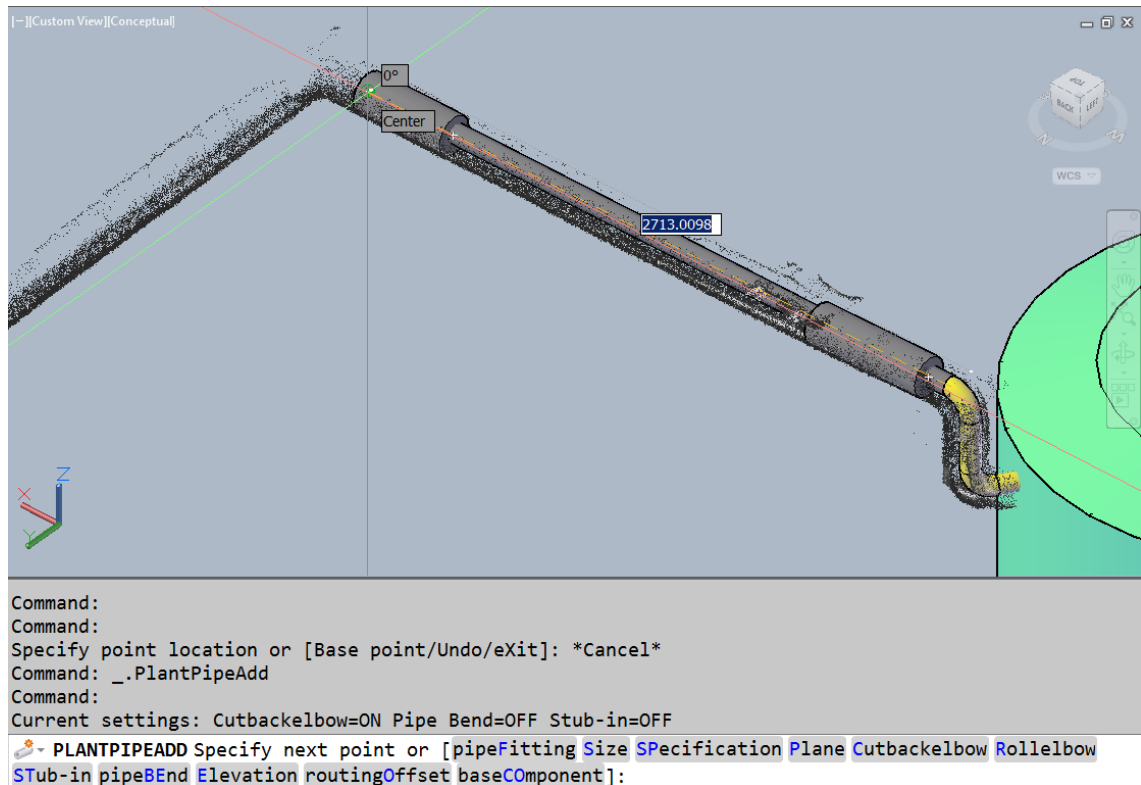
Putkiston mallintaminen aloitetaan AVEVA:n LFM Serverissä pistepilven rajaamisella. Rajaamisessa pistepilvestä etsitään mallinnettavan putken reitti. Mallintamisen sujuvuuden kannalta on tärkeää pitää kerralla näkyvän pistepilven määrä mahdollisimman pienenä, kuitenkin niin että reitti on mahdollista hahmottaa. Hyväksi todettu työskentelytapa on rajata pistepilvestä putken reitti aina seuraavaan tunnistettavaan putkivarusteeseen tai laitteeseen saakka. Kuvassa 17, on esitetty pistepilvidatan rajaamisen merkitys. Vasemman puoleisessa tilanteessa on rajaamaton pistepilvi ja oikean puoleisessa säiliön

täyttöputken reitti säiliöltä sulkuventtiilille ollaan rajattu. Näkymä on tuotu Plant 3D -ympäristöön, jossa mallintaminen tapahtuu.

Kuva 17. Havainnollistus pistepilven rajaamisen merkityksestä.



Putken muotojen ja reitin tunnistamiseen käytetään LFM Serverin automaattista putken-tunnistustyökalua. Työkalulla osoitetaan rajatusta pistepilvestä putken alku- ja loppupiste suoralta osuudelta. Ohjelma piirtää putken pintamallin valittujen pisteiden väliin. Putket ovat usein eristettyjä, jolloin ohjelman tunnistama putken pintamalli ei ole todellinen putken ulkohalkaisija. PI-kaavioihin ollaan kuitenkin merkattu putkiston todellinen nimelliskoko, joiden mukaan putket mallinnetaan käyttäen pintamalleja apuna. Ohjelman tunnistamat putkiston pintamallit ovat ikään kuin putken mallintamisen apuviivoja, joiden muotoja käytetään älykkään putkiston reitityksessä. Plant 3D:n Snap-työkalu on tässä välttämätön. Snap-työkalu tunnistaa putkiston pintamalleista pyöreän muodon keskipisteen, johon todellinen, eristämätön älykäs putki halutaan mallintaa. Voidaan siis olettaa, että pintamallin keskilinja on samalla myös eristeen sisällä olevan putken keskilinja.



Kuva 18. Putkiston mallintaminen hyödyntäen pistepilvestä tunnistettuja putken pintamalleja ja Plant 3D:n Snap-työkalua.

Joissain tapauksissa putkesta ei ole saatavilla mitään muuta tietoa, kuin pistepilvidatan tarjoamat paikkatiedot. Tällöin putken tiedot tulee selvittää kentällä. Kentällä selvitetään eristämättömän putken ulkohalkaisija, materiaali sekä eristepaksuus. Kenttäkäynnit kannattaa suunnitella etukäteen hyvin, jolloin mahdollisimman monta selvitettävää kohdetta voidaan yhdistää yhteen käyntiin ja dokumentoida tehokkaasti. Dokumentoinnin apuna käytetään laitoksen tasokuvia sekä alihankkijan rakenne- ja laitemalleista luotuja 2D-kuvia. Tuntemattoman putken reitti voidaan myös hahmotella ensin kokonaisuudessa pintamallina, jolloin kentällä tehdyn selvitystyön jälkeen älykkään putken mallintaminen pystytään tekemään ilman pistepilveä. Tällöin putkistoon liittyvien putkistovarusteiden paikat tulee merkitä tarkasti pistepilven pohjalta tehtyyn putkireittihahmotelmaan.

5 Yhteenveto

Laserkeilauksen pohjalta tuotettava älykäs malli on oiva tapa digitalisoida laitoksen dokumentaatio. Älykkään mallin rakentaminen vaatii kuitenkin sitä enemmän aikaa, mitä heikompi dokumentointi laitoksesta on valmiiksi olemassa. Älykkääseen malliin syötettävien tietojen keruun arvioitiin olevan työn haastavin sekä aikaa vievin osuus. Tämä piti myös paikkansa. Tiedonkeruussa, varsinkin projektin alkuvaiheessa, pyydettiin asiakkaan henkilökunnalta melko paljon apua, sillä laitos oli mallintajille vielä tuntematon. Kun kokonaisuudet alkoivat hahmottumaan, pystyttiin asiakkaan toimittamia dokumentteja hyödyntämään tehokkaasti ja kentällä tehtävä selvitystyö väheni. Luotujen mallien tiedostokoko pystyttiin pitämään kohtuullisena käyttämällä mallintamiseen kevyempää grafiikkaa, sekä jakamalla mallit järkevän kokoisiin osiin. Opinnäytetyön aikana valmiiksi saatettuja mallinosia hyödynnettiin asiakkaan muutostyöprojekteissa useamman alihankkijan toimesta. Mallien jakelun tiedostomuotojen vakiinnuttua projektit sujuivat hyvin ja mallien tarjoamat lähtötiedot suunnittelutöissä koettiin hyödyllisiksi.

Lähtiessä toteuttamaan vastaavanlaista projektia, tulee käytettävien ohjelmistojen vertailu sekä päätös hankinnasta tehdä hyvissä ajoin. Päätösten tukena kannattaa käyttää ohjelmistotoimittajien tarjoamia ilmaisia kokeilujaksoja. Tällöin ohjelmistoihin keretään tutustumaan ja projekti alustamaan ennen varsinaisen työn aloittamista. JETS consulting Oy:ssä AutoCAD Plant 3D -laitossuunnitteluohjelmisto on ollut käytössä jo ennen opinnäytetyössä käsiteltävän projektin alkua, joten sen käyttö koettiin hyväksi vaihtoehdoksi. Pistepilvidatan käsittelyyn ohjelmistovaihtoehtoja oli useampia, mutta niihin tutustumisen ja kokeilujaksojen jälkeen päädyttiin AVEVAn tuottamaan LFM Server -ohjelmistoon. Sen ominaisuudet koettiin täyttävän projektin vaatimukset. Lisäksi LFM Server on täysin yhteensopiva AutoCAD Plant 3D:n kanssa.

Lähteet

- 1 LFM Software 2012, Laser Scannign by AVEVA & LFM. Youtube: <<https://www.youtube.com/watch?v=3AiVGIDWCmU>>. Katsottu 11.4.2017
- 2 Heikkinen, J. 2017. Toimitusjohtaja, Neopoint Oy. Suullinen tiedonanto sekä sähköpostikeskustelu. 2017
- 3 PSK Standardisointiyhdistys Ry. 2013. PSK 3402, Laserkeilauksen ja mallinnuksen hankinta teollisuudessa liitteineen.
- 4 Pekkala, J. 2015. 3D-laserkeilausaineiston hyödyntäminen inframallintamisen yhteydessä ja sen lopputuotteen laadun varmentaminen. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 58/2015. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/120892/lts_2015-58_978-952-317-163-3.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 5 Cronvall, T. Kråknäs, P. Turkka, T. 2012. Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2012. <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lts_2012-41_laserkeilauksen_kaytto_web.pdf>
- 6 Zoller + Fröhlich. Z+F IMAGER 5006h, 3D Laser Scanner. Data sheet. <http://www.zf-laser.com/Z-F-IMAGER-R-5006h.3d_laserscanner1.0.html?&L=1>
- 7 Zoller + Fröhlich. Z+F IMAGER 5010, 3D Laser Scanner. Data sheet, Brochure. <http://www.zf-laser.com/Z-F-IMAGER-R-5010.3d_laserscanner0.0.html?&L=1>
- 8 Säteilyturvakeskus. 2015. Laserluokat. <<http://www.stuk.fi/aiheet/laserit/laserluokat>>. Luettu 8.5.2017.
- 9 Cohn, D. 2010. Evolution of computer aided design. <<http://www.digitaleng.news/de/evolution-of-computer-aided-design/>>. Luettu 20.8.2017
- 10 Eklund, E. 2017. Toimitusjohtaja, JETS consulting Oy. Suullinen tiedonanto.
- 11 PSK Standardisointiyhdistys Ry. 1999. PSK 5821, Tehdassuunniteluasiakirjat. Prosessikaavioiden sijaintia kuvaavien piirustusten laadinta CAD-järjestelmillä. 3. painos.
- 12 Profox Companies Oy. Älykäs malli-palvelulla tehokkuutta laitoksen operointiin, muutossuunniteluun ja työmaalle. <http://www.profox.fi/pdf/BalticTank_artikkeli.pdf>. Luettu 22.8.2017.
- 13 Autodesk, Inc. AutoCAD Plant 3D Features <<https://www.autodesk.com/products/autocad-plant-3d/features>>. Luettu 26.8.2017.

- 14 Profox Companies Oy. 2016. AutoCAD Plant 3D opetusmateriaali (yrityksen sisäinen materiaali).
- 15 Autodesk 2015, Tailoring AutoCAD P&ID and AutoCAD Plant 3D. <
http://docs.autodesk.com/PLNT3D/2015/ENU/pdf/Tailoring_AutoCAD_PnID_and_Plant_3D.pdf >.
- 16 AVEVA. 2017. LFM Server Autodesk AutoCAD Interface v.4.4.1 User Manual.
- 17 PSK Standardisointiyhdistys Ry. 2007. PSK 3601, Prosessiteollisuuden virtauskaavioiden piirrosmerkit. 2. painos.