

Ville Vähävuori

Laserkeilausohjeen luominen Fortumin Loviisan voimalaitokselle

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (ylempi AMK)
Maanmittaustekniikka
Opinnäytetyö
30.11.2017

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Ville Vähävuori Laserkeilausohjeen luominen Fortumin Loviisan voimalaitok- selle 53 sivua + 2 liitettä 30.11.2017
Tutkinto	insinööri (ylempi AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	projektipäällikkö Veli-Pekka Koskela lehtori Jussi Laari
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda Fortumin Loviisan ydinvoimalaitokselle ohjeistus laserkeilausten suorittamiseen voimalaitosalueella. Voimalaitosalueella tullaan oletettavasti tulevaisuudessa suorittamaan useita laserkeilausprojekteja voimalaitoksen tain muiden organisaatioiden toimesta. Tarkoituksena oli luoda yhtenäinen ohjeistus kattamaan kaikki laserprojektin vaiheet siten, että kaikki alueella toimivat organisaatiot pystyvät työskentelemään turvallisesti, sekä luoda menetelmät, joilla alueella kaikki alueelta tuotettavat pistepilviaineistot ovat keskenään yhteneviä.</p> <p>Projekti vietiin läpi määräajoin järjestettävien suunnittelupalavereiden avulla, jotka toimivat samalla osana tämän lopputyön tutkimusmenetelmää. Suunnittelupalavereiden lisäksi ohjeistuksen toimivuutta testattiin myös käytännössä voimalaitosalueella suoritettuna koemittauksen avulla. Projektin aikana myös tutkittiin alaan liittyviä lähdemateriaaleja, joiden pohjalta pohdittiin tapoja käyttää laserkeilausaineistoa avuksi tietomallien luomisessa sekä tietomallien vaikutusta projektin tiedonhallintaan.</p> <p>Opinnäytetyön aikaansaannoksena luotiin ohjepaketti, joka koostuu voimalaitoksen sisäiseen käyttöön tarkoitetusta laserkeilausohjeesta, tarjouspyynnön liitteenä käytettävästä tilauslomakkeesta sekä laserkeilausprojektin alussa jaettavasta toimeksiantolomakkeesta. Lisäksi voimalaitokselle luotiin oma pistepilvien arkistointimenetelmä.</p>	
Avainsanat	laserkeilaus, tietomallit, pistepilvi, tiedonhallinta

Author Title Number of Pages Date	Ville Vähävuori Creating laser scanning manual for Fortum's power plant in Loviisa 53 pages + 2 appendices 30 October 2017
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Veli-Pekka Koskela, Project Manager Jussi Laari, Principal Lecturer
<p>The main goal of this master's thesis was to create an all-purpose laser scanning manual to serve all laser scanning projects performed in the nuclear power plant area in Loviisa. The laser scanning projects are to be performed either by the personnel of the power plant or by outside contractors. Thus, it was important to create a simple and understandable manual to explain the proper measuring methods in order to create homogenous measuring data. In addition, it was important to explain all safety issues and protocols in the power plant area.</p> <p>The final year project created the laser scanning manual in workshops held together with the customer. The manual was also tested with an actual laser scanning project performed in the power plant area. The project also studied ways to use laser scanning data, and considered how to scanning data can be used in building information models.</p> <p>The project resulted in a three-part laser scanning manual. The parts are the laser scanning manual, a laser scanning data sheet to help any invitation of tender processes for measurements from outside contractors, and a checklist to be used with a surveyor prior to any scanning projects. Furthermore, an archive system for the gathered laser scanning data was created. Due to the results, it is possible to execute all laser scanning projects in the nuclear power plant area and to create homogenous and convenient data to serve various types of projects.</p>	
Keywords	laser scanning, BIM, point cloud, information management

Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet	1
1.2	Tutkimusmenetelmä	2
1.3	Opinnäytetyön rakenne	3
2	Ydinvoima	4
2.1	Ydinvoima Suomessa	4
2.2	Loviisan voimalaitokset	5
2.3	Ydinvoimarakentaminen Suomessa ja maailmalla	6
2.4	Työkohteen erityispiirteet	7
3	Laserkeilaus mittausten menetelmänä	9
3.1	Laserkeilain	9
3.2	Laserkeilaimien erottelu ominaisuuksien mukaan	10
3.2.1	Käyttökohteet ja -tapa	10
3.2.2	Etäisyyden mittausmenetelmät	10
3.2.3	Laserkeilaimen osat ja mittaustapa	12
3.3	Pistepilvien käsittely	13
3.4	Mittauksen virhelähteet	14
3.5	Laserkeilain verrattuna perinteisiin mittauslaitteisiin	17
3.6	Laserkeilaimien käyttökohteet ja tulevaisuus	18
4	Mallintaminen	20
4.1	Tieto- ja aluemallit	20
4.1.1	Tietomalli	20
4.1.2	Aluemalli	20
4.1.3	Mallien visualisointi	21
4.2	Mallien rakentaminen ja käyttö	23
4.2.1	Tieto- ja aluemallien käyttö rakentamisessa	23
4.2.2	Pintamallin luominen pistepilvestä	24
4.2.3	Rakennuksen tietomallin luominen pistepilvestä	25
4.2.4	Mallinnusohjeet ja standardit	26
4.3	Mallintamisen tulevaisuudessa	26
4.3.1	Virtuaaliympäristöjen käyttö rakennushankkeissa	26
4.3.2	Mallintaminen pistepilvestä tulevaisuudessa	27

5	Tiedonhallinta	29
5.1	Tiedonhallinta rakennusprojekteissa ja tietomallinnuksen sovellutukset	29
5.2	Tietomallipohjaisen projektin johtaminen ja tiedonhallinta	30
5.3	Tiedonhallinta ja tietomallien käyttö rakennusprojektin jälkeen	32
6	Projektin toteuttaminen	34
6.1	Projektin toteutustapa	34
6.2	Ohjeistuksen sisältö	35
6.3	Laserkeilausprosessi	35
6.3.1	Laserkeilausprosessin ongelmakohdat tilaajan ja aineiston tuottajan näkökulmasta	35
6.3.2	Tilauslomake	36
6.3.3	Turvallisuusohjeistus	37
6.4	Laserkeilausohjeen rakenne ja pääpiirteet	38
6.5	Pistepilviaineiston arkistoinnin ohjeistus	39
7	Koemittaus Loviisan voimalaitosalueella	42
7.1	Mittauskohde ja mittauksen tarkoitus	42
7.2	Koemittauksen toteutus	43
7.3	Koemittauksesta saadun tiedon käsittely	46
7.4	Ohjeistuksen valmistuminen ja käyttöönotto	48
8	Yhteenveto	50
8.1	Yhteenveto projektin tavoitteiden saavuttamisesta	50
8.2	Pistepilvien tuleva käyttö voimalaitosalueella	51
8.3	Ohjeen jatkokehitys sekä käyttö muissa teollisuuden kohteissa	52
	Lähteet	54
	Liitteet	
	Liite 1. Tilauslomake	
	Liite 2. Toimeksiantolomake	

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Fortumin on tarkoitus lähitulevaisuudessa suorittaa itse tai teetättää ulkopuolisella konsultilla laserkeilaushankkeita Loviisan ydinvoimalaitoksen alueella. Laserkeilauksia teetetään pääsääntöisesti tarpeen mukaan projekti- ja hankekohtaisesti. Tämän johdosta laserkeilaushankkeet ovat laajuudeltaan erikokoisia ja käsittävät pääsääntöisesti vain osia voimalaitosalueen kokonaisuudesta. Ongelmaksi tulevaisuudessa saattaakin muodostua runsaan keilausaineiston käytännöllinen arkistointi siten, että tarvittava aineisto on helposti löydettävissä ja käyttöön otettavissa. Lisäksi aineiston on oltava yhdenmukaista ja yhteensopivaa mahdollista jatkokäyttöä ajatellen. Aineiston on oltava käytettävissä tai helposti muunneltavissa siten, että se on käyttökelpoista käytössä olevilla suunnitteluohjelmilla niin nykyään kuin myös tulevaisuudessa. Ohjeella varmistetaan, että mittauksen suorittaja suorittaa työn riittävällä tarkkuudella ja huolellisuudella jokaisessa mittausprojektissa projektin luonteesta riippumatta. Ohjeessa kiinnitetään huomiota mittausprosessin toistettavuuteen, joka takaa tarkkuuden myös pitkäkestoisissa tarkkailumittauksissa sekä muissa vaativissa mittausprojekteissa.

Työn tavoitteena on luoda Fortumin Loviisan ydinvoimalaitokselle työohjeistus tukemaan ja yhtenäistämään alueella suoritettavia laserkeilausprojekteja. Laserkeilausprosessin työohjeen painopiste on keilausaineiston arkistoinnissa ja hallinnassa sekä mittauskokonaisuuden suunnittelussa. Varsinaista mittausapahtumaa ohjeessa ei ole tarkoitus käsitellä tarpeettoman yksityiskohtaisesti. Tällä pyritään välttämään mittauksen suorittajan työskentelyn liiallista rajoittamista. Ohjeistus sisältää kuitenkin joitakin mittausarkkuuteen liittyviä ohjeita, esimerkiksi voimalaitosalueen kiintopisteiden käytön osalta annetaan joitain käytännön ohjeita sekä määräyksiä. Keilausaineiston arkistoinnista on tarkoitus luoda selkeä ja järjestelmällinen prosessi, jolloin tiedot tallentuvat oikeaan paikkaan ja oikeassa muodossa niin, että tarvittavat ja ajantasaisimmat aineistot ovat aina helposti löydettävissä ja käyttöön otettavissa.

Ohjeen on tarkoitus sisältää joka tapauksessa myös pääpiirteisen ohjeistuksen mittausstavasta ja mittausten suunnittelusta, siten että suoritettavat mittaukset täyttävät varmasti vaadittavat tarkkuusvaatimukset. Voimalaitosalueella mittauksen absoluuttisen tarkkuuden on oltava riittävä, jotta aineistoa voidaan mahdollisesti myöhemmin käyttää

tarkan aluetietomallin luomiseen. Tarkkuuden varmistamiseksi ohjeistus sisältääkin määräyksen alueella olevan runkopisteverkon käytöstä.

Aluetietomallin kehityshanke on Fortumilla parhaillaan jo käynnissä. Koska opinnäytetyöni liittyy osittain tähän projektiin, käydään työssäni läpi myös tietomallinnuksen käyttöä ja tiedonhallintaa sekä tutkitaan, miten pistepilviaineistoa voidaan käyttää hyödyksi erilaisia tietomalleja rakennettaessa.

1.2 Tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyön tutkimuksessa pyritään tuottamaan ja suunnittelemaan toimivia toimintatapoja ongelmanratkaisuun käyttämällä hyödyksi ja soveltamalla aikaisempaa aiheesta löytyvää tietopohjaa. Tietopohja hankitaan pääsääntöisesti kirjallisuus- ja haastattelu- tutkimusten avulla. Ongelmanratkaisua haetaan tiiviillä vuorovaikutuksella tilaajan, työnohjaajan ja työntekijän välillä.

Varsinaisen kvantitatiivisen eli kokeellisen tutkimuksen osuus työssäni jää verrattain vähäiseksi. Lopputyössäni käytetään enimmäkseen laadullisen eli kvalitatiivisen tutkimuksen mukaisia menetelmiä, joissa pyritään tutustumalla tutkimusmateriaaliin ja aikaisempiin havaintoihin hahmottamaan ja arvioimaan tulevaisuudessa mahdollisesti syntyviä ongelmia sekä löytämään ongelmiin ratkaisu jo ennen niiden syntymistä. Ohjeistuksen toimivuutta testataan ja analysoidaan kuitenkin käytännössä, kun voimailtoalueen ulkoalue ja rantapenkereet laserkeilataan Rambollin Lahden toimiston toimesta. Keilaus on tarkoitus suorittaa laatimani työohjeen perusteella, jolloin ohjeen toimivuudesta saadaan ennakkokäsitys mittaussuorituksen osalta.

Ohjeistuksen laadinnassa suurimman haasteen tuleekin todennäköisesti luomaan aineiston hallinnan ja arkistoinnin toimivuus tulevaisuudessa. Arkistoinnin toimivuutta on vaikea testata käytännössä, ennen kuin aineistoa voidaan ryhtyä keräämään ja sitä on kertynyt riittävästi. Eri arkistointiratkaisujen toimivuutta pyritään kuitenkin simuloimaan työntekovaiheessa, siten että niiden toimivuudesta saadaan hyvä ennakkokäsitys.

1.3 Opinnäytetyön rakenne

Opinnäytetyön alkuosassa käsitellään työn kannalta keskeistä ydinvoimarakentamista Suomessa sekä esitellään Fortumin Loviisan ydinvoimalaitokset työkohteena. Tämän jälkeen esitellään laserkeilaimen toimintaperiaatteet ja niiden ominaisuudet ja esitellään tieto- ja aluemalleja sekä käydään läpi laserkeilaimen vaikutusta mallien tuottamiseen. Työssä käydään läpi tiedonhallinta malleja perinteisessä suunnittelussa että mallintavassa suunnittelussa. Työn alkuosa sisältää opinnäytetyöhön liittyvän taustatutkimuksen ja -materiaalin.

Työn kokeellisessa osiossa käydään läpi varsinaista työn kulkua ja laserkeilausohjeen suunnittelua myös esitetyt havainnot, huomiot ja ehdotukset perustuvat pääsääntöisesti suunnittelupalavereissa ja puhelinkeskusteluissa käytyihin vapaamuotoisiin keskusteluihin sekä omassa organisaatiossani työskentelevien asiantuntijoiden haastatteluihin. Työn kokeellinen osio sisältää selostuksen lopputyön ohessa tehdystä koemittauksesta Loviisan voimalaitoksella. Lisäksi luvussa käydään läpi ohjeen toimivuutta käytännössä sekä arvioidaan sen toimivuutta tulevaisuudessa. Opinnäytetyön kokeellisen osuuden tarkoituksena on kuvata niitä prosesseja ja metodeja, joilla työntekijä on päässyt ohjeen kirjoittamisen osalta haluttuun lopputulokseen.

Tulos- ja yhteenveto osion on tarkoitus käydä läpi projektista opittua ja arvioida ohjeen toimivuutta tulevaisuudessa laserkeilausaineiston arkistoinnin ja hallinnan kannalta. Lisäksi luvussa mietitään ohjeen jatkojalostusta muihin teollisuuden kohteisiin, joissa vastaavalle ohjeelle olisi käyttöä.

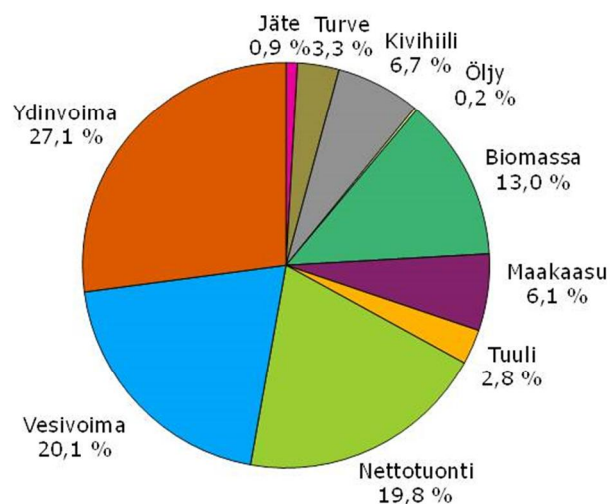
2 Ydinvoima

2.1 Ydinvoima Suomessa

Suomen ydinenergian tuotanto on alkanut vuonna 1977, jolloin Suomen ensimmäinen voimalaitosyksikkö aloitti toimintansa Loviisan Hästholmenin saarella. Tällä hetkellä Suomessa on käytössä neljä ydinvoimalaitosyksikköä. Loviisassa sijaitsevat Fortumin yksiköt LO1 (1977) ja LO2 (1981) sekä Eurajoella Olkiluodossa sijaitsevat Teollisuuden Voiman (TVO) yksiköt OL1 (1979) ja OL2 (1982). Lisäksi valmisteilla on viides voimalaitosyksikkö Olkiluotoon (OL3), jonka rakentamistyöt aloitettiin vuonna 2005, sekä kuudes voimalaitosyksikkö Pyhäjoelle, jonka tilaajana on Fennovoima. [1]

Suomen vuosittaisesta sähköntuotannosta ydinvoima tuottaa noin kolmanneksen (kuva 1). Suurin osa ydinvoimalla tuotetusta energiasta menee teollisuuden käyttöön. Neljän käytössä olevan yksikön yhteenlaskettu teho on 2 736 megawattia. Olkiluodon OL3-yksikön käyttöönoton jälkeen yhteenlasketun tehon tulisi nousta noin 1 600 megawattilla. [1; 2.]

Sähkön hankinta energialähteittäin 2015 (82,5 TWh)

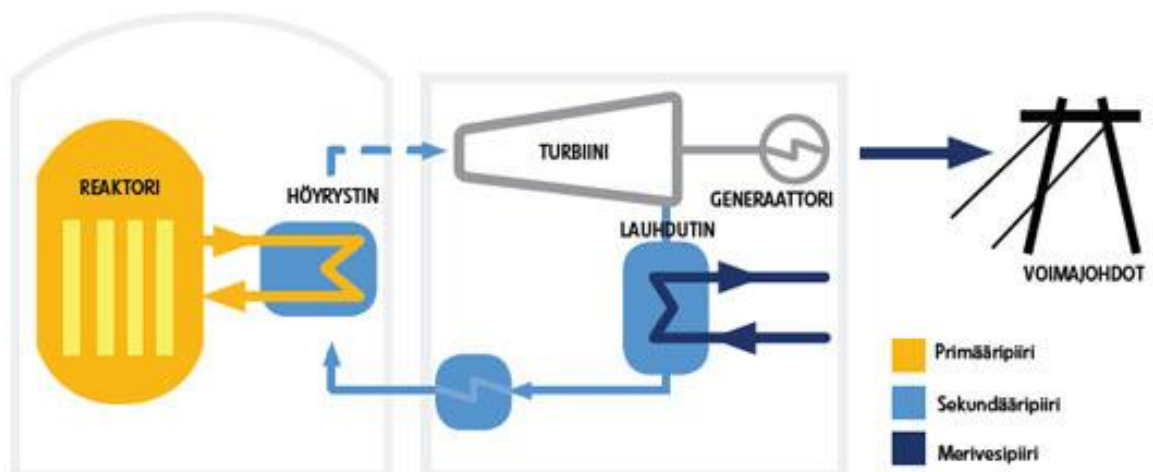


Kuva 1. Suomen sähkön hankinta energialähteittäin 2015 [1]

2.2 Loviisan voimalaitokset

Suomen ensimmäisen ydinvoimalan rakentaminen Loviisaan Hästholmenin saarelle aloitettiin vuonna 1971. Voimalaitos otettiin käyttöön helmikuussa 1977. Kolme vuotta ykkösyksikön jälkeen valmistui Loviisan kakkosyksikkö, joka liitettiin ensimmäisen keran sähköverkkoon 4.11.1980, ja joka aloitti kaupallisen tuotannon 5.1.1981. Voimalaitosten rakentaminen toteutettiin monikansallisena hankkeena, jossa itä ja länsi toimivat ensikertaa yhdessä ydinteknologian alalla. Voimalaitosten pääkomponentit kuten reaktori, generaattori ja turbiini hankittiin Neuvostoliitosta ja laitoksen turva-, valvonta- ja automaatiojärjestelmät lännestä. Monikansallisuudesta huolimatta voimalaitosten rakennushankkeiden kotimaisuusaste oli noin 50 prosenttia.

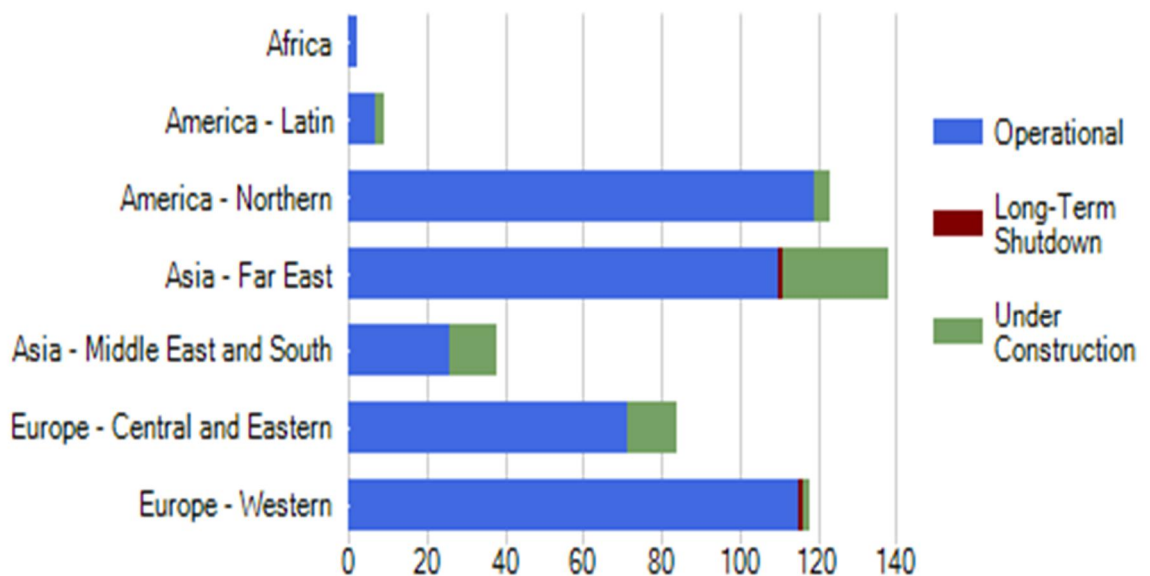
Molemmat Loviisan voimalaitoksista ovat tyypeiltään painevesireaktoreita (kuva 2), ja niiden yhteenlaskettu nettotuotanto oli 8,47 TWh vuonna 2015. Voimalaitosten käyttökerroin oli 92,9 prosenttia vuonna 2015, mikä oli kansainvälisessä mittakaavassa maailman painevesilaitosten parhaita. Voimalaitosyksiköt on rakennettu täyttämään viimeisimmät länsimaiset turvallisuusvaatimukset. Voimalaitokset ovat käyneet vuosien varrella läpi useita parannus ja modernisointihankkeita. Voimalaitoksia on uudistettu turvallisuus- ja onnettomuuksien hallintajärjestelmien osalta. Lisäksi vuonna 1998 valmistui ensimmäinen merkittävä modernisointihanke, jonka ansiosta tuotantoa voitiin nostaa 10 prosenttia. Käyttölupa voimalaitoksilla on vuoteen 2027 (LO1) ja vuoteen 2030 (LO2) asti. [3]



Kuva 2. Painevesireaktorin sähköntuotannon perusteet [3]

2.3 Ydinvoimarakentaminen Suomessa ja maailmalla

Ydinvoiman osuus kaikesta maailman sähköntuotannosta on noin 12 prosenttia. Tällä hetkellä maailmassa on 450 käytössä olevaa ydinvoimalaitosyksikköä 31 eri maassa. Eniten ydinvoimalaitosta on Yhdysvalloissa (100 voimalaitosta) ja Ranskassa (58 voimalaitosta) (kuva 3). Ranska tuottaa jopa 78 prosenttia kaikesta sähköenergiastaan ydinvoimalla. Voimalaitosten yhteenlaskettu sähköteho on yli 390 000 megawattia. Lisäksi rakenteilla on 60 voimalaitosyksikköä, joista yksistään Kiinassa rakenteilla on 20 yksikköä. Kiinan jälkeen suurimmat rakennuttajat ovat Venäjä (7 yksikköä) ja Intia (5 yksikköä). Euroopassa tällä hetkellä ainoat ydinvoimarakentajat ovat Suomi ja Ranska, jotka molemmat ovat rakentamassa yhtä uutta voimalaitosta ja joiden pääurakoitsijana toimii ranskalainen Areva. Lisäksi Fennovoiman aloittama Pyhäjoen ydinvoimalan rakennusprojekti on tällä hetkellä lisensointivaiheessa ja voimalaitoksen tarvitseman infrastruktuurin rakentaminen on jo aloitettu Pyhäjoen Hanhikivellä. Voimalaitoksen rakentaa yhdessä Fennovoiman kanssa Venäläinen Rosatom-konserniin kuuluva RAOS Project Oy. Teholtaan voimalaitos tulee olemaan noin 1 200 megawattia.



Kuva 3. Ydinreaktorit maailmalla maanosittain [4]

Vuonna 1986 sattuneen Tšernobylin onnettomuuden jälkeen useat maat keskeyttivät ydinvoimaprojektinsa. Useat maat ovat kuitenkin muuttaneet negatiivisen asenteen

ydinvoimaa kohtaan ja peruneet voimalaitoksiensa alasajon. Viime aikoina maailma on kokenutkin eräänlaisen ydinvoimarakentamisen renessanssin. Merkittävimpänä muutokseen vaikuttavana tekijänä voidaan pitää muuttunutta energiapolitiikkaa. Ilmastonlämpeneminen ja uusiutumattomien energialähteiden väheneminen on muuttanut energiapolitiikan suunnan uusiutuviin ja kestävästä kehitystä tukeviin energialähteisiin. Ydinvoimaa voidaan käytännössä pitää uusiutuvana energialähteenä, vaikka sen käyttämä uraani ei varsinaisesti olekaan uusiutuvaa energialähdettä. Maailman uraanivarat ovat kuitenkin niin suuret, ettei niiden loppumista lähitulevaisuudessa pidetä realistisena. Hiilidioksidipäästöiltään ydinvoimala on lähes neutraali, sen hiilidioksidipäästöt jäävät kauas fossiilisia polttoaineita käyttävien energialähteiden päästöistä.

Voimalaitosten uudistamisesta ja modernisoinnista huolimatta maailman ydinvoimalat alkavat olla jo käyttöikänsä loppupuolella. Suurin osa maailman ydinvoimalaitoksista on rakennettu jo yli 30 vuotta sitten. Monet ovat jopa tätäkin vanhempia. Kaikessa tekniikassa viat lisääntyvät iän myötä, eikä voimalaitosten käyttöikää voida jatkaa loputtomiin korjauksista huolimatta. Monella voimalaitoksella viimeinen käyttöpäivämäärä onkin jo määrätty. Tulevaisuudessa voimalaitoksien työllistävä vaikutus saattaa isolla osalla koskea voimalaitosten alasajon ja purkutöiden suunnittelua. Säteilyturvallisuudesta johtuen voimalaitoksien käytöstä poisto vaatii huomattavia erityisjärjestelyjä verrattuna tavanomaisiin teollisuus- tai voimalaitoskohteisiin. [3; 4.]

2.4 Työkohteen erityispiirteet

Työkohteena Loviisan ydinvoimalaitosalue tuo erityisiä haasteita niin yleisen työturvallisuuden, ydinturvallisuuden kuin salassapidon kannalta. Ydinvoima on teknologian ala, joka saattaa herättää ihmisissä voimakkaita tunnereaktioita niin puolesta kuin vastaan, ja on usein tästä johtuen median erityishuomion kohteena. Ydinvoima on ollutkin viime aikoina erityisesti esillä negatiivisessa valossa Japanin Fukushiman onnettomuuden jälkeen. Suomessa ydinturvallisuudessa ollaan kuitenkin maailman huippua ja voimalaitoksia valvotaan tiukasti niin voimalaitoksien oman henkilökunnan toimesta, kuin myös kansallisten ja kansainvälisten viranomaisten ja asiantuntijoiden toimesta. Suomen ydinvoimalaitosten toiminta perustuu lakeihin ja asetuksiin, kuten YVL-, IAEA- ja Tukes-ohjeisiin sekä voimalaitoksien omiin turvallisuus- ja laatumääräyksiin.

Loviisan voimalaitoksella työskentelee vakituisesti noin 500 Fortumin omaa työntekijää sekä noin 100 ulkopuolista työntekijää eri ammattialoilta. Vuosihuoltojen aikaan työntekijöiden määrää saattaa kuitenkin nousta noin 1 000 henkilöön päivää kohden. Alueen mittava laajuus, suuri henkilöstömäärä ja tiukat turvatoimet ovat voimalaitosalueen haasteita luovia erityispiirteitä, joiden aiheuttamia haasteita pyritäänkin ohjeessani selkeyttämään turvallisuudesta tinkimättä. Laserkeilausprosessista on tarkoitus luoda turvallisuuden kannalta selkeä ja johdonmukainen prosessi, jossa kaikki turvallisuuteen vaikuttavat asiat on otettu huomioon ennalta ja niihin on varauduttu asianmukaisesti.

[3]

3 Laserkeilaus mittausmenetelmänä

3.1 Laserkeilain

Laserkeilain on mittauslaite, jossa valon lähettämiseen ja sen takaisin heijastuman mittaamiseen perustuva lasermittaustekniikka yhdistyy tehokkaaseen nykyaikaiseen tietotekniikkaan. Laserkeilaimen erottaa muista tavanomaisista mittausmenetelmistä sen erittäin suuri mittaus- ja tiedonkeruunopeus. Mittausolosuhteista ja käytössä olevasta laitteistosta riippuen laserkeilaimen mittausnopeus voi olla jopa miljoona pistettä sekunnissa, mittaustarkkuuden ollessa alle 5 millimetriä ja lopputuotteiden mallinnustarkkuuden ollessa 2 millimetriä. Miljoonista mitatuista yksittäisistä pisteistä, joilla kaikilla on x-, y- ja z-koordinaattitiedot, koostuva pistepilvi on mittauksen lopputuotteena ainutlaatuinen, jota on käytännössä mahdotonta toteuttaa vastaavalla tarkkuudella muilla mittausmenetelmillä.

Etäisyyden laskennan lisäksi laserkeilain tallentaa jokaisen lähetetyn lasersäteiden mittauskulman sekä pysty- että vaaka-akselilla. Tämän lisäksi keilain tunnistaa ja tallentaa vastaanotetun lasersäteiden intensiteetin, joka mahdollistaa pistepilven värisävyttämisen eri vastaanotettujen intensiteettien mukaisesti. Lisäksi nykyään suurin osa laserkeilaimista sisältää sisäänrakennetun kameran, joka mahdollistaa kohteesta kuvattujen pyörähdyspanoraamakuvien ottamisen. Tällöin mitattuun pistepilveen on mahdollista liittää myös oikeat värisävyt laserkeilaimen ottamista pyörähdyskuvista. [5]

Laserkeilaimia on ollut käytössä yli 15 vuoden ajan, mutta todellisen läpilyönnin ne tekivät muiden mittauslaitteiden joukkoon noin 10 vuotta sitten. Nykyään laserkeilaimet alkavatkin kuulua mittaajien peruskalustoon siinä missä perinteiset mittausmenetelmät kuten takymetrimittaus, fotogrammetriset mittaukset ja GPS-mittaus. Vaikka laserkeilausmittausmenetelmänä on ollut tunnettuna jo pitkään, on niiden kehitystä rajoittanut tietokoneiden muistien kehittämättömyys sekä tietokoneiden rajalliset laskentatehot. nykyäänkin mittaustiedostot ovat niin suuria, että ne täyttävät mittalaitteiden muistikapasiteetin nopeasti, eikä käsittelemättömien pistepilviaineistojen lähettämistä esimerkiksi sähköpostin välityksellä voida pitää käytännöllisenä. Muistien ja tietokoneiden

kehittymisen myötä laserkeilaimet ovat kuitenkin alkaneet selvästi yleistymään työmail-
la. [7]

3.2 Laserkeilaimien erottelu ominaisuuksien mukaan

3.2.1 Käyttökohteet ja -tapa

Laserkeilaimet voidaan luokitella niiden käyttötavan mukaan kolmeen eri pääluokkaan:

1. Kaukokartoituskeilaimet, joita voidaan käyttää lentokoneista, helikoptereista tai sateliiteista. Tällaisten laserkeilainten mittausmatka voi olla muutamasta metristä jopa useisiin kilometreihin
2. Terrestriaaliset eli maalaserkeilaimet, joiden käyttömatka on tavallisesti metristä satoihin metreihin tarkkuuden ollessa alle 2 cm
3. Teollisuuslaserkeilaimet, joiden mittausetäisyys on alle 30 metriä, mutta mittaustarkkuus voi olla alle millimetrin

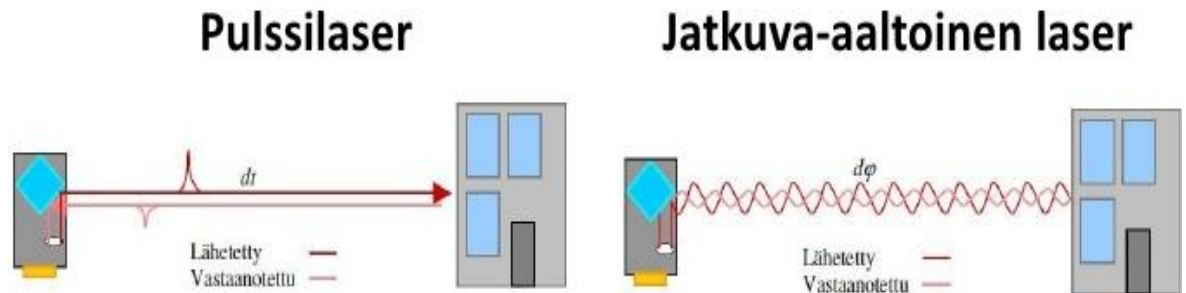
Opinnäytetyössäni keskitytään pääsääntöisesti vain tavanomaisiin maalaserkeilaimiin, vaikka ydinvoimarakentamisen yhteydessä saattaakin tulla vastaan erityisiä teollisuusmittauskohteita, joissa teollisuuslaserkeilaimen tuottamalle alle millimetrin tarkkuudella mitatulle pistepilvelle saattaisi olla tarvetta. Työssäni tarkasteltavat mittaus- ja käyttökohteet ovat kuitenkin vaativuudeltaan sellaisia, että ne voidaan toteuttaa tavanomaisella maalaserkeilaimella.

3.2.2 Etäisyyden mittausmenetelmät

Laserkeilaimet voidaan luokitella niiden käyttämän etäisyysmittausmenetelmän mukaan kolmeen eri ryhmään:

1. Valon kulku-aikaan perustuvat keilaimet eli pulssikeilaimet
2. Vaihe-eron mittaamiseen perustuvat keilaimet

3. Valon tulokulman muutoksen perustuvat keilaimet.



Kuva 4. Pulssikeilaimen ja vaihe-erokeilaimen etäisyyden mittaustavat [5]

Valon kulkuaikaan perustuvat keilaimet ovat pääsääntöisesti hitaampia, mutta mittaavat vaihe-erokeilaimia pidemmälle ja tarkemmin. Valon kulkuaikaan perustuvissa keilaimissa mitatun kohteen etäisyys lasketaan kaavalla,

$$s = c \frac{dt}{2}$$

jossa

- c on valonnopeus
- dt on valon matka – aika

Vaihe-erolaserkeilaimen etäisyyden laskenta on kulkuaikaan perustuvaa laskentaa monimutkaisempaa. Etäisyyden laskemiseksi on selvitettävä lähetetyn ja vastaanotetun säteen vaihe-ero sekä aallonpituuksien kokonaislukutuntemattomien lukumäärä. Kun nämä ovat selvillä, voidaan etäisyys laskea kaavalla,

$$s = N * \lambda + \frac{\Delta\phi}{2\pi} * \lambda$$

jossa

- N on kokonaislukutuntemattomien lukumäärä
- $\Delta\phi$ on vaihe-ero
- λ on mittaussvähäntelyn aallon pituus

Tässä työssä käsitellään ainoastaan laserkeilaimia, jotka käyttävät etäisyyden määrittämiseen valon kulkuaikaa tai vaihe-eroa, sillä tulokulman muutokseen perustuvat laserkeilaimet ovat pääsääntöisesti käytössä vain kohteissa, joissa vaaditaan erityistä tarkkuutta (< 1mm). Tällaisia ovat esimerkiksi teollisuuden erityiskohteet ja arkeologiset tai muut kulttuurihistoriallisesti merkittävät rakennelmat kuten patsaat ja veistokset. [7]

3.2.3 Laserkeilaimen osat ja mittaustapa

Laserkeilain koostuu yksinkertaisimmillaan kahdesta osasta: lasersäteestä ja vastaanottokennosta. Laser tarkoittaa stimuloitua emissioita avulla tuotettua valoa, ja sana laser on akronyymi englannin kielen ilmaisusta Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Lasersäteen tuottamiseksi tarvitaan pääsääntöisesti kolme eri tekijää: laseraine, jossa emissio tapahtuu, pumppaus, joka luo sopivan olosuhteen lasertoiminnalle eli niin sanotun miehitysinversiotilan sekä resonaattorin eli peilisysteemi, jolla lasersäde vahvistetaan ja päästetään hallitusti ulos. Laservalo on teknisiltä ominaisuuksiltaan säteilyä, jolla on sama taajuus ja kulkusuunta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että laservalon suunnattavuus on erinomainen ja sen hajaantumiskulma on pieni. Hajaantumiskulmalla tarkoitetaan säteen koon leviämistä ennen sen osumista mitattavaan kohteeseen. Laserin hajaantumiskulman voi laskea suuntaa antavasti kaavalla,

$$\theta \approx \lambda/d$$

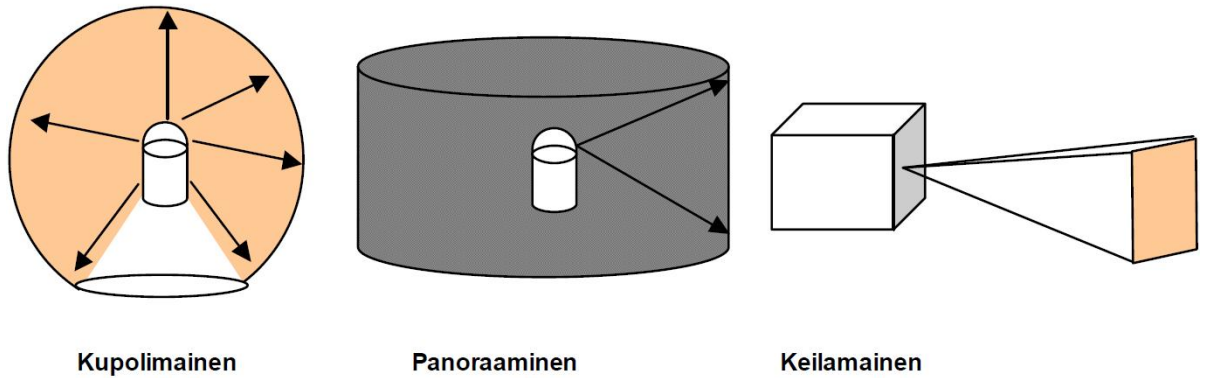
jossa

- λ on valonaallonpituus
- d on säteen halkaisija

[8]

Laserkeilaimen tuottama laser on kuitenkin poikkeutettava eli suunnattava, jotta koko ympäristön kattava mittaus onnistuisi. Useimmiten tämä toteutetaan peilijärjestelmillä, jotka poikkeuttavat lasersäteen kulun tarvittavaan suuntaan. Laserkeilaimet voidaankin jaotella etäisyysmittaustavan lisäksi myös niiden käyttämän lasersäteen poikkeutusmenetelmän eli mittaustavan mukaan. Käytössä on ainakin kuvassa 5 esitettyjä säteenpoikkeuttamismenetelmiä eli mittaustapoja:

- Kupolimainen
- Panoraaminen
- Keilamainen



Kuva 5. Laserkeilaimen eri mittaustapoja [5]

3.3 Pistepilvien käsittely

Laserkeilauksen tuottamaa mittausaineistoa kutsutaan pistepilveksi. Pistepilvi on useista miljoonista yksittäisistä pisteistä koostuva mittausaineisto. Käsittelemätön pistepilvi ei yleensä ole sellaisenaan käyttökelpoinen aineisto, vaan aineisto vaatii rekisteröinnin, siivoamisen ja harvennuksen. Pistepilven rekisteröinnillä tarkoitetaan mitattujen pistepilvien yhdistämistä sekä aineiston siirtämistä haluttuun koordinaattijärjestelmään eli georeferoimista. Pistepilvien yhdistämisessä käytetään usein apuna erilaisia mittaustähyksiä kuten mustavalkotähyksiä tai pallotähyksiä (esitetty kuvassa 6). Lisäksi aineistot voidaan yhdistää toisiinsa hakemalla rinnakkaisista pistepilvistä päällekkäisyyksiä, joiden avulla aineistot yhdistetään toisiinsa. Tätä menetelmää kutsutaan cloud to cloud -menetelmäksi. Rekisteröiminen voidaan suorittaa myös edellä mainittuja tapoja yhdistelemällä. Markkinoille on tullut myös laserkeilaimia, joissa aineistojen rekisteröinnin voi suorittaa mittausten yhteydessä.



Kuva 6. Pallotähys ja tulostettava mustavalkotähys [8]

Mittausympäristössä tapahtuva ylimääräinen liike, värinä, sade tai pöly saattaa aiheuttaa kohinaksi kutsuttua virhettä mittausaineistoon. Lisäksi virhepisteitä aiheuttavat lasersäteen poikkeukselliset heijastumat, esimerkiksi lasipinnoista tai muista voimakkaasti heijastavista pinnoista. Virheitä voidaan poistaa aineistosta käsittelyohjelmilla esimerkiksi intensiteetin mukaan tai vaihtoehtoisesti manuaalisesti ennen aineiston rekisteröintiä. Ennen käyttöönottoa pistepilvi kannattaa harventaa vielä sopivan kokoiseksi, sillä useimmat ohjelmat eivät kykene pyörittämään tehokkaasti valtavaa pistepilviaineistoa. Aineistoa harvennettaessa kannattaa kuitenkin muistaa, että pistepilven tiheys on yksi merkittävimmistä aineiston laatuun vaikuttavista tekijöistä. Laserkeilausaineiston pistetiheys on kuitenkin useimmiten niin suuri, ettei sen harvennus vaikuta käytännössä aineiston tarkkuuteen vaan ainoastaan lisää aineiston käytettävyyttä eri ohjelmilla. [5; 9.]

3.4 Mittauksen virhelähteet

Kuten kaikissa mittauksissa myös laserkeilausmittauksessa esiintyy aina virhettä. Käytännössä kaikki mittalaitteet mittaavat väärin, mutta virheen suuruutta, suunta ja siihen johtavia syitä on pystyttävä kontrolloimaan, jotta voidaan saavuttaa vaadittu mittaus-tarkkuus. Laserkeilaus- virhelähteet voidaan jakaa neljään eri tekijään:

1. Mittalaitteiden virheet
2. Ympäristötekijät
3. Mitattavan pinnan ominaisuudet
4. Mittauksien tulkintaa liittyvät virheet.

Mittalaitteiden virheet aiheutuvat havaintokulmien ja etäisyyden mittauksen virheistä, yhdenkään mittalaitteen kulma-akselit eivät ole täydellisiä. Jokainen laitevalmistaja kuitenkin antaa laitteilleen laitekohtaiset tarkkuustiedot, joiden oikeellisuutta on syytä tarkkailla säännöllisillä kalibroinneilla. Kalibroinnit voivat olla itse suoritettuja testimittauksia tai sitten määräajoin suoritettavia virallisia kalibrointeja. Mittalaitteiden virallisen kalibroinnin voi teettää Metrologian tutkimuskeskuksessa Mikesissä. Mittauksen suorittajan vastuulla on tuntea laitteen mittausominaisuudet siinä määrin, että on kykenevä arvioimaan mittauksen tarkkuutta käytössä olevan laitteiston ja mittausolosuhteiden kannalta. Laserkeilaimen todellinen mittaustarkkuus ei kuitenkaan perustu pelkästään yksittäisen pisteen mittatarkkuuteen vaan useista pisteistä muodostetun pistepilven tai niistä muodostetun mallin tarkkuuteen, joten lopullisen aineiston tarkkuuden pitäisi olla yksittäistä mitattua pistettä tarkempi, kun otetaan huomioon pisteiden keskivirhe sekä keskihajonta.

Mittauksen lopulliseen tarkkuuteen vaikuttaa kuitenkin muutkin tekijät kuin laitteiston tekemät virheet. Huomioitavia mittaukseen vaikuttavia ympäristötekijöitä ovat lämpötila ja ilmanpaine, jotka vaikuttavat lasersäteeseen eli valonkulkunopeuteen. Vesisade ja varsinkin lumisade vaikuttavat lasersäteeseen esteettömään kulkuun ja aiheuttavat säteen sirontaa, jolloin palaavan säteen tulkinta vaikeutuu. Mitattavan pinnan materiaalilla ja muodolla on myös suuri merkitys. Absorboivat tai läpäisevät pinnat eivät heijasta sädettä takaisin tai heijastavat sen takaisin virheellisesti, jolloin mittalaite tulkitsee mitatun etäisyyden väärin. Kiiltävät pinnat taas väärin heijastuvaa sädettä tai lähettävät säteen takaisin moninkertaisena, jolloin aineistossa muodostuu mitattavan kohteen taakse useita niin sanottuja valesistejä.

Kaikkien edellä mainittujen virhetekijöiden on oltava mitaajan tiedossa, ja virhelähteet huomioon ottamalla mittauksen suorittajan on pystyttävä havainnoimaan ja kontrolloimaan mittauksen tarkkuutta. Kokenut mitaaja ymmärtää esimerkiksi lyhentää mittaus-

etäisyyttä vaikeissa sääolosuhteissa tai lisätä mittauksen resoluutiota kohteissa, jotka ovat geometrialtaan haastavia. Koska laserkeilaus on mittausmenetelmänä voimakkaasti säästä riippuvainen, on mittausajankohta suunniteltava huolellisesti mahdollisuuksien mukaan. [5; 7.]

Edellä mainittujen virhetekijöiden lisäksi tulisi aineiston käsittelyssä ottaa huomioon aineiston georeferoinnista aiheutuvat virheet. Eri georeferointimenetelmien tarkkuudet saattavat poiketa toisistaan merkittävästi. Tarkimpana menetelmänä yleisesti ottaen voidaan pitää mustavalkotähysten käyttöä georeferoinnissa. Myös pistepilviä päällekkäisistä havainnoista yhdistävällä cloud to cloud -menetelmällä päästään usein hyvään tarkkuuteen. Pallotähysten käyttöä voidaan pitää näistä kolmesta menetelmästä heikoimpana. Pallotähysten etuna taas voidaan pitää sen käytettävyyttä eri mittauskulmilla. Pallon laskennallinen keskipiste voidaan määrittää aina yksiselitteisesti riippumattomista kulmista tai asennosta pallotähys mitataan. Mustavalkotähysten tarkkuus saattaa heiketä, jos tähys mitataan jyrkästä kulmasta eikä tähyksen keskipistettä voida välttämättä tällöin tarkasti määrittämään. Georeferointimenetelmiä voidaan myös yhdistellä keskenään. Cloud to cloud -menetelmän tarkkuutta voidaan esimerkiksi parantaa käyttämällä yhdistämisen lisänä mustavalkotähyksiä, mitä pidetäänkin aina suotavana. Ongelmia saattavat aiheuttaa myös mustavalkotähykset, joiden tarkat keskipisteet eivät ole aina yksiselitteisiä, kun ne ovat mallinnettu automaattityökaluilla. Automaattityökalutkaan eivät aina mallinna tähyksiä oikein. Tämän vuoksi on tärkeää tarkastaa kaikki käytetyt tähykset aina visuaalisesti.

Haastavissa mittauskohteissa laatua voidaan parantaa ja tarkkailla mittaamalla tähykset kiinni takymetrillä suoritettavalla tarkalla jonomittauksella. Tarkoilla takymetrimittauksilla parannetaan mittauksen absoluuttisen tarkkuuden laatua, kun väliin mitataan tarkkoja ja tarkistettuja tähyksiä. Tällöin koko mittausjonon tarkkuus ei ole riippuvainen ainoastaan laserkeilausmittauksista eikä sen virhelähteistä. Tällainen tilanne voi syntyä esimerkiksi tilanteessa, jossa mittaus päättyy tunnetuista pisteistä erilliseen tilaan ja muodostaa niin sanotun mittauspiikin eli erillisen mittausjonosta poikkeavan mittausarjan. Tällöin mittauspiikin päähän on joissakin tilanteissa järkevämpää mitata tarkat tähykset takymetrillä suoritettavalla jonomittauksella, jolloin mittaus voidaan sulkea tarkasti mitattuun tähykpisteeseen. [10]

3.5 Laserkeilain verrattuna perinteisiin mittauslaitteisiin

Laserkeilaimen etuina muihin mittausmenetelmiin voidaan sen nopeuden lisäksi pitää sen tuottaman aineiston monipuolisuutta ja käyttökelpoisuutta myöhemmissä projekteissa. Muilla mittausmenetelmillä havainnoidaan pääsääntöisesti yksittäisiä kohteita kerrallaan, jolloin mittausta suoritettaessa on oltava tarkka ja huolellinen, jotta kaikki oleellinen tulisi mitattua. Laserkeilain taas mittaa kaikki visuaaliset kohteet kojeen ympäristöstä. Perinteisen takymetrimittauksen etuna laserkeilaukseen verrattuna voidaan kuitenkin pitää sen mahdollistamaa suurta tarkkuutta yksittäisten pisteiden havainnoinnissa. Monimuotoisissa ja geometrialtaan poikkeavissa kohteissa tämä etu kuitenkin poistuu, ja laserkeilaimen tuottama aineisto on tarkempaa ja käyttökelpoisempaa. Laserkeilaus onkin käyttökelpoisin mittausmenetelmä, jos halutaan geometrialtaan monimutkaisista kohteista tarkkoja detalj kuvia.

Mittausmenetelmänä laserkeilauksen ominaisuudet pääsevät parhaiten esille juuri hankalissa suurta tarkkuutta vaativissa monimuotoisissa kohteissa, joista tarvitaan visuaalista ja tarkkaa 3D-mittausaineistoa. Tällaisia käyttökohteita ovat etenkin teollisuus suunnittelu ja laitosrakentaminen, joissa visuaalinen ja tarkasti mitattu pistepilvi tuo merkittävän parannuksen aikaisemmin suunnittelun pohjana käytettyihin perinteisiin 2D-kuviin. Todellisilla väreillä tai intensiteetin mukaan väritetyillä pistepilvillä voidaan yhdistää tarkka mittaustarkkuus ja valokuvien tuoma visuaalisuus samaan mittausaineistoon. Muita vastaavia kohteita ovat laivanrakennus- ja telakkateollisuus, suuret teollisuuden rakennuskohteet sekä deformaatiomittaukset. Deformaatiomittauksilla tarkoitetaan muutoksen seurantamittauksia. Esimerkiksi pullistuvien seinärakenteiden tarkkailu tai siltojen ja muiden rakenteiden painuman seuranta. Laserkeilauksen tuottaman pistetiheyden, tarkkuuden ja mittauksen toistettavuuden vuoksi se on tehokas ratkaisu tällaisten kohteiden tarkkailuun.

Laserkeilausaineiston monipuolisuuden ja kattavuuden ansiosta sen reagoivuus projektin muutoksiin tai tuleviin projekteihin on huomattavasti muita mittausmenetelmiä käyttökelpoisempi. Laserkeilaus mittausmenetelmänä voi ollakin pitkän aikavälin kustannuksiltaan muita niin sanottuja perinteisiä mittausmenetelmiä taloudellisempi juuri sen keräämän aineiston jatkokäytön ja monipuolisuuden ansiosta. Vaikka kerättyä dataa kertyykin paljon, voidaan aineistoa mallintaa käyttöön tarpeen mukaan ja kustannukset pitää kohtuullisina.

Laserkeilain on mittausmenetelmänä turvallinen, koska se mahdollistaa kohteiden mittaamisen ilman kosketusta etäältä. Tällöin vaaralliset kohteet on mahdollista mitata etäältä kohteeseen menemättä. Koska laserkeilain on niin sanotusti passiivinen mitta-laitte eli se mittaa ympäristönsä itsenäisesti alkuasetusten syöttämisen jälkeen, voidaan sillä nopeasti havainnollistaa vaaralliset kohteet, joissa pitkään viipyminen voi olla terveydelle vaarallista. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi pölyiset tai muita pienhiukkasia sisältävät tilat, vaarallisia kaasuja sisältävät tilat tai työkohteet, joissa on haitallista säteilyä. [7]

3.6 Laserkeilaimien käyttökohteet ja tulevaisuus

Laserkeilausta voidaan pitää lennokkikuvauksen ohella mittaustekniikan uusimpina merkittävänä innovaatioina. Laserkeilainteknologia kehittyy edelleen voimakkaasti, vaikka laserkeilaimia on ollut käytössä jo useita vuosia. Yhtenä merkittävänä tekijänä laserkeilainten kehittymiselle voidaan pitää tietokoneiden ja prosessoreiden laskenta-tehon kehittymistä. Nykyajan tietokoneet jaksavat pyörittää miljoonista pisteistä koostu-vaa mittausaineistoa reaaliajassa sekä pystyvät suorittamaan aineistosta hetkessä erilaisia analyysejä, vaikkakin se vaatiikin edelleen tietokoneilta huomattavan paljon laskentakykyä. Keilausaineiston käsittelyyn suositellaankin keskiverto toimistokannet-tavaa laskentatehoiltaan parempaa tietokonetta. Myös laserkeilainten oma laskentate-ho on kehittynyt vuosien aikana huimasti. Uusimmat laserkeilaimet pystyvät suoritta-maan aineiston rekisteröinnin jo mittaustilanteessa, eikä erillistä georeferointia välttä-mättä tarvitse enää suorittaa.

Laserkeilaimien kehitys tulee oletettavasti jatkuvan voimakkaana lähitulevaisuudessa niin laserkeilainten mittausnopeuden, -tarkkuuden ja -etäisyyden osalta kuin myös uu-sien laserkeilainten hyödyntämistapojen osalta. Erilaiset liikkuvat mobiilikeilaimet eri kulkuneuvoissa ovat olleet arkipäivää jo vuosien ajan, samoin kuin ilmasta suoritettavat laserkeilaukset. Uutena lisänä ovat kannettavat laserkeilaimet, joilla mittauksen voi suorittaa vaikka kävellen, sekä käsivaraiset tarkkuusskannerit. Suurin kehitys tulee todennäköisesti tapahtumaan keilausaineiston jatkokäytön ja käsittelyn puolella. Laser-keilaimien mittausnopeudet ja -tarkkuudet ovat nykyään jo niin suuria, että on vaikea kuvitella, että keilainteknologiassa tehtäisiin enää merkittäviä harppauksia lähiaikoina tällä sektorilla, vaikka kehitystä tulee todennäköisesti myös näiden osalta tapahtumaan. On kuitenkin mahdotonta tietää, mitä eri laitevalmistajien kulussien takana tapahtuu

tälläkin hetkellä ja mitä innovaatioita lähiaikoina tulemme näkemään. Ohjelmistopuolen kehitys taas tulee mitä luultavimmin viemään laserkeilausta teknologiana eteenpäin sekä monipuolistamaan ja tehostamaan laserkeilausprosessin käytettävyyttä sekä sen käyttökohteita. Keilausaineistojen automaattinen siivous ja analysointi tulevat varmasti tehostumaan lähitulevaisuudessa. Tällä hetkelläkin on käytössä ohjelmia, jotka osaavat siivota aineistoa automaattisesti esimerkiksi havaintojen intensiteetin perusteella. Lisäksi kehitteillä on automaattisia analysointiohjelmia, jotka hakevat ja tunnistavat eri muotoja ja kohteita aineistosta automaattisesti. Esimerkiksi kaupunkimalleja on rakennettu ohjelmilla, jotka tunnistavat tasaisia pintoja eli siis tässä tapauksessa rakennusten kattoja käyttämällä hyödyksi Houghin transformaatiokaavaa. Houghin kaavaa on käytetty jo pitkään hyödyksi kuvankäsittelyssä, mutta sen käyttö pistepilven mallintamisessa on osoitus siitä, miten vanhaa tekniikkaa voidaan käyttää hyödyksi uudella tavalla. [10; 11.]

4 Mallintaminen

4.1 Tieto- ja aluemallit

4.1.1 Tietomalli

Tietomallilla (Building Information Modeling, BIM) tarkoitetaan digitaalista viitekehystä, jolla voidaan hallita koko rakennushankkeeseen liittyvää tietoa. Tietomalli sisältää yleensä kolmiulotteisen geometriamallin kohteesta, jolla pyritään visuaalisesti kuvaamaan kohdetta todellisuuden mukaisesti. Perinteisestä graafisesta piirustusmallista tietomalli eroaa sen sisältämän informaation ansiosta. Tietomallissa mallinnettu seinä voi olla pelkän visuaalisen objektin lisäksi myös älykäs eli semanttinen pinta, joka sisältää kohteeseen liittyvää informaatiota.

Mallinnuspohjaisen suunnittelun tavoitteena on parantaa rakennuskohteiden suunnittelun ja rakentamisen laatua koko kohteen elinkaaren ajan. Tietomallit helpottavat suunnitelmien vertailua havainnollistamalla kohdetta visuaalisesti sekä kuvailemalle suunnitelman rakennettavuutta tehokkaasti, siten helpottaen investointipäätöstä. Tietomallien käyttö luo toimivan alustan energia-, ympäristö- ja elinkaarianalyyysien suorittamiseen ja vertailuun sekä tehostaa koko kohteen laaduntarkkailua ja tiedonsiirtoa rakentamisen, käytön ja ylläpidon aikana. [11]

4.1.2 Aluemalli

Aikaisemmin suurempia alueita on digitaalisesti kuvattu perinteisillä paikkatietopohjaisilla sovelluksilla, jotka ovat sisältäneet semanttisen kaksiulotteisen kuvauksen kohteesta. 2-ulotteinen paikkatietomalli on ollutkin monesti riittävä, mutta tarve 3-ulotteiselle aluetietomallille suunnittelussa on kuitenkin herännyt viime aikoina. 3-ulotteinen aluemalli mahdollistaa luonnollisesti alueen visuaalisen tarkastelun paremmin, mutta tämä ei ole ainoa syy siirtyä 3D-mallinnukseen. Esimerkiksi nykyisin monet työkohteista suunnitellaan ja toteutetaan koneohjauksella. Koneohjaus toimii GPS-paikannuksen avulla, joten se tarvitsee toimiakseen 3-ulotteisen maapallokoordinaatiston. Lisäksi kiinteistöjen rajat ovat muuttumassa 3-ulotteisiksi ainakin kaupunkialueilla, joten tulevaisuudessa myös maanalaiset asemakaavat ja kiinteistöt ovat mahdollisia. Tällä hetkellä Helsingin keskusta on ainoa alue Suomessa, jossa on käytössä 3D-asemakaava.

Yleisimmin tunnettu aluemallin muoto on 3D-kaupunkimalli. Kaupunkimallit ovat nykyisin jo varsin yleisiä Keski-Euroopassa. Suomessa mallit ovat yleistymässä, vaikkakaan kokonaisia kaupunkeja ei ole vielä tarkasti mallinnettu. Pääsääntöisesti kaupunkimallit ovat kuitenkin vain visuaalisia malleja, joiden pääasiallinen käyttötarkoitus on kohteiden esittäminen ja havainnollistaminen. Kaupunkimallit eivät sisällä vielä riittävästi semanttista tietoa tai riittävän tarkkaa geometriaa, jotta niitä voitaisiin käyttää vaativan suunnittelun pohjana. [12]

4.1.3 Mallien visualisointi

Visualisointi on oleellinen osa tietomallin havainnollistavuutta, ja sitä käytetäänkin tietomalleissa suunnittelun apuvälineenä. Tietomallien havainnollistaminen ja visualisointi voidaan jakaa kahteen päämuotoon, jotka ovat havainnollistava visualisointi ja tekninen havainnollistaminen. Havainnollistava visualisointi tarkoittaa perinteistä esittävää mallia, jonka tarkoitus on kuvata kohdetta mahdollisimman aidosti, usein käyttäen tarkkoja renderöityjä tarkkoja valokuvia kohteesta. Tekninen havainnollistaminen taas kuvaa suunnitelmaratkaisujen teknistä toimivuutta ja havainnollistaa niille asetettujen vaatimusten täyttymistä. Teknisessä havainnollistamisessa fotorealistisen visualisoinnin vaatimukset ovat usein alhaisemmat. Kohteita kuvataan vain sillä tarkkuudella kuin suunnitelman toimivuuden kannalta on oleellista, ja kohteet voivatkin olla vain erivärisiä objekteja suunnitelmassa kuvaamassa muutosta tai toimintaa.

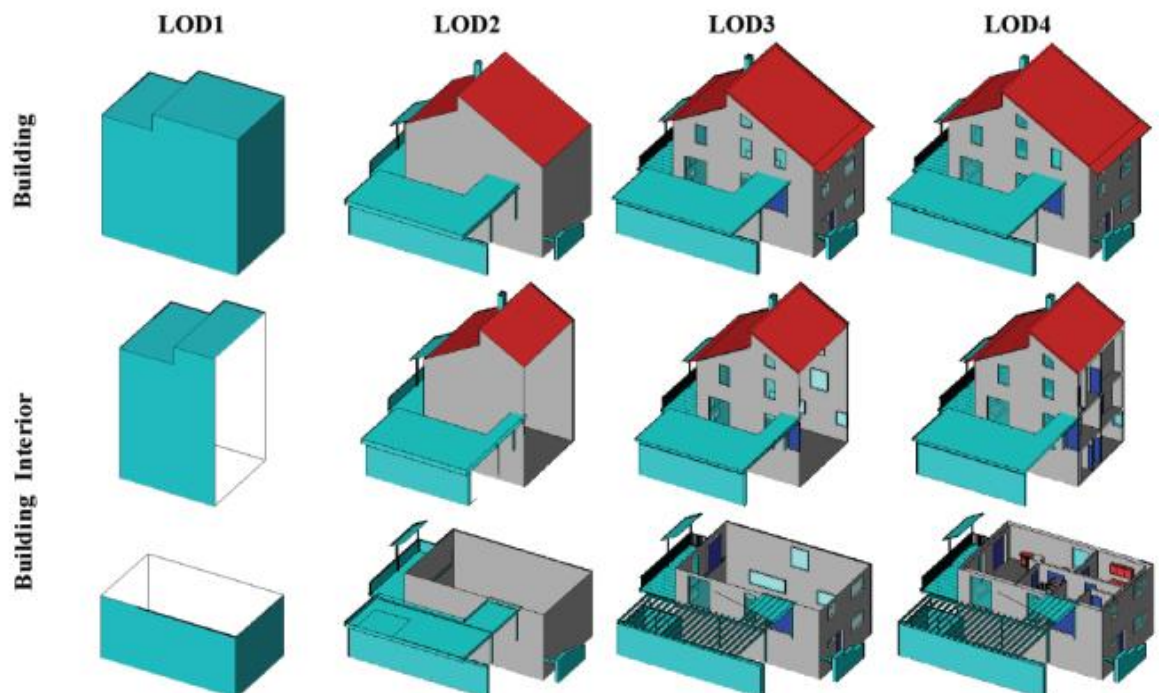
Visualisoinnilla voidaan tarkastella ainakin seuraavia ominaisuuksia:

- tilojen käyttö ja keskinäiset yhteydet (mm. esteettömyys)
- valaistus, valolähteiden sijainti, määrän ja voimakkuuden vaikutus
- määräystenmukaisuus
- turvallisuus (paloturvallisuus, hätäpoistumisreitit, valvontakameroiden kattavuus)
- ilmavirrat ja sisäilmaolosuhteet
- asetettujen laatuvaatimusten toteutuminen (esim. energiankulutus)
- tilojen toimivuus

Kaupunkialueille ja aluemalleille ei ole virallisesti määritettyjä mallinnusvaatimuksia tai mallinnustarkkuuksia, mutta yleisesti käytössä tarkkuustason määrittämisessä on CityGML:n luoma viisitasoinen LoD-luokitus (Level of Details). LoD-luokat ovat havainnollistettu taulukossa 1 sekä kuvassa 7. [12, 13]

Taulukko 1. LoD –luokat (Level of Details) [12]

	LoD arvojen tarkkuusvaatimukset				
	LoD 0	LoD 1	LoD 2	LoD 3	LoD 4
Kuvaus	Teksturoitu maastomalli	Laatikkomalli	Kattogeometria, rakennuksen muotoja	Yksityiskohtaiset rakennukset, kasvillisuus	Rakennukset myös sisältä
Tarkkuus, taso/kork.	<LoD1	5m / 5m	2m / 2m	0,5m / 0,5m	0,2m / 0,2m
Katon muoto		Tasakatto	Erilaiset kattomallit	Todelliset muodot	Todelliset muodot
Katon Ulkonevat osat		Ei	Kyllä, jos tiedetään	Kyllä	Kyllä
Yksittäiset puut/pensäät	Ei	Vain tärkeimmät kohteet	Prototyypit, korkeammat kuin 6m	Prototyypit, korkeammat kuin 2m	Prototyypit, todelliset kohteet
Kasvipeite	Ei	> 50m*50m	> 5m*5m	< LoD 2	< LoD 2

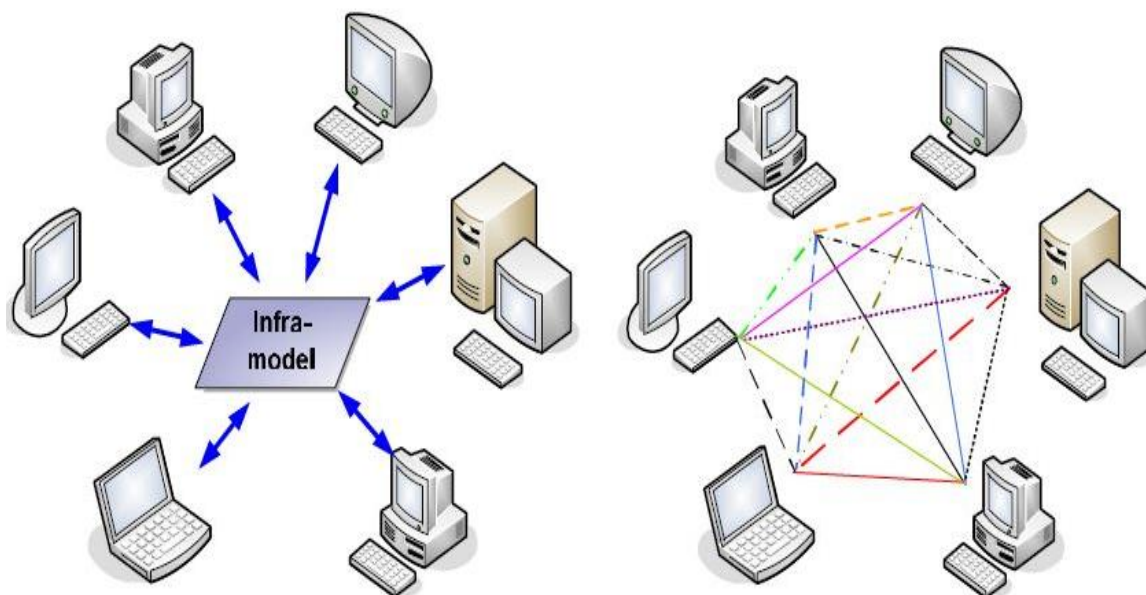


Kuva 7. LoD–luokat (Level of Details) [12]

4.2 Mallien rakentaminen ja käyttö

4.2.1 Tieto- ja aluemallien käyttö rakentamisessa

Perinteisessä suunnittelussa eri alojen suunnittelijat luovat erikseen omat suunnitelmansa, jotka tulostetaan kaksiulotteisiksi kuviksi työmaalle. Kaksiulotteisten kuvien läpikäyminen ja vertailu on hankalaa ja työlästä ja saattaa johtaa virheisiin työmaalla mikäli kuvissa olevia eroavaisuuksia, puutteita tai päällekkäisyyksiä ei havaita ajoissa. Tietomallipohjaisessa suunnittelussa eri alojen suunnitelmat voidaan ladata samaan malliin ja mallille voidaan ajaa törmäysanalyysjä, joilla havainnoidaan, mikäli suunnitelmissa on eroavaisuuksia tai päällekkäisyyksiä (kuva 8). Esimerkiksi rakenteen eivät välttämättä ole yhteensopivat, putket risteävät toisiaan tai putkille tehdyt varaukset eivät vastaa suunnitelmaa. Suunnitelmien virheet ja niistä johtuvat viivästykset ovat usein yhtenä merkittävimpänä lisäkuluheränä rakennusprojekteissa.



Kuva 8. Tietomallisuunnittelu verrattuna tavanomaiseen suunnitteluun [12].

Projekteissa joissa käytetään hyväksi tietomallinnusta, on oltava aina nimetty vastuullinen tietomallinnuskoordinaattori, joka vastaa aineiston keräämisestä ja yhdistämisestä. Tiedonhallinta on yksi keskeisempiä asioita onnistuneen tietomallinnusprojektin läpiviennissä. Mallien yhteen viemiseksi ja sovittamiseksi on kehitetty eri formaatteja ja tiedonsiirtotapoja, joista yleisimpänä voidaan mainita IFC (Industry Foundation Clas-

ses). Standardin perusajatuksena on luoda formaatti tiedonsiirtoon eri CAD-järjestelmien ja suunnitteluohjelmistojen välillä. [12]

4.2.2 Pintamallin luominen pistepilvestä

Toimivan suunnittelun lähtökohtana voidaan pitää hyvin rakennettua maastomallia. Perinteisesti maastomalli kohteesta on luotu takymetreillä ja GPS-mittauslaitteilla tehdyillä maastomittauksilla, fotogrammetrisillä mittauksilla tai näitä menetelmiä yhdistelemällä. Nämä menetelmät ovat edelleen käytössä ja ovat erittäin käyttökelpoisia useimmissa kohteissa. Laserkeilausaineisto on kuitenkin käyttökelpoisuutensa takia tullut pysyvästi näiden menetelmien rinnalle. Laserkeilauksella saavutetaan huomattavasti muita menetelmiä suurempi pistetiheys, kattavuus ja aineiston homogeenisyys. Laserkeilaimen lasersäde tunkeutuu tiheäänkin kasvistoon, joten sillä saadaan mittausdataa paikoista, joissa ilmakuvauksesta ei ole hyötyä. Maanmittauslaitoksen tuottamassa helikopterista mitatussa aineistossa on esimerkiksi käytetty hyväksi laserpulssin kokonaisuallon pituuden tunnistusta aineiston luokitteluun, joten aineistossa on valmiiksi omilla pisteluokillaan maanpinta, rakenteet ja kasvillisuus. Luokittelemattomasta pintamallista käytetään termiä digitaalinen pintamalli (DMS, Digital Surface Model). Tästä aineistosta voidaan poistaa pisteet, jotka kuvaavat rakenteita, kasvistoa tai muita kohteita, jolloin voidaan käyttää termiä digitaalinen korkeusmalli (DTM, Digital Terrain Model).

Maanmittauslaitoksen tuottamaa maanpinnan tarkkaa keilausaineistoa on saatavilla kattavasti, sillä vuonna 2008 alkaneessa projektissa on mitattu jo noin kaksi kolmasosaa Suomen pinta-alasta. Maanmittauslaitos jatkaa projektia edelleen yhteistyössä Suomen Metsäkeskuksen kanssa. Projekti on nimeltään Suomi Loppuun –keilaussuunnitelma ja se kattaa keilaussuunnitelmat vuoteen 2019 saakka. Keilaussuunnitelman mukaisesti koko Suomi on katettu laserkeilausaineistoilla tämän vuosikymmenen vaihteeseen mennessä. Monet alueet ovat siihen mennessä laserkeilattu jo useaan kertaan. [14]

Pintamallin rakentaminen aloitetaan mittausaineiston siivoamisella ja suodatuksella. Pistepilven koko saattaa olla useita miljoonia pisteitä, joten aineistoa kannattaa harventaa kohtalaisen runsaasti, sillä pinta- ja maastomallien tarkoituksen mukainen tarkkuus ei vaadi erityisen suurta pistetiheyttä. Pisteiden lukumäärää voi harventaa mitatun pistemäärän mukaan tai aluekohtaisesti (mitattua pistettä / m²). Joissakin käsittelyohjel-

missä on mahdollisuus myös käyttää niin sanottua älykästä harvennusta, jossa pisteiden harvennustiheys on sidottuna korkeuden muutokseen. Toisin sanoen korkeuden muutoksien ollessa suuria ohjelma säilyttää pistetiheyden suurempana, kun taas korkeuden muutoksen ollessa vähäinen voidaan alueella pistetiheyttä harventaa runsaammin. [7]

4.2.3 Rakennuksen tietomallin luominen pistepilvestä

Pistepilvi sellaisenaan on jo hyvä tietolähde ja suunnittelun pohja moniin rakentamisen tarkoituksiin, mutta mallintaminen ja jatkojalostaminen monipuolistavat pistepilven käyttöä huomattavasti. Pistepilvien käsittely vaatii pääsääntöisesti oman ohjelmansa, jolla aineisto käsitellään haluttuun muotoon. Laittevalmistajilla on omat ohjelmansa, jotka ovat räätälöity yhteensopiviksi oman laserkeilaimen tuottamaan mittausaineistoon. Tunnetuimpina voidaan mainita Leican Cyclone, Trimblen Real Works, Faron Faro Scene ja Rieglin Riscan Pro. Muita tunnettuja pistepilven käsittelyohjelmia ovat Poin-tools, Lastools ja PolyWorks. Lisäksi voidaan mainita erityisesti tietomallien luomiseen ja käsittelyyn soveltuvat Autodesk Revit, ArchiCAD ja Tekla Structures. Valmistajien omat ohjelmat soveltuvat parhaiten aineistojen rekisteröintiin, siivoukseen ja harvennukseen sekä yleiseen mallinnukseen ja aineiston valmistelemiseen jatkojalostamista varten.

Laserkeilaimien antama mittaustarkkuus on riittävän tarkka täyttämään kaikki yleiset tietomallien mukaiset mittausvaatimukset. Haasteita voivat tuoda kuitenkin erityisen tarkat teollisuuden tietomallikohteet, joissa pienimpien putkien ja muiden yksityiskohtien määrittäminen vaatii erityisen suurta pistetiheyttä. Yleisenä sääntönä mittaustarkkuudelle voidaan pitää suhdetta 1/2, jolloin 10 millimetrin mallinnusvaatimus mitataan 5 millimetrin tarkkuudella. Ennen tietomallin luomista kannattaa tarkkaan miettiä mallin käyttökohteet ja tarkoitus. Mallintaminen on työlästä ja aikaa vievää työtä, joten mallintamisen tarkoituksenmukaisuus, tarkkuus ja kuvattavien kohteiden kuvaustapa ja -laatu on syytä miettiä ennen työn aloitusta. Esimerkiksi on hyvä miettiä etukäteen, vaatiiko tietomalli ikkunakarmien mallintamisen vai riittääkö pelkkien aukkojen mallinnus, tai onko järkevää mallintaa vanhan rakennuksen seinät kaareviksi vai voiko seinät pelkistää suoriksi ja kadottaa mittauksista tarpeetonta yksityiskohtaista tarkkuutta. [12]

4.2.4 Mallinnusohjeet ja standardit

Vuonna 2010–2011 Senaattikiinteistöt toteutti yhdessä monien muiden rakennusalan vaikuttajien kanssa tietomalleja koskevan ohjeasiakirjan, joka pyrkii vakiomaan Suomessa käytettäviä ohjeita ja käytäntöjä. Ohjeistukset juuret juontavat Senaattikiinteistöjen vuonna 2007 julkaisemiin tietomalliohjeisiin. Ohjeistuksen päivittämistä varten perustettiin Rakennustietosäätiön vetämä COBIM-hanke (Common BIM requirements). Hankkeen lopputuloksena valmistuivat Yleiset tietomallivaatimukset 2012 -niminen 14 osasta koostuva tietomalliohjeistus. Yhtenäisten mallintamistapojen lisäksi ohjeistuksessa määritetään tietomallinnuksen keskeisimmät päämäärät ja tavoitteet. Tavoitteiksi ohjeistuksessa on määritelty suunnittelun sekä rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden ja kestäväen kehityksen mukaisen hanke- ja elinkaari-prosessin tukeminen. [11]

Yleiset tietomallivaatimukset 2012 on laadittu lähinnä perinteisiä tietomallihankkeita ajatellen, joten syntyi myös tarve luoda ohjeistus inframallien näkykulmasta suurimpien infratilaajien siirtyessä tietomallipohjaisen suunnittelun käyttöön. Ohjeistuksen rakenteeseen otettiin mallia yleisistä tietomallivaatimuksista ja siitä laadittiin YTV 2012:n rakennetta noudattava monesta osasta koostuva ohjeasiakirjakokonaisuus. Rakennustietosäätiön erityispäätoimikunta Building SMART Finland julkaisi vuonna 2015 ohjeen ensimmäiset osat 1-7 ja vuonna 2016 ohjeen loput osat 8-12.

Ohjeet koostuvat YTV 2012:n mukaisesti yleisistä teknisistä ohjeista ja siitä, miten mallit laaditaan ja miten inframalleja hyödynnetään eri kohteissa ja käyttötarkoituksissa. Ohjeet eivät kuitenkaan asetu tilaajan vaatimusten edelle eivätkä määritä kaupallisia eikä hallinnollisia vaatimuksia, ellei tilaaja sopimuksessa erikseen niin vaadi. Ohje pyrkii antamaan tietoa siitä miten tietomallinnuksella saadaan hankkeelle parasta lisäarvoa ja miten mallinnus edistää hankkeen tavoitteiden saavuttamista parhaalla mahdollisella tavalla. [12]

4.3 Mallintamisen tulevaisuudessa

4.3.1 Virtuaaliympäristöjen käyttö rakennushankkeissa

Visuaalisista kolmiulotteisista malleista huolimatta rakennushankkeen toimivuutta ja muutosta voi olla vaikea simuloida tarkasti ottaen huomioon kaikki yksityiskohdat. Seu-

raava askel 3D-malleista onkin reaaliaikaiset virtuaaliympäristöt. Virtuaaliympäristö poikkeaa tavanomaisista malleista ja animaatioista siten, että niissä mallin katsoja on itse aktiivisena osana virtuaalimallia. Virtuaalimallit voivat olla esimerkiksi pelimootto-reilla toimivia interaktiivisia ympäristöjä, joissa katsoja voi kulkea vapaasti. Virtuaaliympäristöihin liittyy seuraavia määritelmiä:

- VR (Virtual Reality), virtuaalitodellisuus eli tietokoneella luotu maailma
- AR (Augmented Reality), lisätty todellisuus eli oikea maailma, johon lisätty virtuaalisia osia
- CAVE, simulaatiotila, jossa liikutaan virtuaalimaailmassa.

Virtuaalitodellisuuksien käyttö suunnittelussa on vielä varsin alkutekijöissään, johtuen sen raskaasta ja vaativasta toteutuksesta. Virtuaaliympäristöjen käyttö kohteen esittelyssä ja havainnollistamisessa taas on nykyään varsin yleistä ja virtuaalitodellisuuksien käyttö alkaa vakiintua projektien esittelytapana. Toimivan virtuaaliympäristön luominen on vaativaa ja aikaa vievää, eikä siihen käytetty aika välttämättä vielä vastaa sillä saavutettuja etuja. [13]

4.3.2 Mallintaminen pistepilvestä tulevaisuudessa

Laserkeilaus on mittausmenetelmänä varsin yksinkertainen ja nopea toteuttaa, mutta kuten jo aikaisemmin lopputyössäni todettiin, siihen liittyvät mallinnus- ja suunnitteluohjelmat ovat vielä usein monimutkaisia ja epäkäytännöllisiä. Ongelmia laserkeilaus- ja mallinnusprojekteissa luovat useat eri formaattimuodot, useat palveluntarjoajat sekä tiedostojen suuri koko. Tietomallinnusprojekteissa suuri osa ajasta saattaa kulua tiedostoformaattien muuttamiseen ja yhteensovittamiseen. Tiedostoformaatteja muuttaessa täytyy myös aina kiinnittää huomioita kaiken oleellisen tiedon siirtymiseen ja tiedon muuttumattomuuteen, sillä tiedostaja konvertoitaessa tiedostoista saattaa kadota oleellisiakin palasia informaatiosta. Tulevaisuudessa ohjelmien ja tietokoneiden laskentatehon kehittyessä oletettavasti myös pistepilvien käsittelyn hyötykäyttö eri suunnittelualojen mallinnuksessa helpottuu ja nopeutuu. Tällä hetkellä markkinoilla on useita suunnittelu- ja mallinnusohjelmien tarjoajia sekä käytettäviä tiedostoformaatteja. Usein suuret ja haastavat projektit vaativat kuitenkin useiden ohjelmien rinnakkaista käyttöä, jotta vaadittu lopputulos saavutettaisiin.

Tietomallien käyttö kuitenkin tutkitusti tehostaa rakennusprojektin toimintaa sekä tuo projektille lisävarmuutta ja -arvoa suunnittelun, rakentamisen sekä käytön aikana. Tietomallit helpottavat rakennusprojektin toiminnanohjausta sekä laskee riskiä mahdollisten suunnitteluvirheiden päätyemiselle työmaalle saakka. Tietomallinnus on kuitenkin projektina vaativa, ja sen onnistunut toteutuminen vaatii aina osaavan projektihenkilökunnan aina lähtötiedon hankinnasta valmiin mallin toteutumiseen asti. Osaavan tietomallikoordinaattorin käyttöä suurissa rakennusprojekteissa voidaan pitää aina välttämättömänä. [18]

5 Tiedonhallinta

5.1 Tiedonhallinta rakennusprojekteissa ja tietomallinnuksen sovellutukset

Opinnäytetyön yhtenä merkittävänä osana on laserkeilausaineiston tiedonhallinnan ja arkistoinnin toteutus. Tämän johdosta myös tiedonhallinnan tutkiminen osana mittaus- ja rakennusprojekteja kuuluu oleellisena osana lopputyön tutkimusosuuteen. Tarkoituksena on tutkia eri sovellutuksia pistepilviaineistojen arkistointiin sekä tutkia tietomallinnuksen vaikutuksia rakennusprojektien tiedonhallintaan.

Tiedonhallinnalla rakennusprojekteissa tarkoitetaan projektia koskevan tiedon, dokumenttien ja informaation luomista, arkistointia sekä tiedonjakamista. Rakennusprojektinaikainen viestintä on myös merkittävä osa projektin tiedonhallintaa. Tiedonhallinta on tärkeä osa rakennusprojektin onnistumisen kannalta riippumatta siitä, toteutetaanko projektin suunnittelu perinteisin menetelmin vai tietomallipohjaisella suunnittelulla. Rakennusprojekteissa tietomallipohjaisen suunnittelun tiedonhallinnan merkityksen ja käytön voi jakaa neljään eri kategoriaan, jotka toimivat oleellisena osana projektia sen kulessa:

- tiedon jälleenkäyttöarvo
- suunnittelun laadunvarmistus
- vuoropuhelu ja suunnitelmien havainnollistaminen
- työmaaprosessin tehostaminen.

Tiedon jälleenkäyttöarvolla varmistetaan tiedon siirtyminen eri suunnitteluvaiheiden välillä ja varmistetaan tiedon muuttumattomuus ja katoamattomuus. Käyttämällä sovit- tuja tiedonsiirtomenetelmiä ja standardeja vältetään töiden korjaamista ja uudelleen tekemistä. Tiedon jälleenkäyttö, kokoaminen ja tarkastaminen ovat yksi paikkatieto- koordinaattorin tärkeistä tehtävistä, mutta viime kädessä vastuu laadusta on kaikilla työn osapuolilla.

Suunnittelun laadunvarmistus muodostuu suunnitelman visuaalisesta tarkastamisesta, jossa etsitään mahdolliset suunnitteluvirheet sekä optimoidaan suunnitteluratkaisut ennen kuin lopulliset suunnitelmat siirtyvät työmaalle. Tietomallisuunnittelussa virheitä

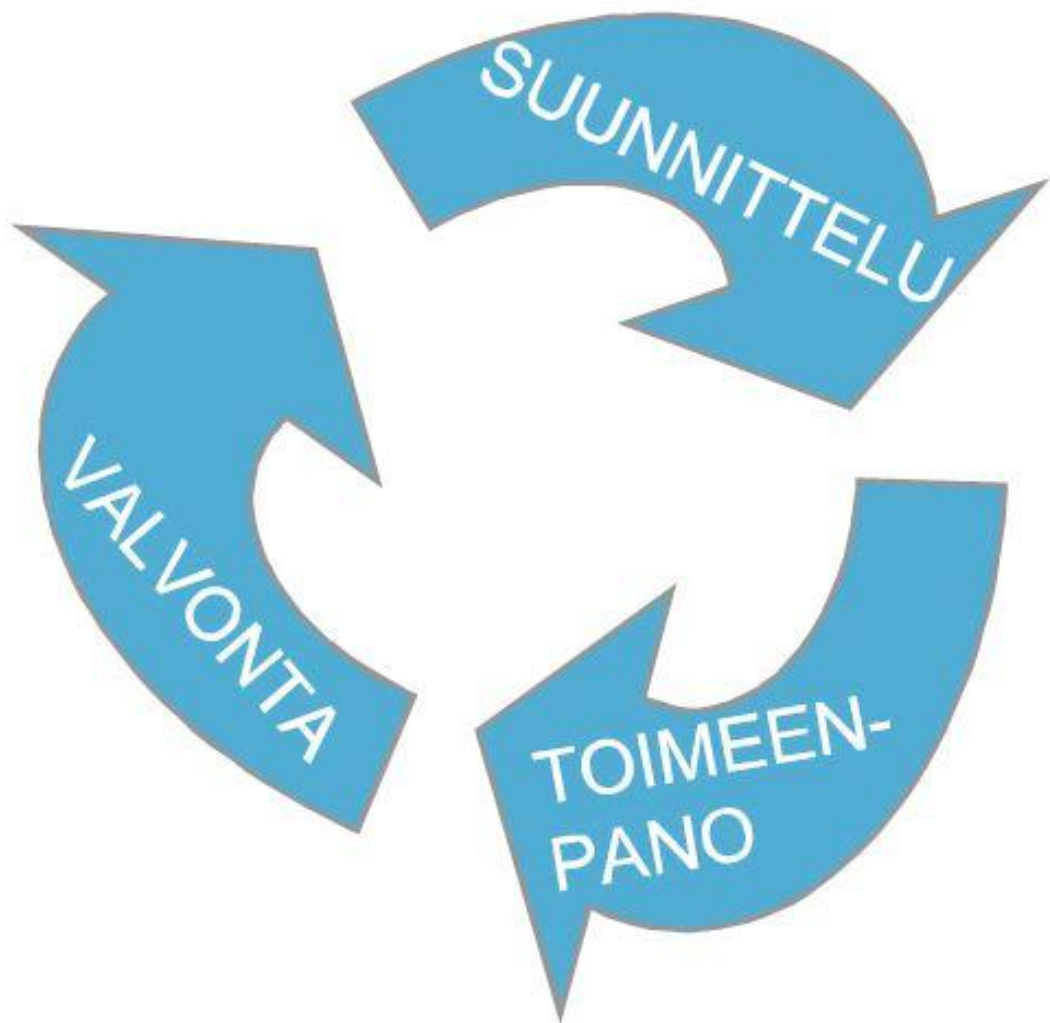
voidaan manuaalisen tarkastuksen lisäksi todentaa ja etsiä suorittamalla tietomalleille yhteensopivuus- ja törmäysanalyysyjä.

Työmaaprosessin tehostaminen toteutuu tietomallien avulla, kun rakentamistyön suunnittelu ja ohjaus tehostuu. Suunnitteluratkaisut ja työvaiheiden optimointi välittyy tietomalleista helpommin työmaalle ja nopeuttaa rakennusprosessia myös käytännössä, eikä pelkäästään suunnittelun osalta. Tietomalliratkaisut ja niiden välittäminen rakennustyömaalle toimivat osana rakennusprojektin viestintää ja siten myös sen tiedonhallintaa. Koneohjaus sekä sen suunnittelu ja toteutus on hyvä esimerkki tietomallintamisen käytännössä. Tietomallista poimittu tasoitussuunnitelma toimitetaan työlaitteisiin suoraan, eikä työssä ole turhia välikäsiä. [18]

Tiedonhallinnan näkökulmasta on hyvä muistaa, että tietomalleja ei pidä mieltää vain kolmiulotteisena tulosteena tai suunnitelmana projektikohteesta. Suurin osa tietomallin sisällöstä ja sen tarjoamasta informaatiosta koostuu kuitenkin sen sisältämästä ominaisuusdatasta, jotka kuvaavat suunniteltua rakennetta tai määriteltyä laatua projektin kannalta. [19]

5.2 Tietomallipohjaisen projektin johtaminen ja tiedonhallinta

Onnistuneen prosessin johtamisen voi jakaa kolmeen erilliseen osaprosessiin, joita ovat suunnittelu, toimeenpano ja valvonta. Prosessikokonaisuuden onnistuminen vaatii näiden osaprosessien välistä sujuvaa tiedonkulkua sekä projektin eri vaiheiden tietomallintamistehtävien ja -menettelyjen huolellista ennalta suunnittelua. Projektin suunnitellut tehtävät ja menettelyt siirretään projektin eri osapuolille sitovien sopimusten avulla. Tietomallintamishankkeet ovat useimmiten laajoja ja monitahoisia projekteja, joissa on useita osapuolia. Tästä johtuen tietomallisuunnittelulla toteutetussa projektissa sopimusjohtajuuden merkitys korostuu. Sopimusjohtamisella tarkoitetaan käytännössä projektijohdon menetelmää organisoida ja johtaa projektia työtä ohjaavien sopimusten kautta.



Kuva 9. Tietomallipohjaisen projektijohtamisen kokonaisuus, jota kaikkea yhdistää toimiva tiedonhallinta [14].

Kaikilla projektin osallisilla tulee olla tieto siitä, mitkä mallintamistehtävät ovat kenenkin vastuulla projektin eri vaiheissa. Hankkeen tavoitteet, tietomallien käyttötarkoitukset projektin laajuus ja aikataulut sekä tiedonvaihto, -hallinta ja laadunvarmistus ovat asioita joiden vastuuhenkilöt on selvitettävä ja määrättävä projektin alussa (kuva 9). Projektilla on oltava yhtenäiset käytännöt ja menetelmät raportointi- ja dokumenttivaatimuksista. Rakennushankkeessa edellisen vaiheen tulos toimii usein myös lähtötietona projektin seuraavalle vaiheelle, ja tietomallien käyttöikä voi jatkuakin koko rakennuksen elinkaaren.

Merkittävä vastuu projektin onnistumisesta tietomallintamisen ja tiedonhallinnan näkökulmasta kuuluu projektille määrätulle tietomallikoordinaattorille. Tietomallikoordinaattori projektille nimetään heti projektin alussa ja varmistetaan että tietomallikoordinaattori on tehtävänsä pätevä. Tietomallikoordinaattorilta vaaditaan riittävää pätevyyttä tietomallipohjaiseen suunnitteluun sekä kattava projektin johtamispätevyys ja -kokemus. Tietomallikoordinaattori vastaa projektin alustavan tietomallisuunnitelman laadinnasta sekä huolehtii projektin aikana tietomallinnustehtävien koordinoinnista eri suunnittelija osapuolien välillä. [14; 15.]

5.3 Tiedonhallinta ja tietomallien käyttö rakennusprojektin jälkeen

Rakennushankkeen päätyttyä tietomallit jäävät sopimusten mukaan pääsääntöisesti tilaajan haltuun ja palvelevat rakennuksen käyttöä ja jatkokehitystä koko rakennuksen elinkaaren ajan. Tietomallipohjaisessa rakennushankkeessa tuotetut toteumamallit ja kiinteistön huoltokirja ovat oleellimmat dokumentit rakennuksen ylläpitovaiheen kannalta. Toteumamallista voidaan vielä kehittää toteumamallien yhdistelmämalli eli ylläpitomalli. Tietomallipohjaiset sähköiset huoltokirjat ovat yleistymässä, ja niistä on kehityksessä tärkeä kiinteistön ylläpidon työkalu. Tietomallien tavoitteet ja käyttö rakennuksen käytön aikana kannattaa sopia jo hyvissä ajoin ennen rakennuksen käyttöönottoa, tällöin malleja luotaessa voidaan jo ottaa tulevat tavoitteet huomioon. Ajantasainen ja laadukas toteumamalli toimii koko kiinteistön elinkaaren ajan sen huoltokirjan käyttöliittymänä.

Toteuma- ja ylläpitomallit palvelevat rakennuksen käyttöönoton jälkeen sekä kiinteistön omistajaa että palveluiden toimittajia. Ylläpitomalli auttaa kiinteistön omistajaa arvioimaan ylläpidon kustannuksia sekä suorittamaan energia-, olosuhde- ja ympäristötavoitteiden simulointia koko rakennuksen käytön ajalle. Tietomallit helpottavat tulevaa rakennuksen huollon, kehityksen ja jatkotoiminnan suunnittelua sekä palveluiden kilpailuttamista. Ylläpitomalli on myös erinomainen sovellus rakennuksen toimitilajohtamista varten. Toimitilojen myynti- ja vuokraustoiminta on helppo toteuttaa ylläpitomallia käyttämällä, lisäksi rakennuksen käytön seuranta on käytännöllistä toteuttaa tietomallipohjaisella ratkaisulla.

Palveluiden toimittajien näkökulmasta ylläpitomallit helpottavat liiketoiminnan tehostamista parantamalla reagointikykyä asiakkaan ongelmiin tehokkaan tietomallipohjaisen

tiedonhallinnan avulla. Tämän johdosta palveluiden laatu ja asiakastyytyväisyys paranee. Kiinteistön omistajan, palveluiden tarjoajan ja toimittajan kannalta on myös tärkeää kiinnittää huomiota avoimen tiedonsiirron tukemiseen. Avoin tiedonsiirto tarjoaa alustan useille sovellusvaihtoehdoille tulevaisuudessa sekä vähentää riippuvuutta tiedon ja palvelun toimittajista mahdollistaen avoimemman kilpailun verrattuna suljettuihin järjestelmiin. Ajan tasalla oleva ja helposti saatavilla oleva tieto tukee tehokkaasti ylläpidon toimintoja koko rakennuksen elinkaaren ajan. [18; 19.]

6 Projektin toteuttaminen

6.1 Projektin toteutustapa

Ohjeistuksen sisällön suunnittelu toteutettiin pääsääntöisesti suunnittelukokouksissa yhdessä tilaajana toimivan Fortumin sekä työnsuorittajan Rambollin edustajien kanssa. Rambollin edustajistoon kuului itseni lisäksi lopputyön ohjaajana toimiva projektipäällikkö Veli-Pekka Koskela sekä maastovastaavana ja Rambollin laserkeilausryhmän vetäjänä toimiva maanmittausinsinööri Jussi Hämäläinen. Fortumin osallistujat taas koostuivat laitosasiantuntijoista, prosessisuunnittelijoista sekä mittaustekniikan asiantuntijoista. Suunnittelukokouksien edustajisto kattoi siten erittäin laajan kokonaisuuden eri alojen erikoisosaamista, jotka liittyivät joillakin tapaa laitoksella suoritettaviin laserkeilauksiin ja etenkin niiden jatkokäyttöön ja hyödyntämiseen osana voimalaitosalueen suunnittelua.

Suunnittelukokoukset muodostavat yhdessä kirjallisen lähdeaineiston kanssa tämän lopputyön tutkimusmateriaalin. Suunnittelukokouksia voidaan pitää osana lopputyön tutkimusosuutta. Suunnittelukokoukset muodostavatkin tämän lopputyön haastattelututkimukset. Varsinaista haastattelututkimusta ei suoritettu lopputyön tekemisen aikana erikseen, sillä kokouksien asiasisältö kattoi koko työn aihepiirin ja ohjasivat työtä haluttuun suuntaan ja lopputulokseen. Lopputyö toteutettiin toukokuun 2015 ja tammikuun 2017 välisenä aikana projektina osissa, joiden välimaaleina voidaan pitää määräajoin järjestettyjä yhteisiä suunnittelukokouksia ja niissä läpikäytyjä tuloksia sekä kehityskohteita.

Suunnittelukokouksien tarkoitus oli jakaa osaamista ja tietotaitoa eri asiantuntijaryhmien välillä sekä ohjata projektin kulkua haluttuun suuntaan. Suunnittelupalaverissa sovittiin yhdessä ohjeistuksen tarkoitus, vaatimukset ja yleisluonteinen sisältö sekä käytiin läpi projektin edistyminen sekä määriteltiin työn seuraavat tavoitteet. Suunnittelukokoukset järjestettiin aina tapaamisella, joko Rambollin Espoon tai Lahden toimistolla.

6.2 Ohjeistuksen sisältö

Työn alkuvaiheessa projektissa työstettävän laserkeilausohjeen laajuus päätettiin rajata koskemaan laserkeilausaineiston tilaamista, mittauksen toteuttamista voimalaitosalueella sekä sen valvontaa ja tuotetun laserkeilausaineiston arkistointia. Tavoitteeksi määriteltiin kahden erillisen ohjeistuksen laatiminen, joista toinen laajempi ohje tulisi Fortumin omaan sisäiseen käyttöön ja toinen suppeampi ohje taas palvelisi alueelle saapuvaa ulkopuolista toimijaa.

Ulkoiseen käyttöön tarkoitetun ohjeen tarkoituksiksi määritettiin toimia ohjeena mittauksen suorittamisesta, aineiston käsittelystä ja toimittamisesta tilaajalle sekä toimia ohjeena alueen toimintatavoista, turvallisuudesta ja voimalaitosalueelle saapumisesta. Ohjeesta päätettiin pyrkiä tekemään selkeä ja tiivis siten, että se tiivistää kaiken edellä mainitun selkeään ja helposti ymmärrettävään muotoon. Jo alkuvaiheessa projektia asetettiin ulkoiseen ohjeen tavoitteeksi luoda yksinkertainen niin sanottua rasti ruutuun-periaatetta noudattava lomake, joka toimisi myös yksinkertaisena tarkistuslista projektin toteutuksesta.

Fortumin sisäiseen käyttöön tarkoitetusta ohjeistuksesta on taas tarkoitus laatia laajempi perinteistä ohjeasiakirjaa muistuttava ohjeistus, joka sisältää mittauksen suorituksen lisäksi ohjeet myös mittauksen laadunvarmistuksesta ja mittausaineiston vastaanotosta sekä aineiston hallinnasta ja arkistoinnista. Sisäinen ohje toimii kattavana kuvauksen koko keilausprosessin toteutuksesta Fortumin Loviisan voimalaitosalueella sekä toimii yleisenä ohjeistuksena laserkeilausprosessin läpiviennistä aina sen tilaamisesta projektin loppumiseen saakka.

6.3 Laserkeilausprosessi

6.3.1 Laserkeilausprosessin ongelmakohdat tilaajan ja aineiston tuottajan näkökulmasta

Palavereissa laserkeilausta käytiin läpi vapaanmuotoisen keskustelun ja haastattelun muodossa. Tässä yhteydessä tilaajan kanssa pohdittiin ongelmia, jotka tuottavat vaikeuksia laserkeilausprosessin ymmärtämiselle tilaajan sekä laserkeilausaineiston tuottajan näkökulmasta ja sitä mitkä, olisivat soveltuvat ratkaisut näiden ongelmien poistamiseksi.

Suunnittelupalavereissa saadun palautteen mukaan laserkeilain mittalaitteena on varsin hyvin tunnettu peruseriaatteeltaan, mutta sen tarkempien ominaisuuksien tunteminen ja etujen tiedostaminen muihin perinteisimpiin mittalaitteisiin verrattuna tuntuvat olevan yleisesti varsin huonosti tiedostettuja. Ongelma ei ole ainoastaan tilaajan päässä, vaan laserkeilausaineisto tuo projektille sellaista lisäarvoa, jota myös mittausalan ammattilaisen on välillä vaikea ymmärtää asiakkaan näkökulmasta ja tuoda esille ja esittää asiakkaalle selkeästi. Perinteisten mittausmenetelmien toiminta ja niiden tuottaman aineiston ymmärtäminen ja tuottaminen on useimmiten selkeää ja ymmärrettävää projektin molemmille osapuolille, kun taas laserkeilausaineiston jatkojalostus ja hyödyntämiskeinot voivat olla huomattavasti monipuolisemmat ja vaikeatajuisemmat asiaan perehtymättömälle. Tällöin on tärkeää, että sekä aineiston tuottaja että tilaaja ymmärtävät mittauksen tarkoituksen ja sen toteuttamismahdollisuudet. Hyvänä esimerkkinä voidaan mainita tietomallit ja niiden luominen pistepilvestä. Tietomallit ja niiden käyttö ovat usein varsin tuttuja rakennustekniikan ammattilaisille, kun taas mittauspuolen ammattilaiselle ne voivat olla vain etäisesti tuttuja ja vastaavasti laserkeilaimen tuntemus mittausvälineenä voi olla rakennustekniikan ammattilaisella heikko. Tilaaajan ja aineiston tuottajan tulisikin suunnitella ennen mittauksen alkua, mitkä ovat laserkeilaukselle asetetut tavoitteet, vaatimukset sekä haluttu lopputuote. Riittääkö pelkkä pistepilvi, vai onko aineiston mallinnukselle tarvetta ja mitkä ovat mallinnukselle asetettavat tavoitteet?

Laserkeilausaineiston käyttömahdollisuuksien lisäksi tilaajille ongelmia saattaa tuottaa tuotetun aineiston suuri koko. Pistepilviaineistot ovat useimmiten niin suuria, etteivät tavalliset suunnitteluohjelmat jaksa niitä pyörittää. Mallin luominen tai pistepilven käyttö saattavatkin aiheuttaa odottamattomia ongelmia tilaajalle, kun aineiston suuri koko tulee yllätyksenä.

6.3.2 Tilauslomake

Fortumin Loviisan voimalaitoksella laserkeilaustyön tilaajia voi olla useita ja tilaajilla on vaihteleva asiantuntemus laserkeilausprosessista. Palavereista saadun kokemuksen mukaan laserkeilausprojektin tarjousprosessia olisi hyvä selkeyttää sekä tarjoajan että tarjouspyyntöön vastaajan kannalta. Tämän pohjalta alettiin suunnitella tilauslomaketta, joka toimisi eräänlaisena tarkistuslistana niin tilaajalle kuin tarjouspyyntöön vastaajallekin. Tilauslomakkeen on tarkoitus tarjota molemmille projektin osapuolelle selkeä alus-

ta välittää tietoa projektiin vaadituista teknisistä tiedoista, jotka ovat laserkeilausprojektin onnistumisen kannalta tarpeellisia.

Tilauslomakkeen pohjaksi otettiin aikaisemmin luonnosteltu Fortumin ulkoiseen käyttöön tarkoitettu laserkeilausohjeistus, jota päätettiin jatkojalostaa toimimaan sekä tarjouspyynnön teknisten tietojen liitteenä, että yleisenä ohjeistuksena ja laitokselle saapuvien toimijoiden alustavana turvallisuusohjeena. Lomakkeeseen on tarkoitus koota kaikki laserkeilausprojektin kannalta merkittävät tekniset tiedot ja mittausvaatimukset. Lomakkeen on tarkoitus varmistaa, että tilaaja osaa pyytää kaikki projektin vaatimat yksityiskohdat laserkeilaukseen liittyen. Tilauslomake toimii myös tarjouspyynnön liitteenä, ja sen tarkoitus on auttaa tarjouspyyntöön vastaajan kustannuslaskentaa sekä työn alustavaa suunnittelua. Lomakkeeseen kirjattujen teknisten tietojen sekä työn kuvauksen on tarkoitus vähentää myöhemmin syntyviä työhön liittyviä epäselvyyksiä ja lähentää tarjousprosessin eri osapuolten ajatusmaailmaa jo ennen projektin alkamista.

6.3.3 Turvallisuusohjeistus

Tilauslomakkeen on tarkoitus toimia alueelle saapuvan toimijan alustavana ohjeistuksena sekä antaa kuvaus alueen turvavaatimuksista ja -ohjeista. Turvallisuuteen on alettu kiinnittämään entistä suurempaa huomiota suomalaisessa työnteossa, ja tapaturmaton työpaikka on tavoitteena kaikissa rakentamis- ja teollisuuskohteissa. Ymmärrettävistä syistä ydinvoimaloissa työturvallisuus on aina ollut erityishuomion kohteena, ja turvallisuusvaatimukset ovat vielä tavanomaista tehdastyöskentelyä tiukemmat. Ydinvoimalaitosalueella turvallisuuteen liittyy tavanomaisten riskien lisäksi säteilyturvallisuus, jonka periaatteet on alueella työskentelevän syytä tuntea, vaikkei kyseessä oleva työ sijoittuisikaan aktiiviselle säteilyalueelle. Ydinturvallisuus ja siihen liittyvä osaaminen ja ammattitaito ovat Suomessa maailman huippua.

Fortumin ydinvoimalaitosalueelle ensi kertaa töihin tulevalta vaaditaan Suojelupoliisin teettämä suppea turvallisuus selvitys. Suppeaa turvallisuus selvitystä vaaditaan aina työskentelyyn ydinvoimalaitoksessa tai sen alueella, eli sama vaatimus on voimassa myös Olkiluodon voimalaitosalueella. Turvallisuus selvityksen teettäminen saattaa viedä aikaa muutaman viikon, joten tämän johdosta alueelle ensimmäistä kertaa saapuvaa onkin hyvä informoida asiasta, jotta asia olisi hoidettuna ennen työn aloitusta. Ydinvoimaloissa on käytössä myös erittäin tarkat ohjeet kemiallisten aineiden käsittelystä ja niiden alueelle tuonnista. Tämän johdosta alueelle saavuttaessa on ilmoitettava kaikki

käytössä olevat kemikaalit ennakkoon, ja mikäli käytettävää kemikaalia ei löydy hyväksytyjen tuotteiden listalta, on kemikaali ennakkoon toimitettava tutkittavaksi Fortumin laboratorioon. Tilauslomakkeella pyritään tiedottamaan edellä mainittujen kaltaisista voimalaitosalueen erityispiirteistä ennakkoon siten, että ikäviltä yllätyksiltä ja työnviivästyksiltä vältyttäisiin.

6.4 Laserkeilausohjeen rakenne ja pääpiirteet

Laserkeilausohjeen lopullinen muoto ja ulkoasu muodostuvat kolmen erillisen lomakkeen ja ohjeistuksen ympärille, jotka yhdessä muodostavat ohje kokonaisuuden, jota käyttämällä laserkeilausprojektin pitäisi onnistua sulavasti riippumatta siitä, kuinka syvällisesti työn tilaaja on laserkeilauksen yksityiskohtiin perehtynyt. Ohjeen muodostavat aikaisemmin esittelyn kohteena ollut laserkeilauksien tilauslomake, toimenpidelomake sekä yleinen laserkeilausohjeistus, joka on pääsääntöisesti tarkoitettu vain Fortumin sisäiseen käyttöön.

Toimeksiantolomake on ulkoasultaan ja sisällöltään hyvin yhdenmukainen laserkeilauksien tilauslomakkeen kanssa pienillä muutoksilla. Toimeksiantolomake toimii viime hetken tarkistuslomakkeena työkohteessa ennen mittaustyön aloitusta. Sen avulla on tarkoitus varmistaa, että työn suorittajalla on oikea käsitys työkohteesta, työn sisällöstä ja vaatimuksista, varmistaa vaadittavien lupien voimassaolo sekä käydä läpi turvallisuustekijät erityisesti kyseessä olevan työkohteen osalta. Toimeksiantolomakkeen on tarkoitus kulkea mittajaan mukana työn aikana, ja mittaja täydentää siihen mittaukseen liittyviä huomioitavia asioita työn ajan. Työn loputtua mittaja palauttaa lomakkeen työn tilaajalle, jolla varmistetaan työn päättyminen.

Voimalaitosalueen sisäiseen käyttöön tarkoitetun ohjeen on tarkoitus luoda selkeä ja yhdenmukaiset pelisäännöt laserkeilausprojektien suorittamisesta ydinvoimalaitosalueella. Ohje antaa kattavan ohjeistuksen edellä mainittujen tilaus- ja toimeksiantolomakkeiden käytöstä sekä antaa taustatietoa laserkeilauksesta mittausmenetelmänä. Ohjeen ei kuitenkaan ole tarkoitus sisältää yksityiskohtaista kaiken kattavaa ohjeistusta laserkeilauksesta, vaan se toimii lähinnä neuvoa antavana ohjeistuksena ja yrittää tuoda esiin mahdollisia laserkeilausprojektissa syntyviä ongelmakohtia. Keskeisenä sisällönä ohjeistuksessa tulee esille mittausaineiston vastaanotto ja arkistointi, joiden toi-

mintavarmuutta pitkällä aikavälillä pidettiin mahdollisena ongelman aiheena työn alkaessa.

6.5 Pistepilviaineiston arkistoinnin ohjeistus

Opinnäytetyön alkaessa toimivan ja käyttöystävällisen pistepilviaineistojen arkistointijärjestelmä luomista pidettiin yhtenä työn suurimmista haasteista sekä myös opinnäytetyön yhtenä keskeisimpänä ja tärkeimpänä osana. Työkohteena oleva voimalaitosalue on kooltaan suuri sekä sisältää paljon toisistaan poikkeavia alueita ja kohteita, niin voimalaitoksen sisä- kuin ulkopuolellakin. Voimalaitosalueella suoritettavat laserkeilausprojektit ovat pääsääntöisesti toisistaan erillisiä yksittäisiä mittausprojekteja. Laserkeilauksia voivat voimalaitosalueella tilata useat eri toimijat ja niiden suorittajat voivat olla Fortumin omaa mittaushenkilökuntaa tai ulkopuolisia mittaajia. Näistä seikoista johtuen toimivan arkistointijärjestelmän rakentaminen ja sen toiminnan varmistaminen pitkälle tulevaisuuteen on haasteellista. Toimivan arkistoinnin perustana pidettiin alusta alkaen töiden selkeää töiden nimeämiskäytäntöä, joka jatkuu yhdenmukaisena koko voimalaitoksen toiminnanajan, huolellista arkistointia sekä aineistoista kerättyjä riittäviä metatietoja. Metatiedoilla pyritään varmistamaan oikean aineiston löytyminen tarvittaessa sekä sen käytettävyys.

Ennen arkistoinnin tarkempaa suunnittelua oli selvítettävä ja sovittava, mikä olisi haluttu lopputuote laserkeilausprojekteista ja minkälaista tietoa kustakin projektista syntyy. Palavereiden aikana päädyttiin päätökseen, että projektin minimivaatimukset ovat vastaanotettu pistepilviaineisto halutussa koordinaatistossa ja korkeusjärjestelmässä siistittynä ja harvennettuna sovitulla pistetiheydellä. Pistepilviaineistosta toimitetaan aina projektikohtaisesti vaaditun tiedostoformaatin lisäksi myös niin sanottu natiivitiedosto eli alkuperäinen käsittelemätön mittaus-tiedosto. Jokaisesta projektista vaaditaan tämän lisäksi toimenpidelomake palautettuna projektin päätyttyä, lisäksi vaaditaan mittausraportti sekä koordinaattilista laserkeilaimella mitatuista koneasemista. Näiden lisäksi voidaan vaatia tapauskohtaisesti laserkeilausaineiston mallinnusta, pyörähdyskuvia koneasemista tai muita aineiston erityiskäsittelyjä.

Toimivan arkistoinnin edellytyksenä on pistepilvien nimeäminen yksilöivästi ja kuvaavasti sekä looginen kansiorakenne. Toimivan kansiorakenteen luominen on olennaista datan käytettävyyden kannalta, sillä mitattua aineistoa syntyy erittäin paljon. Koska

pistepilviaineiston arkistointi toteutetaan tilaajan toiveesta tässä vaiheessa projektia ainoastaan excel-taulukolla sekä CAD-pohjaan luodulla koneasemat näyttävällä tiedostolla, on edellä mainittujen käytäntöjen toteutus tärkeää toimivan arkistoinnin kannalta. Kansiorakenne ja kansiot nimetään siten, että ne kuvaavat pistepilven sijaintia ja mittausajankohtaa. Laserkeilausprojektit nimetään päivämäärään perustuvan tilausnumeron mukaisesti. Mitatut pistepilvet nimetään projektinumeron mukaisesti ja siihen liitettävän juoksevan numeron mukaan seuraavasti: vvvvkkpp ja päiväkohtainen juokseva numero eli esimerkiksi 20160913_001, 20160913_002, ...

Ehdotus luotavasta kansiorakenteesta:

- Laser
 - Vuosi
 - Projektinumero
 - Käsittelemättömät aineistot (natiivi)
 - Pistepilviaineisto käsitelty (liitetyt väriarvot, yms.)
 - TM35(N2000)
 - GK26(laitoskorkeus)
 - ...
 - Pistepilviaineisto, yhdistetty ja harvennettu
 - TM35(N2000)
 - GK26(laitoskorkeus)
 - ...
 - Pyörähdyskuvat
 - Dokumentointi

Aineistot tallennetaan projektikohtaisesti omiin kansioihinsa projektin valmistumisvuoden mukaisesti. Aineisto jaotellaan kansioissa vielä päivämäärään, aineiston käsittelyn sekä käytetyn koordinaatti- ja korkeusjärjestelmän mukaisesti. Päivämäärään mukaisia alakansioita voidaan luoda vapaasti projektinumeron alle niin monta kuin on tarpeen. Tärkeintä on, että tiedostot on jaoteltu oikein ja että ne ovat selkeästi löydettävissä. Pääallekkäisen tiedon kertymisen välttämiseksi tiedot tallennetaan vain yhteen paikkaan. Mikäli projektin laajuus koskee useaa eri projektikokonaisuutta, voidaan projektikansio perustaa kahteen eri paikkaan, mutta tieto tallennetaan ainoastaan toiseen kansioon. Toinen kansio sisältää vain linkitetyn pikakuvakkeen tiedon todelliseen tallennuspaikkaan.

Laserkeilausprojekteista luodaan oma hakutietokantansa Excelillä, jonne tiedot suorite-
tuista keilausprojekteista kerätään. Excel-taulukon ulkoasu on suunniteltu siten, että sen ensimmäinen sivu toimii projektiluettelona, johon kerätään kaikki alueella suoritettavat projektit. Jokainen projekti on lisätty samaan excel-pohjaan omille projektin mu-

kaan nimetyille välilehdille, joista löytyy projektissa käytettyjen koneasemien koordinaatit ja mahdolliset koneasemaa koskevat lisähuomiot. Tässä vaiheessa arkistoinnin onnistumista tuleekin selväksi, miksi projekteista kerätty metatieto on erityisen tärkeää. Oleelliset projektia koskevat metatiedot ovat projektin aloitus- ja lopetuspäivämäärät, keilausalue, keilattavat kohteet, keilauksen suorittaja ja aineiston käsittelijä. Excelliin on rakennettu valmiit lajittelutoiminnot, joilla oikean projektin löytyminen tietokannasta on nopeaa ja helppoa käyttämällä haluttuja metatietoja aineiston lajitteluun ja hakuun. Voimalaitosalue on jaettu eri ulko- ja sisäalueisiin sekä jokaisella huoneella, ovella ja komponentilla on omat tunnuksensa. Näitä tietoja käyttämällä mittauksen metatiedoissa voidaan mittaus yksilöidä selkeästi paikan ja mittaustarkoituksen mukaisesti, jolloin tarvittavan aineiston pitäisi löytyä tietokannasta helposti.

Laserkeilausprojekteissa käytettävät koneasemat on tarkoitus viedä vielä alueesta olevaan CAD-tiedostopohjaan projektikohtaisesti. Jokaisen suoritettun laserkeilausprojektin koneasemat viedään CAD-tiedostoon omille projektinumeroon perustuville tasoille eli layouteille. Tasoja sulkemalla ja avaamalla halutun tiedoston löytyminen on sujuvaa myös CAD-pohjaisella ohjelmalla. Vaikka kyseessä ei olekaan tietokantoihin perustava paikkatietosovellus, se tarjoaa riittävän alustan projektien arkistoinnin helpottamiseksi. Tärkeää on viedä koneasemien tiedoista myös niin korkeusasema eikä pelkästään X- ja Y-koordinaattia, sillä korkeusasema paljastaa sisätiloissa mittauksen kohteena olleen kerroksen. Edellä mainituilla toimenpiteillä aineistojen arkistointi ja sen käyttö tulisi olla helppoa ja vaivatonta ottaen huomioon, että mittausaineistoa syntyy tulevaisuudessa paljon useiden eri projektien myötä sekä useiden eri toimijoiden toimesta.

7 Koemittaus Loviisan voimalaitosalueella

7.1 Mittauskohde ja mittauksen tarkoitus

Laserkeilausohjeen toimivuutta käytännössä testattiin Loviisan voimalaitosalueella suoritetulla koemittauksella. Koemittauskohteeksi valikoituivat voimalaitosaluetta ympäröivä piha-alue ja erityisesti voimalaitosaluetta ympäröivät tulvasuojeluvallit sekä piha-alueella sijaitsevat polttoaineen kuljetukseen liittyvät raidekiskot. Loviisan voimalaitosalueelle on tarkoitus laatia uudistettu tulvasuojelumalli, ja tätä varten alueen maanpinnasta haluttiin tarkka ja havainnollinen pintamalli, jota avuksi käyttäen tarkistetaan nykyisten tulvavallien korkeusasema ja niiden toimivuus mahdollisessa ongelmatilanteessa.

Loviisan voimalaitosalueella korkean meriveden uhkaa on tutkittu perusteellisesti. Itämeren ja Suomenlahden käyttäytyminen tunnetaan hyvin, ja on tiedossa, ettei meriveden voimakas nousu tapahdu Loviisassa yllättäen, vaan se on ennakoitavissa. Tällainen tilanne edellyttäisi niin sanotun kylpyamme-efektin syntymistä, jossa Suomenlahden pinnassa tapahtuisi vastaavaa läikkymistä kuin kylpyammetta kallistaessa. Edellä kuvatun kaltainen tilanne on kuitenkin hyvin ennustettavissa, sillä se vaatisi useiden viikkojen voimakasta myrskyä Pohjanmerellä, jolloin syntyvät virtaukset Tanskan salmien kautta yhdessä vallitsevien ilmanpaine-erojen kanssa muodostaisivat läikkymisilmion. [4]

Loviisan voimalaitosalueen piha-alueen korkeus on noin +3,00 metriä merenpinnasta. Suurin mitattu merenpinnan korkeus Loviisassa on ollut +1,77 metriä, joka mitattiin Gudrun-myrskyn aikana 9.1.2005 Merentutkimuslaitoksen toimesta. Meriveden pinnan korkeutta koskevia arvioita on kuitenkin päivitetty Fukushiman tapahtumien jälkeen. Ilmatieteen laitoksen viimeistelyvaiheessa olevan tutkimuksen mukaan meriveden poikkeuksellisen korkean pinnan todennäköisyys ja piha-alueelle nousevan tulvan laajuus on aikaisempia arvioita suurempi. Tämän ennakkotiedon perusteella Fortum on jo parantanut tulvasuojausta laitoksen pitkäaikaisen jäähdytyksen varmistamiseksi. Jos merivedenpinta kuitenkin nousisi poikkeuksellisesti yli kolmen metrin ja peittäisi Hästholmenin saaren ja voimalaitosalueen, ei tilanne olisi kuitenkaan erityisen huolestuttavan ydinturvallisuuden kannalta. Voimalaitoksien reaktoreiden jäähdytyksestä voidaan huolehtia dieselkäyttöisin pumpuin, jotka eivät vaadi sähköä ja toimivat kuvatunlaisessa

ongelmatilanteessa. Lisäksi molempien voimalaitosten reaktorisydän sijaitsee noin 10 metriä merenpinnan yläpuolella kaasu- ja vesitiiviissä suojarakennuksessa. [4]

Koemittauksen kannalta kohde on erinomainen. Kohteessa sijaitsee useita rakennuksia ja rakennelmia sekä vaihtelevaa maanpintaa, joten se antaa loistavan kuvan laserkeilauksen tuottamasta materiaalista eri kohteissa ja käyttötarkoituksissa. Lisäksi koemittauksen suorittamista palvelee aito tarve mittausaineistolle ja sen käytölle, joten sitä voidaan pitää ohjeistuksen testauksen kannalta erittäin hyvänä ja kuvaavana kohteena. Koemittaus suoritetaan kokonaisuutena tarjousprosessista lähtien aina aineiston luovutukseen ja vastaanottoon asti laadittavan ohjeistuksen mukaisesti ilman ohjeistuksen laatijan antamaa apua. Tarkoituksena on näin testata ohjeistuksen toimivuutta käytännössä todellisessa tilanteessa.

7.2 Koemittauksen toteutus

Koemittaus suoritettiin Ramboll Finland Oy:n mittaushenkilökunnan toimesta Loviisan voimalaitosalueella (kuva 8) 18.4.–27.4.2016 Fortum Power and Heat Oy:n toimeksiannosta. Voimalaitosalueella on oma vuonna 2014 rakennettu tasoitettu kiintopisteverkko, jonka käyttöä ohjeistuksessa on vaadittu käytettäväksi kaikissa alueella suoritettavissa mittauksissa. Tällöin voidaan varmentaa alueella suoritettavien erillisten mitausten keskinäinen absoluuttinen tarkkuus. Voimalaitoksen kiintopisteverkolle oli mitattu ainoastaan laskennallisesti ellipsoidikorkeudet, eikä tarkkaa muunnosta N2000-korkeusjärjestelmään ollut käytettävistä, joten ennen laserkeilauksen aloittamista oli alueelle tuotava tarkka N2000-järjestelmän mukainen korkeus. Korkeus alueelle tuotiin tarkkavaaitsemalla läheiseltä Maanmittauslaitoksen korkeuskiintopisteeltä. Samasta Maanmittauslaitoksen korkeuskiintopisteestä laskettiin myös alueella käytettävä muunnos N2000- ja N60-korkeusjärjestelmien välillä. Käytettävä korkeusmuunnos järjestelmien välillä oli 0,227 metriä. Muunnosta tarvittiin, koska mittausaineistosta haluttiin sekä N2000- että N60-järjestelmän mukainen versio.

Laserkeilauksissa käytettiin Z + F imager 5010 -keilainta (kuva 11). Kiintopisteet sekä mitausten georeferointiin käytetyt mustavalkotähykset mitattiin Trimblen S6-sarjan takymetrillä. Mittaukset kohteessa suoritti kaksihenkinen Rambollin Lahden toimiston mittausryhmä.



Kuva 10. Koemittausalue Loviisan ydinvoimalaitos.

Mittausaineisto käsiteltiin Z + F lasercontrol-, Leica Cyclone-, Terrasolid TerraScan- ja Autocadin Novapoint 19.20 -sovelluksilla. Mittausaineisto jouduttiin rekisteröimään osissa sen suuren koon vuoksi ja rekisteröinnissä käytettiin ainoastaan mustavalkotähyksiä. Aineisto rekisteröintiin, siivottiin ja harvennettiin Z+ F lasercontrol -ohjelmalla. Esikäsitelty pistepilviaineisto jatkojalostettiin maanpinnan pisteiksi TerraSolidin TerraScan-ohjelmiston maanpinnan luokittelutoiminnolla. Maanpinnan pisteiden lopullinen käsittely suoritettiin Leica Cyclone -ohjelmalla harventamalla maanpinnan aineisto 0,5 metrin ruudukkoon. Käsitellystä aineistosta luotiin vielä korkeuskäyrät NovaPoint 19.20 -ohjelmistolla ja käyrät liitettiin asiakkaan toimittamaan alueen pohjakarttaan. Lopputuotteena mittauksesta tilaajalle luovutettiin

- 1 cm:n ruudukkoon harvennettu laserkeilausaineisto mittauskohteesta .las- formaatissa
- rekisteröity harventamaton laserkeilausaineisto keilaimen natiiviformaatissa .zfs
- luokiteltu maanpinta- aineisto 50 cm pistevälillä .las-formaatissa
- korkeuskäyrät sisältävä kartta 10 cm käyrävälillä

kaikki aineisto luovutettiin sekä N2000- että N60-korkeusjärjestelmissä.



Kuva 11. Koemittauksesta käytetty laserkeilain Z + F imager 5010 [20].

7.3 Koemittauksesta saadun tiedon käsittely

Koemittauksista saadut mittaukset ja mittaustyön suorituksen tulokset käytiin läpi sovit- tuun ja tuttuun tapaan yhteisessä suunnittelupalaverissa Fortumin ja Rambollin työ- ryhmän edustajien kesken. Palaveri järjestettiin tällä kertaa Ramboll Lahden toimistos- sa muutama viikko mittaustulosten luovuttamisen jälkeen, jotta molemmilla puolilla olisi aikaa ja mahdollisuus tehdä mittaustulosten havaintoja ja mahdollisia parannuske- hotuksia.

Koemittausten toteutusta voidaan pitää monella tapaa onnistuneena. Koemittaus pal- jasti joitakin puutteita sekä alueen mittauskäytännöissä että laaditussa laserkeilausoh- jeessa. Ennen kaikkea koemittaus havainnollisti konkreettisesti laserkeilausprosessia tiedonkeruu- ja mittausten menetelmänä myös niille Fortumin edustajille, jotka eivät aikai- semmin olleet syvämmällä tutustuneet (esimerkkinä pistepilvi- aineistoa kuvassa 12). Palaverissa havainnollistettiin mittaukseen vaikuttavia osateki- jöitä sekä havainnollistettiin pistetiheyden ja aineiston harvennuksen merkitystä mitta- usaineiston laatuun ja käytettävyyteen. Mittauksista saatavat aineistot todettiin halutun kaltaisiksi, ja ne toimivat sujuvasti osana voimalaitosalueen tulvasuojauksen suunnitte- lua. Koska mittauskohteessa sijaitsi myös useita rakennelmia, voitiin mittaustulosten avulla havainnollistaa myös laserkeilaimen soveltuvuutta erityyppisiin mittauskohteisiin. Li- säksi mittaustulosten käsittely ja siitä tuotetun lopputuotteen valmistamiseen käytetty- jen ohjelmien määrä kuvaa hyvin aikaisemminkin todettua ongelmaa aineistojen käsit- telyn haastavuudesta. Yksittäinen ohjelma on harvoin hyvä kaikkiin tarkoituksiin, vaan useasti parhaan lopputuloksen aikaan saamiseksi on käytettävä montaa eri ohjelmaa.

Tilauslomakkeen käyttö tarjouspyynnön yhteydessä todettiin toimivaksi ratkaisuksi. Lomakkeen todettiin selkeyttävän laserkeilausprojektin asetettuja vaatimuksia, mutta samalla lomakkeen ensimmäisessä käyttöön otetussa versiossa todettiin olevan joitakin puutoksia sekä täsmennysvaatimuksia. Tilauslomakkeesta puuttui muutamia pieniä yksityiskohtia keilauksen varsinaisesta suorittamisesta sekä lopputuotteen palauttami- sesta. Nämä asiat oli kuitenkin kerrottu myös testauksen kohteena olleessa toimek- siantolomakkeessa, joka käytiin läpi mittaryhmän kanssa kohteessa ennen työn alkua. Palaverissa todettiin, että kaikki keilauksiin liittyvät tiedossa olevat yksityiskohdat on hyvä löytyä sekä tilauslomakkeesta ja toimenpidelomakkeesta. Samalla todettiin mo- lemmista lomakkeista puuttuvan joitain oleellisia täsmennyksiä turvallisuusmääräysten osalta. Esimerkiksi voimalaitosalueella on joillakin alueilla käytettävä erityisiä palokat-

kokonaisvaatteita, tämä kävi ilmi vähän ennen koemittausten aloitusta, eikä asia ollut tiedossa edes kaikilla tilaajan edustajilla. Toimeksiantolomakkeen toimivuus myös turvallisuuden tarkistusvälineenä tuli täten siis käytännössä havainnollistettua molemmilla projektin osapuolilla.



Kuva 12. Pistepilviaineistoa Loviisan voimalaitosalueelta.

Varsinaisesta mittausaineistosta ja siitä tuotetusta lopputuotteesta ei käynyt ilmi mitään ennalta odottamattomia lopputuloksia. Mittaus todettiin suoritetuksi laserkeilausohjeituksen mukaisesti eikä mittauksen tilaaminen, suunnittelu tai toteuttaminen ohjetta noudattaen tuottanut sen suurempia haittatekijöitä tai ongelmia työsuorittajilla eikä myöskään työtilaajalla. Toimeksiantolomake todettiin hyväksi lisäksi turvallisuusohjeiden läpikäymiseen etenkin työskentelykohteen mukaisesti, jolloin kyseisessä kohteessa

sa olevat turvallisuuteen vaikuttavat tekijät tulevat paremmin ja yksityiskohtaisemmin esille, kuin käymällä lävitse vain alueen yleiset turvallisuusohjeet. Toisaalta toimenpidelomakkeen täyttäminen aiheuttaa pientä lisävaivaa mittausryhmälle, mutta siitä saatuun hyötyyn ja mittausten suoritusvarmuuteen suhteutettuna vaivannäkö todettiin vähäiseksi. Suurimmaksi mittaustekniseksi ongelmaksi muodostui lopulta mittausajankohtana vallinnut kostea sää ja sen vuoksi märkä maa ja asfaltti. Tämä rajoitti koneasemien välisen mittausetäisyyden noin 30 metriin, jotta maanpinta saatiin mitattua riittäväällä pistetiheydellä ilman mittausta häiritseviä heijastumia.

7.4 Ohjeistuksen valmistuminen ja käyttöönotto

Laserkeilausohjeistus sekä tilaus- ja toimenpidelomakkeet korjattiin koemittauksen jälkeisessä suunnittelupalaverissa esiin tulleiden ehdotusten ja puutteiden osalta. Tämän jälkeen ohjeistus oli valmis luovutettavaksi Fortumille sekä valmis käyttöön voimalaitosalueella. Laserkeilausohjeistuksen muoto ja sisältö eivät kuitenkaan ole vielä lopullisia, vaan niitä voidaan vielä jatkojalostaa, mikäli puutteita tulee myöhemmässä vaiheessa ilmi tai ohjeistusta on muuten tarpeellista päivittää. Turvallisuustekijät, mittauskäytännöt ja aineiston luovutus sekä jatkojalostus ovat asioita, jotka tulevat odotettavasti olemaan seuraavat kehityskohteet laserkeilausohjeistuksessa tulevaisuudessa. Ohjeistuksen sisältö todettiin kuitenkin pääkohdiltaan tarkoituksenmukaiseksi, ja tulevat mahdolliset muutokset kohdistuvat vain pieniin yksityiskohtiin tai työkäytäntöjen muutoksiin.

Koemittauksen pohjalta todettiin käytännössä alueelle rakennetun mittaperustan suuri merkitys voimalaitosalueen mittausten laadun kannalta, sekä todettiin myös mittaperustan ylläpidon tärkeys. Asian pohjalta sovittiin vuotuinen ylläpitoprosessi, jossa mittaperustan kunto tarkastetaan sekä mittaperusta tarkkavaaitaan vuosittain Rambollin toimesta. Ongelmaksi palaverien yhteydessä todettiin myös voimalaitosalueen sisä- ja ulkotiloja yhdistävän tarkan ja kattavan mittaperustan puuttuminen. Voimalaitoksen sisätiloissa komponentit ja muut kohteet on pääsääntöisesti mitattu A- ja B-mitoilla seinistä ja rakenteista eikä niille ole olemassa minkäänlaista tarkkaa koordinaattitietoa. Tämänkaltainen mittaustapa on varsin yleinen vanhoilla teollisuusalueilla, ja se muodostaakin yleisen ongelman mittaajille ja suunnittelijoille. Seinälinjat voidaan kyllä sovitaa ulkoalueen mittaperustaa ja niistä johtamalla sisätilojen mittauksille voidaan laskea koordinaatit, mutta tämä ei takaa välttämättä riittävän hyvää absoluuttista mittaustark-

kuutta voimalaitosalueen ulko- ja sisäpisteiden välillä. Tähän asti mittaustapa on ollut riittävä, mutta mikäli jatkossa voimalaitoksesta halutaan luoda tarkka ja kattava laitos-tietomalli voidaan kohdata ongelmia mittatietojen yhteensovittamisessa. Suunnittelupa-lavereiden aikana pohdittiin ratkaisua, jossa voimalaitosten sisätiloihin rakennettaisiin muutamia laitoksen läpäiseviä tarkkoja jonomitattuja ulkoalueen mittaperustaan suljet-tavia mittapistejonoja. Sisäalueen mittaperustaa taas voisi tulevaisuudessa täydentää näiden jonojen perusteella tarpeen mukaisesti. Tulevien laserkeilausten tekeminen samaan mittaperustaan olisi kuitenkin pyrittävä varmistamaan jollain menetelmällä tu-levaisuudessa, jotta aineistojen tarkkuuden laadusta ei jäisi epäselvyyksiä.

8 Yhteenveto

8.1 Yhteenveto projektin tavoitteiden saavuttamisesta

Opinnäytetyöprojektin tutkinnan kohteena oli laserkeilausprojektin läpikäynti Fortumin Loviisan voimalaitosalueella sekä tutkia pistepilvien käyttöä tieto- ja aluemallien luomisessa. Laserkeilausprosessi käytiin kattavasti ja voimalaitosalueen erityispiirteet huomioon ottaen läpi suunnittelupalavereiden yhteydessä. Opinnäytetyön aiheena ollut laserkeilausohjeistus luotiin näiden keskustelujen pohjalta ja alueella suoritettujen koemittauksen mukaan halutun kaltaiseen lopputulokseen päästiin ainakin mittauksen tilausprosessin ja varsinaisen mittausprosessin läpiviemisen osalta. Suunnittelupalaverit toivat yhteysymmärrystä mittajaan ja työntilajaan väliseen vuorovaikutukseen ja tavoitteena oli luoda selkeä toimenpidemalli, joka mahdollistaa molempien osapuolten välisen tehokkaan kommunikoinnin aina projektin alkuhetkistä lähtien projektin loppuun asti ja mahdollisiin lisätoimenpiteisiin.

Tutkimukselliseksi ongelmaksi lopputyöprojektin aikana esiin nousi laserkeilauksista syntyviä pistepilviaineistojen arkistoinnin toteutus ja sen toimivuuden varmistaminen pitkälle tulevaisuuteen. Tällaista ongelmaa on vaikea havainnollistaa tai testata käytännössä näin lyhyellä aikavälillä. Excel-taulukon luotua pistepilvien arkistointi lomakkeen käyttöä simuloitiin suunnittelupalavereiden yhteydessä luomalla taulukkoon kuvitteellisia laserkeilausprojekteja ja niihin sisältyviä mittaukseen käytettyjä koneasemia. Palavereissa taulukko näytti toimivan suunnitellusti ja tiedostojen lajittelu toimi suunnitellusti, mutta on vaikea arvioida, miten suuren painoarvon tämän kaltaiselle testaamiselle voi antaa ajatellen aineiston lopullista toimivuutta. Pistepilviarkistoa tullaan koamaan ja käyttämään vielä useiden vuosien jälkeen, jolloin inhimilliset virheiden mahdollisuus kasvaa samalla kun aineiston koko kasvaa. Mittauksien metatietojen kirjaaminen ja aineistojen oikeaoppinen arkistointi pyrittiin varmistamaan toimeksiantolomakkeen avulla. Koska pistepilvien arkistointi pohjautuu useaan erilliseen tallennustapaan, voidaan sen kaltaisten vakavien arkistointivirheiden sattumista, joka kadottaisi mittaustiedot, pitää vähäisinä. Mittausten tallentaminen perustuu havainnolliseen ja kuvaavaan kansiorakenteeseen, excel-taulukon hakulomakkeeseen sekä CADiin luotavaan koneasemien sijaintipiirustukseen.

8.2 Pistepilvien tuleva käyttö voimalaitosalueella

Lopputyötä aloitettaessa yhtenä päämääränä oli selvittää alueella suoritettavien laserkeilausten käyttöä pitkällä aikavälillä eri projekteissa, jotka eivät välttämättä liity alkupe räiseen hankkeeseen. Pistepilvien arkistointi oli osa tätä tutkimustyötä, mutta samalla pyrittiin selvittämään laserkeilausten käyttökelpoisuutta vaihtelevissa hankkeissa ja tämän toteuttamiseen vaadittavia tekijöitä.

Laserkeilaimien ominaisuuksia selvittäessä sekä suunnittelupalavereiden aikana käyttäjien haastattelujen aikana saatiin vahvistus alussa esitetulle hypoteesille siitä, että laserkeilaimien tuottama aineisto on oikein tehtynä erittäin käyttökelpoista ja monimuotoista useisiin erityyppisiin projekteihin. Laserkeilain tarjoaa ainutlaatuista aineistoa niin mittaustarkkuudeltaan kuin aineiston visuaalisella puolella verrattuna muihin mittausmenetelmiin. Lopputyön aikana suoritetun koemittauksen yhteydessä todettiin, että mittaustarkkuuteen panostaminen ja työn suorittaminen mahdollisimman suurella tarkkuudella projektista riippumatta ei välttämättä lisää mittaukseen kokonaiskestoön käytettävää aikaa merkittävästi. On muistettava, että yhden päivän laserkeilaukset saattavat vaatia aineiston käsittelyltä useita päiviä riippuen halutusta lopputuotteesta. Tällöin mittauskohteessa käytettävä aika on suhteellisen vähäistä verrattuna työn muuhun osuuteen. Mittauskohteesta otettavien pyörähdyskuvien ottaminen taas saattaa lisätä projektin kestoa selkeästi, joten niiden tarpeellisuutta onkin syytä pohtia ennen laserkeilausprojektin aloitusta. Lisäksi pyörähdyskuvia ulkotiloissa otettaessa on syytä varautua vaihteleviin sääolosuhteisiin. Sateella otetut kuvat voivat olla suttuisia tai synkän näköisiä, ja voimakas auringonpaiste taas saattaa luoda kuviin tarpeettoman voimakkaan kontrastin.

Lopputyön tarkoituksena olikin luoda mittausohjeet, joka antavat varmuuden luottaa aineistojen laatuun ja tarkkuuteen mittauksen suorittajasta tai mittauksen kohteesta huolimatta. Tällöin voidaan olla varmoja, että aikaisemmin mitatut kohteet ovat käyttökelpoisia, vaikka ne olisikin mitattu jonkin toisen toimeksiannon yhteydessä. Tämä mahdollistaa taas tilanteen, jossa vanhoja mittausaineistoja hyväksi käyttämällä ja yhdistelemällä voidaan tarvittaessa koota uusi pistepilvikokonaisuus ja tietoaaineisto toisen projektin käyttöön ja voidaan näin välttyä ylimääräisiltä sekä päällekkäisiltä mittauksilta ja säästää mittauskustannuksissa.

Laserkeilauksia voimalaitosalueella tullaan suorittamaan vähintään vuoteen 2030 asti, jolloin Loviisan 2 reaktorin käyttö lupa tulee tiensä päähän. Loviisan 1 reaktorin käyttö lupa taas päättyy jo vuonna 2027. Tämänhetkisen tiedon mukaan reaktoreiden käyttö lupaa ei ole tarkoitus jatkaa tämän jälkeen. Pistepilviaineistoille on kuitenkin monia tarpeellisia käyttökohteita tiedossa vielä tämänkin jälkeen. Pistepilviaineisto on erittäin käyttökelpoinen pohja voimalaitosten purkusuunnitelmien muodostamiseen. Ydinvoimalaitoksen purkaminen luo suuren kokonsa sekä säteilyriskinsä ansiosta huomattavia haasteita purkutöiden suunnittelulle. Pistepilvien avulla voidaan purkusuunnitelman lisäksi rakentaa virtuaalimalli, jossa purkutyötä voidaan käydä läpi ja harjoitella ilman säteilyvaaraa, jolloin alueella työskentelyn aikaiset säteilyannokset voidaan minimoida. Lisäksi kattavaa visuaalista aineistoa Suomen ensimmäisestä ydinvoimalaitoksesta voidaan pitää historiallisesti arvokkaana dokumenttina säilytettäväksi jälkipolville.

8.3 Ohjeen jatkokehitys sekä käyttö muissa teollisuuden kohteissa

Opinnäytetyön aikana tehdyt laserkeilausohjeet ja -lomakkeet luotiin ensisijaisesti palvelemaan Fortumin Loviisan voimalaitosta. Lomakkeet ovat kuitenkin muodoltaan ja käyttötarkoitukseltaan niin yleisluontoisia, että niitä on mahdollista jatkojalostaa myös muiden kohteiden käyttötarkoituksiin. Ohjeet ja lomakkeet koostuvat pääsääntöisesti asioista ja ongelmista, jotka koskettavat suurimpaan osaa mahdollisista mittauskohteista. Lähinnä lomakkeista löytyvät turvallisuusmääräykset ja käytännöt ovat sellaisia asioita, jotka ovat syytä käydä läpi erikseen työskentelykohteiden mukaisesti. Opinnäytetyön aikana todettu ongelma mittauksen tilaajan ja mittauksen tuottajan välillä on kuitenkin yleinen ongelma useallakin eri työmaalla, joten näiden osapuolien välisen vuorovaikutuksen tehostamiselle on olemassa hyvät perusteet sekä todellinen tarve.

Laserkeilauksien tilauksia varten lopputyön aikana luotua tilauslomaketta vastaavia lomakkeita on pyritty luomaan aikaisemmin muidenkin toimijoiden toimesta. Tilauslomakkeesta vastaavan version on ainakin luonut PSK Standardisointiyhdistys ry, lisäksi Rambollin sisäisenä hankkeen on ollut vastaavan laserkeilauksien tilauslomakkeen luominen. Laserkeilauksien monimuotoisuus ja tilauksien ongelmat on siis tiedostettu useilla tasoilla aikaisemminkin ja niiden ratkaisemiseksi on pyritty luomaan omat vastineensa. Lopputyön aikana luodut lomakkeet luotiin tarkoituksella itsenäisenä työnä ottamatta mallia muista pohjista ja käyttämällä tietopohjana ainoastaan alakohtaista lähdekirjallisuutta sekä suunnittelupalavereissa käytyjä keskusteluja. Näiden pohjalta

sekä koemittauksessa saatujen havaintojen pohjalta luotiin lopullinen versio tilauslomakkeesta voimalaitosalueen käyttöön. Vaikka tilauslomakkeesta tuli täysin oman näköisensä erityistä mittauskohdetta varten luotu asiakirja, voidaan siinä havaita useita yhtenäisyyksiä asiasisällöltään muihin vastaaviin lomakkeisiin, jolloin voidaan todeta, että lomakkeen sisällössä ja sen tarkoituksessa vastata ongelmiin on saavutettu oikeita asioita.

Laserkeilausohjeiden ja -lomakkeiden päivitys on kuitenkin jatkuva prosessi, eikä niiden kehitysprosessi tule loppumaan vielä tämän työn päättymiseen. Ohjeita ja lomakkeita kehitetään sitä mukaa kun niissä on kehittymismahdollisuuksia. Opinnäytetyön tärkeimpänä tavoitteena olikin ainoastaan luoda riittävä tietopohja ohjeille, jotta tulevaisuudessa välttyttäisiin suuremmilta ongelmilta tai niihin osattaisiin varautua. Laserkeilaus on vielä sen verran tuore ja nopeasti kehittyvä mittausmenetelmä, että se tulee oleettavasti tarjoamaan uusia mittausmenetelmiä ja -tapoja tulevaisuudessa, joita ohjeissa ei ole osattu ottaa vielä huomioon.

Lähteet

- 1 Ydinvoima Suomessa. 2016. Verkkoaineisto. Energiateollisuus RY (ET). <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energiالاhteet/ydinvoima>. Luettu 21.7.2016.
- 2 Teollisuuden voima (TVO).2016. Verkkoaineisto. Teollisuuden voima. <http://tvo.fi/> Luettu 21.7.2016.
- 3 International Atomic Energy Agency (IAEA), Power Reactor Information System, <https://www.iaea.org/PRIS/>
- 4 Loviisan voimalaitos. 2015. Verkkoaineisto. Fortum. http://www.fortum.com/fi/energiantuotanto/ydinvoima/Loviisan_voimalaitos/ Luettu 22.7.2016.
- 5 Joala, Vahur. 2006. Laserkeilailauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Leica Oy. Esitelmä
- 6 Kukko, Antero. 2005. Laserkeilaimen valinta lähifotogrammetrisiin mittaustehtäviin. Fotogrammetrian erikoistyö. Aalto-yliopisto.
- 7 Alkan, Reha. Karsidag, Gokcen. 2012. Analysis of the accuracy of terrestrial laser scanning measurements. FIG Working Week 2012. Verkkoaineisto. https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2012/papers/ts07a/TS07A_alkan_6097.pdf. Luettu 24.9.2017.
- 8 Laser. 2016. Verkkoaineisto. Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/wiki/Laser>. Luettu 25.9.2016.
- 9 Marking the infrastructure of the world. 2015 Verkkoaineisto. Berntsen. www.berntsen.com Luettu 23.9.2016.
- 10 Koski, Jarkko. 2012. Maalaserkeilaimen pistepilvien georeferoinnin vertailu. Ylempi AMK opinnäytetyö Metropolia ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 11 Vosselman, George. Dijkman, Sander. 2001 3D Building model reconstruction from point clouds and ground plans. Verkkoaineisto. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. <http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/3-W4/pdf/Vosselman.pdf> Luettu 22.1.2017.
- 12 Kohti infra-alan yhteistä tuotemallistandardia. 2012. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy.

- 13 Hellman, Tapio. 2016 CAVE – visualisointiluola. Verkkoaineisto. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. <https://www.seamk.fi/loader.aspx?id=e09cc783-6f1c-4a73-9e3f-00158502713f>. Luettu 13.10.2016.
- 14 YTV 2012. Yleiset tietomallivaatimukset 2012. Verkkoaineisto. BuildingSMART Finland. <http://buildingsmart.fi/yleiset-tietomallivaatimukset-ytv/>. Luettu 15.3.2017.
- 15 YIV 2015. Yleiset inframallivaatimukset 2015. Verkkoaineisto. BuildingSMART Finland. <http://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/> Luettu 22.3.2017.
- 16 Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto. Verkkoaineisto. Maanmittauslaitos. <http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/kaukokartoitus/laserkeilausaineistot/laserkeilaus>. Luettu 15.1.2017
- 17 CAVE (Cave Automatic Virtual Environment. 2017. Wikipedia. Verkkoaineisto. https://en.wikipedia.org/wiki/Cave_automatic_virtual_environment. Luettu 21.3.2017.
- 18 Latvala, Jyrki. 2012. Tietomallinnuksen hyödyntäminen työmaatoiminnassa. Verkkoaineisto. Aalto-yliopisto. http://aaltopro2.aalto.fi/lomakkeet/tilaukset/Rakentaminen/r34/LatvalaJyrki_Tietomallinnuksen_hyodyntaminen_tyomaatoiminnassa.pdf. Aalto-yliopisto. Luettu 22.3.2017.
- 19 Tiehankkeiden mallipohjaisen suunnittelun hankinta. 2014. Verkkoaineisto. Liikennevirasto. http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_201420_tiehankkeiden_mallipohjaisen_web.pdf. Luettu 25.3.2017
- 20 Zoller + Fröhlic. Z+F IMAGER® 5010, 3D Laser scanner Verkkoaineisto. Zoller + Fröhlic. http://www.zf-laser.com/Z-F-IMAGER-R-5010.3d_laserscanner0.0.html?&L=1 Luettu 27.3.2017.

4 AINEISTON KÄSITTELY			
Pistepilven luokittelu:		Luokiteltavat kohteet:	Pistepilven harvennus: <input type="checkbox"/>
täydellinen luokittelu	<input type="checkbox"/>		Yleinen harvennustiheys <input type="checkbox"/> mm
maapinta erilleen	<input type="checkbox"/>		Erytiskohteet <input type="checkbox"/> mm
ei luokittelua	<input type="checkbox"/>		
5 MITTAUSTEN LUOVUTUS			
Mitattavat pistepilvet nimetään annetun projektinumeron ja mittausjärjestyksen mukaan seuraavasti: 0123456_ ja päiväkohtainen juokseva numero: esim. 0123456_01			
Pistepilvet on toimitettava esikäsiteltyinä ja siistittyinä tiedostoina tilaajan haluamissa formaateissa. Alkuperäiset tiedostot on kuitenkin toimitettava aina jokaisen projektin jälkeen tilaajalle. Suoritettua työtä jälkeä työntekijä laatii mittauksista vapaamuotoisen mittausraportin ja palauttaa sen tilaajalle muun aineiston yhteydessä. Lisäksi on toimitettava kaikkien asemapisteen sijainnit excel -taulukossa. Aineistolle on suoritettava aina ennen palauttamista riittävät tietoturvatarkastukset.			
AINEISTON LUOVUTUS:	sähköposti <input type="checkbox"/>	Pistepilviformaatti:	ascii <input type="checkbox"/>
	muistitikku <input type="checkbox"/>		las, laz <input type="checkbox"/>
	pilvipalvelu <input type="checkbox"/>		dwg, dxf <input type="checkbox"/>
	muu <input type="checkbox"/>		muu, mikä? <input type="checkbox"/>
Pistepilven mallinnus:			
Ei mallinneta	<input type="checkbox"/>		
Mallinnetaan	<input type="checkbox"/>		
Työn suorittaja on velvollinen tuhoamaan mitatun aineiston työn toimittamisen jälkeen: <input type="checkbox"/>			
6 TYÖTURVALLISUUS VOIMALAITOKSELLE			
Jokaisen voimalaitosalueella työskentelevän on suoritettava alueelle vaadittava työhöntulokoulutus. Tässä kohteessa erityistä huomiota vaativat seuraavat työturvallisuuteen vaikuttavat asiat:			
putoamisvaara <input type="checkbox"/>	Työkoneet <input type="checkbox"/>	Melu <input type="checkbox"/>	muu, mikä? <input type="checkbox"/>
suljetut tilat <input type="checkbox"/>	Liikenne <input type="checkbox"/>	Säteily <input type="checkbox"/>	
Atex -tilat <input type="checkbox"/>	Sähkötilat <input type="checkbox"/>	Haitalliset aineet <input type="checkbox"/>	
VAADITTAVAT TURVAVÄLINEET:			
Suojakypärän, huomiovaatetuksen ja turvakenkien lisäksi kohteessa vaaditaan myös:			
Suojalasit <input type="checkbox"/>		Turvavaljaat <input type="checkbox"/>	
Palokatkovaatteet <input type="checkbox"/>		muu, mikä? <input type="checkbox"/>	
Hengityssuojain <input type="checkbox"/>			
Happimittari <input type="checkbox"/>			
Mittauskohteeseen liittyvistä työturvallisuustekijöistä johtuen työnsuorittaja on velvollinen esittämään ennen alueelle saapumista tarkan mittaus suunnitelma: <input type="checkbox"/>			
Mittausalueella ei ole sellaisia turvallisuuteen liittyviä tekijöitä, että tarkan mittaus suunnitelman esittäminen etukäteen olisi välttämätöntä. Työnsuorittajan on kuitenkin esitettävä ennen työn aloitusta yleispiirteinen suunnitelma mittauksen suorittamisesta ja toteutuksesta: <input type="checkbox"/>			
Työntekijän on huomioitava, että jokaiselle voimalaitokselle tuotavalle kemikaalille on haettava erikseen hyväksyntä Fortumin laboratoriosta. Tämä koskee muun muassa liimoja, maaleja, jne.			

TURVAVAATIMUKSET			
Tässä kohteessa erityistä huomiota vaativat seuraavat työturvallisuuteen vaikuttavat asiat:			
putoamisvaara	<input type="checkbox"/>	Työkoneet	<input type="checkbox"/>
suljetut tilat	<input type="checkbox"/>	Liikenne	<input type="checkbox"/>
Atex -tilat	<input type="checkbox"/>	Sähkötila	<input type="checkbox"/>
		Melu	<input type="checkbox"/>
		Säteily	<input type="checkbox"/>
		Haitalliset aineet	<input type="checkbox"/>
		muu, mikä?	<input type="checkbox"/>
Vaadittu mittaussuunnitelma laadittu ja tarkastettu:			<input type="checkbox"/>
Kohteessa vaadittavat turvavälineet ja niiden tarkastus: (Suojakypärä, huomiovaatetus ja turvakengät vaaditaan aina)			<input type="checkbox"/>
Suojalasit	<input type="checkbox"/>	Turvavaljaat	<input type="checkbox"/>
Palokatkovaatteet	<input type="checkbox"/>	muu, mikä?	
Hengityssuojain	<input type="checkbox"/>		
Happimittari	<input type="checkbox"/>		
AINEISTON LUOVUTUS			Mittaaja täyttää
Mittattavat pistepilvet nimetään annetun projektinumeron ja mittausjärjestyksen mukaan seuraavasti: 0123456_ ja päiväkohtainen juokseva numero: esim. 0123456_01			
Pistepilvet on toimitettava esikäsiteltyinä ja siistittyinä tiedostoina tilaajan haluamissa formaateissa. Alkuperäiset tiedostot on kuitenkin toimitettava aina jokaisen projektin jälkeen tilaajalle. Suoritettun työn jälkeen työntekijä laatii mittauksista mittausraportin ja palauttaa sen tilaajalle muun aineiston yhteydessä. Lisäksi on toimitettava kaikkien asemapisteen sijainnit excel -taulukossa. Aineistolle on suoritettava aina ennen palauttamista riittävät tietoturvatarkastukset.			
Asemapisteen toimitetaan excel-taulukossa seuraavassa muodossa:			
Pistepilvi no.	pvm.	Karttalehti Rakennus	Huone
		kz-tunnus	x
			y
			z
			Kiintopisteet
Vaadittavat tiedot kirjataan yksilökohtaisesti jokaiselle asemapisteelle. Rakennuskohtaan kirjataan mittauskohdetta lähinnä sijaitseva rakennus. Kz-tunnus kirjataan vain tilanteessa jossa komponentin mittaaminen on kuulunut mittausohjelmaan. Mittausta muuten sivuavia komponentteja ei kirjata!			
VASTAANOTETUN AINEISTON TARKASTUS JA ARKISTOINTI			Toimeksiantaja täyttää mittausten jälkeen
sähköposti	<input type="checkbox"/>	Pistepilviformaatti:	ascii
muistitikku	<input type="checkbox"/>		las, laz
pilvipalvelu	<input type="checkbox"/>		dwg, dxf
muu	<input type="checkbox"/>		muu, mikä?
AINEISTON TARKASTUSLISTA:		ARKISTOINNIN TARKASTUSLISTA	
Mittausten kattavuus tarkistettu	<input type="checkbox"/>	Kaikki aineisto tallennettu	<input type="checkbox"/>
Aineiston visuaalinen tarkistus	<input type="checkbox"/>	projektikansioon	<input type="checkbox"/>
Kirjatut metatiedot tarkistettu	<input type="checkbox"/>	Pyörähdykuvat	<input type="checkbox"/>
Aineisto esikäsitelty ja harvennettu	<input type="checkbox"/>	Mittauksen tiedot lisätty	<input type="checkbox"/>
		pistepilvietietokantaan	
		Mittauksen tiedot lisätty	<input type="checkbox"/>
		aluetietomalliin	
(aineiston vastaanottaja, pvm ja paikka)		(aineiston luovuttaja)	

AINEISTON LUOVUTUS										Mittaaja täyttää	
Mitattavat pistepilvet nimetään annetun projektinumeron ja mittausjärjestyksen mukaan seuraavasti: 0123456_ ja päiväkohtainen juokseva numero: esim. 0123456_01											
Pistepilvet on toimitettava esikäsiteltyinä ja siistittyinä tiedostoina tilaajan haluamissa formateissa. Alkuperäiset tiedostot on kuitenkin toimitettava aina jokaisen projektin jälkeen tilaajalle. Suoritetun työn jälkeen työntekijä laatii mittauksista mittausraportin ja palauttaa sen tilaajalle muun aineiston yhteydessä. Lisäksi on toimitettava kaikkien asemapisteen sijainnit excel -taulukossa. Aineistolle on suoritettava aina ennen palauttamista riittävät tietoturvatarkastukset.											
Asemapisteen toimitetaan excel-taulukossa seuraavassa muodossa:											
Pistepilvi no.	pvm.	Karttalehti	Rakennus	Huone	kz-tunnus	x	y	z	Kiintopisteet		
Vaadittavat tiedot kirjataan yksilökohtaisesti jokaiselle asemapisteele. Rakennuskohtaan kirjataan mittauskohdetta lähinnä sijaitseva rakennus. Kz-tunnus kirjataan vain tilanteessa jossa komponentin mittaaminen on kuulunut mittausohjelmaan. Mittausta muuten sivuavia komponentteja ei kirjata!											
VASTAANOTETUN AINEISTON TARKASTUS JA ARKISTOINTI										Toimeksiantaja täyttää mittausten jälkeen	
sähköposti				<input type="checkbox"/>	Pistepilviformaatti:			ascii			<input type="checkbox"/>
muistitikku				<input type="checkbox"/>				las, laz			<input type="checkbox"/>
pilvipalvelu				<input type="checkbox"/>				dwg, dxf			<input type="checkbox"/>
muu				<input type="checkbox"/>				muu, mikä?			<input type="checkbox"/>
AINEISTON TARKASTUSLISTA:					ARKISTOINNIN TARKASTUSLISTA						
Mittausten kattavuus tarkistettu					<input type="checkbox"/>	Kaikki aineisto tallennettu					<input type="checkbox"/>
Aineiston visuaalinen tarkistus					<input type="checkbox"/>	projektikansioon					<input type="checkbox"/>
Kirjatut metatiedot tarkistettu					<input type="checkbox"/>	Pyörähdykuvat					<input type="checkbox"/>
Aineisto esikäsitelty ja harvennettu					<input type="checkbox"/>	Mittauksen tiedot lisätty pistepilvitietokantaan					<input type="checkbox"/>
						Mittauksen tiedot lisätty aluetietomalliin					<input type="checkbox"/>
(aineiston vastaanottaja, pvm ja paikka)					(aineiston luovuttaja)						