



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Elias Räsänen

Laserkeilausohjelman aineiston hyödynnettävyys kunnissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

2.8.2019

Tekijä Otsikko	Elias Räsänen Laserkeilausohjelman aineiston hyödynnettävyys kunnissa
Sivumäärä Aika	30 sivua + 1 liite 2.8.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	maanmittaustekniikka
Ohjaajat	lehtori Jussi Laari kartastopäällikkö Heli Laaksonen
<p>Tämä insinööri työ on tutkielma siitä, millaisia edellytyksiä keskisuurilla kaupungeilla on hyödyntää uuden kansallisen keilausohjelman tuottamaa laserkeilausaineistoa rakennustietojensa päivittämisessä ja/tai muuntamisessa kansallisen maastotietokannan käsitelmän mukaiseksi.</p> <p>Uuden kansallisen laserkeilausohjelman myötä lähes koko Suomen pinta-alalta tullaan saamaan uutta, ajantasaista laserkeilausaineistoa. Etenkin kunnille on tästä aineistosta hyötyä. Suomen kunnilla ei kuitenkaan ole yhtenäisiä ohjelmistoja ja toimintatapoja, joten osalla kunnista saattaa olla vaikeuksia hyödyntää uuden kansallisen laserkeilausohjelman mukaista aineistoa.</p> <p>Työssä on haastateltu kolmea suomalaista keskisuurta kuntaa laserkeilausaineiston hyödyntämisen nykytilasta, hyödyntämiseen tarvittavan avun määrästä sekä siitä, mihin kunnissa koetaan aineiston soveltuvan.</p> <p>Laserkeilausohjelman mukaisen aineiston hyödynnettävyyden lisäksi työssä tutkitaan itse laserkeilausohjelmaa sekä laserkeilausaineiston hyödyntämistä rakennetun ympäristön suunnittelussa.</p> <p>Insinööri työssä tehdyistä haastatteluista selvisi, että keskisuurten kuntien on mahdollista hyödyntää uuden kansallisen laserkeilausohjelman mukaista aineistoa pienellä avulla maanmittauslaitoksen tai muun organisaation toimesta.</p>	
Avainsanat	ilmalaserkeilaus, paikkatietoalusta, KMTK, kaupunkimalli

Author Title	Elias Räsänen Usability of Data from New Lidar Programme in Municipalities
Number of Pages Date	30 pages + 1 appendix 2 August 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Land Surveying
Instructors	Jussi Laari, Senior Lecturer Heli Laaksonen, Head of Cartography
<p>The purpose of this final year project was to study the usability of the lidar data produced by the new national lidar program of Finland in medium sized municipalities. This study focused on finding out the prerequisites required from the municipalities for them to be able to use the lidar point cloud data, and what kind of assistance the municipalities need in order to use the data.</p> <p>Representatives of three municipalities were interviewed about topics such as their current usage of lidar data, their need of assistance in order to use the data and the purposes they expect the data to potentially be used. In addition, this thesis studied the new national lidar project itself, and the use of lidar data in the planning of urban environment.</p> <p>The thesis established that in order to utilize data by the new lidar programme, the medium sized Finnish municipalities in question only need minor assistance from the National Land Survey of Finland or other similar organization.</p>	
Keywords	airborne lidar, geospatial platform, national topographic data-base, city model

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Paikkatietoalusta-hanke ja projektit	2
2.1	Paikkatietoalustan esittely	2
2.1.1	Paikkatietoalustan tavoitteet	2
2.1.2	KMTK rakennuksista ja rakenteista	3
2.1.3	Muita Paikkatietoalusta-hankkeessa toteutettavia käsitelmalleja	5
2.2	Laserkeilaus	5
2.3	Laser2020-projekti	8
2.4	Laser2020-projektin testikeilaukset	10
2.5	Laserkeilauskalustoa ja ohjelmistoa	11
2.5.1	Riegl VQ-1560i	12
2.5.2	Leica HighPulse 270	13
2.5.3	Laserkeilausohjelman ohjelmistoa	13
3	Haastattelut	14
3.1	Haastattelujen kysymykset	14
3.2	Kuntien edustajien esittely	14
3.3	Haastattelujen ennakko-odotukset	15
3.4	Haastattelujen vastaukset aiheittain	15
3.5	Haastattelujen yhteenveto	17
3.6	Muita haastatteluja	18
4	Laserkeilausaineiston hyödyntäminen nyt ja tulevaisuudessa	19
4.1	Laserkeilausaineiston hyödyntäminen	19
4.1.1	Nykytila	19
4.1.2	Laserkeilausaineiston hyödyntäminen rakennetun ympäristön suunnittelussa kuntien ja kaupunkien näkökulmasta	20
4.1.3	Laserkeilausaineiston hyödyntäminen maailmalla	23
4.2	Laserkeilausaineiston hyödyntämisen tulevaisuuden näkymät	25

4.2.1	Uuden kansallisen laserkeilausohjelman vaikutukset	26
4.2.2	Yleiskatsaus tulevaisuuden näkymistä	27
5	Yhteenveto	29
	Lähteet	31
	Liitteet	
	Liite 1. Haastattelukysymykset kunnille	

Lyhenteet ja käsitteet

ALS	Airborne Laser Scanner, Airborne Laser Scanning. Ilmalaserkeilain tai ilmalaserkeilaus. Usein lentokoneesta tapahtuva laserkeilaus.
Full waveform	Laserkeilaintyyppi, joka mittaa laserpulssin koko paluukaiun sen sijaan, että se mittaisi vain paluukaikujen piikit
IMU	Inertial Measurement Unit, inertiamittausyksikkö. Usein osa mittauslaitetta, joka laskee laserkeilaimen asennon pituuskulmasta, sivuttaiskallistuksesta ja pysty akselin kulmasta.
KMTK	Kansallinen maastotietokanta. Koontitietokanta, joka on yksi PTA:n palveluista. Kokoaa yhteen peruspaikkatietoja.
Laser2020	Uuden kansallisen laserkeilausohjelman työnimi.
MML	Maanmittauslaitos.
MMS	Mobile Mapping System. Mobiilikartoitusmenetelmä, esimerkiksi ajoneuvoon asennettavalla kartoituslaite
PTA	Paikkatietoalusta. Sipilän hallituksen 2015–2019 kärkihanke, joka edistää paikkatietojen yhteiskäyttöisyyttä ja hyödynnettävyyttä kuntien, valtionhallinnon ja yritysten yhteistyönä.
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System. Miehitämätön ilma-alus, vanha nimitys UAV.

1 Johdanto

Kaupunkimallit ovat erityisen kiinnostuksen kohteena paikkatietoalalla. Moni kaupunki maailmalla ja myös Suomessa on jo aloittanut oman kaupunkimalliprojektinsa. Suomessa alkaa uusi kansallinen laserkeilausohjelma, jossa lähes koko valtio tullaan laserkeilaamaan. Maanmittauslaitos tuottaa saadusta aineistosta koko maan kattavan 3D-rakennustietokannan. Moni kunta tuottaa ja ylläpitää omia 3D-rakennuskantojaan muulla aineistolla, mutta asianomaiset kunnat saavat käyttöönsä lisäksi MML:n tuottaman aineiston. Rakennustiedon osalta Kansalliseen maastotietojärjestelmään (KMTK) liittymisen edellyttää Rakennukset ja rakenteet -käsitelmän noudattamista. MML tuottaa ja ylläpitää 3D-rakennuskantaa niillä alueilla, joissa kunta tai kaupunki ei ylläpidä omia 3D-rakennuksiaan.

Tässä työssä pyritään selvittämään, millaisia edellytyksiä etenkin keskisuurilla kaupungeilla on hyödyntää uuden kansallisen laserkeilausohjelman tuottamaa aineistoa heidän rakennustietojensa päivittämiseksi. Erityisesti halutaan selvittää asianomaisten kuntien rakennustiedon laatu, kuntien kyky hyödyntää laserkeilausohjelman tuottamaa dataa sekä kuntien oma näkemys siitä, mihin muuhun he voisivat käyttää saatua pistepilviaineistoa. Tutkimalla edellä mainittuja asioita saadaan yleiskäsitys siitä, miten keskikokoinen kaupunki voi hyötyä laserkeilausohjelman tuloksista. Lisäksi tässä työssä tutkitaan laserkeilausaineistojen hyödyntämisen nykytilaa sekä tulevaisuudennäkymiä rakennetun ympäristön suunnittelussa ja tietojen ylläpidossa kuntien ja kaupunkien näkökulmasta.

Työ on tehty haastattelemalla MML:n valitsemissa kaupungeissa sekä tutkimalla Paikkatietoalustan aiempia tutkimuksia ja suunnitelmia. Tutkimuksen on tilannut MML:n Laser2020-projektin henkilöstö. Uusi kansallinen laserkeilausohjelma tekee tiivistä yhteistyötä PTA:n kanssa. PTA teetättää selvityksiä ja tutkimuksia heidän projektinsa osalta mm. käyttötapauksista. Tätä opinnäytetyötä hyödynnetään yhtenä käyttötapaustutkimuksista.

Työ koostuu johdannon lisäksi neljästä osasta, joista ensimmäisessä esitellään Paikkatietoalusta-hanketta, sen oleellimmat projektit tämän työn kannalta sekä laserkeilausprojektien kalustoa ja käytäntöä. Toisessa osassa käydään läpi haastateltavat kunnat,

haastattelukysymykset ja -vastaukset sekä tulkitaan vastauksia. Kolmannessa osassa selvitetään laserkeilausaineiston käsittelyä kaupunkien ja kuntien suunnittelussa nyt ja tulevaisuudessa. Viimeisessä osassa käydään saadut tulokset läpi ja esitetään päätelmät sekä käydään tavoitteet uudelleen läpi pohtien, päästiinkö niihin. Lopulta esitetään kysymykset siitä, että voitaisiin tutkia jatkossa.

2 Paikkatietoalusta-hanke ja projektit

2.1 Paikkatietoalustan esittely

Paikkatietoalusta on yksi Suomen 2015–2019 hallituksen Digitalisoidaan julkiset palvelut -kärkihankkeista, jossa valtio, kunnat, yritykset ja eri yhteisöt toimivat yhteistyössä Suomen paikkatiedon yhtenäistämiseksi [1].

2.1.1 Paikkatietoalustan tavoitteet

PTA:n tavoitteisiin kuuluu muun muassa julkishallinnossa tuotettavan paikkatietodatan yhtenäistäminen. Kunnat, yritykset ja valtio luovat paikkatietodataa, kuten rakennustietoja, osoitteita ja erilaisia maankäyttöpäätöksiä kuten kaavoja, lupia ja kieltoja. Näitä tietoja kerätään ja ylläpidetään eri organisaatioissa ei-yhtenäisten käsittemallien ja/tai standardien mukaisesti, mikä estää aineistojen helpon hyödyntämisen eri organisaatioiden kesken. Lisäksi julkishallinnossa tuotettu paikkatietodata pyritään saamaan helpommin kaikkien saataville. [2]

PTA:n tavoitteisiin kuuluu erityisesti saatavilla olevan datan ajantasaisuus ja laadukkuus. Kunnissa suunnittelu sekä yhteistyö naapurikuntien kanssa helpottuvat, kun kaikki data on keskenään yhteensopivaa kaikkien kuntien välillä [2; 3]. Samalla ostopalveluiden hinnat laskevat, kun paikkatietodataa on saatavilla jo ennalta [2]. Kuntien verotulot kasvavat verottajan saadessa ajantasaista tietoa rakennuksista ja rakenteista [2; 3]. Samalla EU:n asettaman INSPIRE-direktiivin velvoitteiden täyttäminen erityisesti kunnissa helpottuu. Direktiivi velvoittaa jäsenmaita pitämään yllä esimerkiksi osoitteita, rakennuksia, ajantasa-asemakaavoja ja yleiskaavoja INSPIRE-standardin mukaisina [4]. INSPIRE käsittelee myös muitakin tietoja, mutta kuntien näkökulmasta em. tiedot ovat oleellimmat.

Yhtenäinen paikkatieto hyödyttää koko Suomea: kansainväliset standardit täyttävä koko maan kattava data luo uusia bisnesmahdollisuuksia, päätöksenteko tapahtuu ajantasaisella tiedolla ja kansalaisten turvallisuus paranee mm. uuden osoitejärjestelmän avulla. Esim. uusi osoitejärjestelmä auttaa pelastusviranomaisia löytämään perille helpommin ja nopeammin. [2]

PTA tarjoaa tiedontuottajapalveluja, jotta eri tahot voivat tuoda tietonsa PTA:han. Esimerkiksi laatuvahtipalvelun kautta kunnat voivat validoida tiedot, esimerkiksi ovatko rakennukset KMTK-käsitemallin mukaisia. Laatuvahtin kautta kuntien tiedot pääsevät koontikantaan, josta käsin niitä voidaan hyödyntää eri tietopalveluiden kautta tiedontarvitsijoiden, kuten kunnan omaan ja kuntalaisten käyttöön. Laatuvahtipalvelulla taataan nimensä mukaisesti datan yhtenäinen ja hyvä laatu. [2] Muita PTA:n tarjoamia tiedontuottajapalveluita ovat lataus- ja rajapintapalvelut, joilla tiedontuottajat saavat lähetettyä tietonsa laatuvahtille joko tiedostona tai suoraan rajapinnalta. Laatuvahtipalvelun läpäisseet paikkatietokohteet saavat pysyvän tunnusteen (ID-tunnus), jonka avulla voidaan linkittää tietoa ja hallita paikkatietokohteen elinkaarta. Samalla muodostuu kustakin kohteesta url, josta luodaan helppolukuinen tietokortti. Paikkatietoalusta-hankkeessa luodaan eri paikkatietokohteille yhteiset laatu- ja käsitemallit, joilla varmistetaan datan yhtenäisyys jo tiedonkeruun ja -käsittelyn aikana. [3]

PTA:n eri osahankkeet etenevät omilla aikatauluillaan. Sen suurin yksittäinen osahanke on KMTK, joka valmistuu teemoittain. Ensimmäisenä teemana on valmistunut rakennus- ja rakennetiedot -käsitemalli sekä laatusäännöt rakennustietojen käsittelemiseksi laatuvahtipalvelussa. [2] Muita PTA:n osahankkeita ovat osoitetiedot, maankäyttöpäätökset, paikkatiedon tukipalvelut, maakuntien paikkatietoinfrastruktuuri, INSPIRE, satelliittikuvien prosessointi ja jakelu sekä tekninen alusta -osahankkeet [1].

2.1.2 KMTK rakennuksista ja rakenteista

Rakennukset ja rakenteet ovat suuri osa yhteiskunnan varallisuudesta. Rakennuksia paikkatietokohteina koskeva JHS 210 -suositus julkaistaan kesällä 2019. Suositus sisältää rakennukset ja rakenteet -teeman käsitemallin ja kuvauksen, ohjeet em. teeman paikkatietokohteiden geometrioiden muodostamiseen sekä yhteiset elinkaari- ja laatusäännöt. [5] Laserkeilausohjelman myötä syntyvän keilausaineiston avulla on

mahdollista kerätä kolmiulotteistietoa rakennuksista ja rakenteista koko Suomen alueelta. Kansallisessa laserkeilausohjelmassa tuotetaan pohjoisinta Lappia lukuun ottamatta laserkeilausaineistoa koko Suomen alueelta kuuden vuoden sykleissä. Lapin pohjoisimmissa kolkissa on monesti huono sää laserkeilauksen kannalta ja vain vähän rakennuksia. Siellä laserkeilaussykli on paljon hitaampi kuin muualla Suomessa. [3; 6.]

Rakennusten ja rakenteiden luokittelua varten on määritetty 20 kohdeluokkaa. Rakennusten ja rakenteiden tietomallissa yhtä reaali maailman kohdetta vastaa yksi paikkatietokohde, jolla on mahdollista olla

- useita eri versioita kohteen elinkaaren ajalta
- useita geometrioita, kuten 2.5D, 3D tai LOD-tasot
- useita kohteen osia. Esimerkiksi Rakennus-kohde voi koostua erilaisista RakennuksenOsa-kohteista.
- hajautettu ylläpito ja kytkeytyminen rakennusvalvontaprosessiin. [7]

Luokittelun perustana toimivat INSPIRE-direktiivi, JHS 125-rakennusluokitus (tilastokeskuksen rakennusluokitus), JHS 162:n paikkatietojen mallintaminen tiedonsiirtoa varten, liite 2 (paikkatietojen yleinen kohdemalli), JHS 185:n asemakaavan pohjakartan laatiminen, liite 3 (asemakaavan pohjakartan kohteet) sekä CityGML. [7]

Rakennukset ja rakenteet käsitelmissä on huomioitu yhteensopivuus monen muun hankkeen tavoitteiden kanssa:

- ASREK huoneistojärjestelmä
- KIRA-Digi
- Taitorakennerekisteri
- CityGML3-kehitys. [7]

ASREK-huoneistotietojärjestelmä on tietojärjestelmä, jossa asunto-osakkeiden, asuntojen ja autopaikkojen omistuksista ja panttauksista [8]. KIRA-Digi on kiinteistö- ja rakennusalan digitalisaatiohanke, jonka tavoitteisiin kuuluu saattaa rakentamisen ja kaavoituksen julkisen aineiston helposti käytettäväksi sekä kehittää alan järjestelmiä ja toimintatapoja [9]. Taitorakennerekisteri on väyläviraston ylläpitämä perustietovarasto, johon lukeutuu mm. siltojen, tunnelien, rautatierumpujen, merimerkkien tie- ja

yhteisaluslaiturien ja kanavarakenteiden hallinnolliset ja rakenteelliset tiedot sekä tiedot niiden vaurioista ja kunnosta [10]. CityGML on avoin standardoitu tietomalli 3D-kaupunkimalleille ja maastomalleille [11]

2.1.3 Muita Paikkatietoalusta-hankkeessa toteutettavia käsitelmalleja

KMTK:ssa toteutetaan käsitelmallit muun muassa maanpeitteen ja liikenteen osalta. Liikenteen osalta käsitelmallin ensimmäinen versio on jo valmis. Raideliikenteen osio on käynnissä, kävely- ja pyöräteiden alkuvaiheen toteutus alkoi alkuvuodesta 2019, ja niiden ensimmäinen versio on valmisteilla. [3; 6.]

Asemakaavojen laatimisessa ollaan siirtymässä digitaalisempaan suuntaan. Sen takia maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistus käynnistyi vuonna 2017. PTA:n Maankäyttöpäätökset-osahanke on myös osa maankäyttö- ja rakennuslain kokonaisuudistusta. Maankäyttöpäätökset osahankkeen pilottitoteutusten perusteella määritellään digitaalisen asemakaavan luonne sekä muokataan sen käsitelmallia. Maankäyttöpäätösten pilotit ovat käynnissä, ja ne toteuttavat Sitowise, Trimble ja Symetri. Pilottikuntina toimivat Tampere, Lahti, Kuopio, Kempele ja Inkoo. [3]

Uuden osoitetietojärjestelmän mukaisen osoitteen käsitelmallia on valmistumassa. Osoitetietoihin lukeutuvat itse osoitteiden lisäksi myös sisäänkäyntien sijainnit ja kulkupisteet. [3]

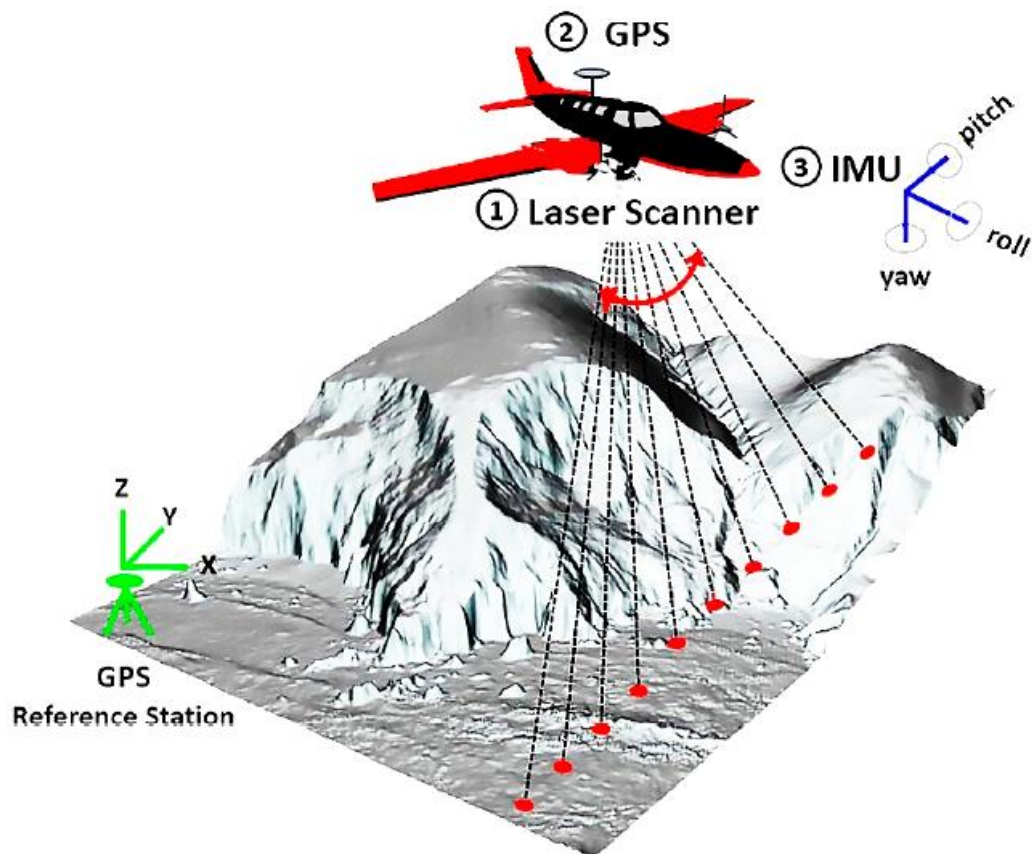
2.2 Laserkeilaus

Tämän työn kannalta oleellisin laserkeilauksen muoto on ilmalaserkeilaus. Ilmalaserkeilaus suoritetaan esimerkiksi lentokoneesta, jolloin sijainti saadaan GPS:llä ja keilaimen asento inertiamittauslaitteistolla (IMU). Keilaimesta lähtevä lasersäde heijastuu puista, maasta, rakennuksista yms. kohteista takaisin laitteeseen. Yhdestä laserpulssista voidaan mitata useampi havainto. (Kuva 1.) Laserkeilausta hyödynnetään runsaasti metsävaratiedon keruussa, sillä laserpulssi heijastuu ensin puuston latvasta, alemmista oksista ja lopulta maanpinnasta. Heijastusajasta, sijainnista ja keilaimen asennosta laskeaan pistepilveen kolmiulotteisia pisteitä, joiden koordinaatit tunnetaan. [12; 13, s. 270.]

Laserkeilattava alue muodostuu keilaavan lentokoneen lentäessä vierekkäisten lentojonojen mukaisesti. Lentojonojen etäisyys toisistaan riippuu lentokorkeudesta ja keilauskulmasta, joka on yleensä 10-20° [13, s. 270.]

Laserkeilausaineistoa hyödynnetään jo nyt esimerkiksi korkeusmalleihin (maanmittauslaitos), metsien inventointiin (Suomen metsäkeskus), lentoesteiden kartoitukseen (Finnavia), tulvakartoitukseen ja mallinnukseen (Suomen ympäristökeskus), maaperäkartoitisiin (geologinen tutkimuslaitos) sekä arkeologisten kohteiden etsimiseen (museovirasto) [12].

Jokaisella pisteellä on kolmiulotteinen sijaintitieto sekä paluukaikuinformaatio eli tiedot siitä, kuinka mones kaiku on kyseessä, kaiun voimakkuus ja tieto siitä, miten laser siroutuu [14, s. 3827].



Kuva 1. Ilmalaserkeilauksen toimintaperiaate [14, s. 3827]

Ilmalaserkeilauksen etuina ovat sen nopeus sekä sen kyky tallentaa laajoja alueita kerralla. Lisäksi lasersignaali läpäisee puoliläpinäkyvät pinnat sekä kasvuston melko hyvin. Sen ansiosta laserkeilaamalla voi saada tietoa maanpinnasta myös metsäisiltä alueilta, toisin kuin esim. ilmakuvauksella. Näiden ominaisuuksien ansiosta pistepilviaineistosta voidaan tulkita asioita, jotka olisivat mahdollisesti jääneet huomioimatta ilmakuvauksen yhteydessä. Muihin etuihin lukeutuu ilmalaserkeilauksella saatava tarkka maaston korkeustieto, sillä ilmakuvauksessa kuvat saattavat vääristyä olosuhteiden takia [14, s. 3827]. Toisin kuin ilmakuvauksessa, vuorokaudenajat tai säätilat eivät vaikuta laserkeilaukseen yhtä merkittävästi [13, s. 270]. Lisäksi yhdestä laserpulsista saa useita havaintoja, mikä helpottaa kasvillisuuden keilaamista [14, s. 3828].

Pistepilvi itsessään ei kuitenkaan esitä mitään, vaan pistepilvi vaatii käsittelyä rakenteiden ja kohteiden tunnistamiseksi. Jotta kohteet saadaan eriteltä, vaaditaan rakenteen luokittelua. Tiedetyt pisteet määritellään kohteeksi tai luokaksi. ALS-datan käsittely on hidasta, ja se vaatii tietokoneelta tehoa. Erilaisia kohteiden ja luokkien erittelykeinoja ovat mm. 2D-monikulmion rajaaminen katon mukaan, 3D-monikulmiot sekä eritellyt kattojen ääriviivat. [14, s. 3828.]

Maanmittauslaitos aloitti Suomen laserkeilaamisen vuonna 2008, ja tavoitteena on saada koko Suomi laserkeilattua vuonna 2019 [13]. Tämän laserkeilausohjelman data on harvempaa kuin uuden laserkeilausohjelman tuottama aineisto tulee olemaan.

Tiedon keruussa hyödynnetään KMTK-ohjelmassa luotuja maastotiedon käsikirjoja. Käsikirjat kuvaavat laatumittarit, laatuvaatimukset ja laadunvarmistusmenetelmät. Käytettävät käsikirjat ovat

- Ilma- ja ortokuvien laatukäsikirja
- Ilmakeilausaineiston laatukäsikirja
- Korkeusmallien laatukäsikirja. [15]

KMTK-ohjelmassa on tehty joukko selvityksiä MMS- ja RPAS-kartoitusmenetelmistä paikkatietodatan tuottamiseen erityisesti taajama-alueella. Selvitykset ovat

- Selvitys kantakartan kohteista.

- Selvitys Trafín määräyksistä ja niiden vaikutukset RPAS-toimintaan asutulla alueella.
- Selvitys kuntien nykyisestä tuotantoprosessista.
- Selvitys RPAS/UAS-laitteistoista ja -menetelmistä.
- Selvitys mobiilikartoituslaitteistosta ja -menetelmistä.
- Selvitys RPAS-tuotantoprosesseista.
- Selvitys MMS-tuotantoprosesseista.
- Selvitys RPAS- ja MMS-menetelmien ja kuntien nykyisten tuotantoprosessien kustannuksista.
- Selvitys RPAS- ja MMS-aineiston vektoroinnista.
- Ohjeistus RPAS- ja MMS-menetelmien käyttöönotolle. [15]

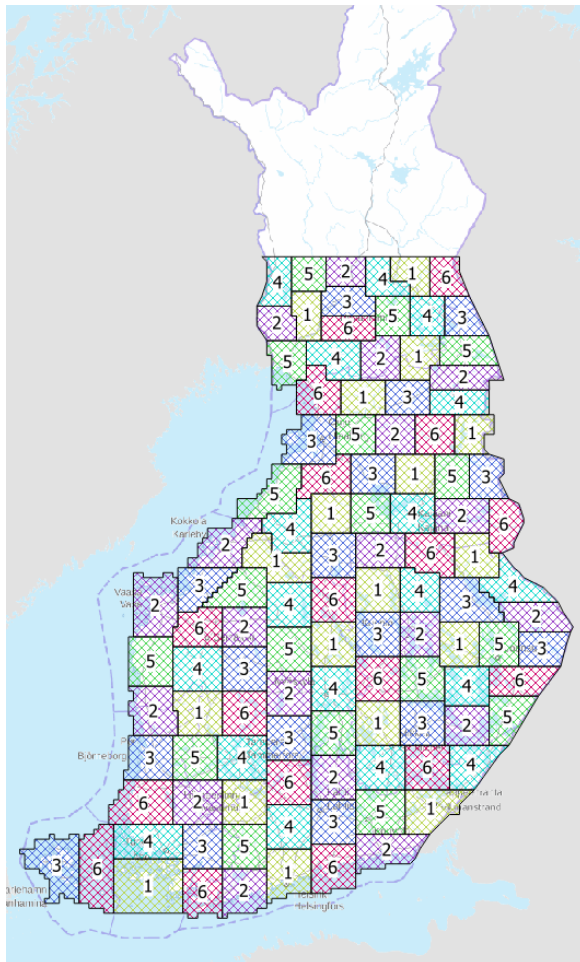
2.3 Laser2020-projekti

Joulukuussa 2016 maa- ja metsätalousministeriö asetti Maanmittauslaitoksen selvittämään, miten Suomessa kannattaa toteuttaa uudet laserkeilaukset ensimmäisen laserkeilauskierroksen päätyttyä. Tästä syntyneen Laser2020-projektin alkutavoitteina on:

- määritellä käytettävä laserkeilaustekniikka ja parametrit
- luoda laserkeilaussuunnitelma
- varmistaa rahoitus. [13]

Kansallinen laserkeilausohjelma käynnistyy vuonna 2020, jolloin pohjoisinta Lappia lukuun ottamatta koko Suomi laserkeilataan 5 p/m² tiheäksi pistepilviaineistoksi kuuden vuoden sykleissä siten, että ensimmäisenä vuonna laserkeilataan tietyt alueet, toisena vuonna taas tietyt ennalta määrätyt alueet jne. Keilaukset sijoittuvat ajallisesti alkukevään tai keskikesän aikaikkunaan [16]. Tuloksena saadaan esimerkiksi KMTK:hon kerättäväksi koko Suomen rakennusten 3D-mallit kaikkien käytettäväksi [4; 15]. Keilausohjelma toteutetaan monen toimijan yhteistyönä [15]. Esimerkiksi Laser2020-projektin kuuden vuoden keilaussykli on synkronoitu ilmakeilausohjelman kanssa vuodesta 2020 alkaen. Monissa eri käyttötarkoituksissa on tärkeää saada käyttöön sekä pistepilvi- että ilmakeilaus-aineistot samalta alueelta ja samana ajankohtana, joten nykyisin viiden vuoden sykleissä tehtävä ilmakeilausohjelma muutetaan tehtäväksi kolmen vuoden sykleissä. Samat alueet sekä laserkeilataan että ilmakeilataan samojen vuosien kesinä ja

ilmakuvataan uudelleen kolmen vuoden jälkeen keväällä. [6; 16.] Suunnitellut koetuotantoalueet ovat esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Kansallisen laserkeilausohjelman suunnitellut tuotantoalueet [16].

Laser2020-projektin tavoitteita ovat olleet mm. käyttötapausten selvittäminen kyselyin ja koetoin, teknologiaselvitysten tuottaminen, automatisointiasteen arviointi, kustannustehokkuuden arviointi sekä suositusten antaminen uusissa kuvamittausteknologioissa huomioitavista teknisistä yksityiskohdista [15]. Kansallisia keilaus- ja kuvausohjelmia rakennetaan yhteistyössä mm. Suomen metsäkeskuksen, Suomen ympäristökeskuksen, Metsähallituksen, Finavian, Puolustusvoimien, Ruokaviraston ja Liikenneviraston kanssa [17].

Kansallisen laserkeilausohjelman suunnitelmassa vuosittain laserkeilataan n. 55 000 km². Aiempina vuosina on keilattu n. 60 000–65 000 km². Pohjana tuotantoalueiden suunnittelussa on käytetty nykyisen ilmakeinuuksiohjelman tuotantoalueita. [12]

2.4 Laser2020-projektin testikeilaukset

Testialueina toimivat Pori sekä Akaa. Porin testikeilaus tapahtui 31.5.2018, ja silloin tutkittiin rakennusten mallintamista, tulvamallien päivittämistä sekä lentoesteiden tulkintaa. Akaan testikeilaus tapahtui 22.–24.5.2018, jolloin tutkittiin metsäinventointia tiheämmällä aineistolla. Akaa soveltuu samoihin testeihin kuin Porikin. [12]

Testeihin on valikoitunut Rieglin VQ-1560i- ja Leican SPL100 Single Photon -laserkeilaimet. Riegl edustaa nykyistä laserkeilainten sukupolvea, ja sen etuina Single Photonin nähdessä ovat mm. saatavuus nykyisillä markkinoilla ja teknologian tuttuus. Heikkoutena Rieglillä on se, että siinä on pisteaineiston tarkkuuden kasvattamiseksi kaksi tykkiä, mikä hankaloittaa aineiston käsittelyä. Single Photon puolestaan edustaa laserkeilainten uutta sukupolvea. Toisin kuin lineaarikeilaimet, Single Photon mittaa pistepilven pisteet yksittäisten fotonien perusteella. Valo koostuu kvanttimekaniikan mukaan yhtä aikaa sekä hiukkasista että aalloista. Lineaarikeilaimien voidaan sanoa mittaavan valon aalloilla, kun taas Single Photon mittaa valon hiukkasilla. Leican keilain on korkean lentokorkeuden takia kustannustehokas, sillä mitä korkeammalla voidaan lentää, sitä laajempia alueita voidaan kerralla keilata. Lisäksi testeissä haluttiin päästä kokeilemaan ei-lineaarista keilainta. Laserkeilausaineiston soveltuvuutta haluttiin myös testata puustoinventointiin. Single Photonin etuina on sen suuri pistetiheys. Toisaalta aineiston luonne on erilaista kuin lineaarikeilainten aineisto. Tämän lisäksi datan kohinaisuus tuo lisää työtä, sillä kohinan suodatus ja prosessointi on raskasta. [16]

Testiaineiston analysointi on yhä kesken, mutta toistaiseksi on päästy jo joihinkin johtopäätöksiin. Lineaarikeilainten aineisto on laadultaan odotettua, ja se on helposti hyödynnettävissä moniin käyttötarkoituksiin. Lisäksi lineaarikeilaimia on jo markkinoilla. Single Photonin aineiston luonne on erilaista kuin lineaarikeilaimilla. Single Photonin kohinataso oli parempi kuin odotettu. Puuston läpäisevyys oli kuitenkin heikko. Lisäksi Leicalla on Euroopassa toistaiseksi vain yksi kappale tuotannossa olevaa Single Photon -keilainta.

Kansallisen laserkeilausohjelman mukaisia pilotti- ja tuotantokeilauksia ei toistaiseksi tulla toteuttamaan Single Photon -tekniikkaa hyödyntävillä keilaimilla. [16]

Koetuotanto alkaa 2019. Silloin tarkoituksena on varmentaa valittujen parametrien toimivuus: prosessit menevät uusiksi tilaajan ja toimittajan päässä, saadaan kokemuksia tuotantoa varten ja voidaan muuttaa vielä parametrejä, ennen kuin itse tuotanto alkaa 2020. Koetuotannosta tulee Maanmittauslaitoksen julkista aineistoa tietyin rajoittein (yhteiskunnan kokonaisturvallisuuden näkökulma). [16]

Koetuotannon parametrit on esitetty kuvassa 3.

Tekniikka / Parametrit	SPL100	Riegl VQ-1560i	Nykyinen aineisto
Pistetiheys, p/m ²	8	8	0.5
Korkeustarkkuus, m	0.15	0.15	0.15
Tasotarkkuus, m	0.60	0.60	0.60
Avauskulma, °	30	40	40
Lentokorkeus, m	3750	1450	2500
Linjan leveys, m	2010	1000	1820
Keilaaja	Aerodata / Cowi	TerraTec Oy	MML
Keilauspvm	31.5.2018	21-24.5.2018	28.4, 9.5.2018

Kuva 3. Laser2020-projektin koetuotannon parametrit [16].

2.5 Laserkeilauskalustoa ja ohjelmistoa

MML kilpailuttaa suurimman osan laserkeilauksista konsulttipalveluna. Keilauskonsultit huolehtivat lentokoneista, laserkeilaimista, tiedonkeruusta ja tiedon esikäsittelystä. MML tarkastaa aineiston laadun sekä jatkokäsittelee tiedon esim. korkeusmallinnusta varten ennen aineiston jakelua ja arkistointia. [6]

2.5.1 Riegl VQ-1560i

Uuden kansallisen laserkeilausohjelman koetuotannossa olleista kahdesta laserkeilaimesta Rieglin VQ-1560i tuottaa sellaista aineistoa, jota keilausohjelmassa tullaan keräämään.

Ilmalaserkeilain koostuu kolmesta osasta: keilainosasta, lasertykistä ja ilmaisinosasta. Laserkeilainta käännetään keilainosalla, mikä kiinnitetään lentokoneeseen tai helikopteriin. [13, s. 270.]

Riegl VQ- 1560i (Kuva 4) on kaksikanavainen waveform-keilain, jonka lähetystaajuus on 2 MHz. Se tekee n. 1,3 milj. mittausta sekunnissa ja toimii 5,5 km:n korkeuteen saakka. VQ-1560i sisältää IMU- ja GNSS-yksiköt. Keilain on myös varustettu kameralla. [18]



Kuva 4. Riegl VQ-1560i [19]

2.5.2 Leica HighPulse 270

Maanmittaislaitos omistaa vuonna 2013 käyttöönotetun Leica HighPulse 270 -ilmalaserkeilaimen, jolla MML on tehnyt 0,5 pistettä neliölle tiheää laserkeilausta. MML omistaa myös lentokoneen, jota käytetään ilmakuvauks- ja laserkeilaustoimintaan. HighPulse 270:llä tehdyt laserkeilaukset ovat olleen pienimuotoisia paikkaustöitä sellaisilla alueilla, joilla nykyisen laserkeilausohjelman aineistosta ei olla saatu aineistoa esimerkiksi korkeusmallituotantoa varten. [6]

HighPulse 270:llä ja Maanmittauslaitoksen omistamalla lentokoneella ei pystytä teknisten syiden takia tuottamaan kustannustehokkaasti uuden laserkeilausohjelman mukaista aineistoa 5 pistettä neliölle. [6]

2.5.3 Laserkeilausohjelman ohjelmistoa

MML käsittelee dataa Terrasolid-ohjelmalla ja sen lisäosilla, joilla ajetaan laaduntarkistuskäsitteitä sekä luokitellaan aineistoa. Laaduntarkistuksessa tutkitaan esim. eri lentoratoilta kerätyn pistepilviaineiston istuvuutta toisiinsa. Luokittelussa lähinnä ryhmitellään maanpintaa lähellä olevia pisteitä omaan ryhmäänsä. [20]

Pistepilviaineistoa käsitellään pääosin laz-formaatissa, joka on las-formaatin pakattu muoto [20]. Las-muotoiset tiedostot ovat yleisin pistepilviaineiston formaatti. Las-projektit ovat tyypillisesti tiedostokooltaan valtavia, monesti useita gigatavuja, joten las-tiedostojen pakkaaminen helpottaa aineiston käsittelyä. Tiedostotyyppissä jokaisella pisteellä ovat seuraavat ominaisuudet:

- X-, Y- ja Z-koordinaatit
- luokka, esim. rakennus tai maanpinta
- tieto paluupulssin voimakkuudesta
- väri RGB-muodossa
- tieto siitä, kuinka mones kaiku on kyseessä. Uusin las-versio huomioi enintään 15 paluukaikua
- keilauskulma nadiirista eli keilaimen luotiviivan alapäästä katsottuna
- tieto päällekkäisten lentoratojen pisteistä. [21]

3 Haastattelut

Selvittääkseni kuntien näkemyksiä paikkatietoaineiston ylläpidosta ja käsittelystä liittyen erityisesti laserkeilausaineistojen käyttöön haastattelin asianomaisten kuntien työntekijöitä. Haastatteluihin valittiin vain kolme kuntaa niiden sijainnin vuoksi: nämä kolme kuntaa sijaitsevat alueilla, jotka tullaan laserkeilaamaan 2019 Kansallisen keilausohjelman pilottialueina. Määrällisesti kuntia on hyvin vähän, eikä sen vuoksi voida tehdä täysin kattavia johtopäätöksiä yli 300:n muun kunnan ja kaupungin tilanteista. MML halusi selvittää, miten nopeasti ja millä tavoilla kansallisen laserkeilausohjelman aineistot voisivat myös kuntatasolla tuottaa hyötyä.

3.1 Haastattelujen kysymykset

Laadimme yhteistyössä Maanmittauslaitoksen edustajan kanssa kysymyslistan, jonka lähetin sähköpostitse saatekirjeen kera valittujen kuntien edustajille. Saatekirje sisälsi kyselyn taustatiedot, tavoitteet ja vastausajan. Lisäksi saatekirjeessä ilmoitettiin, ettei haastateltavien kuntien vastauksia yksilöidä tässä työssä, minkä vuoksi kuntia ei nimetä muualla kuin lähdeluettelossa.

Kysymyslista sisältää aluksi kysymyksiä vastaajan tunnistamiseksi (nimi, tehtävä, kunta) ja sitten kysymyksiä Laser2020-projektin suhteen ja lopulta kysymyksiä tämän insinööriyön sivuaiheesta, eli laserkeilausaineiston hyödyntämisen tulevaisuuden näkymistä.

Kysymyslista on tämän työn liitteenä 1.

3.2 Kuntien edustajien esittely

Haastattelujen kohteiksi valittiin kolme kuntaa. Jo ennen tämän insinööriyön aloittamista haastateltaviksi oli valittu kahden kaupungin edustajat. Myöhemmin valittiin mukaan kolmas kaupunki haastateltavien määrän kasvattamiseksi.

Kuntia valittaessa ei vielä oltu varmoja siitä, missä kunnissa suoritettaisiin Laser2020-projektin vuoden 2019 pilottikeilaukset. Haastateltavat kunnat valittiin usean kriteerin

perusteella. Valintakriteereihin kuului kuntien sijainti merenrannalla, sillä koekeilauslennot tekevien konsulttien kuitenkin arveltiin valitsevan merenrantakuntia alueen hyvien keilausolosuhteiden vuoksi. Toinen kriteeri oli kuntien keskisuuri koko, jotta saataisiin yleiskäsitys juuri keskikokoisten kuntien kyvystä hyödyntää uuden kansallisen laserkeilausohjelman tuottamaa dataa. Muut koetuotannon alueet sijaitsivat metsäisillä alueilla, jotta Suomen metsäkeskus saisi koeaineistoa yksityismetsien inventointiin. Tätä työtä varten haluttiin haastatella kuntia, joilla on enemmän rakennuskantaa.

Haastateltavina oli valittujen kuntien paikkatietoasiantuntijoita.

3.3 Haastattelujen ennako-odotukset

Ennen vastausten saamista muodostin omat odotukseni vastausten laadusta. Keskisuurilla kunnilla ja kaupungeilla ei ole samalla lailla paljon resursseja käytettävissä kuin esimerkiksi pääkaupunkiseudun kaupungeilla. Oletin kuitenkin, että haastateltaviksi valituilla kunnilla on jollain asteella valmiuksia käyttää hyödykseen MML:n tuottamaa aineistoa, etenkin jos kunnat saavat apua siihen. Ilmeisesti myös MML:n edustajilla oli samanlainen näkemys, sillä heidän antamassaan ohjeistuksessa pyydettiin selvittämään hyödyntämisen kykyä ja avun tarpeen määrää.

3.4 Haastattelujen vastaukset aiheittain

Aluksi kysyttiin kuntien edustajilta siitä, kokevatko he voivansa hyödyntää keilausohjelman mukaista pistepilviaineistoa rakennustietojen päivittämiseen, ja siitä jatkokysymykset 1. tarvitsevatko kunnat tähän apua, ja 2. onko kuntien käytössä olevilla ohjelmistoilla, osaamisella ja resursseilla mahdollista hyödyntää em. materiaalia. Kaikki kolme kuntaa katsovat voivansa hyödyntää materiaalia [22; 23; 24]. Erään kunnan edustaja sanoo kaupunkinsa tarvitsevan koulutusta tähän, ja kahden kunnan edustajat ilmoittavat kuntien resurssien olevan vähäisiä. Siksi niistä toisen kunnan edustaja miettii yhteistyön MML:n kanssa olevan tarpeen. [22; 23.] Kolmannen kunnan edustaja ilmoittaa tarvitsevansa jonkin ohjelman tai ohjelman ominaisuuden nykyisen materiaalinsa vertaamiseen keilausohjelman aineistoon [24]. Kaksi kuntaa ilmoittaa, että heillä on ohjelmistot käytettävissä materiaalin hyödyntämiseen, muttei kokemusta niiden käytöstä [22; 23].

Kolmannen edustajan mukaan kunnalla on jo ohjelmistot hankinnassa ja käytössä kuu-kauden sisällä haastattelusta. Ohjelmistot hankittiin osana kuntien RPAS-hanketta, mutta niitä tullaan myös käyttämään laserkeilausaineiston käsittelyyn. [24]

Seuraavaksi haastattelussa kysyttiin, minkä kaikkien kohteiden päivittämiseen haastateltavien kuntien edustajat katsovat keilausohjelman soveltuvan. Eräs edustaja kertoo datan soveltuvan kantakarttojen kohteisiin, kuten rakennusten, katujen ja ojien päivittämiseen. Hän myös esittää ajatuksen siitä, että mahdollisesti myös puustoa voidaan käsitellä uudella tiedolla. [22] Toinen kaupunki päivittäisi rakennustiedot, maastomallin ja korkeuskäyrät sekä päivittäisi pohjakartan yhdessä ortokuvien kanssa [23]. Myös kolmas kaupunki käyttäisi dataa maanpintamallin päivittämiseen ja rakennusten paikantamiseen [24].

Kolmantena kysymyksenä kunnilta tiedusteltiin, mitä muuta ne haluaisivat aineistolta. Kahden kaupungin edustajat mainitsevat sen, etteivät he tiedä, mitä datalta voidaan odottaa, mutta he kuitenkin kaipaavat tarkempaa ja yksityiskohtaisempaa tietoa [22; 23]. Lisäksi toivotaan myös datan olevan värikoodattua. Muuan edustaja esittää toiveen aineiston hyödyntämisestä metsien ja puuston kartoitukseen. [24]

Ennen tulevaisuuden näkymiä kysyttiin, mitkä kaupungin organisaation osat käyttävät eniten paikkatietodataa. Kaikki kolme kuntaa vastasivat maankäytön ja kuntatekniikan olevan tärkeimmät kohteet. Lisäksi kaksi kuntaa lisäävät tärkeimpien kohteiden joukkoon rakennus- ja ympäristönvalvonnan. [22; 23; 24.]

Jatkokysymyksenä edelliseen kohtaan haastateltavilta kysyttiin, mihin paikkatietodataa käytetään eniten, eli mistä tulee tarvetta paikkatiedolle. Jälleen kaikki kunnat mainitsevat maankäytön ja suunnittelun, mutta eräs kunta mainitsee niiden lisäksi lakisääteiset tehtävät. Yksi kunnista kertoo suunnittelevansa vihersovellusta, johon tulevat mukaan kaikki kunnan viheralueet ja varusteet sekä kadut huoltoluokituksineen. [22; 23; 24.]

Lopuksi kysyttiin kaksi kysymystä tulevaisuuden näkymistä. Ensin kysyttiin kuntien tulevaisuuden näkymistä keilausohjelman suhteen. Yksi kunnista jätti vastaamatta, mutta toinen ilmoittaa odottavansa kovasti uuden aineiston saatavuutta kaupungin alueelta. Tämän kunnan edustaja kertookin uuden keilausohjelman olevan todella arvokas

tiedonlähde kaupungille, jolla ei ole resursseja tehdä itse vastaavaa työtä. Sitä vastoin kolmannen kaupungin edustaja kertoo, ettei heillä ole ollut tarvetta yhteistyölle MML:n kanssa, sillä he tekevät itse omat keilauksensa taajama-alueella eikä heillä ole tarvetta haja-asutusalueen datalle. Sama edustaja kuitenkin lisää, että tarkemmalle aineistolle voi tuki löytyä enemmän käyttöä. [22; 23; 24.]

Viimeiseksi haastattelussa kysyttiin yleisesti alan tulevaisuuden näkymiä uuden laserkeilausohjelman käynnistymisen jälkeen. Ensimmäinen edustaja toivoo suunnittelun parantuvan ja luvankäsittelyn helpottuvan. Toinen edustaja spekuloi datojen määrän ja laadun nopeaa kehittymistä. Samalla hänen mukaansa ohjelmistojen merkitys kasvaa manuaalisen työn vähentyessä. Datankäsittelyn tulee automatisoitua. Samalla perinteisten 2D-pohjakarttojen merkitys vähenee, ja siirrytään 3D-maailmaan. Lopuksi kolmannen kunnan edustaja pohtii vektorimuotoisen pohjakartan roolia tulevaisuudessa. Hän ei usko, että uuden keilausohjelman myötä tuleva harppaus on yhtä suuri kuin laserkeilausaineistojen avaamisella oli, mutta että tarkempi ja ajantasaisempi aineisto luo valtavasti mahdollisuuksia. Lopuksi hän esittää ajatuksen: ”Toivottavasti parempi aineisto poikii jotain, mitä emme osaa vielä edes ajatella”. [22; 23; 24.]

3.5 Haastattelujen yhteenveto

Haastatteleamalla kolmea tutkimuksen kannalta ideaalista keskisuurta kuntaa päästiin ennako-odotuksia vastaaviin tuloksiin. Kaikki kolme kuntaa ovat kiinnostuneita datasta, mutta kunnilla on vaihtelevasti puutetta resursseista käsitellä aineistoa. Kuitenkin pienellä avulla, kuten koulutuksella tai lisähenkilöstöllä, kunnat katsovat voivansa hyödyntää uuden kansallisen laserkeilausohjelman aineistoa.

Kunnilla on jo näkemys siitä, mitä ne uudella datalla tekevät. Aineistoa käytettäisiin odotetusti tarpeellisiin ja pakollisiin lakisäätöisiin tehtäviin sekä kaupunkisuunnitteluun. Laserkeilausdataa koskevat lisätoiveet liittyvät datan laadun paranemiseen, jolloin aineistoa voitaisiin hyödyntää myös muihin kohteisiin kuin maasto- ja rakennustietojen käsitteilyyn.

Nykyisellään kuntien paikkatieto täyttää asianomaisten kuntien omat laatuvaatimukset, ja niitä hyödynnetään kaupunkisuunnitteluun ja erilaisiin ympäristön valvontatehtäviin.

Haastateltavat näkevät laserkeilausaineiston hyödyntämisen kehittyvän enemmän automatisoidummaksi. Lisäksi he ovat avomielisiä uuden kansallisen laserkeilausohjelman tuottaman aineiston suhteen, ja vaikka haastateltavat eivät välttämättä tiedä, mihin muuhun dataa voitaisiin hyödyntää, he katsovat, että aineistoa voitaisiin käyttää tavoin, joita he eivät vielä näe.

3.6 Muita haastatteluja

Paikkatietoalusta on myös teettänyt muitakin haastatteluja eri projekteihinsa liittyen. 1.3.2019 julkaistussa selvityksessä PTA teetätti JWM-Engineering oy:lla tutkimuksen kuntien tämänhetkisestä paikkatietojen tilasta laadun, tyyppin ja rajapintavalmiuksien suhteen. Tutkimuksessa 50:ltä kunnalta kysyttiin rakennustiedoista, osoitteista, tuotantojärjestelmistä, maankäyttöpäätöksistä, tiestöistä, kuntien välisestä yhteistyöstä, laadunvarmistuksesta, aineistojen jakamisesta ja PTA:n tieto- ja tukipalveluista. [25]

PTA:n palveluiden käyttöönotosta vastaavan asiantuntijan Jussi Immosen mukaan kysely ei tuottanut yllätyksiä. Rakennusten ylläpito- ja tuotantoprosessit vaihtelevat kunnasta toiseen, ja paikkatietoaineiston laatu vaihtelee. Kyselystä saatiin tulokseksi, että PTA:n on oltava valmis palvelemaan erilaisia kuntia, sillä haasteet vaihtelevat jokaisen kunnan laatustandardien ja laadunvarmistuksen ollessa nykyisellään erilaiset, ennen kuin kunnissa otetaan laajemmin käyttöön KMTK:n mukaiset käsitelmallit. [25]

Kyseisessä tutkimuksessa haastateltiin joukkoa kuntia paikkatietoaineiston ja rajapintojen tilasta. Haastattelija Joonas Majurinen toteaa jo raporttinsa alussa, kuinka erilaisia kaikki Suomen kunnat ovat ja ettei ole havaintoja, jotka olisivat yhteneväisiä kaikkien kanssa. [26]

Majurisen mukaan Suomessa on menossa kaupunkimallibuumi. Suuressa osassa haastatelluista kunnissa on joko käynnistymässä tai suunnitteilla käynnistää 3D-kaupunkimallin kehitysprojekti. Haastatellusta 50 kunnasta vain kuudessa ei tuotettu kolmiulotteista rakennusaineistoa. Yhdelläkään kunnalla ei kuitenkaan ollut kaupunkimallia valmiina koko asemakaava-alueelta tai koko kunnasta. Monet kunnista vielä kokeilivat haastattelua tehdessä erilaisia menetelmiä sekä ajoivat niitä sisään. Majurinen huomasi myös, että kuntien rakennusten geometria- ja rekisteritiedot ovat lähes poikkeuksetta eri

järjestelmissä. Lisäksi Majurinen huomasi, että pääasiassa uutta rakennusgeometria-tietoa syntyy rakennusten sijaintikatselmusten yhteydessä. [26]

4 Laserkeilausaineiston hyödyntäminen nyt ja tulevaisuudessa

4.1 Laserkeilausaineiston hyödyntäminen

Osana työtä tutkitaan laserkeilausaineiston käyttötapoja ja hyödyntämiskohteita. Aiheessa keskitytään osin kuntien näkökulmaan, mutta tarkastelun kohteeksi otetaan myös joitain mielenkiintoisia yksittäistapauksia.

4.1.1 Nykytila

Bitellin ym. mukaan kolmiulotteiset kaupunkimallit ovat tärkeitä, sillä niitä hyödynnetään urbaanissa infrastruktuurissa perustana visualisoinnissa, suunnittelussa ja ylläpidossa. 3D-mallit tehdään usein pistepilvistä, jotka tehdään laserkeilaamalla sekä satelliitti- ja ilmakuvista sekä mobiilikartoituksella. Monesti datan käsittelyä rajoittaa aika, raha ja logistiikka. [27, s. 97.]

Viime vuosina maailmalla Smart city on ollut kovasti keskusteltu aihe. Bitelli ym. jatkavatkin aihetta Smart cityn periaatteista: sen tulee olla digitaalinen. Eri käyttötapauksia varten tulee olla eri lähteitä, sillä datan tulee olla mahdollisimman tarkkaa ja ajantasaista. Smart cityn tarvitsemaa paikkatietodataa ei saada perinteisillä maanmittauksen keinoilla, sillä ne ovat liian kalliita ja aikaa vieviä Smart cityn tarkoituksia varten. Tämän vuoksi Bitelli ym. korostavat automatisoitujen ja semiautomoitujen metodien ja menettelyjen kehittämisen tärkeyttä. [27, s. 97.]

Laserkeilausaineiston hyödyntämisestä on tehty useita tutkimuksia. Esimerkiksi Biljeckin ym. mukaan laserkeilausaineistoa hyödynnetään lukuisiin eri käyttötarkoituksiin. Saatuja pistepilviä voidaan hyödyntää ei-visuaalisten asioiden osalta esimerkiksi

- auringon paisteen määrän arviointiin
- energian tarpeen arviointiin

- paikantamisen apuna
- kerrospinta-alojen määrittelyyn
- rakennustyyppien luokitteluun. [28, s. 2851.]

Laserkeilauslaitteita valmistavan Rieglin perustajan tri Rieglin haastattelussa todetaan laserkeilauslaitteistolla olevan valtavasti käyttöä [29, s. 17]. Rieglin mainitsemat käyttötarkoitukset esitetään kuvassa 5.

Arkeologia	Maanviljely	Käytävien kartoitus	Jäätiköiden ja lumialueiden kartoitus
Metsätiede	Kaivostoiminta	Topografia	Tien pinnan mittaaminen
Maanmittaus	Monitorointi	Yhdyskunta-rakentaminen	Ultralaajojen alueiden kartoittaminen
Lentokonekartoitus	Voimalinjojen kartoitus	Rautateiden tarkastelu	Onnettomuus-alueiden tutkinta
Paikkatieto	BIM	Varainhallinta	Pelastus-suunnitelmien laadinta
Putkiston tarkastelu	Rannikon kartoitus	Tiestön kartoitus	Kulttuuriperinnön dokumentointi

Kuva 5. Laserkeilausdatan käyttötarkoituksia [29, s. 17]

4.1.2 Laserkeilausaineiston hyödyntäminen rakennetun ympäristön suunnittelussa kuntien ja kaupunkien näkökulmasta

Suomessa jo moni kaupunki ylläpitää kolmiulotteisia kaupunkimalleja. Nämä kaupungit sijaitsevat lähinnä pääkaupunkiseudulla. [30, s. 14.]

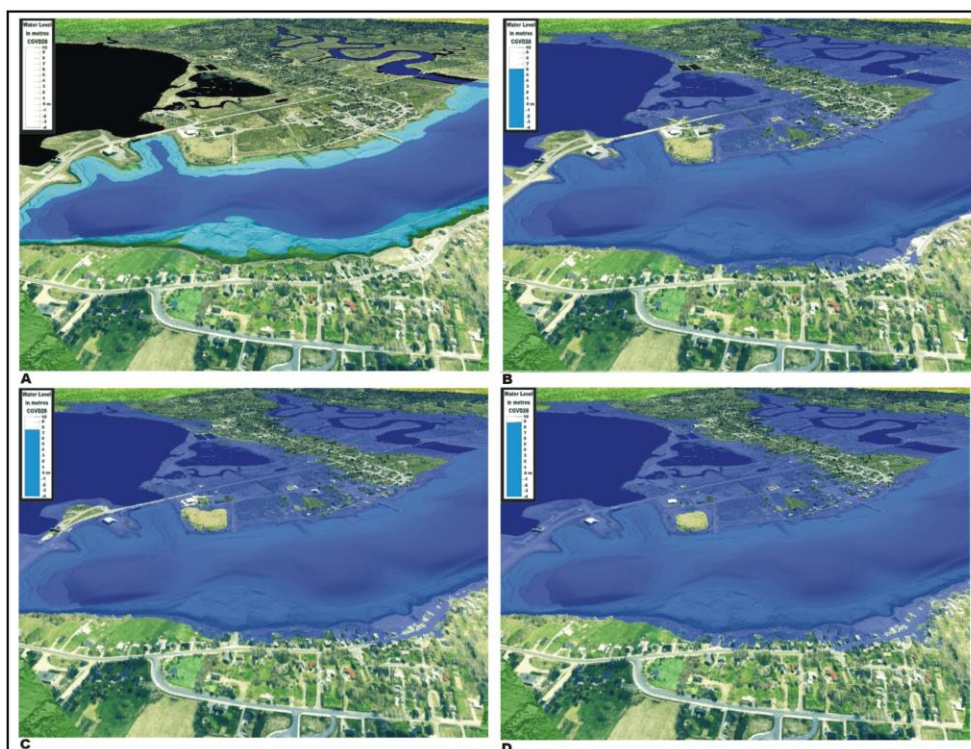
Biljecki ym. esittävät myös kaupunkimallien käytöstä lukuisia eri käyttötarkoituksia, joista osa on samoja kuin tri Rieglin esittämät yleiset laserkeilausaineiston käyttötarkoitukset. Näihin käyttötarkoituksiin kuuluvat mm.

- näkymäanalyysit
- valaistusanalyysit
- varjostusanalyysit
- meluanalyysit
- rakennustietokannat
- radiotaajuuksien laatiminen
- väestönlaskenta
- tulva-analyysit. [28, s. 2851.]

Monessa PTA:n datatuotteessa tullaan hyödyntämään Kansallisen keilausohjelman laserkeilausaineistoa. Esimerkiksi maaston korkeus- ja pintamallit, 3D-rakennukset ja monet muut Kansallisen maastotietokannan kohteet perustuvat suurelta osin laserkeilausaineistoon. Myös nykyistä MML:n tuottamaa aineistoa, joka on 0,5 pistettä/m² tiheää ja jonka korkeustarkkuuden keskivirhe on enintään 15 cm ja tasotarkkuuden keskivirhe enintään 60 cm, hyödynnetään monissa käyttötapauksissa, kuten tulvakartoituksessa ja metsäinventoinnissa. [31; 32.]

Kuntien kannalta korkeus- ja pintamalleja voidaan hyödyntää esimerkiksi tulva- ja hulevesien hallinnan suunnitteluun ja riskikartoitukseen. Tulvakartoitukseen tarvitaan usean eri mittaus- ja kartoitustekniikan hyödyntämistä, mutta laserkeilausaineiston käytettävyyttä tulvakartoituksessa tutkineen Kabiten mukaan erityisesti ilmalaserkeilaus on hyvä työväline tulvakartoitukseen. Ilmalaserkeilaus tuottaa tiheää ja yksityiskohtaista tietoa keilattavasta alueesta nopeasti ja kustannustehokkaasti. [33] Pori on tulvavaaran perusteella Suomen merkittävin riskikohde. Pori sijaitsee Kokemäenjoen varrella, jonka valuma-alue on 27 000 km². Varsinaisen tulvan vaara-alue on n. 50 km². Vaara-alueella on noin 5 000 asuntoa ja 15 000 asukasta. Suurelta osin tulvariski on 1,5 m. Tulvat voivat aiheuttaa jopa 3 mrd. € vahinkoja. Tarkkoja pintamalleja käytetään hydrologisessa mallinnuksessa simuloimaan veden virtausten kulkua erilaisissa olosuhteissa. Simulaatioilla tunnistetaan tulvariskialueet ja ennaltaehkäisevät ja suojaavat toimenpiteet saadaan kohdistettua oikeille alueille. Suojarakenteiden suunnittelussa ja sijoittelussa käytetään

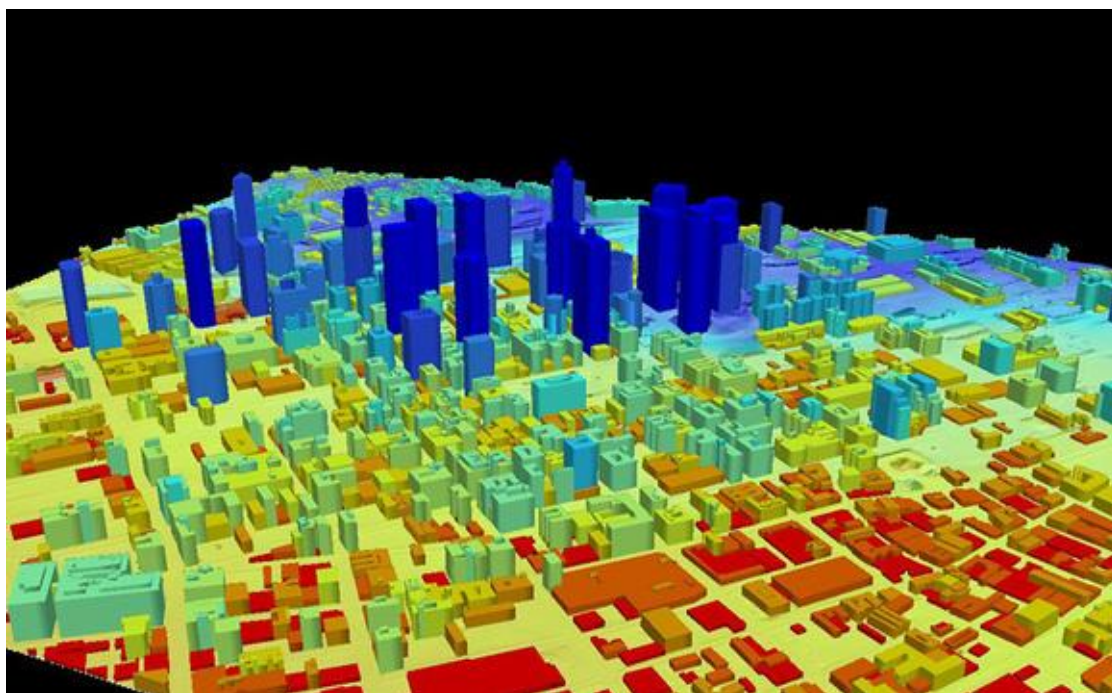
apuna pistepilviä, sillä niistä saadaan tietoa kohdealueen pinnanmuodoista ja lähiympäristöstä. [31; 32] Esimerkki tulvasimulaatiosta on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Tulvasimulaatio, jossa huomioitu eri vedennousun määrien vaikutukset [34]

Myös alue- ja infrasuunnittelussa ja rakentamisen lähtötiedoissa laserkeilausaineisto on arvokasta. Laserkeilausaineistosta saadaan ajantasaista dataa rakennetusta ympäristöstä nopeammin ja tehokkaammin kuin perinteisillä maanmittauskeinoilla. Tarkalla ja ajantasaisella laserkeilausaineistolla voidaan tutkia esim. teiden vaurioita ja turvallisuutta, kasvillisuutta sekä seurata mm. siltojen ja tunneleiden rakenteiden kunnan muutoksia. [35, s. 14, 16.] Yksityiskohtaista lähtöaineistoa käyttäen rakennushankkeissa voidaan hyödyntää tietomallipohjaista toimintaa jo hankkeen alkamisesta lähtien. Lisäksi laserkeilausaineistoa käytetään lähtötietona massa- ja määrälaskennassa, joilla arvioidaan kustannuksia eri toteutusvaihtoehdoille. Käyttämällä 0,5 p/m² tarkkaa aineistoa Porin kaupungissa on apulaiskaupungingeodeetti Salosen mukaan tuotettu kaupungin kantakartta käyttäen MML:n KM2-korkeusmallia. Porissa tehdään massalaskentaa myös KM2-mallin perusteella. Samasta mallista saadaan korkeustiedot suunnittelua varten. [31; 32.]

Valtakunnallista 3D-rakennustietokantaa kootaan KMTK:hon. Kansallinen maastotietokanta sisältää tiedot rakennuksista ja rakenteista, liikenneverkosta, vesistöistä sekä maanpeitteestä ja korkeussuhteista. 3D-rakennuskantoja hyödynnetään usein apuna kaavoituksessa ja kaupunkisuunnittelussa. Salosen mukaan 3D-mallista saadaan laskettua kattojen korkeuden ja maanpinnan korkeus. Niistä laskemalla saadaan rakennusten korkeudet suoraan mallista. [32] Esimerkki tällaisesta 3D-mallista on kuvassa 7.



Kuva 7. 3D-rakennustietokanta. Maanpinta ja rakennukset on värikoodattu korkeuden mukaan. [36]

4.1.3 Laserkeilausaineiston hyödyntäminen maailmalla

Uutisartikkelissaan Fisher esittelee kaksi mielenkiintoista käyttötapausta laserkeilausdatan hyödyllisyydestä kaupungeille [37]. Ensimmäisessä esimerkissään Fisher selostaa, kuinka vuonna 2016 Washington DC:n Urban Forestry Administration -osasto laserkeilasi metsiä puuston laskemiseksi. Työ oli menestys: paitsi että alkuperäisiin tavoitteisiin puiden korkeuden ja puiden lehvistön kokojen määrittelystä päästiin, voitiin myös saatua karttaa käyttää puunkaatojen määrittelyyn, myrskyvahinkojen lieventämisen suunnitteluun käyttäen maanpinnan korkeusdataa. [37]

Toisessa esimerkissään Fisher kertoo, kuinka 2011 Utahin osavaltio arvioi teiden päällysteiden kuntoa mobiililaserkeilausdatan avulla. Datalle keksittiin tässäkin esimerkissä lisää käyttöä, kuten veden virtausmallien laatiminen ja teiden mittojen lukeminen. Seurauksena Utahin projektista katukylttien inventoinnin kustannukset putosivat 144 000 USD:sta 400 USD:iin ja pyöräilyreittien inventoinnin kustannukset puolestaan 15 000 USD:sta 25 USD:iin. [37]

Fisherin esimerkeistä voidaan tehdä se johtopäätös, että laserkeilaus on suhteellisen halpaa ja erityisen käyttökelpoista. Laserkeilaus ei tallenna vain puiden latvoja tai asfalttia, vaan kaiken, kuten puskat, maanpinnan muodot, kyltit, kukkulat, laaksot, ajoneuvot ja talot. Lopuksi Fisher antaa yleispätevän neuvon laserkeilausdatan suhteen: ”Tehkää siitä julkista.” [37]

Laserkeilausaineisto on arvokas työkalu kulttuuriaarteiden suojelussa. Vastikään Notre Damen katedraalin palaminen sai valtavasti huomiota maailmalla. Onneksi vuonna 2015 katedraali laserkeilattiin Andrew Tallonin toimesta (kuva 8) [38]. Tallonin laserkeilaus tuotti yli 50 asemapistestä yli miljardin pisteen pistepilven [38; 39]. Vaikka Tallonin keilaus paljasti valtavasti löytöjä ja aiemmin tuntemattomia yksityiskohtia, kuten pylväiden sijaintien vinouden ja katedraalin länsipäädyn vajoamisen rakentamisen aikana, ei katedraalia välttämättä tulla uudelleenrakentamaan vuoden 2015 mallin mukaan [38; 39]. Uudelleenrakennus vaatii lisätutkimuksia, eli todennäköisesti Notre Damen katedraalin rauniot tullaan laserkeilaamaan [39]. Laser2020-projektin päällikön Juha Kareisen mukaan Notre Damen sisällä on niin valtavasti yksityiskohtia, että katedraalin täydellinen mallinnus laserkeilausaineistosta vaatisi jopa satoja pisteitä neliömetrille [40]. Kareinen mainitsee myös, että vastaan onnettomuuden varalta olisi hyvä olla kattavaa laserkeilausaineistoa saatavilla. Myös sisäkeilaukset ovat tärkeitä arvokkaiden rakennusten kohdalla, sillä rakennusten ulkokuoren laserkeilaus on vain harvoin riittävää. Esimerkiksi Porvoon tuomiokirkon tuhopolton tapauksessa saatavilla olleesta laserkeilausaineistosta olisi saatu vain karkea malli tuhoutuneesta kirkosta. [40]



Kuva 8. Andrew Tallonin tekemä pistepilvi Notre Damen katedraalista [38].

4.2 Laserkeilausaineiston hyödyntämisen tulevaisuuden näkymät

Laserkeilaus on vielä suhteellisen tuore mittausmenetelmä. Ensimmäiset kokeilut laserkeilauksella tehtiin 1970-luvulla, ja vasta 90-luvun puolivälissä laserkeilauslaitteet alkoivat olemaan riittävän kehittyneitä mittauslaitteena käytettäväksi [41]. Suomessa laserkeilaus alkoi vuonna 1998, minkä jälkeen laserkeilauksen kehitys on ollut valtavaa [42,

s. 23]. Tässä luvussa tutkitaan uuden kansallisen laserkeilausohjelman mahdollisia vaikutuksia sekä yleisiä tulevaisuuden näkymiä laserkeilausaineiston hyödyntämisestä.

4.2.1 Uuden kansallisen laserkeilausohjelman vaikutukset

Paikkatietomarkkinoiden 2018 yhteydessä pidetyssä laserkeilausseminaarissa Salonen esitteli ensimmäisiä kokemuksiaan Laser2020-projektin Porin koetuotannon materiaalista, joka oli 8 pistettä/m² tarkkaa. Porin kaupungin aiemmin käyttämä aineisto oli 0,5 p/m² ja uuden kansallisen laserkeilausohjelman mukainen aineisto tulee olemaan 5 p/m². Porin koetuotannon keilaus suoritettiin 31.5.2018, ja aineisto tuli Porin kaupungin käytettäväksi syys- ja lokakuun aikana. Salosen pitäessä esitystään materiaali oli ollut vain reilun kuukauden ajan käytettävissä, joten aineiston käytöstä oli siihen aikaan vain vähän kokemusta. [32]

Esityksessään Salonen käsitteli pistepilveä ja luokittelua, kattovektoreita ja kattomuotojen ja rakennusten mallintamista. Pistepilvien luokittelu tarkentui huomattavasti uudella aineistolla. Salonen myös kommentoi, kuinka eri laserkeilaimilla tuotetuilla aineistoilla on erilaisia mahdollisuuksia toisiinsa nähden. Kattovektoreista Salonen esitti samankaltaisen ajatuksen siitä, kuinka eri kohteissa eri keilaimilla saatiin erilaisia tuloksia. Lisäksi hän mainitsi, kuinka puusto vaikuttaa vektoroinnin tarkkuuteen. Samalla Salonen pohti nykyisen 2D-aineiston hyödyntämisen kannattavuutta vektoroinnin apuna, ja jos, niin millä tavalla. Salonen lisäsi, että rakennusten mallintamisten testit olivat suunnitteilla. [32]

Seuraavaksi Salonen esitti ajatuksiaan uuden kansallisen laserkeilausohjelman mahdollisuuksista ja haasteista. kuten aiemmin mainittiin, Porin kaupunki on tulvariskialuetta. Porin tulvapatojen kunnat tarkastetaan viiden vuoden välein, ja uuden kansallisen laserkeilausohjelman mukainen aineisto todennäköisesti riittää patojen mahdollisten painaumien tutkintaan. Sen sijaan tulvariskikartoitukseen aineisto ei riitä, sillä Porissa tarkastukset tehdään kuuden kuukauden välein, kun taas laserkeilausohjelmaa toteutetaan kuuden vuoden sykleissä. Rantaviivan siirtymisen tarkasteluun maan kohoamisen ja sedimentoitumisen vuoksi aineisto kylläkin käy. Sen sijaan Salonen pohtii rantaviivan siirtymisen mittaamisen menetelmien ja formaattien muuttumisen olevan mahdollista.

Käytännön sovellusten jälkeen Salonen esittelee joukon uuden aineiston hypoteettisia mahdollisuuksia:

- tulvasuojelu
- metsänarviointi
- vihersuunnittelu
- katusuunnittelu
- massalaskenta. [32]

Salonen lisää luetteloon vielä, että laserkeilausaineiston hyödynnettävyys rakennusten osalta riippuu tehtävän vaatimuksista [32].

Lopuksi Salonen esittää kansallisen laserkeilausohjelman aineiston käytettävyyden suhteen joukon haasteita ja mietittäviä asioita. Keskusta-alueilla kaupunkikuvan muutos voi olla hyvinkin nopeaa, jolloin kuuden vuoden keilaussykli ei välttämättä säily riittävän tarkkana kovin pitkään. Seuraavaksi Salonen miettii, mitä kannattaa 3D-mallintaa. Monesta mallinnetusta kohteesta on epäilemättä hyötyä, mutta onko kannattavaa mallintaa kohteita, joilla ei ole mallina arvoa, ja kuinka nämä kohteet voidaan tunnistaa? Seuraavana haasteena laserkeilausaineiston hyödyntämisessä Salonen näkee eri vaatimukset eri ohjelmistoilla, sillä Suomen kunnat ja kaupungit käyttävät useita eri ohjelmistoja aineiston käsittelyyn. Myös aineiston koko voi olla ongelmallinen kuntien kannalta, sillä valtava paikkatietoaineisto vaatii tehokkaan tietokoneen käsittelyä varten. Salonen nostaa myös esiin kansallisen turvallisuuden näkökulman koko Suomen kattavan tarkan laserkeilausdatan julkaisemisen suhteen. Lopuksi Salonen pohtii laserkeilausaineiston yksityiskoh-
tia: Mitä tietoja se sisältää, millaisella tietorakenteella, mitä julkaistaan, mitä maksaa, missä formaatissa tietoa julkaistaan, mikä julkaistaan tietopalveluna, mikä laajennos ja missä GML-formaatissa aineistoa käsitellään? [32]

4.2.2 Yleiskatsaus tulevaisuuden näkymistä

Tri Rieglin mukaan laserkeilauksella on suuri osa eri teknologioiden kehityksessä, kuten maailmanlaajuisessa tuulen mittauksessa, valvonnassa ja tiedustelussa, täsmämaanviljelyssä ja tietenkin maanmittauksessa [29, s. 18]. Tri Riegl toteaa myös, että teknologia kehittyy takuulla vielä eri suuntiin ja että lineaarikeilainten tekniikassa on yhä paljon

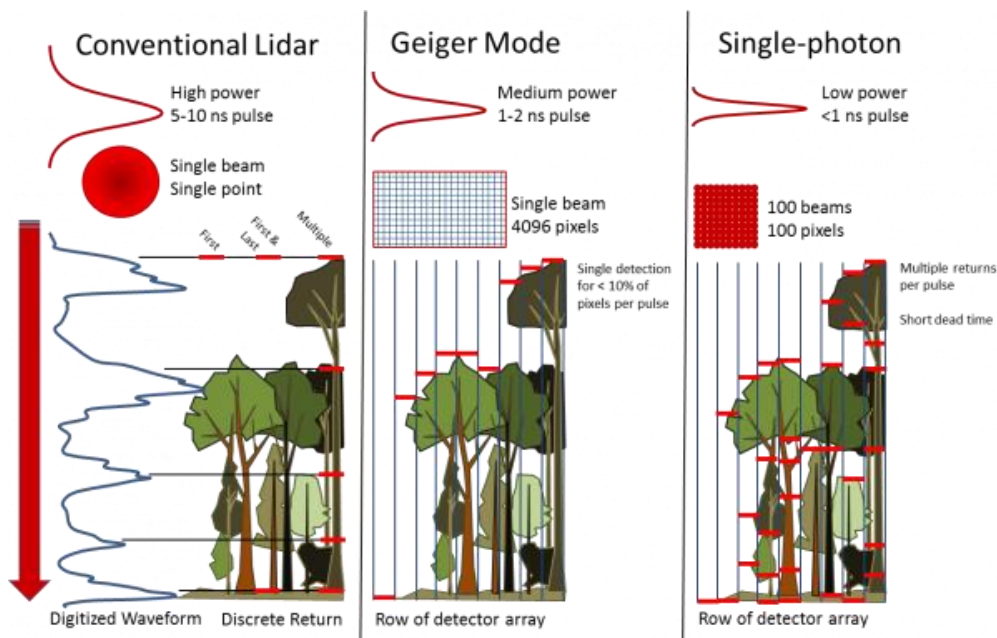
kehitettävää. Hänen mukaansa keilainten nopeus, etäisyystarkkuus, koko ja paino sekä datan prosessoinnin tasaisuus tulevat vielä kehittymään. [29, s. 18–19.]

Tällä hetkellä käytetään lentokoneisiin ja ajoneuvoihin kiinnitettäviä laserkeilaimia, mutta Fisherin mukaan tulevaisuudessa myös itseajavia ajoneuvoja voitaisiin varustaa laserkeilaimilla katujen keilaamiseksi. Itseajavat ajoneuvot hyödyntävät jo nyt pienimuotoisia laserkeilaimia navigoinnin apuna, ja autojen GPS-dataa on hyödynnetty Fisherin mukaan moniin eri sovelluksiin jo vuosien ajan. [37] GNSS:n ja IMU-järjestelmän lisäksi autonomisten ajoneuvojen paikannukseen käytetään SLAM eli Simultaneous Localisation And Mapping -tekniikkaa, mikä tarkoittaa laserkeilaimella tehtyjen peräkkäisten mitausten vertaamista toisiinsa ajoneuvon sijainnin, asennon ja niiden muutosten määrittämiseksi. Liikkuessaan ajoneuvot keräävät pistepilviaineistoa, jota voidaan hyödyntää tavanomaisen mobiililaserkeilausaineiston tapaan. Samalla saadaan esimerkiksi reaaliaikaista dataa parkkipaikkatilanteista muiden sovellusten hyödyksi. [43, s. 14–17]

Eräät uusimmista laserkeilaustekniikoista ovat *Single Photon* ja *Geiger Mode* -tekniikat [44]. Molemmissa metodeissa laserpulssi hajotetaan osiin, jolloin yhdellä pulssilla voidaan mitata useita havaintoja. Pulssin hajottaminen kasvattaa myös aluetta, jolta saadaan mitattua havaintoja. Tyypillisesti kyseisillä metodeilla saadaan mitattua 20–30 pistettä neliometrille. *Geiger Mode* -tekniikassa laserkeilaimessa on eräänlainen havaintolevy, joka koostuu valoa havaitsevista pikseleistä. Jokainen pikseli havaitsee yhden fotonin laserpulssia kohden. Metodin ongelma on se, että vaikka yhdestä pulssista saadaan monta havaintoa, havaintoja ei saada esim. kasvillisuuden läpi. *Single Photon* tekniikassa havaitaan kaikki laserpulssin fotonit. Kuvassa 9 on havainnollistettu eri laserkeilausmetodien toimintatavat. [45]

Vielä toistaiseksi lineaarikeilainten tuottama aineisto on laadukkaampaa, sillä *Single Photon* ja *Geiger Mode* -laserkeilaimet tuottavat epätarkempaa aineistoa. Pistepilviaineiston kohinaisuus tulee myös ongelmaksi, kuten todettiin MML:n kilpailuttaessa Laser2020-projektin koetuotannossa käytettävää ilmalaserkeilainta. Uudet tekniikat kuitenkin kehittyvät kaiken aikaa, ja laitevalmistajat kehittelevät uusia keinoja suodattaa kohinaa pistepilviaineistosta. [44]

Eräiden tutkijoiden mukaan *Single Photon* ja *Geiger Mode* tulevat olemaan varteenotettavia metodeja seuraavan 5–10 vuoden kuluttua. Lineaarikeilaimilla tulee kuitenkin olemaan paikkansa laserkeilainmarkkinoilla, sillä uudet tekniikat tulevat olemaan kalliita. Lineaarikeilaimilla tulee todennäköisesti olemaan tulevaisuudessakin paikkansa pienien alueiden sekä korkeaa tarkkuutta vaativien laserkeilausten kanssa. [44]



Kuva 9. Eri laserkeilausmetodien toimintatavat [45].

Kehittyessään uudet laserkeilaustekniikat mahdollistavat erityisen tarkat pistepilviaineistot. Tulevaisuudessa esim. kaupunkisuunnittelussa, rakentamisessa ja restauroinnissa voidaan hyödyntää jo alusta lähtien ajantasaista ja tarkkaa aineistoa lähtötietona. [45]

5 Yhteenveto

Tämä työ keskittyi uuden kansallisen laserkeilausohjelman periaatteisiin sekä sen tuotaman aineiston hyödyntämiseen kunnissa. Tavoitteena oli selvittää keskisuurten suomalaisten kuntien ja kaupunkien kykyä em. aineiston käyttämiseen, jota tutkittiin haastattelemalla asianomaisten kuntien edustajia. Haastattelujen tulokset olivat odotettua laatua, eikä kunnilla ole suuria esteitä aineiston käyttämiselle. MML:n mukaan tulokset vahvistivat käsitystä siitä, että laserkeilausohjelman mukaisen aineiston hyödyntäminen

edellyttää pienissä ja keskisuurissa kunnissa tukea joko MML:ltä tai muulta organisaatiolta.

Laserkeilaus on ollut varteenotettava mittausmetodi vasta suhteellisen lyhyen aikaa, minkä vuoksi aiheesta laserkeilausaineiston hyödyntämisestä kuntien näkökulmasta löytyy jokseenkin suppeasti kirjoitettuja tutkimuksia ja artikkeleita, ja etenkin aiheen tulevaisuudennäkymissä on vain joko geneerisiä ideoita tai hyvin korkealentoisia suunnitelmia. Ala kuitenkin kehittyy jatkuvasti, mikä kävi ilmi vuoden 2018 InterGeo-messuilla, jossa ilmalaserkeilaus ja paikkatietosovellukset olivat erityisen näkyvästi esillä.

Laser2020-projekti alkoi helmikuussa 2019 ja sen päätavoitteista laadunvalvontaprosessin vaiheet on määritetty, pistepilvituotteiden rajattu käyttölisenssi on määritetty sidosryhmille ja koetuotannon aineiston laatu on tarkastettu uudella laadunvalvontaprosessilla. Tämän työn suhteen voitaisiin jatkotutkia pistepilvituotteiden käytettävyyttä kunnilla laajemmin, esim. ottamalla haastatteluun mukaan enemmän kuntia ja lisäämällä haastattelukysymyksien joukkoon yksityiskohtaisempia kysymyksiä, vaikka ohjelmistoista ja toimintatavoista.

Insinööriä tehtessä hyötyä oli erityisesti Metropolian laserkeilaus- ja paikkatietoanalyysit -kursseista. Laserkeilauskurssilla opetettiin käytännön asioita itse laserkeilauksesta sekä teoriaa eri laserkeilausmetodeista, kuten ilmalaserkeilauksesta. Paikkatietoanalyysit kurssilla opetettiin paitsi hyödyntämään pistepilviaineistoa paikkatiedon tarpeisiin myös se, mihin kaikkeen voidaan laserkeilausaineistoa käyttää apuna.

Lähteet

- 1 Paikkatietoalusta. Esite. Paikkatietoalusta.
- 2 Kunnille. Verkkoaineisto. Paikkatietoalusta.
<<http://www.paikkatietoalusta.fi/index.php/kunnille>>. Luettu 29.3.2019.
- 3 Laaksonen, Heli. Paikkatietoalusta – ajankohtaista kunnille juuri nyt. Webinaari. 2018. Paikkatietoalusta.
<https://youtu.be/Dmb-s_Ohnko>
- 4 INSPIRE-velvoitteet. Verkkoaineisto. Paikkatietoalusta.
<<http://www.paikkatietoalusta.fi/kunnille/inspire-velvoitteet>>. Luettu 29.3.2019.
- 5 JHS 210 Paikkatiedon käsitelmä ja geometriat: Rakennukset ja rakenteet. Verkkoaineisto. JHS-suositukset.
<<http://www.jhs-suositukset.fi/web/guest/jhs/projects/paikkatiedon-kasitemalli-ja-geometriat>>. Luettu 2.5.2019.
- 6 Laaksonen, Heli. 2019. Kartastopäällikkö, Maanmittauslaitos. Sähköpostikeskustelu 13.5.2019.
- 7 Rakennukset ja rakenteet. Verkkoaineisto. Paikkatietoalusta.
<<http://www.paikkatietoalusta.fi/index.php/kunnille/rakennuksetjarakenteet>>. Luettu 29.3.2019.
- 8 Huoneistotietojärjestelmä (ASREK-hanke). 2019. Verkkoaineisto. Maanmittauslaitos.
<<https://www.maanmittauslaitos.fi/hankkeet/asrek>>. Luettu 23.7.2019.
- 9 Visio ja tavoitteet. 2018. Verkkoaineisto. KIRA-digi.
<<http://www.kiradigi.fi/info/visio-ja-tavoitteet.html>>. Luettu 23.7.2019
- 10 Taitorakennerekisteri. Verkkoaineisto. Suomi.fi.
<<https://www.suomi.fi/palvelut/taitorakennerekisteri-vaylavirasto/a5fbb6b3-5fd1-4c26-9b6b-f9fabe84e013>>. Luettu 23.7.2019.
- 11 CityGML-3.0. 2018. Verkkoaineisto. GitHub.
<<https://github.com/opengeospatial/CityGML-3.0/tree/master/Conceptual%20Model>>. Luettu 23.7.2019
- 12 Kareinen, Juha. Lasersäteitä ja pistepilviä – laserkeilauksen ajankohtaiset. Webinaari. 2018. Paikkatietoalusta.
<<https://youtu.be/pucd3Ng7XY8>>.

- 13 Laurila, Pasi. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
- 14 Tomljenovic, Ivan; Bernhard, Höfle; Tiede, Dirk & Blaschke, Thomas. 2015. Building Extraction from Airborne Laser Scanning Data: An Analysis of the State of the Art. Remote Sensing vol. 7, no. 4 [7(4)].
- 15 Tiedonkeräystekniikat. Verkkoaineisto. Paikkatietoalusta. <<http://www.paikkatietoalusta.fi/index.php/kunnille/tiedonkeraystekniikat>>. Luettu 29.3.2019.
- 16 Kareinen, Juha. Tiheämmin, nopeammin ja tehokkaammin – kohti kansallista laserkeilausohjelmaa. Webinaari. 2018. Paikkatietoalusta. <<https://youtu.be/JA2m4i8qyAQ>>.
- 17 Laser2020. 2019. Verkkoaineisto. Paikkatietoalusta. <<http://kmtk.paikkatietoalusta.fi/projektit-ja-tyopakettit/laser2020>>. Luettu 31.3.2019.
- 18 Riegl VQ-1560i:n tekniset tiedot. 2018. Verkkoaineisto. Riegl. <http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/RIEGL_VQ-1560i_Datasheet_2018-10-16.pdf> Luettu 24.4.2019.
- 19 Riegl VQ-1560i and VQ-1560i-DW. Verkkoaineisto. Riegl. <<http://www.riegl.com/nc/products/airborne-scanning/produktdetail/product/scanner/55/>>. Luettu 23.4.2019.
- 20 Laaksonen, Heli. 2019. Kartastopäällikkö, Maanmittauslaitos. Sähköpostikeskustelu 30.7.2019.
- 21 LAS Point Cloud Format. 2019. Verkkoaineisto. United States Naval Academy. <https://www.usna.edu/Users/oceano/pguth/md_help/html/las_format.htm>. Luettu 30.7.2019
- 22 Hellgren, Daniela. 2019. Paikkatietoinsinööri, Hangon kaupunki. Haastattelu. 2.4.2019.
- 23 Vihavainen, Eero. 2019. Paikkatietosuunnittelija, Loviisan kaupunki. Haastattelu. 1.4.2019.
- 24 Mikola, Johan. 2019. Paikkatietoinsinööri, Uusikaupunki. Haastattelu. 2.4.2019.
- 25 Kuntien paikkatietojen ylläpidon selvitys on julkaistu. 2019. Verkkoaineisto. Paikkatietoalusta.

- <<http://www.paikkatietoalusta.fi/ajankohtaista/kuntien-paikkatietojen-yllapidon-selvitys-julkaistu>>. Luettu 31.3.2019.
- 26 PTA-kysely: kuntien paikkatietoaineistot ja rajapinnat: vastaukset. Verkkoaineisto. Paikkatietoikkuna. <https://pta-files-prod.s3.eu-west-1.amazonaws.com/pta-public/attachments/2019/02/PTA-haastattelu_julkinen_raportti_0.pdf?yUMWSLNU-FUF24UrhJ5EzGs6OQNJK1lo=>>. Luettu 2.8.2019
 - 27 Bitelli, Gabrielle; Girelli, Valentina Alena & Lambertini, Alessandro. 2018. Integrated use of remote sensed data and numerical cartography for generation of 3D city models. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol XLII-2.
 - 28 Biljecki, Filip; Stoter, Jantien; Ledoux, Hugo; Zlatanova, Sisi & Çöltekin, Arzu. 2015. Applications of 3D City Models: State of the Art Review. ISPRS International Journal of Geo-Information.
 - 29 van Wegen, Wim. 2018. Leading Four Decades of Innovation in Lidar Technology. GIM International, issue 5, vol. 32.
 - 30 Simoinen, Eerika. 2018. Kaupunkimallin rikastamisen keinot. Insinööriyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
 - 31 Laser2020: Esimerkki tulevaisuuden laserkeilausaineistosta. 2018. PTA:n esittelyvideo Paikkatietomarkkinoilla 5.11.2018. Paikkatietoalusta. <<https://youtu.be/3l5FD9SHI2o>>
 - 32 Salonen, Teemu. 5.11.2018. Laserkeilaus ja rakennettu ympäristö. Verkkoaineisto. Paikkatietoalusta <https://pta-files-prod.s3.eu-west-1.amazonaws.com/kmtk-public/attachments/2018/11/PTM_2018_Laser_Pori_Salonen.pdf?BXHugD5ezfipekMo8cqfQuOv_vUYrNwx=>> Luettu 21.5.2019.
 - 33 Kabite, Gizachew. 2017. Lidar Dem Data for Flood Mapping and Assessment; Opportunities and Challenges: A Review. Verkkoaineisto. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/322598440_LIDAR_DEM_Data_for_Flood_Mapping_and_Assessment_Opportunities_and_Challenges_A_Review>. Luettu 27.5.2019.
 - 34 Webster, Tim. 2010. Flood Risk Mapping Using LiDAR for Annapolis Royal, Nova Scotia, Canada. Verkkoaineisto. Remote Sensing. <<https://www.mdpi.com/2072-4292/2/9/2060>>. Luettu 31.5. 2019.
 - 35 Kukko, Antero & Jaakkola, Anttoni. 2011. Liikkuva kartoitus tiedon tuotannon etulinjassa. Maankäyttö 1/2011, s.14–16.

- 36 How cities are scanned using LiDAR Technology? 2018. Verkkoaineisto. Prakshep Tech Solutions. <<https://praksheptechnsolutions.com/2018/02/19/how-cities-are-scanned-using-lidar-technology/>>. Luettu 31.5.2019.
- 37 Fisher, Daniel. 2019. Verkkoaineisto. Data-Smart City Solutions. <<https://www.govtech.com/fs/news/Lidar-Data-Is-Becoming-an-Increasingly-Valuable-Tool-for-Cities.html>>. Luettu 17.4.2019.
- 38 Shea, Rachel. 2015/2019. Historian uses lasers to unlock mysteries of Gothic cathedrals. National Geographic. Verkkoaineisto. National Geographic. <<https://news.nationalgeographic.com/2015/06/150622-andrew-tallon-notre-dame-cathedral-laser-scan-art-history-medieval-gothic/>> Luettu 18.4.2019.
- 39 Takken, Remeo. 18.4.2019. Technologies that could be used to rebuild Notre Dame Cathedral. Verkkoaineisto. Geospatial World. <<https://www.geospatialworld.net/blogs/laser-scanning-the-notre-dame/>> Luettu 18.4.2019.
- 40 Laserkeilauksen avulla myös Notre Damen katedraali olisi mahdollista jälleenrakentaa. 2019. Verkkoaineisto. Paikkatietoalusta. <<http://kmtk.paikkatietoalusta.fi/ajankohtaista/laserkeilauksen-avulla-myos-notre-damen-katedraali-olisi-mahdollista-jalleenrakentaa>> Luettu 10.5.2019.
- 41 Gaurav, Sinha. 20.3.2018. Brief History of LiDAR, It's Evolution And Market Definition. Verkkoaineisto. BCC Research. <<http://blog.bccresearch.com/brief-history-of-lidar-evolution-and-market-definition>>. Luettu 2.8.2019
- 42 Suominen, Tauno. 2001. Laserkeilaus helikopterista suunnitteluhankkeilla. Maankäyttö 1/2001.
- 43 Hyyppä, Juha; Hyyppä, Hannu; Jaakkola, Anttoni; Matikainen, Leena; Ahlavuo, Marika & Virtanen, Juho-Pekka. 2016. Autonomiset ajoneuvot ja laserkeilaus. Maankäyttö 4/2016, s. 14–17.
- 44 Higgins, Sean. 2017. The Future of Aerial LiDAR. Verkkoaineisto. International Lidar Mapping Forum. <<https://www.lidarmap.org/wp-content/uploads/2017/01/Free-Report-Future-of-LiDAR-2017.pdf>>. Luettu 2.8.2019.
- 45 Kukko, Antero; Kaartinen, Harri; Hyyppä, Juha. 2019. Technologies for the Future: A Lidar Overview. Verkkoaineisto. GIM International. <<https://www.gim-international.com/content/article/technologies-for-the-future-a-lidar-overview-2>>. Luettu 2.8.2019

Haastattelukysymykset kunnille

- Yleiset kysymykset:
 - Nimi
 - kunta
 - tehtävä
- Näettekö voivanne hyödyntää kunnassanne keilausohjelman mukaista pistepilviaineistoa rakennustietojen päivittämiseen? Jos voitte, niin
 - millaista tukea (materiaalia, koulutusta yms.) uskoisitte tarvitsevanne tähän?
 - Onko tällä hetkellä kunnassanne käytössä ohjelmistoja, osaamista ja resursseja hyödyntää laserkeilausaineistoa?
- Minkä kaikkien kohteiden päivittämiseen kuntanne katsoo keilausohjelman aineiston soveltuvan?
- Mitä muuta kaipaatte aineistolta?
- Mitkä organisaationne osat käyttävät eniten paikkatietodataa kaupungin/kunnan organisaatiossanne?
- Mihin asioihin/prosesseihin paikkatietoa hyödynnetään nykyisin eniten, eli mistä tulee tarvetta paikkatiedolle?
- Millaisia tulevaisuudennäkymiä teillä on kuntanne suhteen laserkeilausohjelmaan liittyen?
- Miten näette alan kehittyvän laserkeilausohjelman myötä?