

## 3D-KAUPUNKIMALLIN YLLÄPITÄMINEN SEINÄJOEN KAUPUNGISSA

Rakennuksien geometriatietojen hankkiminen kehittämällä rakennuslupaprosessia sekä pintatekstuurien ja sijaintitietojen hankkiminen fotogrammetrisesti UAV – lennokilla

Paananen Markus

Opinnäytetyö  
Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

2020

Maanmittaustekniikka  
Insinööri (AMK)

---

|                                |                                      |                            |      |
|--------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|------|
| <b>Tekijä</b>                  | Markus Paananen                      | Vuosi                      | 2020 |
| <b>Ohjaaja(t)</b>              | Teuvo Heimonen                       |                            |      |
| <b>Toimeksiantaja</b>          | Seinäjoen kaupunki / Tero Kankaanpää |                            |      |
| <b>Työn nimi</b>               | 3D-kaupunkimallin ylläpitäminen      | Seinäjoen kau-<br>pungissa |      |
| <b>Sivu- ja liitesivumäärä</b> | 64 + 6                               |                            |      |

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä selvitys, miten 3D-kaupunkimallia voitaisiin päivittää tehokkaammin Seinäjoen kaupungissa. Pääpainona selvityksessä oli uusien rakennuksien geometriatietojen hankkiminen rakennuslupaprosessin kautta sekä näiden yhdistäminen fotogrammetrisesti tuotetun datan kanssa. Tällöin saataisiin tuotettua valmista aineistoa 3D-kaupunkimallia varten. Samalla selviää voidaanko hyödyntää 3D-mallin tuloksia rakennusvalvontamittauksissa. Tilaajana toimi Seinäjoen kaupungin Kiinteistö- ja paikkatietopalvelut.

Työn teoriapohjaa tuli kerättyä pääosin aiheeseen liittyvistä tutkimuksista ja internetin avoimista lähteistä. Työssä käytettyjen ohjelmien ja laitteiden käytön opastuksessa hyödynnettiin Kiinteistö- ja paikkatietopalveluiden paikallista asiantuntemusta sekä ohjelmien tuottajien keskustelufoorumeja ja manuaaleja.

Työ jakautui kolmeen osaan. Ensimmäisessä osiossa tutustutaan 3D-kaupunkimalleihin yleisellä tasolla ja mallinnus-standardeihin. Toisessa osiossa käydään tarkemmin lävitse Seinäjoen kaupungin 3D-kaupunkimallin tilannetta ja miten rakennuslupaprosessia voitaisiin kehittää keräämällä 3D-asemapiirrosta perinteisen asemapiirroksen lisäksi. Kolmannessa osiossa käsitellään testimallin perusteella selvitystyön valmiuksia käyttöönnotolle sekä käyttökohteita.

Opinnäytetyön tuloksena oli valmis opasmalli 3D-asemapiirroksen laatimiselle, joka mahdollistaa rakennuksien geometriatietojen keräämisen. Testimallin tuloksien perusteella voidaan 3D-mallista asemapiirroksesta sekä UAV mittauksista saatua dataa hyödyntää 3D-kaupunkimallin päivittämiseen sekä sijaintitarkkuuksien myötä myös rakennusvalvontamittauksiin soveltuvaksi.

Avainsanat                      3D-kaupunkimalli, UAV, 3D-malli, fotogrammetria, rakennusvalvontamittaukset

Degree Programme in Land Surveying  
Bachelor of Engineering

---

|                          |  |      |      |
|--------------------------|--|------|------|
| <b>Author</b>            | Markus Paananen  | Year | 2020 |
| <b>Supervisor</b>        | Teuvo Heimonen   |      |      |
| <b>Commissioned by</b>   | City of Seinäjoki / Tero Kankaanpää                    |      |      |
| <b>Subject of thesis</b> | Maintaining the 3D City Model of the City of Seinäjoki |      |      |
| <b>Number of pages</b>   | 64 + 6   |      |      |

---

The objective of this thesis was to investigate efficient ways to maintain the 3D city model of the city of Seinäjoki, where the urban environment continuously evolves. The thesis was commissioned by the Real Estate and Measurement Services of the city of Seinäjoki. This thesis was restricted to gathering 3D data of buildings without taking into account other topographical or semantic data within the 3D city model.

The theory section started with an overview of 3D city modelling and the status of 3D city modelling in the Finnish municipalities. The following section examined the possibility to gather geometrical 3D information of new buildings by developing the way the Building Control Services gathers building permit documents. The final section examined the possibility to produce a small 3D city model by combining the geometrical 3D data with photogrammetric data produced by UAV surveys.

As a result, a user guide was drafted to facilitate producing the 3D building permit documentation for building designers and architects. In addition, the results from the UAV survey for the 3D city model proved that the accuracy of the building locations was precise, which benefits the future possibilities of the building control surveys.

Key words                      3D city model, UAV, 3D building, photogrammetry, survey technologies

## SISÄLLYS

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | JOHDANTO .....   | 8  |
| 2     | 3D-KAUPUNKIMALLI .....                                 | 9  |
| 2.1   | Miksi 3D-kaupunkimalli? .....                          | 9  |
| 2.2   | Graafinen 3D-kaupunkimalli.....                        | 10 |
| 2.2.1 | Mesh-malli.....  | 10 |
| 2.2.2 | Geometrinen kaupunkimalli.....                         | 11 |
| 2.3   | Semanttinen 3D-kaupunkimalli .....                     | 12 |
| 2.4   | 3D-kaupunkimallinnuksen tilanne Suomen kunnissa .....  | 12 |
| 3     | 3D-KAUPUNKIMALLISTANDARDI.....                         | 15 |
| 3.1   | CityGML.....   | 15 |
| 3.2   | CityGML:n moduulimalli .....                           | 16 |
| 3.3   | CityGML:n geometriamalli.....                          | 16 |
| 3.4   | LOD-tasot .....  | 17 |
| 3.5   | 3D-visualisointistandardit.....                        | 20 |
| 3.5.1 | KML.....   | 20 |
| 3.5.2 | COLLADA .....  | 20 |
| 3.5.3 | VRML .....   | 21 |
| 4     | SEINÄJOEN KAUPUNGIN 3D-KAUPUNKIMALLI.....              | 22 |
| 4.1   | 3D-kaupunkimallin nykytilanne .....                    | 22 |
| 4.2   | Rakennuksien geometriatietojen hankinta .....          | 23 |
| 4.3   | Rakennuslupaprosessi Seinäjoen kaupungissa.....        | 24 |
| 4.3.1 | Seinäjoen rakennusvalvonta .....                       | 24 |
| 4.3.2 | Rakennuslupaprosessin kehittäminen.....                | 25 |
| 4.4   | Rakennuksen 3D-malli.....                              | 26 |
| 5     | RAKENNUSVALVONTAMITTAUKSET SEINÄJOEN KAUPUNGISSA ..... | 29 |
| 5.1   | Rakennusten sijainnin määrittäminen .....              | 29 |
| 5.2   | Asemapiirros.....                                      | 29 |
| 5.2.1 | Perinteinen asemapiirros.....                          | 29 |
| 5.2.2 | 3D-malli .....   | 32 |
| 5.3   | Sijaintikatselmukset .....                             | 32 |
| 5.3.1 | Perinteinen sijaintikatselmus .....                    | 32 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.3.2 | UAV-lennokin käyttö.....   | 33 |
| 6     | TESTIMALLI .....   | 35 |
| 6.1   | Ohtonkujan rakennukset.....  | 35 |
| 6.1.1 | 3D-mallin piirtäminen 3D-win ohjelmalla .....                                | 35 |
| 6.1.2 | 3D-mallin muodostaminen LOD2 tasoiseksi rakennukseksi FME ohjelmistolla..... | 40 |
| 6.1.3 | Rakennuksien visualisoiminen QGIS- ohjelmalla .....                          | 43 |
| 6.1.4 | Rakennuksien teksturointi Terraphotossa .....                                | 44 |
| 6.2   | Lentotyö .....   | 46 |
| 6.2.1 | Valmistelut.....   | 46 |
| 6.2.2 | Lento .....  | 49 |
| 6.3   | Ilmakuvien prosessointi.....   | 51 |
| 6.3.1 | Pix4d-ohjelma .....  | 51 |
| 6.3.2 | Rakennuksien kivijalkavektorien piirtäminen .....                            | 54 |
| 6.3.3 | Sijaintitarkkuuksien vertaaminen pohjakarttatietoihin .....                  | 55 |
| 7     | POHDINTA .....   | 59 |
|       | LÄHTEET .....  | 61 |
|       | LIITTEET .....   | 64 |

## ALKUSANAT

Tahdon kiittää Seinäjoen kaupungin Kiinteistö- ja paikkatietopalveluita opinnäytetyöni mahdollistamisesta. Erityisesti mittausinsinööriä Tero Kankaanpäättä työni oikoluvusta ja paikkatietoasiantuntijaa Jari Vähätiittoa avunannosta kaupunkimallintamiseen liittyvissä asioissa. Suurimmat kiitokset menevät omalle vaimolle ja pojille jaksamisesta ja tuen antamisesta tämän neljän vuoden kestäväen opiskeluni aikana.

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

|            |   |
|------------|---|
| BIM        | Building Information Model                          |
| CityGML    | Kaupunkimallistandardi                              |
| Collada    | 3D-visualisointistandardi                           |
| ETRS-GK23  | ETRS89- koordinaattijärjestelmän tasokoordinaatisto |
| GCP        | Ground Control Point                                |
| GML3       | Geographic Markup Language 3                        |
| GNSS       | Global Navigation Satellite System                  |
| GSD        | Ground Sample Distance                              |
| IFC        | International Foundation Classes                    |
| IM3        | Inframodel 3  |
| KML        | Keyhole Markup Language                             |
| Mesh-malli | Kolmiulotteinen kolmiverkkomalli                    |
| MRL        | Maankäyttö- ja rakennuslaki                         |
| MRA        | Maankäyttö- ja rakennusasetus                       |
| MTP        | Manual Tie Point                                    |
| N2000      | Valtakunnallinen korkeusjärjestelmä                 |
| OBJ        | 3D-formaatti  |
| OGC        | Open Geospatial Consortium                          |
| PDF        | Portable Document Format                            |
| RPAS       | Remotely Piloted Aircraft System                    |
| SHP        | Shapefile   |
| UAV        | Unmanned Aerial Vehicle                             |
| WGS84      | GPS-järjestelmän koordinaattijärjestelmä            |
| XML        | Extensible Markup Language                          |
| URI        | Uniform Resource Identifier                         |
| 2D         | Two dimensional                                     |
| 3D         | Three dimensional                                   |

## 1 JOHDANTO

3D-kaupunkimallin tarjoamat etuudet perinteisen 2D-kantakarttaan verrattuna ovat laajat ja tämän takia 3D-kaupunkimallinnus on yleistynyt Suomen kaupungeissa ja kunnissa viime vuosina. Tämä luo kumminkin haasteita siihen, miten saadaan jatkuvassa muutoksessa olevaa kaupunkirakennetta kuvaavaa kaupunkimallia päivitettyä. Laajoihin koko kaupunkirakennetta koskeviin ilmakehuksiin ja laserkuvauksiin on harvoille 3D-kaupunkimallia ylläpitäville kunnille taloudellisesti mahdollista vuosittain. Ratkaisu tähän ongelmaan on käyttää sellaisia toimintatapoja, joka tuottaisi tarpeeksi laadukasta dataa 3D-kaupunkimallin ylläpitoa varten mahdollisimman vähäisellä manuaalisella työkuormalla.

Toimeksiantajana tämän opinnäytetyön osalta toimi Seinäjoen kaupungin Kiinteistö- ja paikkatietopalvelut. Seinäjoen kaupungin paikkatietostrategiasuunnitelman mukaisesti kaupunki haluaa tarjota laadukasta sekä visuaalista kaupunkimallia suunnittelua ja rakentamista varten. Koko kaupunkia kuvaava 3D-kaupunkimallin julkaisu julkisesti oli tämän opinnäytetyön tekemisen aikana vielä työn alla ja sen päivittämiselle ei ole vielä tarkempaa suunnitelmaa. Opinnäytetyön tekijä työskentelee itse organisaatiossa kartoittajana.

3D-kaupunkimallin laajan käsitteen ja sisällön takia on tämä opinnäytetyö rajattu käsittelemään pelkästään rakennuksien geometriatietojen hankkimista ja visualisoimista. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää, miten voitaisiin hyödyntää rakennuslupaprosessin kautta kerättyä rakennuksien geometriatietoja 3D-kaupunkimallin päivittämiseen sekä UAV-lennokin valokuvista prosessoitua fotogrammetrista dataa tämän visualisoimiseen. Tarkastelussa tutkittiin myös 3D-kaupunkimallin päivittämisen lisäksi myös mahdollisuutta hyödyntää tätä dataa rakennuslupakäsittelyn tehostamiseen ja rakennusvalvontamittauksiin. Nämä olivat lähtökohdat mistä opinnäytetyön sisältö lähdettiin toteuttamaan.

## 2 3D-KAUPUNKIMALLI

### 2.1 Miksi 3D-kaupunkimalli?

3D-kaupunkimallit, eli kolmiulotteiset kaupunkimallit, yleistyvät Suomessa nopealla tahdilla ja isoimmissa kaupungeissa on jo pitkälle kehitetty 3D-kaupunkimalliintamisen osaamista. Mutta miksi halutaan kehittää 3D-kaupunkimalleja? Koska yksinkertaisesti voidaan palvella kuluttajia eli suunnittelijoita ja kaupunkirakenteenkehittäjiä uudella visuaalisemmalla ja paremmalla tavalla kuin perinteisemmällä 2D-kantakartalla eli kaksiulotteisella kantakartalla. 3D-kaupunkimalleilla voidaan visualisoida kaupunkirakenteita, kuten rakennuksia, kasvillisuutta ja infrastruktuurikohteita paremmin sekä käyttäen näitä hyödyksi erilaisissa suunnittelu-, analysointi- ja simulaatiotehtävissä (Liukkonen 2015, 21).

Kun puhutaan 3D-kaupunkimalleista, niin niitä ei voida rajata vain yhteen kategoriaan. 3D-kaupunkimallit voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan, graafiseen kaupunkimalliin ja semanttiseen kaupunkimalliin. Pohjana molempiin kaupunkimalleihin tarvitaan digitaalista maastomallia eli maaston muotoja kuvaavaa 3D-mallia, joka on tuotettu esimerkiksi kolmioimalla maastosta tuotettua pistepilviaineistoa. Tämän maastomallin päälle sijoitetaan rakennukset ja muut kaupunkikohteet muodostaen 3D-kaupunkimallin. Semanttinen kaupunkimalli eroaa graafisesta kaupunkimallista sen kaupunkikohteiden sisältämien ominaisuuksien takia. Nämä ominaisuudet tekevät semanttisesta kaupunkimallista paljon monimutkaisempi, mutta avaa enemmän mahdollisuuksia mallin käytölle.

Hyvänä esimerkkinä kaupunkimallintamisesta voidaan pitää Helsingin kaupungin 3D-kaupunkimallia (Helsingin kaupunki 2019a). Helsingin kaupungilla on ollut etumatkaa 3D-kaupunkimallinnuksessa, kun se on jo 1980-luvulla saanut käyttöönsä ensimmäiset 3D-virtuaalimallit, missä oli mallinnettu mm. Kansallismuseo ja Rautatieasema. 2010-luvulla Helsingin kaupunki on ottanut harppauksia eteenpäin 3D-kaupunkimallinnuksessa, ja nykyään Helsingin kaupungin kotisivujen kautta pystyy katsomaan Helsingin keskustaa joko graafisena tai semanttisena kaupunkimallina (Helsingin kaupunki 2019b).

## 2.2 Graafinen 3D-kaupunkimalli

### 2.2.1 Mesh-malli

Mesh-malli eli kolmiulotteinen kolmioverkkomalli on hyvin pitkälle tietokonesovelluksilla automatisoitu tapa luoda 3D-kaupunkimallille sen ”kuoren” eli kohteille 3D-muodot. Mallin tekoa varten tarvitaan kuvattavasta alueesta laajan kuvasarja, joka on otettu joko ilmasta päin lentokoneella tai kauko-ohjatulla droonilla, virallisemmin Unmanned Aerial Vehicle (UAV) laitteella. Lentokoneella pystytään ottamaan kuvia laajemmilta alueilta ja luomaan näin kerralla laajempia mesh-malleja verrattuna drooneihin. Droonilla taas voidaan kätevämmiin suoritamaan pienempiä lentoja kustannustehokkaammin. (Sinervä 2019, 2–3.)

Kuvasarjat tulee olla otettuna laajalla pituus- ja leveyspeitolla. Näin tietokonesovellukset pystyvät etsimään jokaisesta päällekkäisestä kuvaparista vastinpisteitä muodostaen näin yhtenäisen kuvablokin, jossa kuvien keskinäinen asema on toisiinsa tunnettu (Sinervä 2019, 35). Tämän jälkeen tietokonesovellukset pystyvät laskemaan kuvablokista tiheään pistepilven, missä jokaisella pisteellä on x-, y- ja z-koordinaatit muodostaen alueesta 3D-mallin. Jokaiselle pisteelle pystytään valokuvista ottamaan sille oikea väripikseli ja värjäämään pistepilveä vastaamaan todellisuutta.

Mesh-malli saadaan, kun pistepilveä lähdetään kolmioimaan muodostaen ”kuoren” jokaiselle pinnalle ja näin pistemäisestä pinnasta saadaan tasaisempi ja suljetumpi. Ongelmana mesh-malleissa on yleisesti ne kohteet mitä valokuvista ei saada täydellisesti kuvattua kuten mm. räystäiden ja katosten alustat. Nämä kohdat kuvautuvat kolmioinnin yhteydessä virheellisesti ja antavat näin väärän kuvan kohteesta. Tämä on hyvin yleistä ilmasta päin kuvatuilla alueilla ja ongelman voi korjata lisäämällä aineistoon maasta päin kuvattu aineisto, missä on näkyvissä paremmin nämä ongelmakohdat.

Toinen ongelma on Sinervän mukaan se, että mesh-malleja ei voida käyttää tietokoneanalyysissä, koska nämä eivät ole homogeenisia (Sinervä 2019, 2). Tällöin mallista ei pysty esimerkiksi poistamaan yksittäistä rakennusta suoraan, koska rakennus itsestään ei ole yksi yhtenäinen kappale vaan koostuu kolmioiden muodostamasta pinnasta eli ”kuoresta”.

### 2.2.2 Geometrinen kaupunkimalli

Mesh- tai geometrinen 3D-kaupunkimalli ovat kumpikin perinteisiä tapoja esittää 3D-kaupunkimallia, molemmat tarjoavat katsojalle visuaalisen 3D-näkymän alueesta. Geometrinen malli eroaa mesh-mallista siinä, että geometrinen malli sisältää vektorimaisia kohteita, kuten mm. rakennukset. Tämä taas auttaa niissä ongelmissa, kun halutaan poistaa kohteita mallista. Koska rakennukset ovat vektorimaisesti piirrettynä mallissa, niitä voidaan osoittaa yhtenäiseksi kappaleeksi, kun joku kappale on yhtenäinen sitä voi muokata ja halutessaan poistaa kokonaan. (Sinervä 2019, 4.)

Rakennuksien vektorointi voidaan tietokonesovelluksien avulla, joko piirtää manuaalisesti käsin käyttäen avuksi pistepilveä ja ilmakuvia tai vaihtoehtoisesti käyttäen automatisoitua sovelluksia, joka vektoroi rakennukset automaattisesti. Manuaalinen käsittelytapa on hyvin työläs ja näin kustannustehoton tapa, kun taas automaattinen vektorointitapa vaatii panostusta tietokonesovelluksiin, jotka voivat olla arvokkaita. Hyvä esimerkki tällaisesta tietokoneohjelmasta on Microstation Terrasolid sovellus, joka on suunniteltu juuri pistepilviaineistojen luokiteluun, käsittely ja vektorointiin (Sinervä 2019, 28).

Geometrisen 3D-kaupunkimallin vektorimaiset kohteet, kuten rakennukset eivät tarvitse olla pistepilviaineistosta muodostettuja. Rakennuksien geometriatiedot voi hankkia myös suoraan rakennussuunnittelijalta rakennuslupaprosessin yhteydessä. Tällöin puhutaan rakennuksien IFC-malleista tai sitten tämän opin- näytetyön mukaisesta rakennuksien pelkistetyistä 3D-mallista eli ns. ”rautalan- kamallista”. Tästä enemmän opin- näytetyön myöhemmässä osiossa.

IFC-tietomallimalli eli International Foundation Classes (IFC) on erittäin yksityis- kohtainen tiedonsiirtoformaatti BIM-datalle eli Building Information Model (BIM)- datalle. Tämä on suunniteltu yksittäisten rakennuksien 3D-mallien mallintami- seen. Malli sisältää rakennuksen ulkoisten geometriatietojen lisäksi myös tietoja rakennuksen sisällä olevien kohteiden tarkempia tietoja, kuten mm. ilmanvaiht- oputkien sijainteja tai seinämateriaalin ominaisuustietoja. Ongelmana näissä 3D-kaupunkimallin näkökannalta on se, että nämä mallit eivät ole suunniteltu

siten, että niitä voitaisiin monta mallia liittää yhteen laajemman kokonaisuuden hahmottamiseksi, koska syynä ovat raskaat tiedostot. (Liukkonen 2015, 42.)

### 2.3 Semanttinen 3D-kaupunkimalli

Semanttinen 3D-kaupunkimalli on paljon enemmän kuin pelkkä visuaalinen kolmiulotteinen kuva. Semanttinen 3D-kaupunkimalli sisältää kohteiden kuvien ja geometrian lisäksi, sellaiset rakenteet, jotka kertovat mitä tyyppiä kohteet ovat ja minkälaisia suhteita niiden välillä on. Tämän avulla voidaan suorittaa erilaisia kyselyitä kuten esimerkiksi *kuinka monta huonetta rakennuksessa on? kuinka iso kattopinta-ala kyseisellä talolla on aurinkoon päin ja paljonko aurinkoenergiaa voitaisiin sillä tuottaa?* (Liukkonen 2015, 21.)

Liukkosen mukaan rakentamisessa voitaisiin soveltaa käytettyjä digitaalisia tietomalleja (BIM), semanttisen 3D-kaupunkimallin käyttöön. Käytäntö on jo osoittautunut hyväksi, kun saadaan koko rakennusprojekti ns. yhteen kansioon missä voidaan kuvata koko elinkaaren tiedot digitaalisessa muodossa eli suunnittelu, rakentaminen, kunnossapito ja purkaminen. Infra-rakentamisessa ollaan myös soveltamassa samanlaista digitaalista tietomallia eli Suomen Inframodel 3-standardia (IM3). Liukkosen mukaan Suomessa tietomallit nähdään suunnittelun apuvälineenä, joka voi toimia suunnittelun eri tasoilla ja rakennuksien suunnittelusta jopa seudulliseen suunnitteluun. (Liukkonen 2015, 22.)

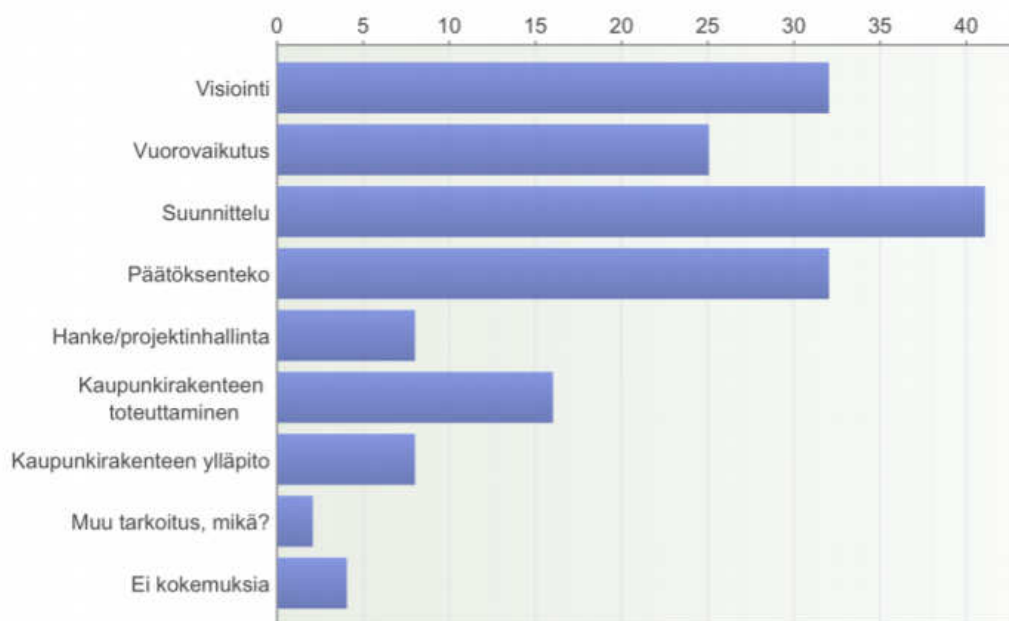
3D-kaupunkimallit tulisi olla kaupunkisuunnittelussa ja rakentamisessa samanlaisessa keskiössä, kuten rakennuksien tietomallit talojen rakentamisessa. Eli samalla tavalla kuin BIM-malleissa pystytään seuramaan koko rakentamisen elinkaarta ja varmistua siitä, että rakentaminen pysyy suunnitelmassa, voitaisiin myös kaupunkisuunnittelussa välttämään virheitä ja optimoida rakentamista. (Liukkonen 2015, 25.)

### 2.4 3D-kaupunkimallinnuksen tilanne Suomen kunnissa

3D-kaupunkimallintaminen on yleistynyt monissa kunnissa viimeisten vuosien aikana ja ongelmana on vielä yhteisten pelisääntöjen puuttuminen, miten 3D-kaupunkimallit tulisi luoda ja, miten ne olisivat yhteensopivia keskenänsä. Tä-

hän haettiin vastauksia vuosien 2014 ja 2015 sijoittuvalle Kuntaliiton ja Buildingsmart Finland:in yhteisellä KM3D-hankkeella (Kuntaliitto 2019). Hankkeen yksi osapuoli oli toteuttaa kyselyn Suomen kunnille, missä haluttiin kartoittaa millä mallilla 3D-kaupunkimallintaminen on.

Hankkeen tavoitteena oli laatia kunnille yhteiset ohjeistukset, miten siirtyä 2D-kantakartasta 3D-kaupunkimalliin. 3D-kaupunkimalli kyselyyn vastasi 47 ihmistä eri kunnista ympäri suomea ja tämä antoi pohjan ohjeistuksen laatimiselle. Ohjeistuksen laatijaksi valittiin Aalto-yliopiston diplomi-insinööriopiskelija Oskari Liukkonen, joka teki aiheesta oman diplomityön. Liukkonen mukaan laajan kyselyn mukaan saatujen vastauksien perusteella voidaan todeta, että tavoitteena kunnilla 3D-kaupunkimallien teossa oli parantaa visiointia, vuorovaikuttavuutta, suunnittelua ja päätöksentekoa (Kuvio 1). (Liukkonen 2015, 13.)

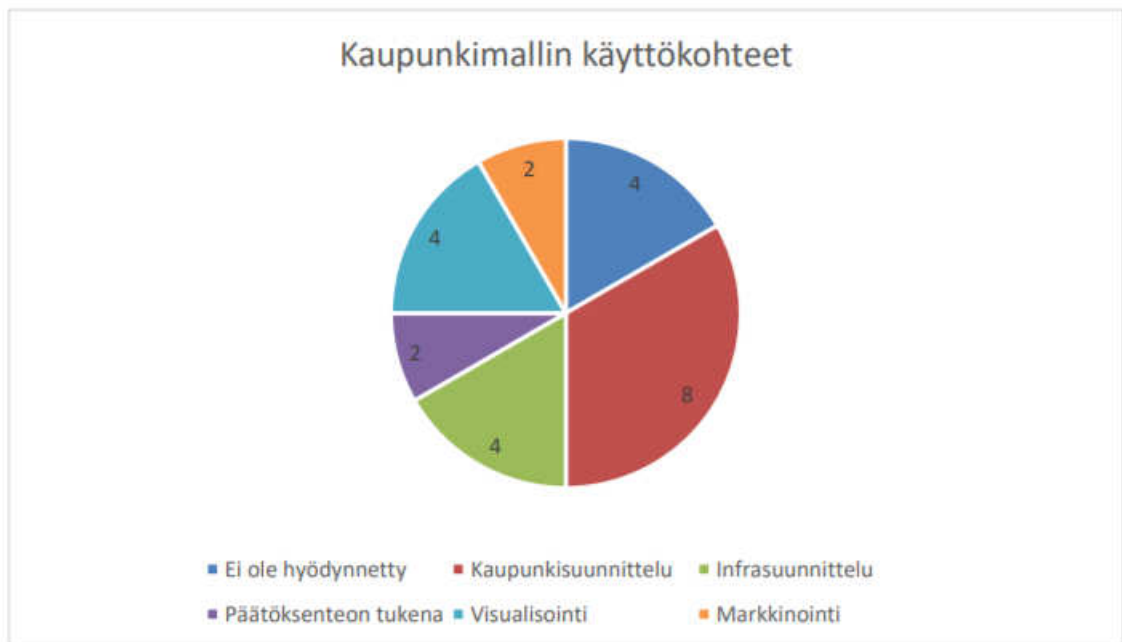


Kuvio 1. Kuntaliiton 3D-kaupunkimallikysely (Liukkonen 2015, 14)

Liukkonen mukaan kuntien 3D-kaupunkimallintamisessa on kumminkin paljon haasteita ja avoimia kysymyksiä. Kyselyn mukaan suurimmat haasteet koettiin 3D-kaupunkimallin mallintamisessa, tiedonsiirrossa, ylläpidossa, hyödyntämisessä ja yhteisen kaupunkimallistandardin puutteella. Kyselyn lisäksi Liukkonen halusi varmistaa kyselyn tuloksia ja haastatteli asiantuntijoita eri 6 eri kaupungista Helsingistä, Espoosta, Vantaalta, Keravalta, Lahdesta ja Seinäjoelta. Asi-

antuntija haastattelujen tulokset olivat hyvin samankaltaiset, kuin KM3D-hankkeen kyselyssä. (Liukkonen 2015, 13.)

Tuoreempi kysely kuntien 3D-kaupunkimallintamisesta on Jussi Sinervon vuonna 2019 tehty lopputyö, missä kyselyyn vastasi 16 kaupungin edustajaa. Yksi kysymys oli, miten kaupunkimallia kaupungissa oli hyödynnetty? Vastaajista suurin osa oli käyttänyt 3D-kaupunkimallia kaupunkisuunnittelun apuvälineenä (Kuvio 2). Eli 3D-kaupunkimallin tärkein käyttökohde ei ole vuoden 2014 KM3D-hankkeen (Kuvio 1) kyselyn jälkeen muuttunut. Haasteita on vielä, koska 2019 kyselyn mukaan (Kuvio 2) kaksi kuntaa 16:sta ei ole pystynyt hyödyntämään 3D-kaupunkimallia mitenkään. (Sinervo 2019, 23.)



Kuvio 2. Kaupunkimallin käyttökohteet kunnissa (Sinervo 2019, 23)

Kuntaliiton KM3D-hankkeen tavoitteena oli laatia kansallisia 3D-kaupunkimallinnusohjeita, mistä saataisiin vastauksia avoimiin kysymyksiin ja tutkittua kuinka hyvin avoimen CityGML-kaupunkimallistandardi sopisi Suomen 3D-kaupunkimallistandardiksi.

### 3 3D-KAUPUNKIMALLISTANDARDI

#### 3.1 CityGML

Vuonna 2002 ryhmä nimeltä SIG 3D (Special Interest Group 3D) alkoi kehittää CityGML-standardia. Ryhmä koostui yli 70 yrityksestä, kunnasta ja tutkimuslaitoksesta Saksasta, Isosta-Britanniasta, Itävallasta, Sveitsistä ja Hollannista. Tavoitteena oli kehittää ja luoda yhteiset määritelmät 3D-kaupunkimallien kohteiden semanttisille ominaisuuksille, rakenteille ja luokille. (Liukkonen 2015, 28.)

CityGML on avoin kaupunkimallistandardi, joka on Open Geospatial Consortium (OGC) kansainvälisesti hyväksytty standardi. CityGML on kehitetty Geographical Markup Language 3 (GML3) kielelle, joka perustuu XML:n (Extensible Markup Language) kielen päälle. Tämä mahdollistaa helpon ylläpitämisen ja laajat käyttömahdollisuudet CityGML-standardille jopa kustannustehokkaasti, kun tietoja pystyy käyttämään muissakin erilaisissa sovelluksissa. (OGC 2012a.)

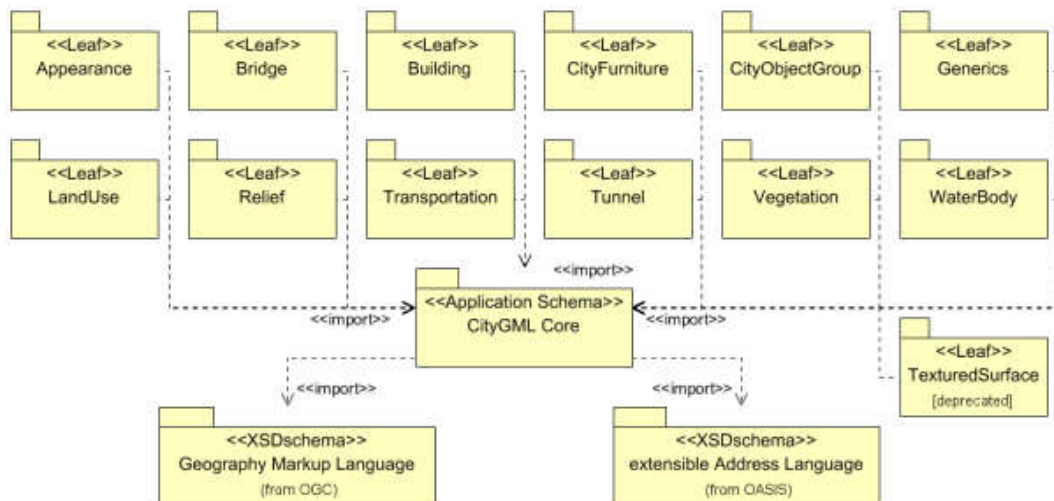
CityGML:n avulla pystytään viemään 3D-kaupunkimallit seuraavalle tasolle verrattuna perinteisempään visuaaliseen 3D-kaupunkimalliin. Tämä on mahdollista, kun lisätään ominaisuustiedot eli semantiikka kaikille kohteille. GML3 kielen tulkia voidaan jakaa ominaisuustiedot omiin kategoriamoduuleihin tai "laatikoihin". Yhdistämällä nämä toisiinsa tarpeen mukaan voidaan CityGML-standardiin perustuvasta kaupunkimallista suorittaa analyyseja ja kysymyksiä. Tämä on ollut suunnittelun yksi tärkeimpiä tehtäviä, että tiedetään, mikä on kohteiden välinen johdonmukainen laatu tai tila. Kun nämä kaksi asiaa ovat linkitetty, voidaan suorittaa erilaisia kyselyjä, kuten esimerkiksi kattojen pinta-alojen määrä tiettyyn ilma-suuntaan päin. Toinen tärkeä asia semantiikan ja geometrian lisäksi on pintojen ulkoasuinformaatio. Ulkoasuinformaatioon voidaan sisältää dataa, ei pelkästään visuaalista mutta myös erilaisia teemoja, kuten pintojen infrapunasäteilyjä ja melusaastetta (Liukkonen 2015, 35).

CityGML-tietomallin monipuolisuutta lisää mahdollisuus kytkeä ulkoisia tietokantoja tietomallin ExternalReference ominaisuuden kautta. Tämä tarkoittaa, että kaupungit voivat käyttää olemassa olevia tietokantoja mistä löytyy tietoja mm. osoitteista ja kiinteistön omistajista ja hyödyntämään linkittämällä näitä tietoja

CityGML-tietomalliin kohteisiin käyttämällä Uniform Resource Identifier:ia (URI), joka on yleinen internetviittausmenetelmä. (Liukkonen 2015, 40.)

### 3.2 CityGML:n moduulimalli

CityGML:n moduulirakenne voidaan jakaa kahteen osaan ydinmoduuliin ja tämän laajennusmoduuleihin (Kuvio 3). Jokainen laajennusmoduuli sisältää tiedot eri alueista mm. rakennukset, digitaalisesta korkeusmallista, vesistöistä, kasvillisuudesta, liikenneinfrastruktuurista ja muista kohteista. Näitä laajennusmoduuleita pystytään ottamaan käyttöön tarpeen mukaan, joten kaikkia ei tarvitse olla mukana kaupunkimallissa. (Liukkonen 2015, 30.)

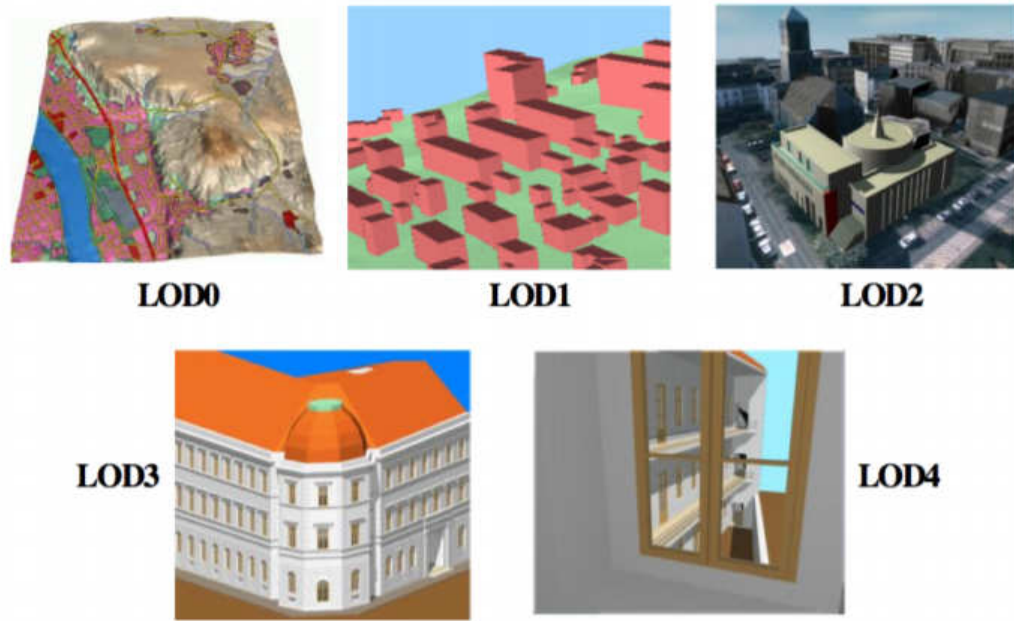


Kuvio 3. CityGML:n moduulirakenne ja niiden väliset riippuvuudet (OGC 2012b, 19)

### 3.3 CityGML:n geometriamalli

Kohteiden geometria ja topologia eli spatiaaliset ominaisuudet on esitetty GML3-kielen geometriamallin mukaisesti (Kuvio 4). Tämä geometriamalli koostuu ns. primitiiveistä, joita yhdistelemällä voidaan luoda erilaisia komplekseja (complex), yhdistelmägeometrioita (composite geometry) ja yhdistelmiä (aggregate). Näistä saadaan luotua kohteille niiden muodot eli piste-, kaari-, pinta- ja kappalemuodot (Liukkonen 2015, 31).





Kuvio 5. CityGML- standardin LOD-tasot, LOD0-LOD4 (Liukkonen 2015, 37)

Tarkkuustasoilla määritellään kuinka tarkasti kohteet ovat kuvattuna tietomallissa mitä suurempi tarkkuustaso, sitä tarkemmin ovat kohteet kuvattuna.

- Ensimmäinen LOD- taso eli LOD0 sisältää digitaalisen maastomallin minkä päälle voidaan esimerkiksi lisätä ilmakuvia kuvamaan maastoa ja rakennukset ovat esitettynä viivamaisina polygoneina.
- LOD1-taso eroaa LOD0 tasosta siten että, rakennukset ovat esitettynä laatikkomalleina missä korkeus on otettu esimerkiksi kerrosmäärästä ja katot ovat suoria tasoja.
- LOD2-tasossa rakennuksien katot ovat kuvattuina oikean muotoisina ja seinäpinnoille sekä katoille on lisätty pintatekstuureja. Tasoon on mahdollista lisätä kasvillisuutta.
- LOD3-tasossa mennä jo arkkitehtitasolle missä seinä- ja kattotasot sisältävät jo yksityiskohtaisia muotoja.
- LOD4-taso on tarkin taso, missä rakennuksien sisätilat ja pienimmätkin yksityiskohdat ovat kuvattuina. (Liukkonen 2015, 37)

Rakennuksien ja kohteiden tarkemmat kuvaukset tasoittain on kuvattuna taulukossa (Taulukko 1). Kuvattavien rakennuksien sijaintitarkkuudet eivät ole tark-

koja, jos verrataan kaupunkien omiin tietokantajärjestelmiin missä tarkkuudet ovat senttimetriluokkaa. LOD0-tason 3D-pisteiden tarkkuus pyörii noin 5 metrin tarkkuudessa ja LOD4-tason 3D-pisteiden tarkkuus on noin 20 cm. Mutta CityGML-tietomallissa voidaan yhdistellä eri LOD-tasojen ominaisuuksia, kuten esimerkiksi LOD4-tason sijaintitarkkuus ja LOD3-tason rakennuksien rakenteiden tarkkuus ilman LOD4 tason sisäisiä rakenteita.

Taulukko 1. CityGML-standardin LOD-tasojen tarkkuusmäärittelyt (Liukkonen 2015, 39)

|  | LOD0                    | LOD1  | LOD2  | LOD3  | LOD4   |
|--|-------------------------|---|---|---|--|
| Mallin kuvaus                              | aluemalli, maisemamalli | kaupunkimalli, aluemalli                    | kaupunkimalli, kaupunginosamalli, projektimalli   | kaupunginosamalli, ulkoinen arkkitehtimalli, maamerkkimalli | sisäinen arkkitehtimalli, maamerkkimalli                                       |
| Tarkkuusaste                               | matalin                 | matala                                      | välttävä  | korkea  | korkein  |
| 3D-pisteiden tarkkuus (sijainti / korkeus) | matalampi kuin LOD1:ssä | 5/5m  | 2/2m  | 0.5/0.5m  | 0.2/0.2m   |
| Yleistys                                   | suuri yleistysaste      | kohteet yleistettyinä laattikoina > 6*6m/3m | Kohteet yleistettyillä yksityiskohdilla > 4*4m/2m | todelliset rakennukset > 2*2m/1m                            | todelliset rakennukset, jossa sisäiset rakenteet otettu huomioon               |
| Rakennuksen rakenteet                      | ei                      | ei  | yleistetyt rakenteet                              | tarkat ulkoiset rakenteet                                   | tarkkojen ulkoisten rakenteiden lisäksi myös sisäiset rakenteet, kuten huoneet |
| Rakennuksen katto                          | ei                      | tasainen                                    | yleistetty  | todellinen  | todellinen   |
| Rakennuksen kattorakenne                   | ei                      | ei  | kyllä, jos tiedossa                               | kyllä   | kyllä  |
| Kaupunkihuonekalut                         | ei                      | tärkeät kohteet                             | yleistetyt prototyyppit                           | todelliset prototyyppit                                     | todelliset prototyyppit  |
| Kasvillisuuskohteet                        | ei                      | tärkeät kohteet                             | prototyyppi > 6m                                  | prototyyppi > 2m  | prototyyppi, todellinen muoto  |
| Kasvillisuusalueet                         | ei                      | >50*50m                                     | >5*5m   | < LOD2  | <LOD2  |

### 3.5 3D-visualisointistandardit

#### 3.5.1 KML

Pelkästään rakennusten tai kohteiden geometriset ulottuvuudet esitettynä CityGML-formaatin muodossa voi olla turhan raskasta, koska CityGML on rakennettu ensisijaiseksi lähtötietomalliksi 3D-kaupunkimallien perustaksi missä visualisointi on osa kokonaisuutta. Tämän takia rakennusten tai kohteiden geometriatiedot voidaan kerätä eri standardeita hyödyntäen saadaksesen kevyemmän tiedoston 3D-kaupunkimallivisualisoiteja varten, kuten esimerkiksi Keyhole Markup Language (KML).

KML on alun perin Googlen kehittämä standardi paikkatiedon tallentamiseen, visualisointiin, siirtoon ja kommentointiin. Google halusi KML:stä kansainvälisesti hyväksytyä standardia, joten antoivat KML:n OGC:lle vuonna 2007 kehitettäväksi. Vuotta myöhemmin OGC hyväksyi KML:n versio 2.2 viralliseksi standardiksi. KML- standardi on rakennettu XML- kielen päälle, joka tekee standardista yhteensopiva esimerkiksi CityGML:n kanssa. Ero CityGML-standardiin on semantiikan puuttuminen kohteiden tiedoista. (Liukkonen 2015, 29.)

#### 3.5.2 COLLADA

Collada on Khronos Groupin ylläpitämä avoin standardi 3D-datan hallintaan ja esittämiseen. Khronos Groupilla on yli 150 eri jäsenyritystä, joka kehittää yhdessä standardeja eri 3D-grafiikalle, virtuaalitodellisuuteen ja koneoppimiseen (Khronos Group 2020).

Collada-formaatti perustuu XML-kielen päälle samoin kuin KML. Formaatti mahdollistaa 3D-kohteiden geometrian, topologian ja tekstuurin määrittämisen, mutta ilman kohteiden semantiikkaa samoin kuin KML:ssä. Alun perin Collada-formaattia kehitti Sony omiin Playstation- konsoleihin visualisointityökaluksi. Myös Google on käyttänyt näitä formaatteja mm. Googlen SketchUpissa ja Google Earthissa. (Liukkonen 2015, 29.)

### 3.5.3 VRML

Virtual Reality Modelling Language (VRML) julkaistiin vuonna 1995 ensimmäisenä verkkopohjaisena tiedostomuotona 3D-kohteiden esittämiseksi, ja se on Web 3D consortiumin hyväksymä standardi. VRML:stä tuli nopeasti yleinen käyttötyökalu taiteilijoille ja insinööreille, ja sai vuonna 1997 ISO-sertifikaatin. VRML ei perustunut XML-kielen päälle, joten yhteensopivuus muiden sovellusten kanssa oli hankalampaa. Tämän takia Web 3D Consortium alkoi kehittää formaattia myöhemmin XML-kielen päälle sopivaksi. (Web 3D Consortium 2020.)

Kehityksen tulos oli X3D-formaatti, joka korvasi VRML tiedostoformaatin. Käyttöalueita X3D-formaatilla on mm. lääketieteessä, CAD, GIS ja 3D-tulostuksessa (Web 3D Consortium 2020). Vaikka X3D-formaatti perustuu XML-kielen päälle ja näin monikäyttöisempi on sen käyttö jäänyt vähäisemmälle kuin esim. KML- ja Collada-formaateilla, koska vain muutamat web-pohjaiset katseluohjelmat ja kaupalliset ohjelmistot tukevat X3D-formaattia (Liukkonen 2015, 30).

## 4 SEINÄJOEN KAUPUNGIN 3D-KAUPUNKIMALLI

### 4.1 3D-kaupunkimallin nykytilanne

Seinäjoen kaupunki kasvaa joka vuosi, joten pohjakartan ylläpitäminen on ratkaisevassa asemassa onnistuneessa asemakaavoituksessa. Laadukas paikkatietoaineisto perinteisen 2D-pohjakartan lisäksi mahdollistaa laadukkaan suunnittelun ja auttaa kaavoittajia sekä suunnittelijoita tekemään parempia asuinympäristöjä. Vuonna 2017 valmistui Seinäjoen kaupungin ensimmäinen paikkatieto-ohjelma, joka ulottuu vuosille 2017–2020. Paikkatieto-ohjelma pohjautui kansalliseen paikkatietostrategiaan, lakiin paikkatietoinfrastruktuurista sekä EU:n Inspire-direktiiviin (Seinäjoen kaupunki 2020a, 7).

Paikkatieto-ohjelmassa painotetaan ajantasaisen, laadukkaan ja kattavan paikkatiedon tärkeyttä päätöksenteossa, ja miten paikkatietoa kerätään ja hyödynnetään (Seinäjoen kaupunki 2020a, 5). 3D-kaupunkimalli on tärkeässä asemassa kattavan tietokantajärjestelmän ohella uusien alueiden tai rakennuksien sijoittelussa, kuten esimerkiksi olemassa olevaan rakennuskannan yhteydessä. Kuviossa 6 pystyy näkemään miten fotogrammetrisesta pistepilvestä muodostettu mesh-malli voidaan hyödyntää uudisrakennuskohteen sijoittelussa ja nähdä miten rakennus sulautuu ympärillä olevaan ympäristöön. Tästä voi esimerkiksi kaavoittaja nähdä kuinka tontin rakennustehokkuus vaikuttaa rakennuksen kerrosmäärään, ja siten myös ympäristöön.



Kuvio 6. Uudisrakennuksen sovittelu 3D-kaupunkimallia hyödyntäen (Seinäjoen kaupunki 2020a, 16)

Paikkatieto-ohjelman tavoitteena oli saada laadukasta ja ajantasaista paikkatieto-aineistoa mahdollisimman avoimesti kaikkien saataville, jotta yritykset pystyisivät käyttämään aineistoja oman liiketoimintansa apuna ja kehittämiseen kaupungin lisäksi. Myös asukkailla olisi mahdollisuus tarkistaa paikkatietoaineistojen avulla uusia kehittämiskohteita ja näin ymmärtämään paremmin kokonaisuuksia näin voitaisiin kohdentaa ehdotuksia ja mielipiteitä tarkemmin sekä välttämään väärinkäsityksiä. (Seinäjoen kaupunki 2020a, 13.)

#### 4.2 Rakennuksien geometriatietojen hankinta

Seinäjoen kaupungilla on tällä hetkellä käytettävissä kaksi eri 3D-kaupunkimallia fotogrammetrinen 3D-kaupunkimalli ja erillinen LOD2-tason 3D-kaupunkimalli. LOD2-tason rakennukset ovat mallinnettu laserkeilausaineistoista ja teksturoitu fotorealistiseksi (Vähätiitto 2020). Fotogrammetrinen 3D-kaupunkimalli on rakennettu yhdistämällä vuoden 2015 viistoilma- ja ortokuvat. Se kattaa laajasti Seinäjoen kantakaupungin alueen (Kuvio 7). Fotogrammetrinen 3D-kaupunkimalli toimii Bentley Microstation:in Cesium sovelluksella, joka kehittää ja luo verkkopohjaisia alustoja 3D-sovelluksille (Cesium 2020). Näin on pystytty tarjoamaan 3D-kaupunkimallia kaikille katsottavaksi ja käytettäväksi (Vähätiitto 2020), 3D-kaupunkimalli löytyy osoitteesta [http://paikkatieto.seinajoki.fi/Cesium/Apps/KantaSeinajoki2015\\_Cesium/App\\_CCWebView2](http://paikkatieto.seinajoki.fi/Cesium/Apps/KantaSeinajoki2015_Cesium/App_CCWebView2).

Verkkopohjaisessa 3D-kaupunkimallissa voi vapaasti katsoa kaupunkia eri näkökulmista ja suorittaa erilaisia mittauksia, kuten esimerkiksi kohteen pituutta, leveyttä tai korkeutta. Tämän lisäksi voi tarkistaa tietyn pisteen koordinaatit WGS84-koordinaattijärjestelmässä ja korkeuden N2000-korkeusjärjestelmässä. Lisäksi pystyy mittaamaan pinta-aloja.



Kuvio 7. Cesium alustan 3D-kaupunkimalli verkossa, alueena Seinäjoen kaupungin Aalto-keskus

Vähätiiton mukaan 3D-kaupunkimallin täydentäminen esimerkiksi uusien asuntoalueiden osalta voitaisiin hyvin päivittää UAV-lentojen prosessoituja mesh-malleja hyödyntäen. Näin saataisiin 3D-kaupunkimallit päivitetty nopeammin, koska laajempia koko kaupungin kattavia ilmakuvauksia ja keilauksia kaupunki suorittaa noin 3-5 vuoden välein. (Vähätiitto 2020.)

### 4.3 Rakennuslupaprosessi Seinäjoen kaupungissa

#### 4.3.1 Seinäjoen rakennusvalvonta

Seinäjoella rakennuslupaprosessista vastaa rakennusvalvonta. Rakennusvalvonnan tehtäviin kuuluu edistää turvallisen, terveellisen ja viihtyisän elinympäristön rakentumista (Seinäjoen kaupunki 2020b, 3). Rakennuslupaprosessin alkuvaiheessa eli rakennuslupakäsittelyssä rakennusvalvonta voi ottaa kantaa jos uudisrakennus ei täytä näitä kriteerejä. Edistääkseen rakennuslupakäsittelyn sujuvuutta ja aikataulua kannattaa olla yhteydessä rakennusvalvontaan jo ennen rakennusluvan jättämistä näin voi varmistaa että reunaehdot rakennusluvan hyväksymiselle täyttyisivät (Seinäjoen kaupunki 2020b, 3).

Rakennuslupaprosessin alkuvaiheesta eli rakennuslupakäsittelystä ja rakennusluvan päätöksestä vastaa rakennusvalvonta. Rakennuslupapäätöksen tekijä voi olla rakennustoimenpiteen laajuudesta ja laadusta kiinni joko lupiasiainlautakunta, rakennustarkastaja tai lupainsinöörit, jotka hyväksyvät rakennusluvan kun kaikki kriteerit täyttyvät (Seinäjoen kaupunki 2020c, 2). Rakennusluvut kiertävät ennen lopullista hyväksyntää kaupunkiorganisaation sisällä missä jokaisen organisaation rakennusluvista vastaava henkilö voi tehdä lupaan lausuntoja. Lausuntoja tehdään rakennuslupaun, jos jostakin syystä lupa poikkeaa normeista tai olisi joku muu asia jota rakennuslupapäätöksen tekijä olisi hyvä tietää ennen kuin antaa lopullista hyväksyntää rakennusluvalle. Uudisrakennuksen rakennuslupaun rakennusvalvonta pyytää lausuntoja mm. seuraavilta kaupungin organisaatioilta:

- Julkisivutoimikunta
- Yhdyskuntatekniikan suunnitteluyksikkö
- Energialaitos
- Sähkölaitos
- Vesi- ja viemärlaitos
- Mittauspalvelut.

Tämän opinnäytetyön yhtenä tavoitteena on kehittää rakennuslupaprosessia siten että, uusista rakennuskohteista tulisi suoraan rakennusluvan suunnittelijalta rakennuksista 3D-rautalankamalli. Tätä rakennuksista piirrettyä 3D-rautalankamallia pystyisivät kaupungin organisaatiossa hyödyntämään ainakin Julkisivutoimikunta ja Mittauspalvelut rakennusluvan muistutuksia antaessaan.

#### 4.3.2 Rakennuslupaprosessin kehittäminen

Rakennusluvan pääpiirustuksiin kuuluu asema-, pohja-, leikkaus- ja julkisivupiirustukset (Seinäjoen kaupunki 2020c, 3). Nämä pääpiirustukset ovat pakollisia asiakirjoja, jotka on kirjattu Maankäyttö- ja rakennuslakiin (MRL 17:120.2 §). Näiden pakollisten asiakirjojen lisäksi kaupunki voi pyytää rakennusluvan suunnittelijalta lisätietoja, kuten esimerkiksi sähköisen version asemapiirroksesta (DWG), joka on käytössä Seinäjoen kaupungilla. Lisäasiakirjojen pyytäminen

tai niiden uupuminen ei kumminkaan ole este rakennusluvan myöntämiselle. Kuitenkin sähköisessä asemapiirroksessa ilmenee yleisesti pari ongelmaa. Ensimmäinen ongelma ilmenee kun, asemapiirros kirjoitetaan suoraan ulos suunnitteluohjelmistosta ja asemapiirros ei ole sidottu mihinkään koordinaattijärjestelmään kuin taas Seinäjoen kaupungissa on käytössä ETRS-GK23 koordinaattijärjestelmä. Toinen ongelma on asemapiirroksen mittakaava, joka voi olla eri kuin mitä asemapiirroksen nimiössä on merkattu.

Ratkaisu näihin ongelmiin on tehdä asemapiirrokselle koordinaattimuunnos, joka onnistuu kun tiedetään esimerkiksi asemapiirroksessa olevien rajapyykkien ETRS-GK23 koordinaatit. Näiden koordinaattien avulla pystytään kääntämään koko asemapiirros oikeaan koordinaattijärjestelmään. Tämä koordinaattimuunnos lisää kumminkin työvaiheita ja sitoo rakennusluvan käsittelijän pidemmäksi aikaa yhteen rakennuslupaan. Ratkaisu tähän ongelmaan voisi olla rakennuksen 3D-malli.

#### 4.4 Rakennuksen 3D-malli

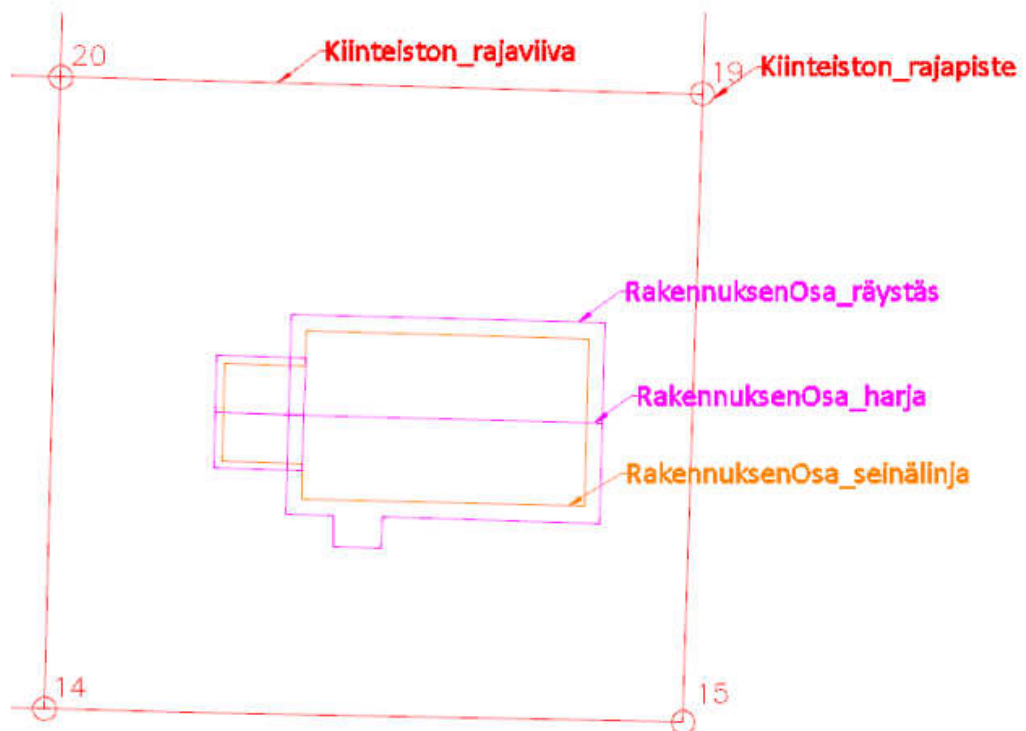
Rakennuksen 3D-malli tai ns. 3D-rautalankamalli voisi olla ratkaisu uusien rakennuksien sijainnin määrittämisessä. Tällä hetkellä rakennuksista saatavat 3D-mallit rajoittuvat isoimpiin rakennuskohteisiin, kuten kerrostaloihin tai julkisiin rakennuskohteisiin. Nämä 3D-mallit ovat yleisesti erittäin tarkkoja IFC- malleja ja ne sisältävät paljon muuta tietoa kuin pelkästään rakennuksen sijaintitietoa. Pientalokohteissa, kuten omakotitaloissa näitä IFC- malleja ei tehdä vielä niiden korkeampien kustannuksien takia. Tähän voisi soveltaa rakennuksen rakennuslupapiirustuksista piirretty 3D-mallia.

Rakennuslupaprosessin kautta kerättyjä rakennuksien 3D-malleja on kerätty esimerkiksi Tampereen kaupungilla jo vuodesta 2016 alkaen (Laine 2020). Tämä karsittu 3D-rautalankamalli asemapiirroksesta (Kuvio 8) pyydetään piirtämään, niin että rakennus koostuu suljetuista viivakohteista kolmessa eri tasossa:

- RakennuksenOsa\_seinälinja (rakennuksen ensimmäisen kerroksen lattiatason ulkoseinälinja)

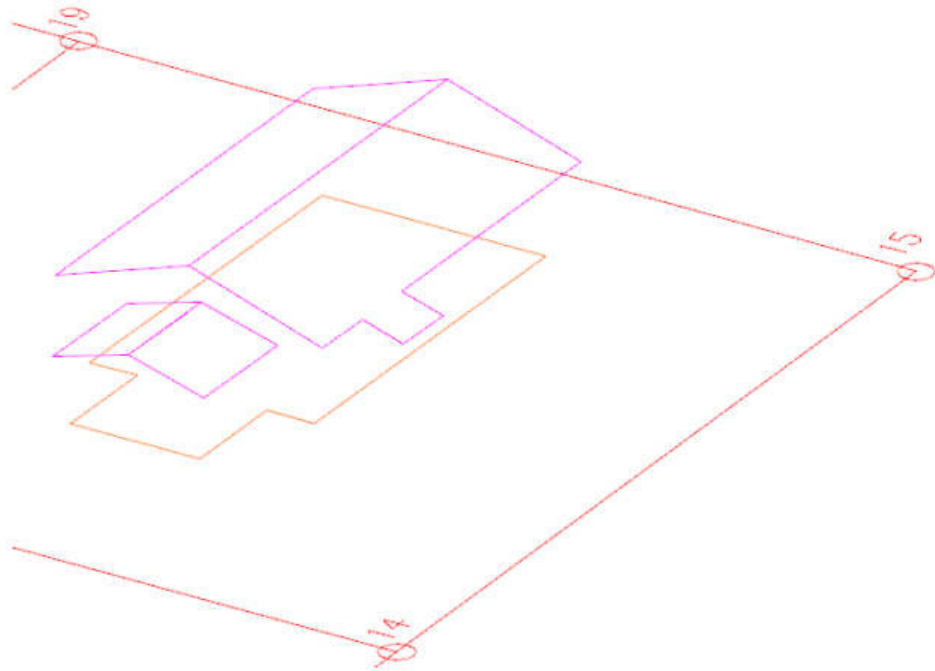
- RakennuksenOsa\_harjalinja (rakennuksen harjalinja)
- RakennuksenOsa\_räystäslinja (rakennuksen räystäslinja)

Kaikki viivat tallennetaan Tampereen kaupungin käytössä olevaan ETRS-GK24-koordinaattijärjestelmään ja korkeudet N2000- korkeusjärjestelmään. Asemapiirrokseen kuuluvat kiinteistön rajapisteiden ja rajaviivojen tasot eivät tarvitse korkeustietoa. (Tampereen kaupunki 2020, 2.)



Kuvio 8. Esimerkki karsitusta asemapiirroksesta katsottuna ylhäältäpäin (Tampereen kaupunki 2020, 3)

Kun rakennuksen kaikki kolme tasoa on piirrettynä suljettuina viivoina oikeilla korkeustiedoilla, pystytään tarkastelemaan rakennusta myös 3D-näkymässä (Kuvio 9).



Kuvio 9. Sama rakennus katsottuna 3D-näkymässä (Tampereen kaupunki 2020, 4)

Asemapiirroksista pystytään esimerkiksi valitsemaan rakennuksen ensimmäisestä tasosta eli RakennuksenOsa\_seinälinja-tasosta rakennuksen päänurkat rakennuksen sijainnin merkintää varten suoraan ilman että, joutuisi tulkitsemaan perinteistä paperista asemapiirrosta.

## 5 RAKENNUSVALVONTAMITTAUKSET SEINÄJOEN KAUPUNGISSA

### 5.1 Rakennusten sijainnin määrittelyminen

Rakennusvalvontamittauksiin kuuluva rakennusten sijainnin merkintä kuuluu lakisääteisiin mittauksiin Seinäjoen kaupungissa. Sijainnin merkintä on tehtävä ennen rakentamisen aloittamista ja merkintä tehdään asiakkaan tilauksesta, kun rakennuslupa on saanut lainvoiman. Rakennusten sijainnin laskeminen/määrittelyminen tapahtuu hyväksytyin asemapiirroksen mukaisesti (Seinäjoen kaupunki 2020d). Asemapiirroksessa tulee uusien rakennusten osalta olla tarpeeksi hyvin määritelty mitoin kiinteistön/tontin rajoilta tai kiinteistön/tontin muista olemassa olevista rakennuksista.

Asemapiirroksen rakennusten sijainnin määrittelyminen ei ole tarkemmin säädelty Maankäyttö- ja rakennuslaissa (MRL) tai asetuksessa (MRA). Tämän takia asemapiirroksessa voi ilmentyä laadullisia eroja rakennusten sijainnin määrittelymisessä johtuen asemapiirroksen laatijan kokemuksesta/koulutuksesta. Asemapiirroksen laatijana toimii yleisesti rakennusalan korkeakoulututkinnon saanut henkilö tai arkkitehti ja rakennuksen sijainnin määrittelymisessä kaupungissa vastaa usein maanmittausalan koulutuksen saanut henkilö. Yleisesti tässä on näkemuseroja, miten pitäisi järkevästi rakennusten sijainti olla määriteltynä asemapiirroksen mitoituksessa.

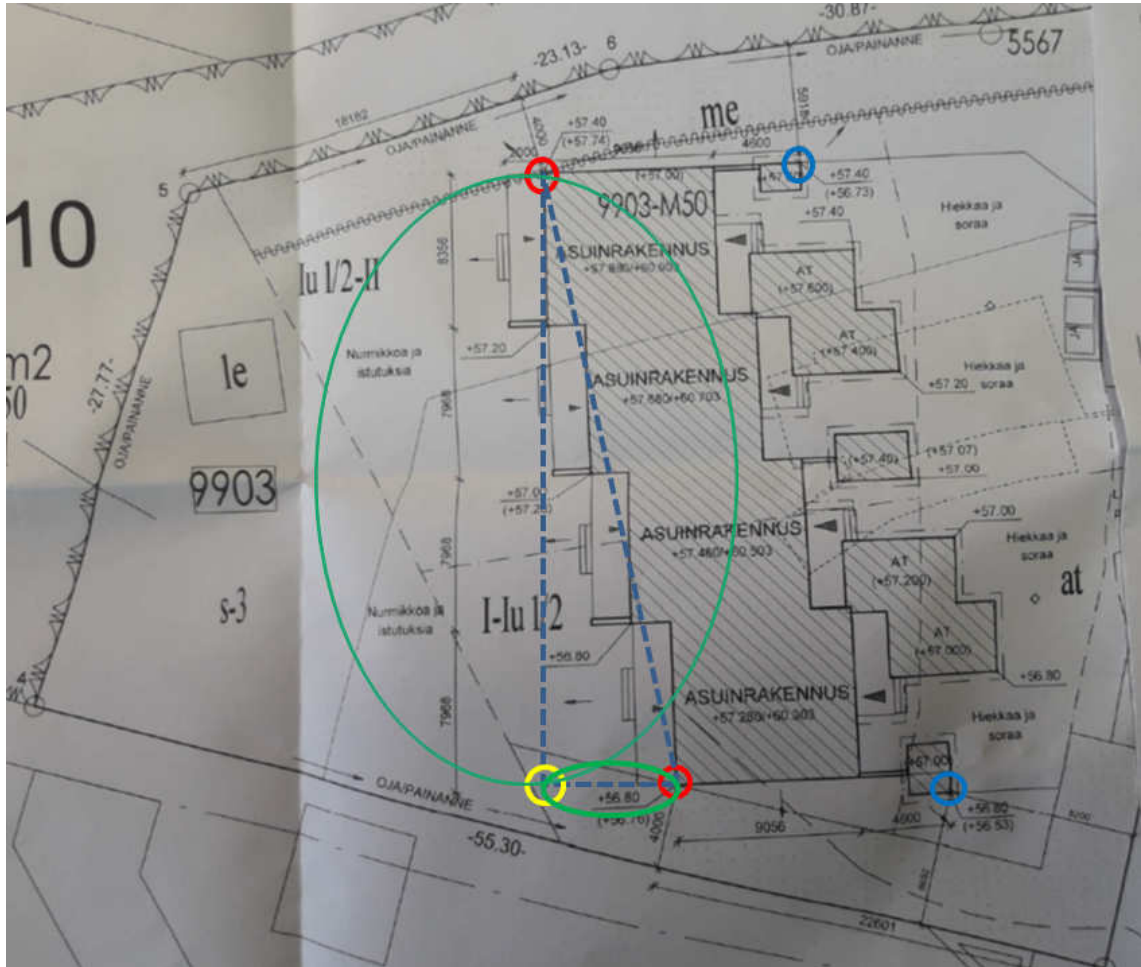
### 5.2 Asemapiirros

#### 5.2.1 Perinteinen asemapiirros

Perinteisellä asemapiirroksella tarkoitetaan virallista asemapiirrosta joka yleisesti on paperinen versio tai nykyään sähköisen asioinnin yhteydessä myös pdf-muodossa. Asemapiirroksen avulla rakennuksen sijainnin merkinnän määrittelymisestä vastaava henkilö laskee rakennuksen sijainnin kiinteistölle /tontille. Jos rakennukset ovat hyvin määritelty mitoin kiinteistön/tontin rajoilta, ei rakennuksen määrittelymisessä ole ongelmaa ja laskeminen/määrittelyminen sujuu nopeasti. Esimerkki hyvin tehdystä asemapiirroksesta on sellainen missä rakennuksesta on vähintään yhdestä seinäsuorasta molemmat nurkat määritelty



päädyssä oleva varaston nurkka (sininen ympyrä) on samalla tasolla, kun rakennuksen punainen nurkka mutta sen sijaintia ei pysty suoraan määrittämään, koska nurkalle on vaan yksi suorakulmainen mitta rajasta. Rakennuksen eteläpäädyssä oleva varaston nurkka (sininen ympyrä) pystytään määrittämään (suorien leikkaus laskennalla) rajoista mutta nurkka ei ole samalla tasolla, kun rakennuksen toisessa päädyssä oleva punainen nurkka.



Kuvio 11. Esimerkkikuva asemapiirroksista missä rakennuksen sijainnin määrittely on haastavampaa

Saadakseen suorakulmaiseen laskentaan tarvittavan rakennuksen suuntaisen lähtösuoran pitää laskea rakennuksen punaisista nurkista kaarileikkauksella (vihreä kaari) väliaikainen nurkka (keltainen ympyrä). Näin saadaan aikaiseksi suora, joka on suorakulmainen suhteessa rakennukseen ja tämän avulla pystytään laskemaan rakennuksen loputkin nurkat.

Jos asemapiirroksessa olisi esimerkiksi rakennuksen pohjoispäädyssä oleva varaston nurkka (sininen ympyrä) määritelty suorakulmaisesti kahdella mitalla yhden sijaan, ei olisi ollut tarve tehdä ylimääräisiä laskentoja saadakseen suorakulmaisen laskentaan tarvittavan suoran. Näin rakennuksen sijainnin määrittelemisen olisi ollut nopeampaa ja helpompaa. Toinen vaihtoehto sujuvampaa rakennuksen sijainnin määrittelyyn olisi käyttää mahdollista rakennuslupaprosessin kautta kerättyä rakennusten 3D-mallia.

### 5.2.2 3D-malli

Rakennuksen 3D-mallin tai ns. ”rautalankamallin” kerääminen rakennuslupaprosessin kautta Seinäjoen kaupungissa edellyttäisi hyvän ja yksinkertaisen oppaan lisäämisen kaupungin kotisivuille, jossa mallin kaikki tarvittavat tiedot olisi kuvattuna (liite 1). Tampereen kaupungin karsitun asemapiirroksen ohjetta (Tampereen kaupunki 2020, 1–4) voidaan soveltaa Seinäjoen kaupungin käyttöön. Ohje 3D-mallin tekoon sisältää seuraavat kohdat:

- Asemapiirroksen tiedostomuoto, tallennuskoordinaatisto sekä korkeusjärjestelmä
- Ohje tasojen piirtämiseen
- Malliesimerkki.

Tämän opinnäytetyön kuudennessa osiossa demonstroin 3D-mallin tekoa hyödyntäen pelkästään rakennuslupapiirustuksia noudattaen tähän tehtyä opasta (liite 1). Rakennusten sijainnin määrittelyyn lisäksi 3D-mallia voidaan hyödyntää suoraan Seinäjoen kaupungin 3D-kaupunkimallin päivittämiseen automatisoimalla rakennuksen muodostaminen LOD2 tasoiseksi ns. solidiksi kappaleeksi. Tämä pystytään päivittämään suoraan 3D-kaupunkimalliin ja esimerkiksi visualisoimaan QGIS-ohjelmassa.

## 5.3 Sijaintikatselmukset

### 5.3.1 Perinteinen sijaintikatselmus

Rakennusvalvontamittauksiin kuuluva sijaintikatselmus tehdään virallisesti ennen lopputarkastusta ja tällä varmistetaan että rakennus on rakennettu luvan-

mukaiselle paikalle (Seinäjoen kaupunki 2020d). Seinäjoen Mittauspalveluiden mittausryhmä suorittaa sijaintikatselmuksen maastossa kartoittamalla rakennuksesta vähintään kolme nurkkaa takymetrimittauksella saadakseen nurkkien tasokoordinaatit (x- ja y-koordinaatit). Ulkoverhouksen ja kivijalan leikkauskohdan eli sokkelikorkeus (z-koordinaatti) mitataan myös takymetrillä. Lisäksi rakennus kierretään ottaen mittoja rakennuksesta. Rakennuksen puuttuvat nurkat ja mahdolliset katokset saadaan toimistolla lisättyä suorakulmaisella laskennalla kartoitetuista nurkista.

### 5.3.2 UAV-lennokin käyttö

Opinnäytetyön yhtenä tavoitteena on tutkia mahdollisuutta hyödyntää UAV-lennokin tuottamaa fotogrammetrista pistepilvidataa sekä ilmakuvia rakennuksien geometriatietojen hankintaan sijaintikatselmusta varten. Rakennuksien sijaintitarkkuus perinteisellä tavalla mitattuna on senttimetriluokkaa, joten epävarma sijaintitarkkuus on yksi syy minkä takia kaupungit, joilla on oma UAV-lennokki käytössä, eivät ole vielä hyödyntäneet mahdollisuutta käyttää sitä tähän tarkoitukseen. Toinen syy on epätietoisuus millä tavalla rakennuksen geometriatiedot eli rakennuksen nurkat saisi irti fotogrammetrisesta pistepilvestä.

Seinäjoen kaupungilla on käytössä Pix4Dmapper-ohjelma UAV-lennokin tuottamien valokuvien prosessointia varten. Pix4Dmapper-ohjelmisto on johtava ohjelmisto fotogrammetriselle prosessoinnille ja sen työympäristön avulla pystytään generoimaan tarkkoja 3D-malleja pelkästään georeferoiduista valokuvista. Sijaintitarkkaus generoidulla 3D-mallilla on jopa 1-2 pikseliä (GSD) x- ja y-tasossa ja 1-3 pikseliä (GSD) z-tasossa (Pix4D 2020). GSD:llä tarkoitetaan valokuvan pikseleiden välistä matkaa eli on suhteessa valokuvan resoluutioon ja näin se vaikuttaa myös tarkkuuteen. GSD:n suuruuteen vaikuttavat tekijät ovat lentokorkeus ja minkälaisella kameralla valokuvat on otettu.

Saadakseen mahdollisimman tarkan fotogrammetrisen pistepilven generoitua pitää lentokorkeus olla matala ja valo-olosuhteet olla optimaaliset, jotta valokuvista tulisi tarkat. Tämä on edellytys, jotta generoidusta pistepilvestä otetut rakennuksen nurkat olisivat x-, y- ja z-tasossa tarkat. Yleisesti ilmakuvat otetaan UAV-lennokilla niin että kamera osoittaa suoraan alaspäin ns. nadiirikuvina. Kun

tarvitaan rakennuksesta seinälinjat näkyviin ja tarkemmin ensimmäisen kerroksen lattiataason ja seinälinjan leikkauskohta (sokkelikorkeus), joudutaan kuvaamaan rakennukset myös viistosti eli ns. viistokuvina. Kun rakennukset kuvataan viistokuvina, näkyy ulkoverhouksen ja sokkelin leikkauskohta paremmin kuin nadiirikuvista.

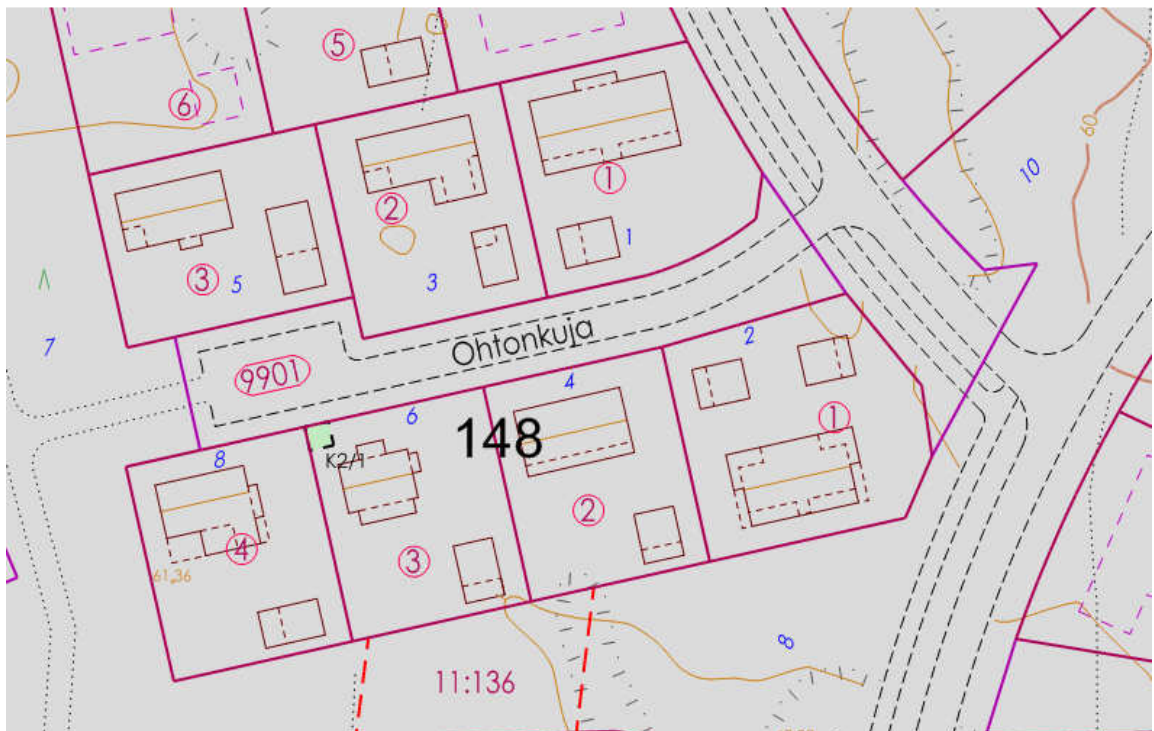
Pix4Dmapper-ohjelmistolla voidaan yhdistää nadiirikuvat ja viistokuvat samaan projektiin ja prosessoida kaikki valokuvat yhdessä. Lopputuloksena on yhtenäinen fotogrammetrinen pistepilvi ja oikaistu ortokuva mistä voi mm. generoida teksturoituja 3D-malleja (Mesh) ja vektoroida tasoja suoraan pistepilvestä hyödyntäen valokuvia.

Todentaakseni fotogrammetrisestä pistepilvestä vektoroitujen seinälinjojen nurkkien koordinaattien tarkkuutta suoritin testilennon UAV-lennokilla Karhuvuoren asuinalueella. Lennon lopputuloksia ja vertailua pohjakarttatietoihin käyn läpi seuraavassa osiossa.

## 6 TESTIMALLI

### 6.1 Ohtonkujan rakennukset

Kyseinen osa Karhuvuoren asuinalueesta (Ohtonkuja) on rakennettu vuosina 2018–2019 ja koostuu seitsemästä tontista, joista viisi on omakotitalotontteja ja kaksi on paritalotontteja (Kuvio 12). Ohtonkujan rakennukset tulivat valituksi sillä perustella, että ovat uusia kohteita, joten rakennuslupapiirustukset löytyvät 3D-mallin tekoa varten. 3D-mallit rakennan käyttäen avuksi 3D-win laskentaohjelmaa. Myös rakennusten sijaintikatselmukset on suoritettu, joten fotogrammetrisestä pistepilvestä vektoroidut seinälinja-aineistot ja tehtyjen sijaintikatselmuksien sijaintitietojen vertaileminen onnistuu. Testilennon suoritin Seinäjoen Karhuvuoren asuinalueella syksyllä 2019.



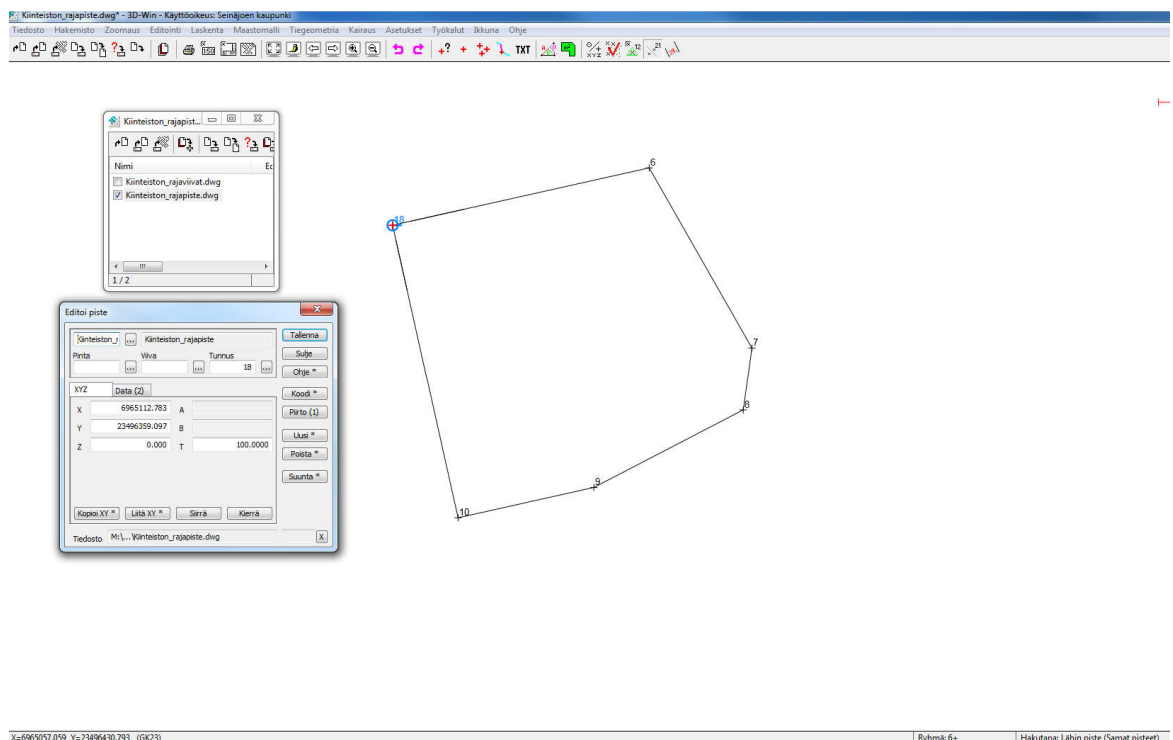
Kuvio 12. Ohtonkujan rakennukset pohjakarttatietoineen (Trimble Webmap 2020)

#### 6.1.1 3D-mallin piirtäminen 3D-win ohjelmalla

3D-Win ohjelma on kotimainen 3D-system:n kehittämä maastomittaustiedon tuottamiseen ja käsittelyyn tarkoitettu ohjelmisto (3D-system 2020). Ohjelmiston

kattavat aineistojen editointi ja laskentatyökalut tekevät ohjelmasta suosituksen maanmittausalalla työskenteleville ja ohjelmisto on käytössä usealla kaupungilla mm. Seinäjoella. 3D-mallien teko ohjelmalla on kumminkin vähäisempää, mutta ohjelman 3D-näkymän käyttö auttaa 3D-mallin hahmottamisessa laskentavaiheessa.

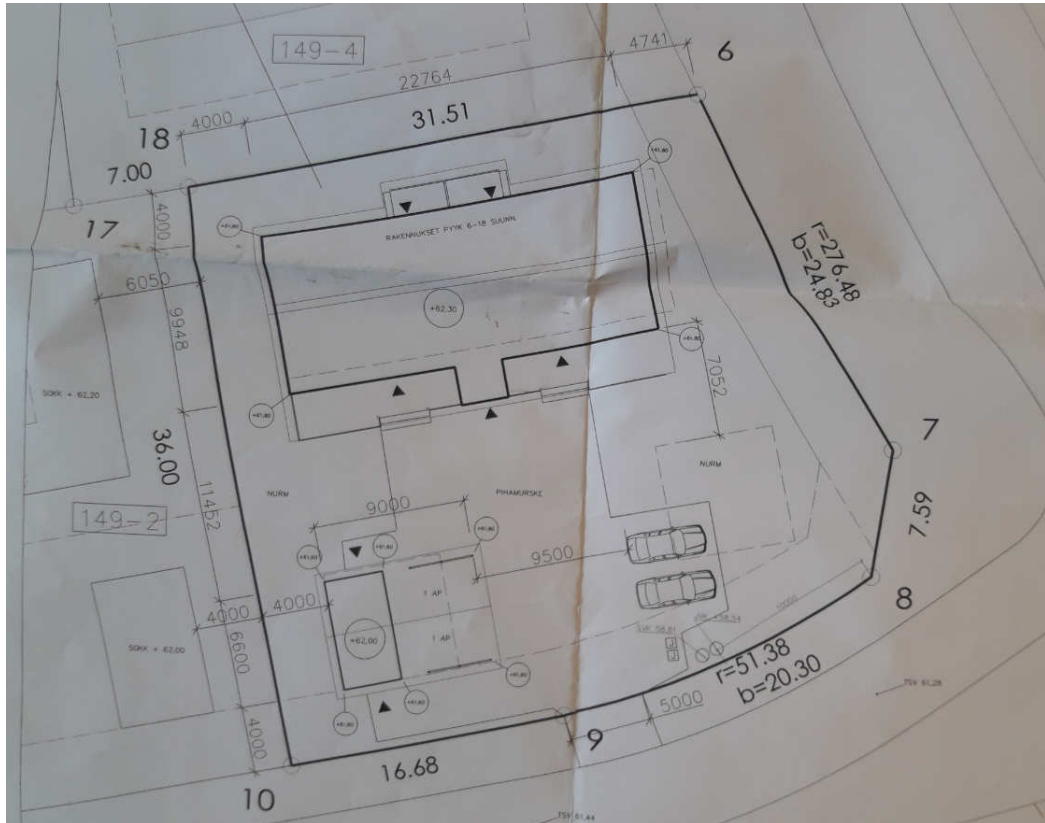
3D-mallin tekoa varten käytän laatimaani ohjetta Seinäjoen kaupungille ” Ohje 3D-asemapiirroksen laatimiseen” (Liite 1). Malliesimerkkinä näytän Ohtonkuja 1 rakennuksen 3D-asemapiirroksen muodostamista rakennuslupapiirustuksia käyttäen. Ensimmäinen vaihe on kiinteistön rajapisteiden (Kiinteiston\_rajapiste) ja kiinteistön rajaviivojen (Kiinteistön\_rajaviivat) tasojen lisääminen asemapiirroksen pohjaksi (Kuvio 13). Tiedot kiinteistön rajapisteistä eli koordinaatit (ETRS-GK23-koordinaatit) asemapiirroksen laatijan saa virallisesta tonttikartasta, joka kuuluu aina hakea kaupungilta ja liittää mukaan rakennuslupahakemukseen ja näiden tasojen ei tarvitse olla 3D-tasossa eli korkeusarvo on nolla (Liite 1, 2).



Kuvio 13. Kiinteistön rajapiste- ja rajaviivatason lisätyt 3D-win ohjelmaan

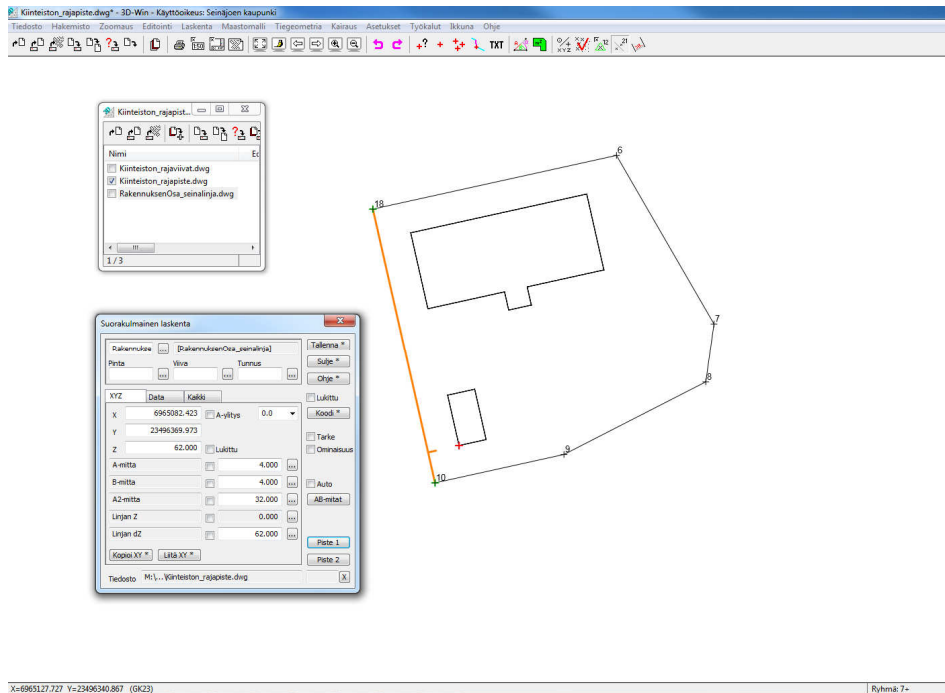
Seuraava vaihe on laskea rakennuksen 1. kerroksen lattiatason ulkoseinälinja eli RakennuksenOsa\_seinalinja-taso. Rakennuksen kaikki tasot tulee olla suun-

nitellussa N2000-korkeusjärjestelmän mukaisessa korkeudessa (Liite 1, 2). Rakennuksien 1. kerroksen lattiatasen ulkoseinälinja eli rakennuksien ulkonurkat saa laskettua asemapiirroksen avulla 3D-Win:llä suorakulmaisella laskennalla (Kuvio 14).



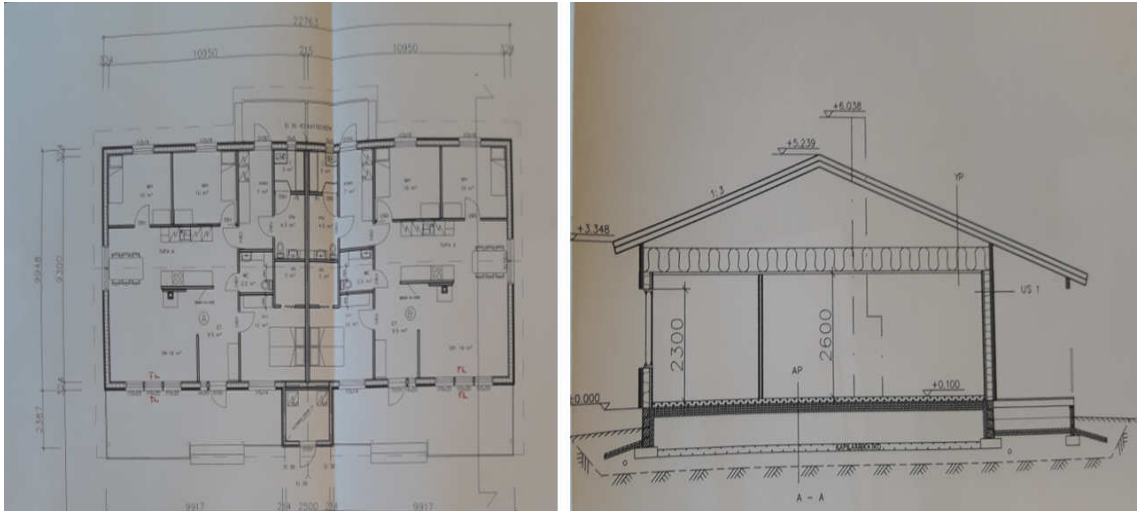
Kuvio 14. Ohtonkuja 1 asemapiirros

Rakennukset ovat rajalinjan 10–18 suuntaiset ja valitsemalla tämän suorakulmaisesta laskennasta linjaksi, pystyy lisäämään asemapiirroksessa olevat suorakulmaiset rajat rakennuksiin saadakseen rakennuksen nurkan sijainti laskettua (Kuvio 15). Rakennuksien nurkkiin lisätään samalla asemapiirroksessa olevat suunnitellut 1. kerroksen lattiatasen korkeudet eli paritalon 62.30 ja autokatoksen 62.00 N2000-korkeusjärjestelmän korkeudet. Kun kaikki nurkkapisteen ovat laskettuna, pystytään yhdistämään pisteet toisiinsa muodostaen näin suljettu viiva (polyline) ja luoda tälle oma taso (Liite 1, 2).



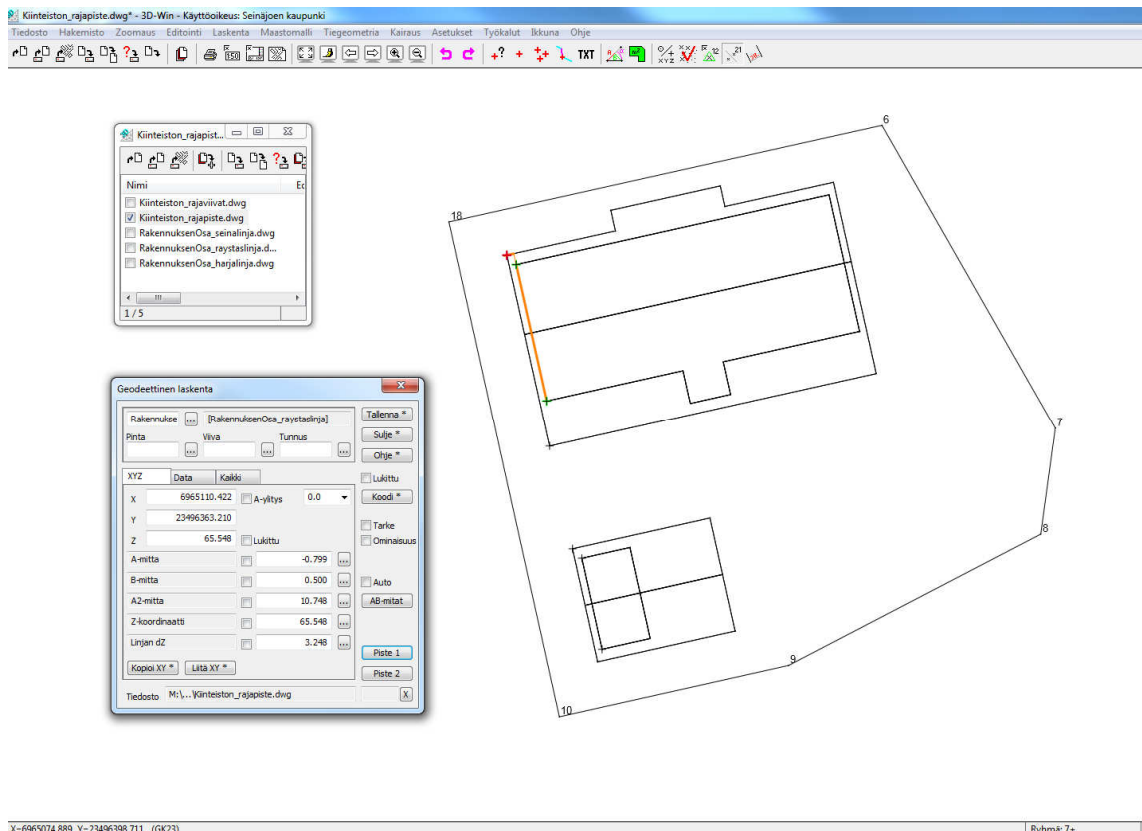
Kuvio 15. RakennuksenOsa\_seinalinja-taso laskettuna 3D-Win-ohjelmalla

Seuraava vaihe on lisätä rakennuksen räystääslinjat (RakennuksenOsa\_raystaslinja) ja harjalinjat (RakennuksenOsa\_harjalinja) korkeustieteen (Liite 1, 2). Räystääslinjat ja harjalinjatiedot saa rakennuksen pohjakuvista missä räystääslinjan ja harjalinjan etäisyydet seinälinjasta saa mittaamalla viivoittimella suoraan ja käyttämällä pohjakuvan mittakaavaa. Tässä tapauksessa paritalon räystääslinja (katkoviiva) on rakennuksen lyhyimmällä seinälinjalla 0.5 m ja pidemmällä seinälinjalla 0.8 m seinälinjasta mitattuna ja harjalinja on keskellä lyhyempää seinälinjaa (Kuvio 16). Tason korkeustieto löytyy rakennuksen leikkauksista missä räystääslinjan ja harjakorkeus on laskettu suunnitellusta lattiakorkeudesta (Kuvio 16).



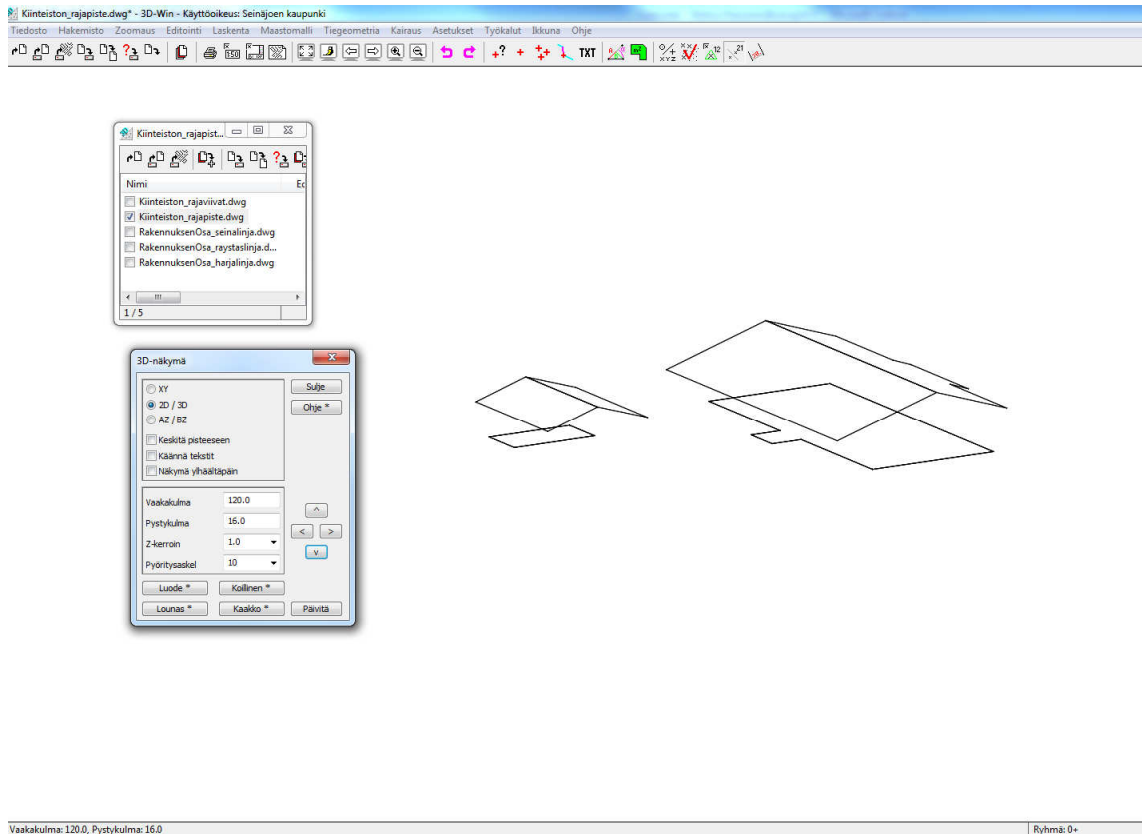
Kuvio 16. Ohtonkuja 1 paritalon pohja- ja leikkauskuva

3D-Win:illä pystyy näiden avulla laskemaan suorakulmaisesti räystäs- ja harjalinjanurkat käyttäen rakennuksien 1.kerroksen seinälinjatasoa laskentalinjana ja lisäämällä näihin korkeustiedot suoraan. Yhdistämällä nurkat toisiinsa saadaan muodostettua suljetut viivat (polyline) (Liite 1, 2) ja tallentamaan näille omat taset (Kuvio 17).



Kuvio 17. Räystäs- ja harjalinjatasot laskettuna 3D-win ohjelmalla

Kun rakennusten kolme tasoa seinä-, räystääs- ja harjalinjatasot ovat piirrettyinä asemapiirroksen mukaisilla korkeustiedoilla, voidaan 3D-Win:illä katsoa rakennuksen tasot 3D-näkymässä (Kuvio 18). Kiinteistön rajapiste- ja rajaviivat asot eivät näy 3D-näkymässä, koska niiden korkeustiedot ovat nollassa.



Kuvio 18. Ohtonkuja 1 rakennukset 3D-näkymässä

Tämä 3D-malli rakennuksista on tekemäni ohjeiden mukainen (Liite 1) ja tätä pystytään käyttämään hyödyksi suoraan mm. rakennusten sijainnin määrittelyssä sekä 3D- kaupunkimallin päivittämisessä. 3D-mallin rakennuksista pystytään automaattisesti muodostamaan LOD2 taseisia rakennuksia käyttämällä FME ohjelmistoa hyödyksi.

### 6.1.2 3D-mallin muodostaminen LOD2 taseiseksi rakennukseksi FME ohjelmistolla

FME ohjelmisto on Safe Software:n kehittämä työkalu eri aineistojen yhdistämiseen, muuntamiseen ja automatisoimiseen toistettaviksi prosesseiksi FME:llä voidaan luoda datan muunnosprosesseja monipuolisella graafisella käyttöliity-

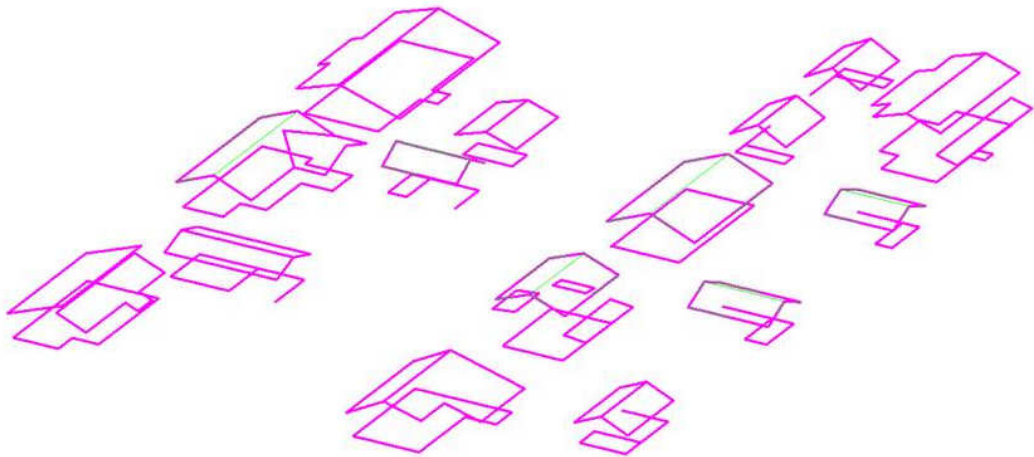
mällä (Spatialworld 2020). Seinäjoen kaupungin Paikkatietopalvelut-yksikössä on FME lisenssi käytössä ja yhteistyönä paikkatietoasiantuntija Jari Vähätiiton kanssa saimme luotua pohjan valmiille 3D-mallin muunnosprosessille: 3D-mallista LOD2-tasoiseksi rakennukseksi. FME:n muunnosprosessia ei saada julkaista (Vähätiitto 2020), mutta prosessin hahmottamiseksi yksinkertaisempi malli alla olevassa kuvassa (Kuvio 19).



Kuvio 19. FME:n muunnosprosessin ”putki”

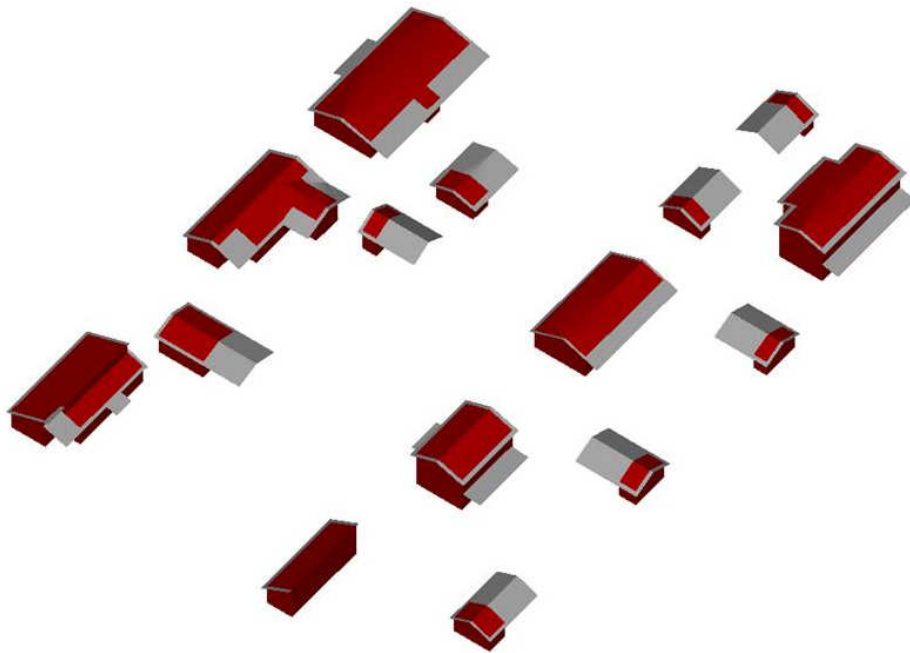
LOD2-tasoinen rakennus pitää olla yhtenäinen kappale eli ns. solidi ja kun 3D-mallin rakennuksesta puuttuivat pystysuorat seinätasot niin nämä pitää lisätä malliin. Kun tiedossa on rakennuksen kolme tasoa eli seinä-, räystääs- ja harjalinjatasot (Kuvio 18), voidaan FME:llä luoda ”putki” eli automaattinen prosessi 3D-mallista valmiiksi LOD2-tason rakennukseksi. FME:n ”putki” on tapahtumaketju alkulähtöaineistosta ja suoritettavista komennoista aina valmiiseen lopputuotteeseen asti valitussa tiedostoformaattissa.

Kun Ohtonkujan 3D-mallin rakennukset (Kuvio 20) ajettiin FME:n ”putken” lävitse ohjelmisto suoritti automaattisesti erilaisia komentoja.



Kuvio 20. Ohtonkujan rakennuksien 3D-mallit

Komennot mm. lisäsivät pystysuorat seinätasot (Kuvio 21), projisioimalla pystysuoraan 1. kerroksen lattiataason ulkoseinälinjasta seinälinjat räystäätasoon luoden näin solidin rakennuskappaleen (kuvassa punaisena) ja räystäsrakenteet erottamalla ne rakennuksesta (kuvassa harmaana).

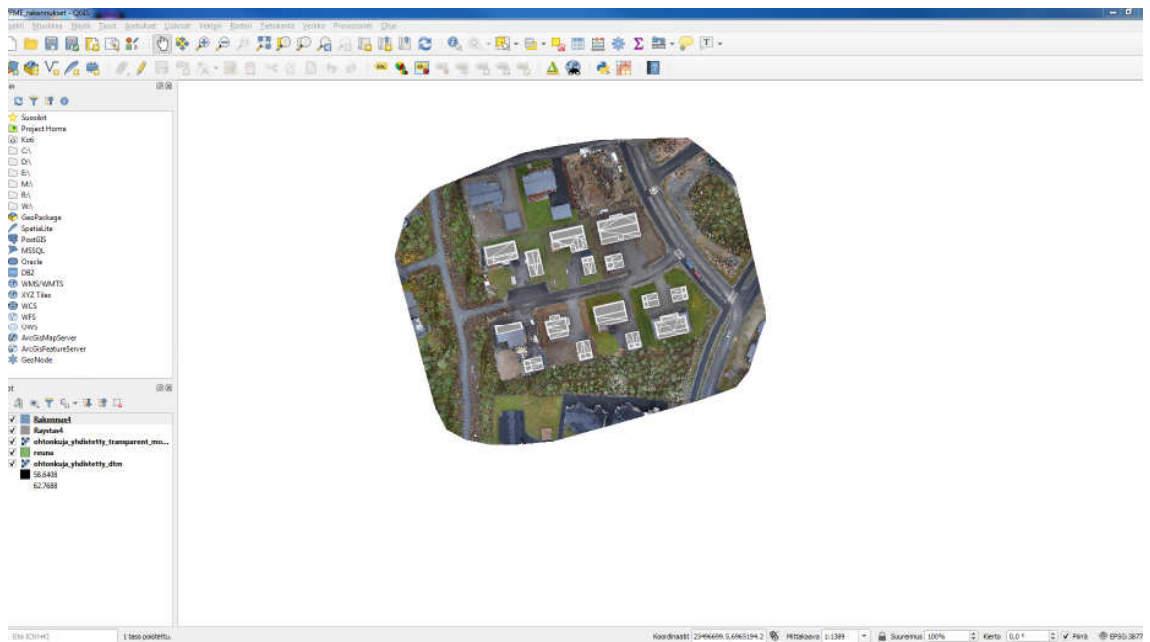


Kuvio 21. LOD2-tasoiset rakennukset räystäillä FME-ajon jälkeen

Tämän FME:n ”putken” LOD2-rakennukset ovat ajon jälkeen shp- ja obj-formaatissa. Rakennukset voitaisiin liittää osaksi Seinäjoen kaupungin LOD-tasoista 3D-kaupunkimallia. Shp-formaatissa olevat vektoritiedot voidaan mm. käsitellä QGIS-ohjelmassa.

### 6.1.3 Rakennuksien visualisoiminen QGIS- ohjelmalla

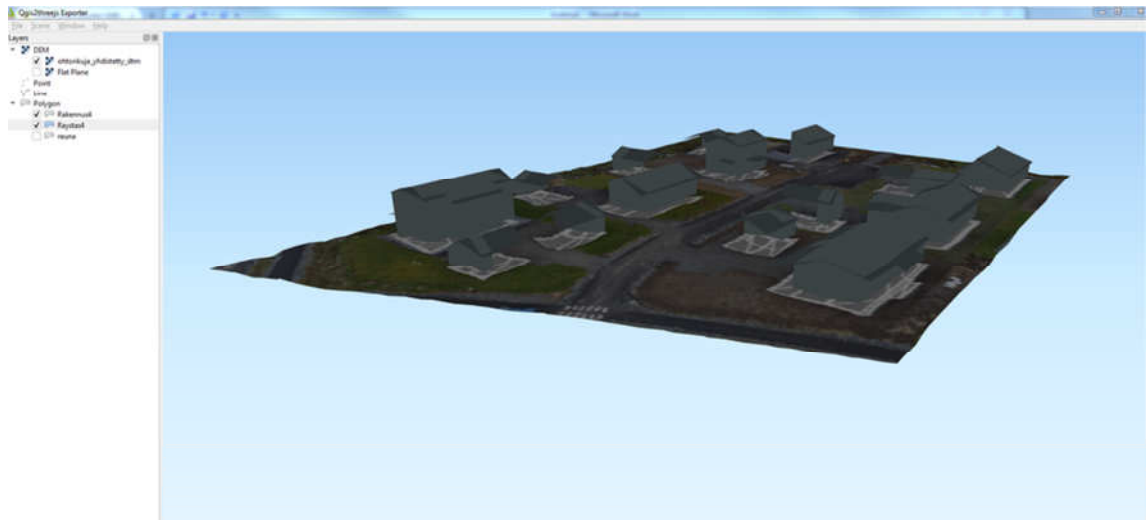
QGIS on avoimen lähdekoodin ohjelma, joka on monipuolinen ja helppokäyttöinen ohjelma vektori- ja rasterimuotoisten tiedostojen visualisoimiseen ja käsitteilyyn. QGIS:iin ladataan halutut vektoritasot ja rasteritasot erikseen 2D-näkymään missä niitä voidaan tarkastella. Ohtonkujan rakennukset visualisoidaan lisäämällä vektoritasot eli FME:n tuottamat rakennus- ja räystäätasot 2D-näkymään ja pohjaksi rasteritaso eli UAV mittauksista prosessoitu ortokuva (Kuvio 22).



Kuvio 22. Ohtonkujan rakennukset visualisoituna QGIS-ohjelmassa

QGIS:n versiossa 3.4.6 voidaan 3D-muodossa olevia shp-tiedostoja visualisoida ja jakaa Qgis2threejs-lisäosassa. Malliin tarvitaan pintamalli eli korkeusmalli mihin rakennukset voidaan ”nostaa”. Tässä tapauksessa hyödynnettiin UAV mittauksista prosessoitua digitaalista maastomallia (DTM), joka on rasterimuodossa oleva kuva, jonka pikseleiden sävyerot kuvaavat maaston korkeuseroja.

Maastomalli voidaan teksturoida ortokuvalla visualisoimaan maastoa paremmin (Kuvio 23).



Kuvio 23. Ohtonkujan rakennukset visualisoituna Qgis2threejs-lisäosassa

Lisäosan ominaisuuksiin kuuluu mahdollisuus julkaista 3D-malli Web-selaimeen HTML-tiedostona "Export to web"-toiminnolla. Julkaisussa voi valita kolmen eri vaihtoehdon väliltä kevyempi 3D-viewer versio ilman toimintoja, raskaampi 3D-viewer toimintavalikolla sekä kevyempi mobile-versio, joka on mobiili laitteisiin yhteensopiva. (Sinervo 2019, 36.)

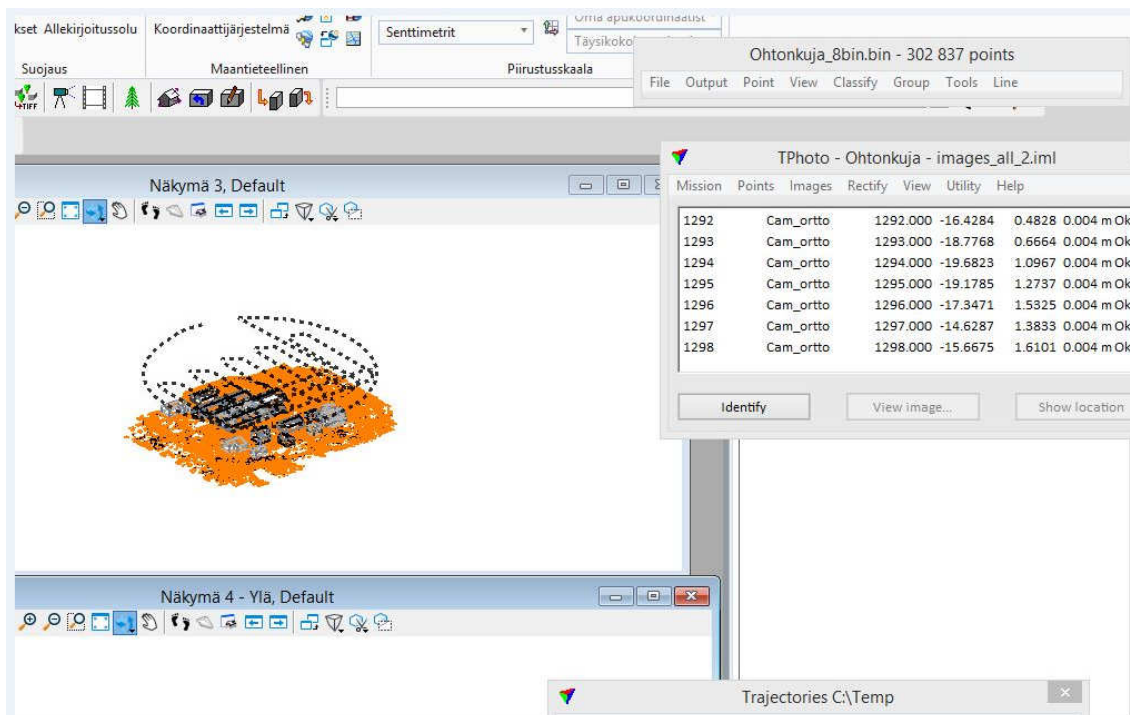
#### 6.1.4 Rakennuksien teksturointi Terraphotossa

Rakennuksien katto- ja seinäpinnoille voidaan luoda todelliset pintatekstuurit hyödyntäen ilmasta otettuja orto- ja viistokuvia. Tällaisen fotorealistisen 3D-kaupunkimallin voidaan luoda Terrasolidin Terraphoto ohjelmalla. Terraphoto on kehitetty laserkeilauksen yhteydessä otettujen valokuvien prosessointiin mm. valokuvien sijainnin määrittelyyn ja värikorjauksiin. Terraphoton yksi työkalu on luoda valmiille 3D-rakennuksille tekstuurit näitä valokuvia käyttäen (Terrasolid 2020).

Yleisesti rakennuksien katto- ja seinäpinnat ovat vektoroitu pistepilvestä ensin Terrasolidin Terrascan ohjelmalla ja tämän jälkeen viety Terraphoto ohjelmaan teksturoitavaksi. Tämä työvaihe on osaksi automatisoitu, mutta monimutkaisemmat rakennukset ja kattorakennelmat vaativat usein manuaalista korjausta

ja tarkistusta. Tämän opinnäytetyön yksi tavoite oli selvittää mahdollisuutta hyödyntää rakennuslupaprosessin kautta kerättyä ja FME-ohjelmalla jälkikäteen prosessoituja valmiita 3D-mallisia rakennuksia luettavaksi suoraan Terraphoto ohjelmaan ja teksturoida hyödyntäen UAV-lennokilla otettuja valokuvia. Tämä on teoriassa mahdollista, koska Terraphoto kelpuuttaa pintatekstuuri-laskennassa kaikkia kuvatiedostossa olevia sulkeutuvia monikulmiopintoja, joten ulkopuolisesti mallinnettuja rakennuksia voidaan teksturoida ohjelmassa (Soininen 2020). Tämä nopeuttaisi ja vähentäisi samalla manuaalista työskentelyä, kun rakennukset olisivat jo valmiiksi muodostettuja.

Seinäjoen kaupungilla on käytössä yksi Terrasolidin lisenssi mikä mahdollistaisi tämän testaamista. Johtuen Terraphoto-ohjelman vähäisestä käytöstä, lisenssin muu käyttö ja kevään Terraphoto-kurssin peruuntumisesta, jäi Ohtonkujan rakennuksien valmis teksturoiminen tämän opinnäytetyön aikarajan puitteissa suorittamatta. Aikarajan mennessä saimme lisättyä Terraphotoon nadiiri- ja viis-tokuvat ja näille Pix4D:stä tuotettuja projektin laskentaparametreja mm. kameran sisäisiä ja ulkoisia laskentaparametreja. Näiden avulla Terraphoto pystyi asettamaan valokuvat oikeaan asentoon. Tämän lisäksi saimme lisätty FME:llä tuotetut 3D-rakennukset ohjelmaan (Kuvio24).



Kuvio 24. Valokuvien laskentaparametrit sekä rakennukset Terraphoto-ohjelmassa

Seuraava vaihe olisi ollut asettaa rakennuksen pinnoille oikeat pintatekstuurit, mutta jostain syystä tämä ei onnistunut eli ongelma on todennäköisesti asetuk-  
sissa. Tämä olisi ollut tärkeä opinnäytetyön tavoitteiden saavuttamiseksi, mutta  
selvitystyö jatkuu vielä tämän jälkeen ja myönteiseen lopputulokseen päästään  
varmasti.

## 6.2 Lentotyö

### 6.2.1 Valmistelut

Seinäjoen kaupungilla on käytössä Geodrone X4L v5 UAV-kartoitusjärjestelmä  
(Kuvio 25). Kartoitusjärjestelmään eli ns. Remotely Piloted Aircraft System  
(RPAS) kuuluu Geodrone X4L kuvauskopteri (myöhemmin myös kopteri), ka-  
merateline, kamera, radio-ohjain, akut, datalinkki, lennonsuunnitteluohjelmisto,  
videolinkki ja monitori (Videodrone 2020).



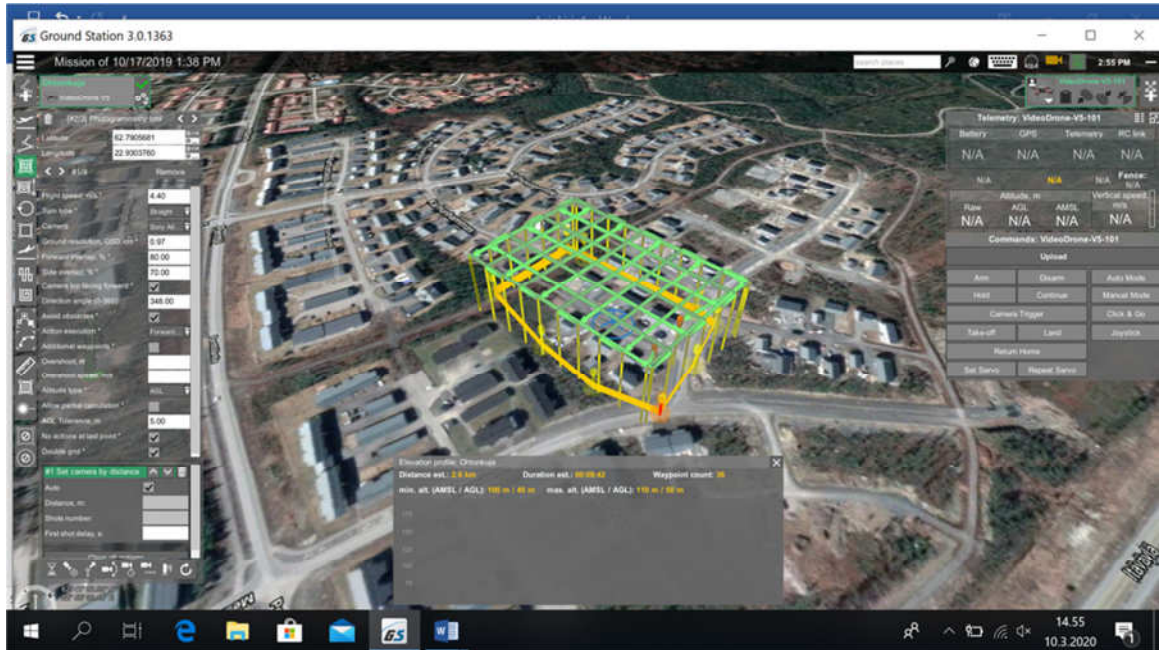
Kuvio 25. Seinäjoen kaupungin RPAS-järjestelmä

Hyvän lentosuunnitelman valmisteluihin kuuluu tutustuminen etukäteen lennä-  
tettävään alueeseen, koska jos alueella on korkeita esteitä näitä pitää lento-  
suunnitelman teossa ottaa huomioon. Lentosuunnitelmassa pitää huomioida

myös lopputuotteiden tavoite eli minkälaista dataa halutaan tuottaa. Ohtonkujan lopputuotteen tavoite oli tarkka fotogrammetrinen pistepilvi rakennuksista ja tarkat viistokuvat rakennuksien julkisivuista. Tämä tarkoittaa suurta pituuspeittoa lentolinjojen välillä ja mahdollisimman montaa valokuvaa rakennuksista monesta eri kulmasta.

Lentosuunnitelma tehtiin Videodrone Ground Station-ohjelmalla. Kun ohjelmaan on syötetty lennätettävä alue, ohjelma laskee automaattisesti lentolinjojen määrän, millä lentonopeudella ja montako valokuvaa kuvauskopteri suorittaa, maksimi lentokorkeus, pituuspeitto, haluttu maaresoluutio (GSD) ja kameran valotusaika. Ohtonkujan lentosuunnitelman rajoittava tekijä oli lentokorkeuden maksimikorkeus, joka oli 50 metriä maanpinnasta (OPS M1-32, 5). Tämän ylempänä lentäminen vaatii Seinäjoen lentoasemalta lentoluvan lentotyölle, joka maksaa lentoluvan hakijalle 100 €/tunti. Syy tähän on se että, Seinäjoen lentoasema on yksityisessä omistuksessa ja sen tehtäviin kuuluu valvoa lähiseudun ilmatiliikennettä. Tällä hetkellä lentoasema toimii vajaalla käytöllä ja sen johdosta lennonjohdontornissa ei ole jatkuvaa valvontaa, joten lentotyön ajaksi lentoasema joutuu laittamaan henkilön valvomaan ilmatilaa. Tämän takia Seinäjoen lentoasema pystyy hinnoittelemaan palvelujansa erilailla, kun muut lentoasemat.

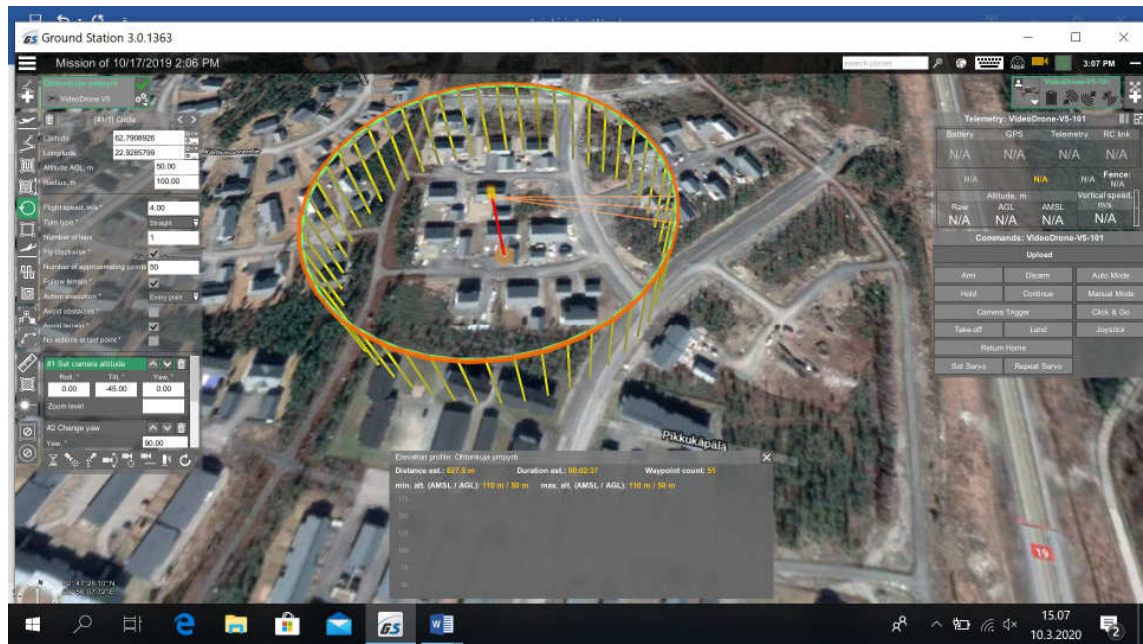
Lentosuunnitelmassa lentokorkeuden rajoittaminen 50 metriin ei haitannut, koska lentokorkeus vaikuttaa suoraan valokuvan maaresoluutioon eli GSD:n lukuun ja mitä matalampi lentokorkeus sitä pienempi GSD-luku eli tarkempi valokuva. Kun tavoitteena oli saada tarkka pistepilvi rakennuksien sijainnin määrittelemiseksi ja dataa 3D-kaupunkimallin päivittämiseen oli lentosuunnitelma syytä tehdä ns. ”doupledd grid” lentona eli ristiin lentona (Kuvio 26). ”Doupledd grid” lento suoritettiin nadiirikuvauksena eli kamera oli suunnattu suoraan alaspäin.



Kuvio 26. Ohtonkujan ”duplicated grid”-lentosuunnitelma Ground Station-ohjelmassa

Lentoalueen pinta-alaksi muodostui n.3.23 ha, pituuspeitoksi valittiin 80 % ja leveyspeitoksi 70 %, joka riittää hyvin urbaanisen ympäristön kohteiden määrittelyyn. Maksimilentokorkeuden ollessaan 50 metriä GSD-luvuksi muodostui 0.84 cm, eli kahden pikselin välinen etäisyys on alle yksi cm. Ohjelma laski lentonopeudeksi 4.40 m/s ja kestoksi 9 minuuttia 42 sekuntia. Valokuvia kopteri ottaa suunnitelman mukaisesti 286 kappaletta.

Saadakseen mahdollisimman paljon rakennuksien julkisivuja näkyviin valokuvissa ei pelkkä nadiirikuvaus riitä, joten tarvitaan myös viistokuvia. Viistokuville tehtiin toinen lentosuunnitelma heti perään. Toinen lento suunniteltiin ympäryslentona ja kamera 45 asteen kulmassa osoittaen keskipistettä kohti (Kuvio 27). Lentokorkeus on sama kuin edellisessä suunnitelmassa eli 50 metriä ja ympyränsäde valittiin 100 metriä. Lentoajaksi ohjelma laski 2 minuuttia 37 sekuntia. Ympäryslennon aikana kopteri ottaa suunnitelman mukaan 48 valokuvaa ja lentonopeutta oli tiputettava 4.0 m/s, jotta kamera ehtii saada kuvat otettua.



Kuvio 27. Ohtonkujan ympäryslentosuunnitelma Ground Station-ohjelmassa

## 6.2.2 Lento

Lento suoritettiin syksyllä 2019 ennen lumentuloa. Ennen lentoonlähtöä piti lentoalueen sisälle rakentaa signaaliristejä, joita voidaan ilmakuvista tunnistaa. Seinäjoen kaupungilla käytetään mittauspalveluiden tekemiä 75x75 cm siirrettäviä levyjä mihin on teipillä teipattu valkoiset ristit. Signaaliristeille mitattiin Trimble R10 GNSS-laitteella tarkat x, y ja z-koordinaatit (Kuvio 28). Signaaliristejä tarvitaan georeferointiin eli siihen, että saadaan käännettyä ilmakuvista prosessoitu kuvablokki eli ilmakuvamosaiikki oikeaan koordinaatiston ja korkeuteen.



Kuvio 28. Signaaliristin mittaaminen Trimblen R10 GNSS-laitteella

Ennen lento-olähtöä tulee suorittaa paikanpäällä riskianalyysi, joka kuuluu Seinäjoen kaupungin laatimaan miehittämättömän ilmailun toimintakäsikirjaan missä sanotaan seuraavasti

”Mikäli RPAS-toimintaa harjoitetaan väkijoukon tai tiheästi asutun alueen ylä- puolella, on tehtävä kirjallinen turvallisuusarviointi sekä toimintaohjeistus normaali- että hätätilanteiden varalle. Näitä kirjallisia dokumentteja säilytetään vähintään 3 kuukautta toiminnan päättymisestä.” (Seinäjoen kaupunki 2020e.)

Riskianalyysissa käsitellään seuraavat aihealueet ja niihin liittyvät huomioivat toimenpiteet kirjataan valmiiseen analyysipohjaan:

- Mahdolliset lentoesteet (puut, rakennukset, sähkölinjat, antennit yms.)
- Näkyvyysrajoitteet
- Elektroniset häiriötekijät, esimerkiksi GPS-signaalin häiriötekijät
- Lentopaikalla mahdollisesti oleva muu toiminta (työmaat, ihmiset yms.)
- Lentopaikan turvallisuus (häiriötön lento, ei vaaraa muille henkilöille)
- Tarve liikenteenohjaukselle
- Säätilanne (riittävä näkyvyys, sateiden mahdollisuus)

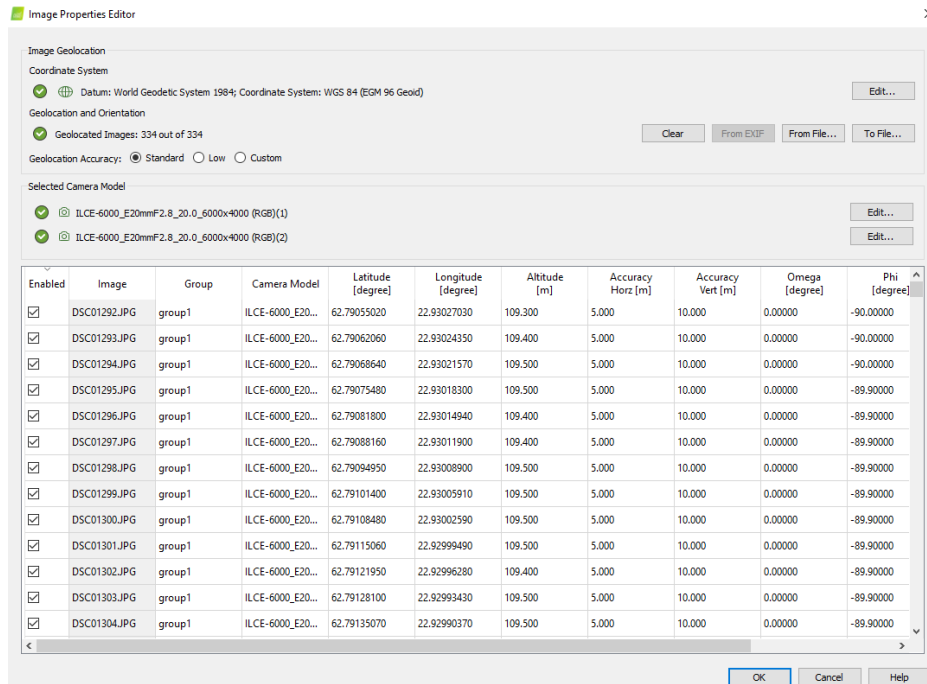
- Lentotehtävän vaativuus (VLOS/BVLOS)
- Kauko-ohjaajan pätevyys tehtävään. (Seinäjoen kaupunki 2020e.)

Ohtonkujan lennolle ei ollut mitään poikkeavaa mikä olisi aiheuttanut toimenpiteitä itse lennon suoritukselle. Riskianalyysin jälkeen ladattiin ensimmäinen lentosuunnitelma kopteriin ja lähdettiin suorittamaan itse lentotyö suunnitelman mukaisesti. Kopterin suoritettua ensimmäisen lentosuunnitelman otettiin kopteri alas ja tarkasteltiin kuva-aineiston laatua. Ilmakuvat olivat onnistuneita, joten ladattiin seuraava lentosuunnitelma eli ympäryslentosuunnitelma kopteriin. Ympäryslennon tuottamat viistokuvat olivat kuten ensimmäisen lennon kuvat onnistuneita, joten signaalipisteet kerättiin pois ja lähdimme toimistolle purkamaan aineistot tietokoneelle.

### 6.3 Ilmakuvien prosessointi

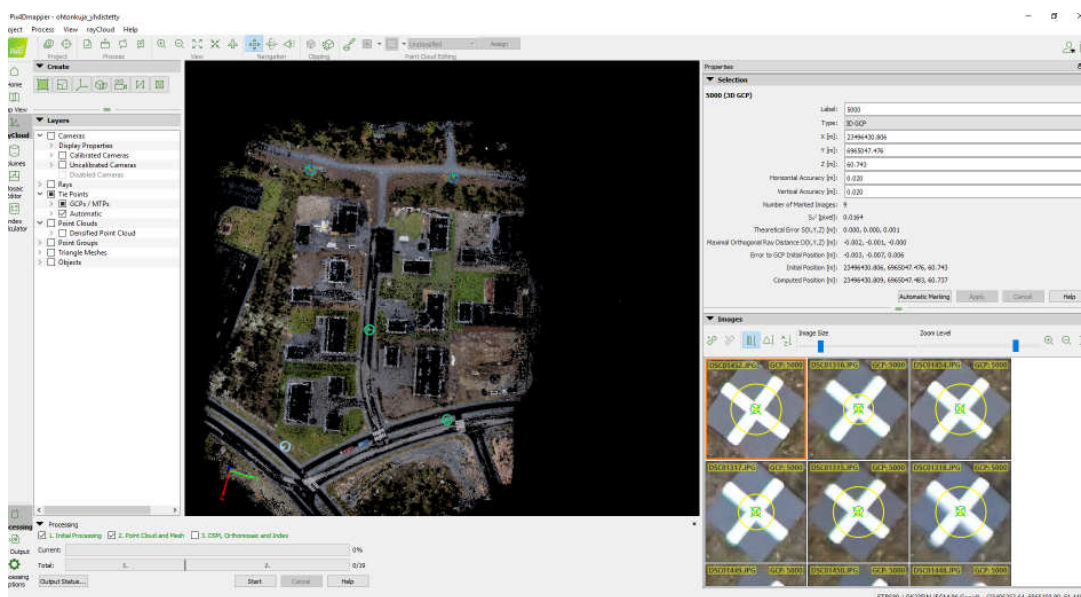
#### 6.3.1 Pix4d-ohjelma

Ilmakuvien prosessointi tehtiin Pix4dmapper-ohjelmalla. Pix4dmapper-ohjelmalla voidaan tuottaa valokuvista mm. värjättyä pistepilveä, ortokuvaa, digitaalisia pintamalleja, teksturoitua mesh-malleja, indeksikarttoja sekä lämpökarttoja. (Pix4d 2020.) Prosessointi tapahtuu kolmessa eri vaiheessa, mutta ensin luodaan projekti mihin lisätään kopterista otetut kuvat. Kuviin on yhdistetty kopterista saadut lokitiedoston tiedot eli GPS-koordinaatit ja IMU-yksikön arvot (Kuvio 29). Tämän jälkeen tiedetään jokaisen valokuvan kuvanottosijainti sekä kameran asento. Ohtonkujan tapauksessa meillä on kaksi lentoa, joten ensin prosessoidaan molempien lentojen ensimmäiset vaiheet erikseen ja liitetään tämän jälkeen yhteen Pix4D:n Merge-toiminnolla.



Kuvio 29. Ohtonkujan ensimmäisen lennon valokuvat lisättyinä Pix4D-ohjelmaan

Ensimmäisessä vaiheessa ohjelma yhdistää valokuvat toisiinsa etsimällä niistä samoja pisteitä eli vastinpisteitä. Tässä vaiheessa vastinpisteistä muodostuu jo harva pistepilvi. Tämän jälkeen voidaan georeferoida aineisto lukemalla GCP-pisteet (Ground Control Point) eli mitattujen signaalipisteiden koordinaatit tässä tapauksessa ETRS-GK23-koordinaatit N2000-korkeusjärjestelmän korkeustietoineen ohjelmaan. Valokuvista klikkaamalla ja kohdentamalla jokaisen signaalin erikseen ohjelma laskee ja kiertää aineiston oikeaan sijaintiinsa (Kuvio 30).



### Kuvio 30. GCP-pisteiden määrittäminen Pix4D-ohjelmassa

Kahden eri lennon yhdistämiseen tarvitaan yhteisiä MTP-pisteitä (Manual Tie Points) eli manuaalisesti valittuja kontrollispisteitä. Näitä pisteitä tarvitaan vähintään viisi kappaletta, jotka tiedetään näkyvän molempien lentojen valokuvissa. MTP-pisteitä nimetään samalla nimellä esimerkiksi MTP1, MTP2 jne.. Tämän jälkeen voidaan toisen lennon valokuvien ensimmäinen prosessivaihe suorittaa ja nimetä samat MTP-pisteet. Toisen lennon georeferointia eli signaaliristien määrittämistä ei tarvitse tehdä, koska nämä liitetään ensimmäiseen lennon projektiin MTP-pisteiden avulla. Kun yhdistäminen on tehty voidaan siirtyä toiseen vaiheeseen eli pistepilven tihennykseen. Prosessoinnin nopeudella voidaan vaikuttaa kuinka tiheän pistepilven ohjelma muodostaa. Nopealla eli "rapid" prosessoinnilla saadaan harvempi pistepilvi ja hitaammalla "slow" prosessoinnilla tiheän pistepilven. Tässä tapauksessa suoritettiin prosessointi suositellulla keskinopeudella. Prosessoinnista saatiin pistepilvi, jonka tiheys oli n. 4600 pistettä m<sup>3</sup> (Kuvio 31).

| Point Cloud Densification details     |  |
|---------------------------------------|--|
| <b>Processing Options</b>             |  |
| Image Scale                           | multiscale, 1/2 (Half image size, Default)                     |
| Point Density                         | Optimal  |
| Minimum Number of Matches             | 3  |
| 3D Textured Mesh Generation           | yes  |
| 3D Textured Mesh Settings:            | Resolution: Medium Resolution (default)<br>Color Balancing: no |
| LOD                                   | Generated: no  |
| Advanced: 3D Textured Mesh Settings   | Sample Density Divider: 1                                      |
| Advanced: Image Groups                | group1   |
| Advanced: Use Processing Area         | yes  |
| Advanced: Use Annotations             | yes  |
| Time for Point Cloud Densification    | 03h:16m:04s  |
| Time for Point Cloud Classification   | 04m:44s  |
| Time for 3D Textured Mesh Generation  | 22m:59s  |
| <b>Results</b>                        |  |
| Number of Generated Tiles             | 4  |
| Number of 3D Densified Points         | 44104079   |
| Average Density (per m <sup>3</sup> ) | 4632.49  |

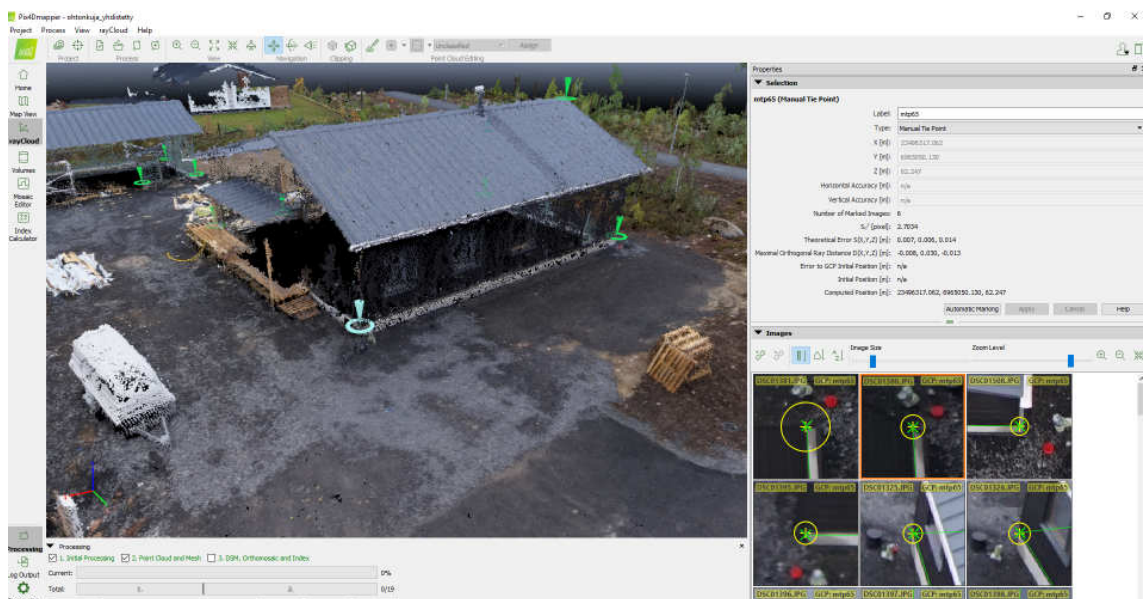
### Kuvio 31. Toisen vaiheen eli pistepilventihennyksen laaturaportti

Pix4D:n Raycloud-valikossa voidaan piirtää viivoja (polyline) tai valita pisteitä suoraan pistepilvestä valokuvia hyödyntäen, jolloin ohjelma kirjoittaa nämä erilliseen tasoon (objects). Näitä objekteja voidaan kirjoittaa ulos ohjelmasta mm. shp-tiedostoina. Tätä toimintaa pystyy hyödyntämään rakennuksien kivijalka-

vektoreiden piirtämisessä eli käytännössä kartoitetaan samoja rakennuksen ulkonurkkia kuin perinteisessä sijaintikatselmuksessa olisi kartoitettu.

### 6.3.2 Rakennuksien kivijalkavektorien piirtäminen

Rakennuksien ulkonurkkien poimiminen pistepilvestä tapahtuu samalla tavoin kuin signaalipisteiden määrittämisessä. Klikkaamalla pistepilvestä haluttu rakennuksen ulkonurkka ohjelma automaattisesti näyttää kaikki valokuvat missä kyseinen ulkonurkka pitäisi näkyä (Kuvio 32).

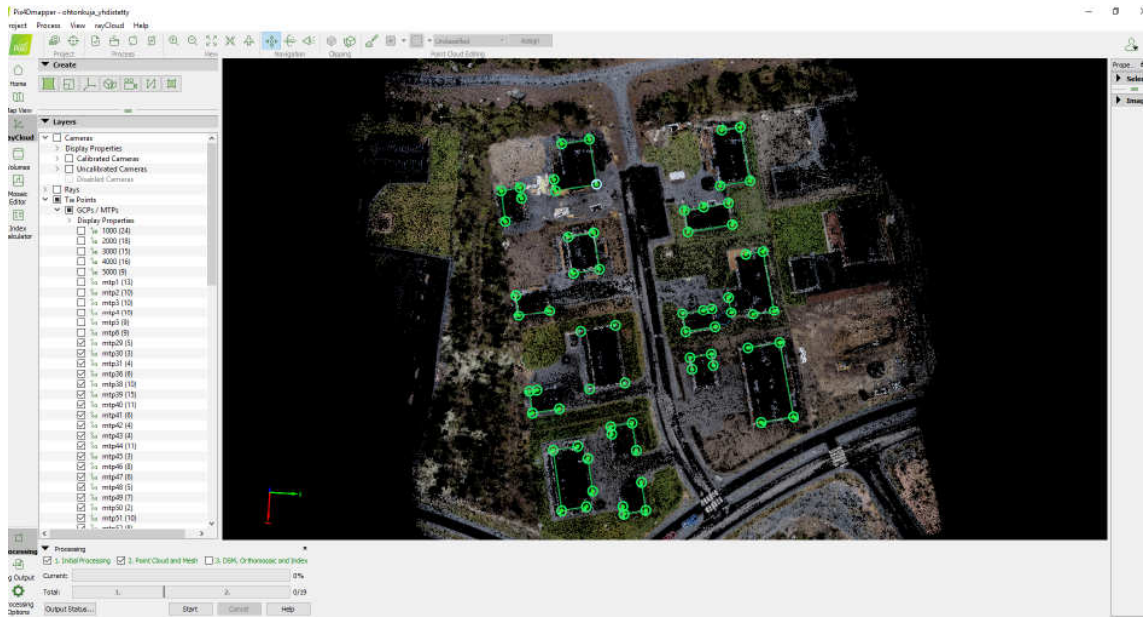


Kuvio 32. Rakennuksen ulkonurkan poimiminen Raycloud:ssa

Tämän jälkeen pystytään jokaisesta valokuvasta erikseen poimimaan kohta rakennuksen nurkasta eli kivijalan ja ulkoverhouksen leikkauskohta. Tällä tavoin saadaan rakennuksen sokkelikorkeus. Tätä ei pystyisi pelkästään pistepilviaineistosta tarkasti tekemään, koska se ei ole visuaalisesti yhtä tarkka kuin valokuvat. Kun kaikista valokuvista on tarkennettu haluttu kohta, ohjelma laskee nurkalle keskiarvo x, y ja z-koordinaatit ja tallentaa siihen kohtaan MTP-pisteen. Rakennuksen MTP-pisteet voidaan yhdistää toisiinsa viivalla muodostaen rakennuksen kivijalkavektori (Kuvio 33).

Kivijalkavektorit voidaan kirjoittaa ulos shp-tiedostoina ja avata tarkasteluun mm. 3D-win ohjelmassa. Näin voidaan verrata Pix4D:stä tuotetut kivijalkavekto-

rit pohjakartta-aineistossa oleviin kivijalkavektoreihin, jotka ovat perinteisellä sijaintikatselmuksella mitattuja.

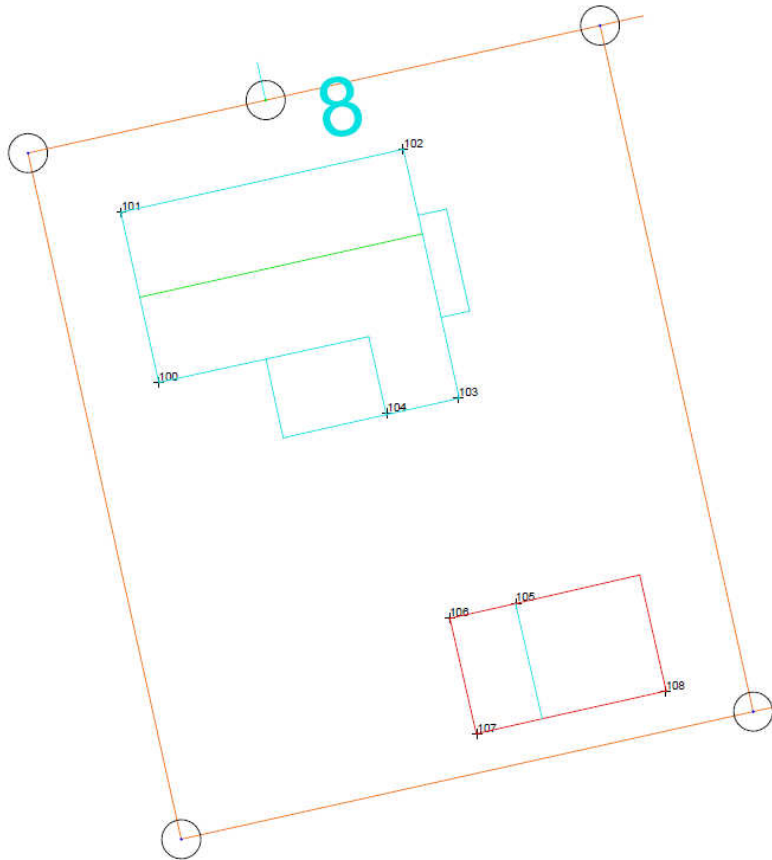


Kuvio 33. Ohtonkujan rakennuksien kivijalkavektorit Raycloudissa piirrettynä

### 6.3.3 Sijaintitarkkuuksien vertaaminen pohjakarttatietoihin

Pix4D:stä tuotetut kivijalkavektoreiden nurkat (MTP-pisteet) voidaan visuaalisesti verrata suoraan pohjakarttatietoihin 3D-win ohjelmassa (Kuvio 34), mutta saadakseen tarkempaa vertailuaineistoa tarvitaan x-, y ja z-koordinaattien poikkeamat jokaisesta nurkasta. Tähän löytyy 3D-win-ohjelmassa ”Vertaa pisteitä”-työkalu. Työkalulla voidaan verrata kahden eri tiedoston pisteitä toisiinsa jonkun yhteisen ominaisuuden avulla. Tässä tapauksessa käytetään samaa pistenumeroa saman nurkan pisteillä.

Pohjakartta-aineiston kivijalkavektorin nurkat valitaan erikseen pohjakartasta ja luodaan näille erillinen tiedosto. Pohjakartan kivijalkavektorit sisältävät pelkästään x- ja y-koordinaatit, joten sijaintikatselmuksessa mitattu z-koordinaatti löytyy kaupungin Trimble Locus paikkatietojärjestelmästä mistä saadaan lisättyä tämä arvo nurkille. Rakennuksille annetaan vain yksi z-koordinaatti (sokkelikorkeus), joten pohjakartta-aineiston vertailutiedostolle tulee yksi z-koordinaatti asuntoa kohden.



Kuvio 34. Ohtonkuja 8 MTP-pisteiden visuaalinen vertailu pohjakartta-aineistoon 3D-win ohjelmassa

Pix4D:stä tuotetut kivijalkavektoreiden nurkkapisteet (MTP-pisteet) sisältävät jokainen valokuvista tarkennetut x- y- ja z-koordinaatit, joten z-koordinaatit verrataan jokaisessa nurkassa rakennuksen sijaintikatselmuksessa mitattuun tarkkaan sokkelikorkeuteen.

Kun molemmat tiedostot eli pohjakartan ja Pix4D:n kivijalkavektorit on luettu 3D-win-ohjelmaan ja nurkat numeroitu uudestaan samannimisiksi voidaan suorittaa ”Vertaa pisteitä”-komennon. Komento vertaa samannimiset pisteet toisiinsa x-, y- ja z-koordinaatin suhteen ja kirjaa tämän jälkeen tulokset tekstitiedostoon, joissa on koordinaattierot, eromitat x- ja y-tasossa ja x-, y- ja z-tasossa (Kuvio 35).

| Tiedosto                  | Muokkaa | Muotoile | Näytä       | Ohje         |        |       |       |     |      |
|---------------------------|---------|----------|-------------|--------------|--------|-------|-------|-----|------|
| Vertaa pisteitä toisiinsa |         |          |             |              |        |       |       |     |      |
| Hakuraja 4X=1.000         |         |          |             |              |        |       |       |     |      |
|                           |         |          |             |              | dx     | dy    | dz    | dxy | dxyz |
|                           | 202     | 105      | 6965026.864 | 23496322.830 | 62.253 |       |       |     |      |
|                           |         | 105      | 0.000       | -0.015       | 0.007  | 0.015 | 0.017 |     |      |
|                           | 202     | 106      | 6965026.119 | 23496319.436 | 62.265 |       |       |     |      |
|                           |         | 106      | -0.014      | 0.016        | -0.005 | 0.021 | 0.022 |     |      |
|                           | 202     | 107      | 6965020.208 | 23496320.836 | 62.226 |       |       |     |      |
|                           |         | 107      | -0.014      | -0.033       | 0.034  | 0.036 | 0.049 |     |      |
|                           | 202     | 108      | 6965022.369 | 23496330.502 | 62.287 |       |       |     |      |
|                           |         | 108      | 0.024       | 0.015        | -0.027 | 0.028 | 0.039 |     |      |
|                           | 200     | 100      | 6965038.208 | 23496304.562 | 62.256 |       |       |     |      |
|                           |         | 100      | -0.021      | -0.012       | 0.004  | 0.024 | 0.025 |     |      |
|                           | 200     | 101      | 6965046.888 | 23496302.634 | 62.257 |       |       |     |      |
|                           |         | 101      | 0.015       | -0.026       | 0.003  | 0.030 | 0.030 |     |      |
|                           | 200     | 102      | 6965050.130 | 23496317.062 | 62.247 |       |       |     |      |
|                           |         | 102      | -0.005      | 0.010        | 0.013  | 0.011 | 0.017 |     |      |
|                           | 200     | 103      | 6965037.390 | 23496319.887 | 62.270 |       |       |     |      |
|                           |         | 103      | -0.014      | 0.046        | -0.010 | 0.048 | 0.049 |     |      |
|                           | 200     | 104      | 6965036.597 | 23496316.237 | 62.241 |       |       |     |      |
|                           |         | 104      | -0.060      | -0.041       | 0.019  | 0.073 | 0.075 |     |      |

Kuvio 35. Ohtonkuja 8 tiedostojen koordinaattierojen sekä eromittojen tulokset

Tekstiedoston muoto mahdollistaa tiedoston lukemisen Excel ohjelmaan missä saadaan luettua koordinaattipoikkeamat ja eromitat omiin sarakkeisiin. Kun kaikista rakennuksista on saatu laskentatulokset ja yhdistetty yhdeksi tiedostoksi voidaan laskea keskiarvoja (Liite 2, 1). Kaikkien rakennuksien yhteenlaskettu nurkkamäärä oli 66 kappaletta mistä jouduttiin poistamaan kolmen nurkan z-koordinaatti, koska näiden kohdalla ei pystytty määrittämään oikeata kohtaa eli sokkelikorkeutta valokuvissa olevien esteiden takia ja tämän takia niitä ei otettu keskiarvolaskennassa mukaan.

Laskenta antoi keskiarvopoikkeamaksi x-, y- ja z-koordinaateissa < 1 cm ja keskiarvoetäisyys xy-tasossa 37 mm ja xyz-tasossa 48 mm (Kuvio 36).

|                     | dX            | dY            | dZ            | dxy-etäisyys | dxyz-etäisyys |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| <b>Keskiarvo</b>    | <b>0,008</b>  | <b>0,009</b>  | <b>0,008</b>  | <b>0,037</b> | <b>0,048</b>  |
| <b>Keskihajonta</b> | <b>0,028</b>  | <b>0,031</b>  | <b>0,029</b>  |              |               |
| <b>Maksimiarvo</b>  | <b>0,089</b>  | <b>0,082</b>  | <b>0,077</b>  |              |               |
| <b>Minimiarvo</b>   | <b>-0,060</b> | <b>-0,077</b> | <b>-0,059</b> |              |               |

Kuvio 36. Rakennuksien nurkkien yhteenlasketut keskiarvot ja poikkeamat pohjakarttietoihin (Liite 2, 1)

Keskihajonnan ollessaan x-, y- ja z-tasossa  $< 32$  mm voidaan todeta että Pix4D:stä tuotetut nurkkien sijaintitarkkuudet ovat tarkkoja, kun jakauma on lähellä keskiarvoa. Kolmiulotteisen tarkkuuden (dxyz-etäisyys) ollessa keskimäärin 48 mm riittävät tulokset vaativamman mittausluokan 1e vaatimuksiin joka on  $< 0.1$  m (JHS185 2020, 2).

Viivakaaviossa (Liite 2, 2) voidaan havainnollistaa missä sijaitsevat suurimmat koordinaattipoikkeamat ja ovatko nämä samansuuntaisia tai satunnaisia. Kaaviosta (Liite 2, 2) voidaan todeta että rakennuksen nurkka 20 eli Ohtonkuja 2 nurkka 102 poikkeavat toisiinsa nähden, ja syy tähän oli nurkan sijainti katoksen alla. Nurkka näkyi pelkästään kolmessa eri ilmakuvasssa ja tämä vaikuttaa suoraan sijainnin tarkkuuteen. Toinen poikkeama kaaviossa (Liite 2, 2) on nurkan 49 kohdassa eli Ohtonkuja 5 nurkka 108 missä poikkeamat ovat samansuuntaisia. Syy näihin poikkeamiin osoittautui autokatoksen vuoraamatta olleen pystytolpan kohta, joka näkyi pelkästään valokuvissa. Ylempää vuorattu osa tolpastä on kartoitettu sijaintikatselmuksen yhteydessä ja suurempi koordinaattiero johtui tästä.

Kaaviosta (Liite 2, 2) voidaan myös huomata nurkkien 1, 6 ja 7 eli Ohtonkuja 1 nurkat 101, 102 ja 104 kohdissa myös satunnaista poikkeamaa koordinaateissa ja todennäköisin syy tähän on huonolaatuisen viistokuvan/kuvien ottaminen mukaan laskentaan, koska kaikki kolme nurkkaa olivat rakennuksien pohjoispuolella ja näin myös näkyvissä samoissa valokuvissa. Muuten kaavio (Liite 2, 2) antaa samalla tavalla kuin keski- ja keskihajonta-arvot kuvan tasalaatuisesta aineistosta.

## 7 POHDINTA

Opinnäytetyötä tehdessäni huomasin kuinka laaja kokonaisuus itse 3D-kaupunkimallintaminen on. Koko 3D-kaupunkimallintamisen kokonaisuuden ottamisen mukaan opinnäytetyön aiheeksi olisikin ollut tämänhetkiselletietämystasollani liian laaja ja aika ei olisi riittänyt kaiken käsittelemiseen. Aiherajauksen pitäminen itse rakennuksien geometriatietojen keräämisessä, joka on tärkeä osa visualisointia, osoittautui oikeaksi valinnaksi vaikka, geometriatiedot ovat vain pieniosa 3D-kaupunkimallin kokonaisuutta. Kaupunkimallintamisen osaaamisen karttumisen lisäksi sain paneutua syvemmin rakennuslupiin liittyviin lakeihin sekä asiakirjoihin. Tarkka fotogrammetrinen pistepilvi vaatii hyvän lentosuunnitelman ja sen harjoittamisesta jäi hyvät kokemukset tulevaisuutta varten.

Lopputuloksena laadittu ”Opas 3D-asemapiirroksen laatimiseen” osoittautui toimivaksi lähtötietoaineistoksi rakennuksen 3D-mallintamiseen ja voidaan halutessaan liittää osaksi rakennusvalvonnan rakennuslupahakemus asiakirjaksi, jos näin päätettäisiin. UAV-lennokilla otettujen valokuvien prosessoinnin lopputuotoksista Mesh-malli voidaan päivittää sellaisenaan Seinäjoen kaupungin fotogrammetriseen 3D-kaupunkimalliin. Lisäksi erilliseen LOD2-tason 3D-kaupunkimalliin voidaan liittää FME-ohjelmalla muodostettuja 3D-mallisia rakennuksia. Rakennuksien teksturoiminen Terraphoto ohjelmassa jäi valitettavasti todentamatta, mutta asiaa vielä selvitetään.

Tulokset 3D-asemapiirroksen hyödyntämiseen rakennuslupakäsittelyssä sekä prosessoidun fotogrammetrisen pistepilven hyödyntäminen rakennusvalvontamittauksista ovat kiistattomat. Rakennuksen sijainnin määrittäminen 3D-asemapiirroksen avulla on hyvin suoraviivaista, kun rakennus jo itsestään on oikeassa koordinaatistossa. Fotogrammetrisestä pistepilvestä voidaan vektoroida rakennuksen kivijalkavektorit erittäin tarkasti laskentatuloksien perusteella, mutta tämä vaatii kumminkin ymmärrystä RPAS-järjestelmän toimivuudesta ja miten saadaan tuotettua tarkkaa fotogrammetristä pistepilveä.

3D-kaupunkimallintamisessa tarvitaan paljon tietoa ja taitoa, joten asiantunteva henkilöstö on siinä kaiken keskipisteessä. Kaupunkimallintamista voidaan tehdä kalliilla menetelmillä tai sitten edullisemmin automatisoimalla mahdollisimman

paljon käyttämällä apuna eri ohjelmistoja ja läheltä saatavaa aineistoa. Tässä opinnäytetyöprosessissa sain vietyä kaupunkimallintamista eteenpäin pienen osan automatisoimalla rakennusten 3D-muodostamista, mutta täysin automatisoituun järjestelmään olisi vielä paljon työtä tehtävissä.

## LÄHTEET

3D-system 2020. 3D-win ohjelmiston sisältö. Viitattu 9.3.2020 <http://www.3d-system.fi/index.php/3d-win>

Cesium 2020. Yleisesti Cesium alustasta. Viitattu 30.1.2020 <https://cesium.com/about/>.

Erving, A. 2008. Paikkatiedoista kaupunkimalleihin: CityGML selvitystyö. Teknillinen korkeakoulu. Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen laboratorio. Viitattu 8.1.2020 [http://www.citygeomodel.fi/dokumentit/Loppuraportti\\_MMM\\_anna.pdf](http://www.citygeomodel.fi/dokumentit/Loppuraportti_MMM_anna.pdf).

Helsingin kaupunki 2019a. Helsingin 3D-kaupunkimallit. Viitattu 30.12.2019 <https://www.hel.fi/helsinki/fi/kaupunki-ja-hallinto/tietoa-helsingista/yleistietoa-helsingista/Helsinki-3d/katsele-malleja/#fb448685>.

- 2019b. Helsingin 3D-historiaa. Viitattu 30.12.2019 <https://www.hel.fi/helsinki/fi/kaupunki-ja-hallinto/tietoa-helsingista/yleistietoa-helsingista/Helsinki-3d/miten-mallit-on-tehty/#fb448685>.

JHS185 2020. Liite 4: Kohteiden kartoituksen laatuvaatimukset. Viitattu 14.4.2020 [http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS185\\_liite4/JHS185\\_liite4.html](http://docs.jhs-suositukset.fi/jhs-suositukset/JHS185_liite4/JHS185_liite4.html).

Khronos Group 2020. Yleiskatsaus Khronos Groupista. Viitattu 20.1.2020 <https://www.khronos.org/about/>.

Kuntaliitto 2019. KM3D-hanke. Viitattu 6.1.2020 <https://www.kuntaliitto.fi/tilastot-ja-julkaisut/verkko-opaat/paikkatiedon-opas/hankkeet/kolmiulotteinen-kaupunkimalli-km3d-hanke>.

Laine, T. 2020. Haastattelu rakennuksien 3D-mallien geometrinen tietojen kerääminen rakennuslupaprosessin kautta. Sähköposti toni.m.laine@tampere.fi 11.2.2020. Tulostettu 12.2.2020.

Liukkonen, O. 2015. Kuntien paikkatiedon polku kantan kartasta 3D-kaupunkimalliin. Aalto yliopisto. Kartografia ja geoinformatiikka. Diplomityö.

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132

OGC 2012a. OGC:n standardit. CityGML. Viitattu 8.1.2020 <https://www.opengeospatial.org/standards/citygml>.

- 2012b. OGC:n CityGML:n standardi, versio 2.0. Ladattavissa OGC:n kotisivuilta. Viitattu 8.1.2020 <https://www.opengeospatial.org/standards/citygml#downloads>.

OPS M1-32 2020. Traficomien määräykset kauko-ohjatun ilma-aluksen ja lennon käyttäminen ilmailuun. Ladattavissa Traficomien kotisivuilta. Viitattu 23.3.2020 <https://www.traficom.fi/fi/liikenne/ilmailu/kauko-ohjattujen-lennokkien-ja-ilma-alusten-uasrpsadrone-taajuudet-ja-radiolupa?toggle=OPS%20M1->

32%20Kauko-ohjatun%20ilma-  
aluksen%20ja%20lennokin%20k%C3%A4ytt%C3%A4minen%20ilmailuun.

Pix4D 2020. Pix4Dmapper ohjelmisto. Viitattu 4.3.2020  
<https://www.pix4d.com/product/pix4dmapper-photogrammetry-software>.

Seinäjoen kaupunki 2020a. Paikkatieto-ohjelma 2020. Ladattavissa Seinäjoen kaupungin kotisivuilta. Viitattu 30.1.2020  
[https://www.seinajoki.fi/asuminenjaymparisto/kartatjapaikkatietopalvelut/paikkatieto-ohjelma2020\\_1.html](https://www.seinajoki.fi/asuminenjaymparisto/kartatjapaikkatietopalvelut/paikkatieto-ohjelma2020_1.html).

- 2020b. Rakenna Seinäjoelle, rakennusvalvonnan esite. Viitattu 7.2.2020  
[https://www.esitteemme.fi/rakenna\\_seinajoelle/WebView/](https://www.esitteemme.fi/rakenna_seinajoelle/WebView/).

- 2020c. Seinäjoen kaupungin rakennusopas, ladattavissa Seinäjoen kaupungin kotisivuilta. Viitattu 10.2.2020 [http://rakentajanopas.fi/wp-content/uploads/Rakentajan-Opas\\_Seinäjoen-alue-2019.pdf](http://rakentajanopas.fi/wp-content/uploads/Rakentajan-Opas_Seinäjoen-alue-2019.pdf).

- 2020d. Seinäjoen kaupungin mittauspalveluiden tiedot. Viitattu 12.2.2020  
<https://www.seinajoki.fi/asuminenjaymparisto/kiinteistojamittauspalvelut/mittauspalvelut.html>.

- 2020e. Seinäjoen kaupungin toimintakäsikirja miehittämättömään ilmailuun. Ei julkisesti saatavilla. Viitattu 3.4.2020.

Sinervo, J.2019. Kaupunkimallinnuksen keinot. Lapin Ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikka. Opinnäytetyö (AMK).

Sinervä, J. 2019. Turun kaupunkitietomallin tavoite ja tuotantoprosessi. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Maanmittaustekniikka. Opinnäytetyö (YAMK).

Soininen, A.2020. Sähköpostikeskustelu Terrasolidin asiantuntijan kanssa. Sähköposti arttu.soininen@terrasolid.com 9.4.2020. Tulostettu 7.5.2020.

Spatialworld 2020. Yleistä tietoa FME ohjelmistosta. Viitattu 26.3.2020  
<https://spatialworld.fi/fi/fme/>.

Tampereen kaupunki 2020. Ohje sähköisen asemapiirroksen laatimisesta. Ladattavissa Tampereen kaupungin kotisivuilta. Viitattu 10.2.2020  
<https://www.tampere.fi/tiedostot/o/0xkFFacbF/asempiirrosohje.pdf>.

Terrasolid 2020. Yleisestä tietoa Terraphoto ohjelmasta. Viitattu 7.5.2020  
<http://www.terrasolid.com/products/terrphotopage.php>

Trimble Webmap 2020. Seinäjoen kaupungin käytössä oleva paikkatietosovellus, ei julkinen liittymä. Viitattu 5.3.2020.

Videodrone 2020. Geodrone X4L v5 esite ladattavissa kotisivuilta. Viitattu 12.3.2020 <https://videodrone.fi/geodrone-x4l/>.

Vähätiitto, J. 2020. Seinäjoen kaupunki. Keskustelu paikkatietoasiantuntijan kanssa 29.1.2020.

Web 3D Consortium 2020. Reaaliaikaisen 3D-viestinnän avoimet standardit. Viitattu 20.1.2020 <https://www.web3d.org/x3d-vrml-most-widely-used-3d-formats>.

## LIITTEET

- Liite 1. Seinäjoen kaupungin ohje 3D-asetapiirroksen laatimiseen
- Liite 2. Koordinaattipoikkeamat Pix4D:stä tuotetuista rakennuksien nurkissa verraten pohjakarttatietoihin.

Liite 1 1(4)

# OHJE 3D- ASEMAPIIRROKSEN LAATIMISEEN



**Seinäjoki**

SEINÄJOEN KAUPUNKI | Kaupunkiympäristön toimiala | Kiinteistö- ja paikkatietopalvelut

Kirkkokatu 6 | PL 215 | 60101 Seinäjoki | p. 06 416 2111 (vaihe) | [mittauspalvelut@seinajoki.fi](mailto:mittauspalvelut@seinajoki.fi) | [www.seinajoki.fi](http://www.seinajoki.fi)

## Liite 1 2(4)

**1. Rakennuslupahakemuksen mukaan liitettävä asemapiirroksen 3D-malli**

- Rakennuslupahakemuksen mukaan liitettävä asemapiirroksen 3D-malli toimitetaan DWG-tiedostoformaattissa ja DWG-kuvan mittakaava on metri
- Asemapiirros tallennetaan Seinäjoen kaupungin käyttämässä ETRS-GK23-koordinaatistossa ja korkeusjärjestelmänä käytetään N2000-korkeusjärjestelmää.

**2. Asemapiirroksen tasoihin tulee sisällyttää erikseen selkeästi nimetyt tasot. Näiden tasojen kaikki viivat tulee olla piirrettynä suljettuina polylinaeina (PLINE). Seuraavat asemapiirroksen viivat tulee olla piirrettynä suunnittelussa N2000-korkeusjärjestelmän mukaisessa korkeudessa (3D)**

- Rakennuksen 1. kerroksen lattiatason ulkoseinälinja tasonimellä **RakennuksenOsa\_seinalinja**
- Rakennuksen harjalinja tasonimellä **RakennuksenOsa\_harjalinja**
- Rakennuksen räystäslinja tasonimellä **RakennuksenOsa\_raystaslinja**

**Seuraavilla tasoilla ei tarvitse esittää korkeustietoa (3D)**

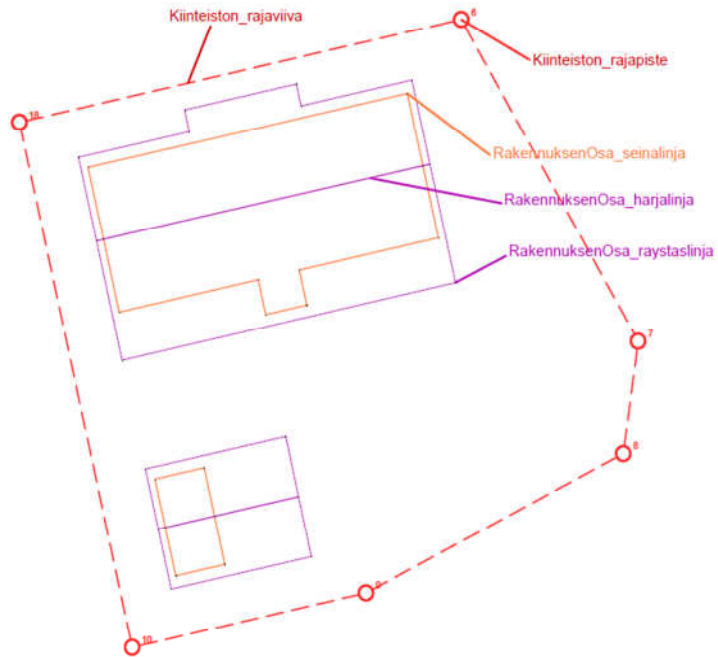
- Kiinteistön rajapisteet tasonimellä **Kiinteiston\_rajapiste**
- Kiinteistön rajaviivat tasonimellä **Kiinteiston\_rajaviivat**



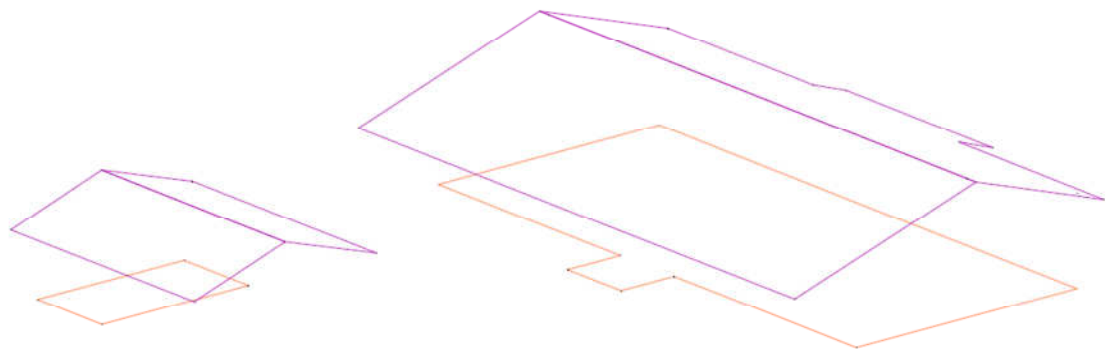
Liite 1 3(4)

### 3. Esimerkkimalli 1

Kuva asemapiirroksesta ylänäköymästä



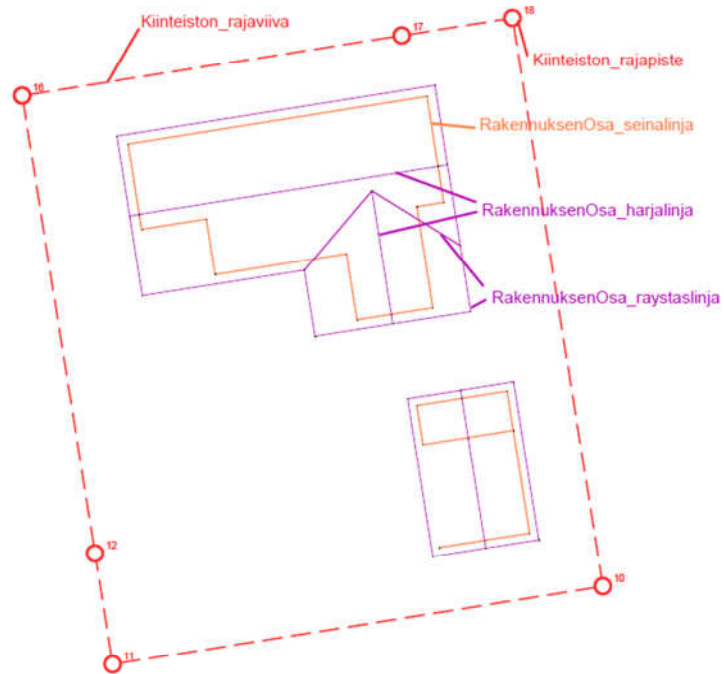
Kuva asemapiirroksesta 3D-näkymästä



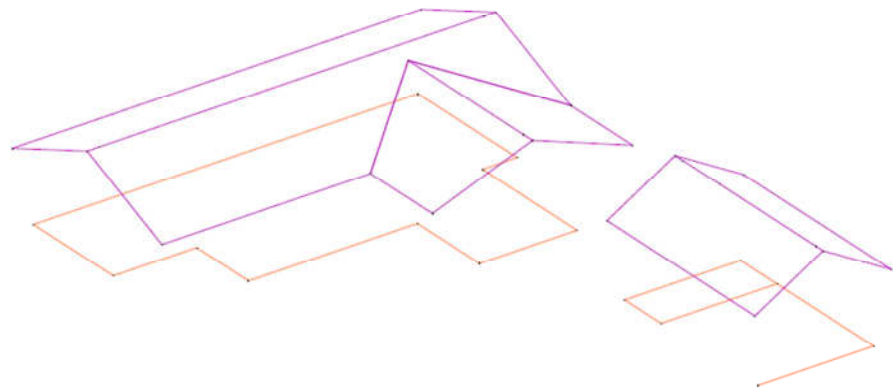
Liite 1 4(4)

## Esimerkkimalli 2

Kuva asemapiirroksesta ylänäköystä



Kuva asemapiirroksesta 3D-näkymästä



## Liite 2 1 (2)

Koordinaattipoikkeamat Pix4D:stä tuotetuista rakennuksien nurkissa verraten pohjakarttatietoihin.

| Osoite      | Vivakkaavion numerointi | 3D-wi:n numerointi | dX     | dY     | dZ     | dXY   | dXYZ  |
|-------------|-------------------------|--------------------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Ohtonkuja 1 | 1                       | 104                | 0,058  | 0,082  | 0,056  | 0,100 | 0,115 |
|             | 2                       | 105                | 0,043  | 0,035  | 0,035  | 0,046 | 0,058 |
|             | 3                       | 106                | 0,034  | 0,017  | 0,021  | 0,038 | 0,043 |
|             | 4                       | 107                | 0,023  | 0,029  | 0,004  | 0,037 | 0,037 |
|             | 5                       | 108                | 0,004  | 0,034  | 0,017  | 0,034 | 0,038 |
|             | 6                       | 102                | -0,002 | 0,072  | 0,077  | 0,072 | 0,105 |
|             | 7                       | 101                | 0,062  | 0,051  | 0,017  | 0,080 | 0,082 |
|             | 8                       | 100                | 0,040  | 0,050  | -0,010 | 0,064 | 0,065 |
| Ohtonkuja 2 | 9                       | 106                | 0,028  | 0,018  | -0,018 | 0,033 | 0,038 |
|             | 10                      | 107                | 0,020  | -0,019 | -0,021 | 0,028 | 0,035 |
|             | 11                      | 108                | 0,017  | 0,004  | -0,026 | 0,017 | 0,031 |
|             | 12                      | 109                | 0,041  | 0,030  | 0,029  | 0,051 | 0,058 |
|             | 13                      | 110                | -0,008 | -0,001 | -0,041 | 0,003 | 0,041 |
|             | 14                      | 111                | 0,012  | -0,026 | 0,037  | 0,029 | 0,047 |
|             | 15                      | 112                | -0,007 | -0,012 | 0,048  | 0,014 | 0,050 |
|             | 16                      | 113                | -0,013 | -0,043 | 0,018  | 0,045 | 0,048 |
|             | 17                      | 105                | 0,000  | -0,057 | -0,052 | 0,057 | 0,077 |
|             | 18                      | 104                | 0,014  | -0,019 | -0,059 | 0,024 | 0,064 |
|             | 19                      | 108                | 0,038  | -0,041 | -0,025 | 0,056 | 0,061 |
|             | 20                      | 102                | 0,067  | -0,077 | -0,057 | 0,102 | 0,117 |
|             | 21                      | 101                | 0,031  | -0,006 | 0,038  | 0,032 | 0,049 |
|             | 22                      | 100                | 0,013  | -0,022 | 0,027  | 0,026 | 0,037 |
| Ohtonkuja 3 | 23                      | 107                | -0,008 | 0,041  | 0,000  | 0,041 | 0,041 |
|             | 24                      | 108                | -0,006 | 0,030  | 0,005  | 0,031 | 0,031 |
|             | 25                      | 109                | 0,002  | 0,010  | 0,038  | 0,010 | 0,039 |
|             | 26                      | 110                | 0,023  | 0,021  | 0,035  | 0,031 | 0,047 |
|             | 27                      | 106                | 0,004  | 0,015  | 0,004  | 0,016 | 0,016 |
|             | 28                      | 100                | 0,007  | -0,006 |        | 0,009 |       |
|             | 29                      | 101                | 0,010  | -0,010 | -0,002 | 0,014 | 0,014 |
|             | 30                      | 102                | 0,001  | 0,041  | 0,020  | 0,041 | 0,046 |
|             | 31                      | 108                | -0,002 | 0,024  |        | 0,024 |       |
|             | 32                      | 104                | 0,004  | 0,006  | -0,005 | 0,007 | 0,009 |
|             | 33                      | 105                | -0,001 | 0,001  | 0,037  | 0,001 | 0,037 |
| Ohtonkuja 4 | 34                      | 104                | 0,028  | 0,025  | 0,033  | 0,038 | 0,050 |
|             | 35                      | 108                | 0,048  | 0,049  | 0,019  | 0,084 | 0,085 |
|             | 36                      | 102                | 0,051  | 0,037  | 0,003  | 0,063 | 0,063 |
|             | 37                      | 101                | 0,027  | 0,038  | -0,020 | 0,047 | 0,051 |
|             | 37                      | 105                | -0,014 | -0,013 | -0,021 | 0,019 | 0,028 |
|             | 39                      | 106                | -0,029 | -0,031 | 0,019  | 0,042 | 0,047 |
|             | 40                      | 107                | -0,026 | -0,028 | 0,007  | 0,038 | 0,039 |
|             | 41                      | 108                | 0,020  | -0,030 | -0,012 | 0,036 | 0,038 |
| Ohtonkuja 5 | 42                      | 100                | -0,021 | 0,002  | 0,028  | 0,021 | 0,035 |
|             | 43                      | 102                | 0,036  | 0,028  |        | 0,046 |       |
|             | 44                      | 108                | 0,017  | 0,013  | 0,020  | 0,021 | 0,029 |
|             | 45                      | 104                | 0,004  | 0,009  | 0,040  | 0,010 | 0,041 |
|             | 46                      | 105                | -0,040 | 0,023  | 0,000  | 0,046 | 0,046 |
|             | 47                      | 106                | -0,025 | -0,006 | -0,008 | 0,026 | 0,027 |
|             | 48                      | 107                | 0,004  | 0,006  | 0,006  | 0,007 | 0,009 |
|             | 49                      | 108                | 0,089  | 0,067  | 0,068  | 0,111 | 0,131 |
|             | 50                      | 109                | -0,012 | 0,024  | -0,028 | 0,027 | 0,039 |
| Ohtonkuja 6 | 51                      | 104                | -0,046 | 0,008  | -0,001 | 0,046 | 0,046 |
|             | 52                      | 105                | 0,010  | 0,022  | -0,029 | 0,024 | 0,038 |
|             | 53                      | 106                | 0,005  | 0,039  | -0,001 | 0,039 | 0,039 |
|             | 54                      | 100                | -0,037 | 0,027  | 0,032  | 0,046 | 0,056 |
|             | 55                      | 101                | -0,022 | 0,010  | 0,053  | 0,024 | 0,058 |
|             | 56                      | 102                | 0,006  | 0,037  | 0,058  | 0,037 | 0,069 |
|             | 57                      | 108                | -0,010 | 0,023  | -0,027 | 0,025 | 0,037 |
| Ohtonkuja 8 | 58                      | 105                | 0,000  | -0,015 | 0,007  | 0,015 | 0,017 |
|             | 59                      | 106                | -0,014 | 0,016  | -0,005 | 0,021 | 0,022 |
|             | 60                      | 107                | -0,014 | -0,033 | 0,034  | 0,036 | 0,049 |
|             | 61                      | 108                | 0,024  | 0,015  | -0,027 | 0,028 | 0,039 |
|             | 62                      | 100                | -0,021 | -0,012 | 0,004  | 0,024 | 0,025 |
|             | 63                      | 101                | 0,015  | -0,026 | 0,003  | 0,030 | 0,030 |
|             | 64                      | 102                | -0,005 | 0,010  | 0,013  | 0,011 | 0,017 |
|             | 65                      | 108                | -0,014 | 0,046  | -0,010 | 0,048 | 0,049 |
|             | 66                      | 104                | -0,060 | -0,041 | 0,019  | 0,073 | 0,075 |

|              | dX     | dY     | dZ     | dxy-etäisyys | dxyz-etäisyys |
|--------------|--------|--------|--------|--------------|---------------|
| Keskiarvo    | 0,008  | 0,009  | 0,008  | 0,037        | 0,048         |
| Keskihajonta | 0,028  | 0,031  | 0,029  |              |               |
| Maksimiarvo  | 0,089  | 0,082  | 0,077  |              |               |
| Minimiarvo   | -0,060 | -0,077 | -0,059 |              |               |

## Liite 2 2 (2)

