

OPINNÄYTETYÖ
JUHO LAMPINEN 2011

**LASERKEILAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN
KUNNAN SUUNNITTELU- JA
MITTAUSTOIMINNASSA**



Rovaniemen
ammattikorkeakoulu
University of Applied Sciences

MAANMITTAUSTEKNIIKAN
KOULUTUSOHJELMA

ROVANIEMEN AMMATTIKORKEAKOULU

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

Maanmittaustekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

**LASERKEILAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN KUNNAN
SUUNNITTELU- JA MITTAUSTOIMINNASSA**

Juho Lampinen

2011

Toimeksiantaja Tornion kaupunki

Ohjaaja Pasi Laurila

Hyväksytty _____ 2011 _____

Author	Juho Lampinen	Year	2011
Commissioned by	Tornio Municipality		
Subject of thesis	Applicability of Laser Scanning in Planning and Measurement Functions in a Municipality		
Number of pages	45 + 1		

Laser scanning is a relatively new but efficient way to produce 3D information of various objects. Laser scanning produces points of which coordinates (x,y,z) are known. 3D-models can be made from point clouds.

The purpose of this thesis was to explore how technical departments in a municipality can take advantage of laser scanning, and to find out what new can laser scanning end products generate compared to a numerical map material. In addition, problems were identified concerning to municipality's laser scanning projects and end product utilizations.

The starting point of the thesis was the airborne laser scanning which was made to the Tornio municipality in the summer of 2010. The end products, reports and experiences related to the project were exploited. Useful information has been received also from other municipalities. The internet and literature were used to acquire basic knowledge.

Using laser scanning a municipality can receive detailed descriptions of ground, roads and buildings. The end products can be used, for example, in urban planning and in the transfer of the height system. In addition, the material can be sold to outside parties. In many cases laser scanning is today more economical than traditional forms of measurement. Acquisition of the right programs is essential to gain benefits of the end products effectively.

Laser scanning technology and associated programs are complicated. The end products may remain significantly untapped without special skills. In this context especially small municipalities may have problems with resources.

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	1
1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet.....	1
1.2 Tornion kaupunki ja Finnmap Oy.....	2
1.3 Tutkimusmenetelmät.....	2
2 LASERKEILAUS.....	3
2.1 Toimintaperiaate.....	3
2.2 Laserkeilausmenetelmät.....	4
2.3 Laserkeilauksen vahvuudet ja kannattavuus.....	9
3 OHJELMAT JA TIEDOSTOMUODOT.....	12
3.1 Formaattit	12
3.2 Terrasolid.....	13
3.3 Ilmaisohjelmat.....	15
4 OHJEITA AINEISTON KÄYTTÖÄ VARTEN.....	19
5 PISTEIDEN LUOKITTELU.....	21
6 KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET.....	22
6.1 Laserkeilaus apuna korkeusjärjestelmävaihdoksessa.....	23
6.2 Rakennukset ja rakentaminen.....	23
6.3 Ilmakuvauus ja ortokuvat.....	25
7 MAANMITTAUSLAITOKSEN LASERKEILAUSAINEISTO.....	29
8 LASERKEILAUS TORNION KAUPUNGIN ALUEELLA.....	32
8.1 Sovitus taso- ja korkeusjärjestelmään ja aineiston tarkkuuden tarkastelu.....	33
8.2 Huomioita hankkeeseen liittyen.....	34
8.3 Lopputuotteet.....	36
8.4 Lopputuotteiden hyödyntäminen.....	36
8.4.1 Käyttökohteet.....	37
8.4.2 Ohjelmat.....	38
9 YHTEENVETO.....	42
LÄHTEET.....	44
LIITTEET	
Liite 1: Kartta Tornion laserkeilausalueesta	

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Laserkeilaus on nykyaikainen ja tehokas menetelmä kolmiulotteisen paikkatiedon keräämiseen. 1990-luvun lopulla sitä alettiin hyödyntää kaupallisesti ja siitä lähtien sen käyttö on yleistynyt teknologian jatkuvasti kehittyessä. Laserkeilauslaitteistojen ja mittaustietoa käsittelevien ohjelmistojen kehittyessä myös alan ammattilaiset ovat omaksuneet runsaasti tietoa siitä, miten laserkeilausta voi hyödyntää. Kuitenkin monet tahot, jotka mahdollisesti voisivat hyödyntää laserkeilausta, ovat vielä tietämättömiä laserkeilauksen menetelmistä ja tulosten hyödyntämisestä. Usein laserkeilausta hyödynnetään vain hankekohtaisesti, vaikka monet muutkin tahot voisivat hyötyä saaduista tuloksista siten, että laserkeilaus olisi kokonaistaloudellisesti entistä kannattavampaa.

Työn toimeksiantaja on Tornion kaupunki, jonne on tehty ilmalaserkeilaus kesällä 2010. Kyseisen keilauksen aineistoa ja keilauksesta saatuja kokemuksia hyödynnetään tätä työtä tehtäessä. Tarkoitus on kuitenkin tutkia aihetta myös hieman laajemmin eikä keskittyä pelkästään Tornion kaupungin tilanteeseen. Aiemmin laserkeilausta on tehty pääkaupunkiseudun kaupunkien lisäksi ainakin Oulussa, Tampereella, Kuopiossa, Turussa, Lempäälässä, Kokkolassa, Lahdessa, Ylivieskassa ja Alavieskassa.

Lähtökohtaisesti työn tavoitteena on tuottaa mahdollisimman suuri hyöty Tornion kaupungille sekä mahdollisesti muille kaupungeille, jotka ovat laserkeilauksen suorittaneet tai ovat sitä tulevaisuudessa suorittamassa. Varsinaisen laserkeilausprosessin ja teknologian sijaan työn pääpainopiste on siis lopputuotteen hyödyntämisessä. Lisäksi työssä on tarkoitus selvittää ja mahdollisesti ratkaista kuntien kokemia ongelmia liittyen laserkeilausprosessiin. Suomessa laserkeilaukselle ei ole olemassa virallisia kansallisia ohjeita.

1.2 Tornion kaupunki ja Finnmap Oy

Tornio on Suomen Lapissa Ruotsin rajan tuntumassa sijaitseva noin 22 000 asukkaan kaupunki. Se on Tornionjokilaakson keskus ja tärkein rajanylityspaikka Suomen ja Ruotsin välillä. Tornio on perustettu vuonna 1621. (Wikipedia 2011.)

Tornion kuntastrategian mukaan yhdyskuntarakennetta on tarkoitus tiivistää ja tuleva rakentaminen ohjata olemassa olevia rakenteita tukien ja vähentäen mm. liikennesuoritetta ja ympäristökuormitusta. Osaltaan tähän strategiaan liittyy Finnmap Oy:n Tornion kaupungille tekemä laserkeilaus kesällä 2010. Laserkeilaus on suoritettu ainakin osittain alueille, joille ollaan lähivuosina rakentamassa.

FM-International Oy FINNMAP SURVEYS on vuonna 1993 perustettu paikkatiedon tuotantoon erikoistunut yritys. Sen palveluksessa on tällä hetkellä noin 40 henkilöä. Yrityksen päätuotteita ovat ilmakuvaukset ja laserkeilaukset sekä näistä tuotettavat erilaiset paikkatietotuotteet. (FM-International 2011.)

1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimus jakautuu teoriaosuuteen ja osuuteen, jossa perehdytään Tornion kaupungin suorittamaan laserkeilaukseen. Teoriaosuudessa hyödynnettiin Internetiä ja kirjallisuutta hankittaessa perustietoa. Lisäksi muilta kunnilta on saatu ensi käden tietoa aiheeseen liittyen.

Tornion kaupungilta on saatu laserkeilausaineisto useassa eri muodossa. Saatua aineistoa on käsitelty eri ohjelmilla ja tarkasteltu ohjelmien ominaisuuksia. Lopputuotteen tarkkuutta on tarkasteltu maastossa tehdyillä mittauksilla. Saadusta oheismateriaalista ja työntekijöiden kanssa käydyistä keskusteluista ilmeni monia käytännön kysymyksiä ja ongelmia liittyen kunnan suorittamaan laserkeilaukseen.

2 LASERKEILAUS

2.1 Toimintaperiaate

Laserkeilaus on mittaustapa, jolla kohteesta saadaan lasersäteiden avulla kolmiulotteista tietoa kohteeseen koskematta. Mittaus tapahtuu käyttämällä LIDAR:ia (lyhenne sanoista Light detection and ranging) eli optista kaukokartoituslaitetta, joka toimii näkyvän valon, lähi-infran tai ultravioletin alueella. (Rönholm & Haggren 2004.) Lidarin käyttämät aallonpituudet ovat paljon lyhyempiä kuin tutkien käyttämät mikroaallot (Salolahti 2010). Laserkeilauksessa etäisyyden mittaus perustuu mittalaitteesta lähtevien säteiden kulun havainnointiin niiden kimmotessa kohteesta takaisin. Laite määrittää etäisyyden havainnoimalla valon kuluaikaa, vaihe-eroja tai kolmiomittausta laitetyypistä riippuen. Etäisyyden ja pysty- sekä vaakakulmien avulla voidaan laskea koordinaatit jokaiselle lasersäteen osumakohdalle. (Rönholm – Haggren 2004.)

Laserkeilauksella voidaan muodostaa ympäristöstä pistepilvi, jossa jokaisella pisteellä on x- y- ja z-koordinaatti. Pistepilvissä voi olla kymmeniä miljoonia pisteitä. Mittauksen tarkkuutta huonontavat lumi- ja vesisade sekä pöly ja muut näkyvyyttä heikentävät partikkelit. Huonojen sääolojen vuoksi säteet voivat heijastua ennen aikaisesti takaisin, absorboitua tai poikkeutua aiheuttaen virheellisiä mittaustuloksia. (Koski 2001, 24.)

Jokaisesta palautuneesta laserpulsista tallentuu myös intensiteetti-arvo eli tieto pulssin voimakkuudesta. Erilaatuiset pinnat heijastavat tietyn taajuista säteilyä eri tavoin ja erikokoiset kohteet sirottavat sitä eri tavoin. Tähän perustuen intensiteettitieto kertoo kohteen pinnan ominaisuuksista. Jokainen piste saa sävyarvon perustuen palautuneen säteen intensiteettiin. (Koski 2001, 25.) Säteen intensiteettiin vaikuttavat kohteen väri, muoto, materiaali, sijainti ja asento. Valaistus vaikuttaa säteen kulkuun ja valonlähdettä kohti keilaaminen onkin ongelmallista. (Rönholm – Haggren 2004.)

```
X: 2508674.57
Y: 7307973.47
Z: 6.24

Intensity: 143
Return 1 of 1
Class: (2) Ground
Source ID: 13
b1000004.las
```

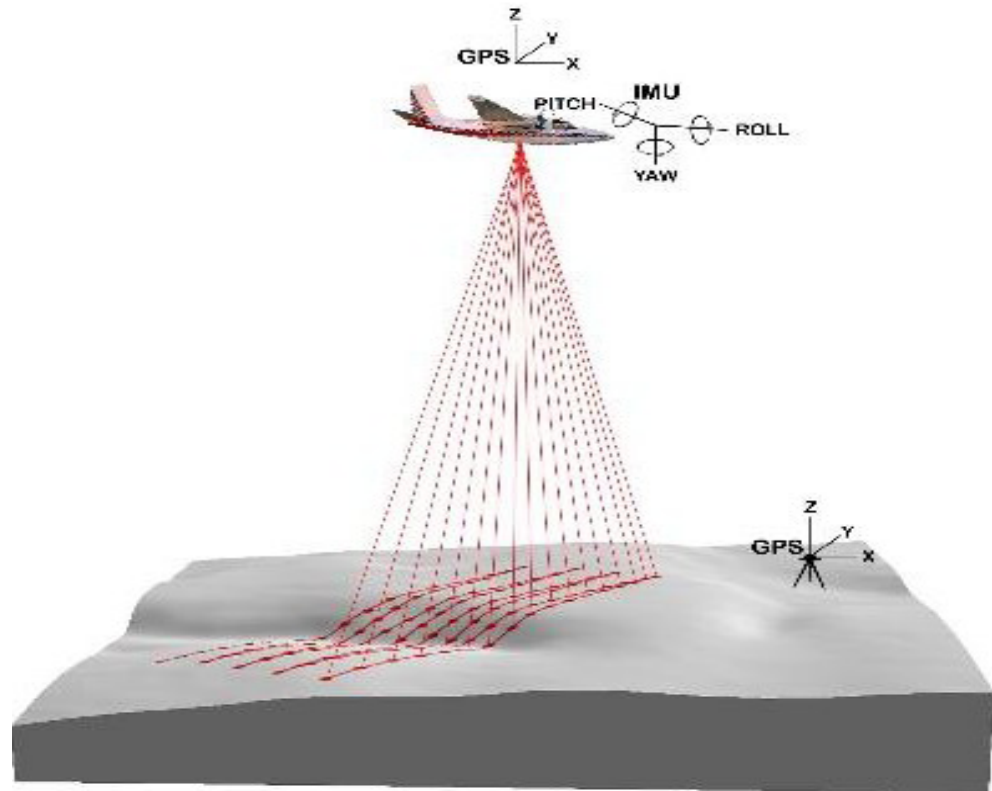
Kuvio 1. Erään laserpisteen tiedot. Intensiteetti esitetään lukuarvona. Kuvio on Fugro Viewer-ohjelmasta.

2.2 Laserkeilausmenetelmät

Laserkeilaintyytit voidaan jakaa eri luokkiin. Ilmalaserkeilaus tapahtuu helikopterista tai lentokoneesta. Maassa käytettävät laserkeilaimet jaotellaan paikallaan mittaaviin terestiaalisiin keilaimiin ja liikkeessä mittaaviin keilaimiin, jotka kiinnitetään autoon tai junaan. Lisäksi on olemassa teollisuuslaserkeilaimia tarkempia mittauksia varten.

Ilmalaserkeilaus

Ilmasta suoritettavassa laserkeilauksessa tarkka sijainnin ja asennon seuranta tapahtuu käyttämällä GPS-paikanninta ja inertiajärjestelmää (IMU). Näiden laitteiden tiedot yhdistämällä voidaan määrittää laserkeilattujen pisteiden sijainnit hyvinkin tarkasti. (Soininen 2003.) Mitattujen pisteiden määrä voi olla todella suuri, sillä laserkeilain voi mitata jopa yli 250000 pistettä sekunnissa. Lisäksi on yleistä, että keilauksen aikana otetaan ilmakuvia 1-3 sekunnin välein. (Salolahti 2010.)



Kuvio 2. GPS-paikannuksen ja inertiajärjestelmän periaate. (Salolahti 2010.)

Suurin osa kunnille suoritetuista laserkeilaushankkeista on ollut ilmasta toteutettuja. Ilmalaserkeilausta suunniteltaessa on tärkeä tiedostaa mihin tarkoitukseen laserkeilausaineistoa ensisijaisesti ollaan käyttämässä. Lentokoneella ja helikopterilla suoritettavien laserkeilausten vahvuudet eroavat toisistaan. Lentokonepohjaisten laitteiden etuja ovat edulliset lentokustannukset, vakaus, laaja toimintasäde, hyvä kuljetuskapasiteetti ja tehokkuus laajoja alueita keilatessa. Helikopterilla keilatessa voidaan lentää matalalla ja seurata mutkittavia linjoja toisin kuin lentokoneella mitattaessa. Heikkouksina voidaan pitää suurempia kallistuksia ja siirtokustannuksia, sekä kannattamattomuutta laajojen alueiden keilaukseen. Helikopterilla toteutetussa laserkeilauksessa ilmakuvien ottaminen on yleisempää. Helikoptereissa on lentokoneita useammin integroitu kamera. (Soininen 2003.)



Kuvio 3. Helikopterin lentorata Tornion kaupungin laserkeilaushankkeessa.

Merkittävä asia tarkkuuden ja pistetiheyden kannalta on lentokorkeus. Helikopterilla suoritetuissa laserkeilauksissa pistetiheys voi olla jopa 30 pistettä/m² lentokorkeuden ollessa 150 metriä. Lentokoneesta keilattaessa pistetiheys on yleensä välillä 0,7-10 pistettä/m² lentokorkeuden ollessa 600-2000 metriä. (Salolahti 2010.) Muita tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa lentonopeus, pulssitiheys, keilauskulma, laserkeilan leviäminen, sijainnin ja asennon määrittämisen tarkkuus ja mitattavan kohteen ominaisuudet. (Rönholm – Haggren 2004.)

Laserkeilaimen pulssi on maassa suurempi kuin yksi piste, joten se voi osua matkalla useisiin kohteisiin. First pulse-kaiut kimpoavat ensimmäisestä kohteesta johon ne osuvat kuten vaikkapa puun latvasta. Monet laserkeilaimet pystyvät kuitenkin vastaanottamaan myös last pulse-kaiuja, jotka ovat esim. menneet puun lehvästön läpi ja kimmonneet maasta. (Rönholm – Haggren 2004.)

Suotuisimmat ajankohdat ilmalaserkeilaukselle ovat kevät ja syksy, jolloin puissa ei ole lehtiä eikä maassa lunta ja aluskasvillisuus on vähäistä (Nenonen – Vanne – Laaksonen 2010, 64). Ainakin helikopterilla laserkeilatessa pistetiheys on yleensä kuitenkin niin suuri, että riittävän moni lasersäde pääsee kulkemaan lehvästöjen läpi. Ilmakuvien laadun kannalta syksy taas ei ole paras ajankohta hämäryydestä ja sateista johtuen (Terrasolid).

Maalaserkeilaus

Maalaserkeilaus tapahtuu maanpinnalta, siten että mittalaite on paikallaan tai kiinnitettynä liikkuvaan ajoneuvoon. Laitteiden kehitys on laahannut ilmalaserkeilainten jäljessä ja maalaserkeilain on vasta hiljattain alettu hyväksyä geodeettiseksi mittalaitteeksi maanmittarien toimesta. Maalaserkeilaimiksi luokitellaan myös teollisuudessa käytettävät laitteet. (Heiska 2010, 15.)

Maalaserkeilaimen toimintaa 3D-pistepilvien mittaustekniikkana voi verrata takymetrin toimintaan. Terrestiaalisen järjestelmän kokonaisuuteen kuuluvat keilain, pakkokeskistysalusta, jalusta, virtalähde, tietokone ja mahdollisesti tähykset. Laserkeilatessa laitteen toiminta on pitkälle automatisoitu, eikä käyttäjä tee pisteistä yksittäisiä havaintoja kuten takymetrillä. Mittausnopeus voi olla useita satoja tuhansia pisteitä sekunnissa ja mittausetäisyys vaihtelee voiden suurimmillaan olla satoja metrejä. (Joala 2007.) Maalaserkeilauksen tarkkuus on yleensä 1-5 cm, joka on parempi kuin ilmalaserkeilauksessa keskimäärin (Alho – Hyyppä – Hyyppä 2008, 13). Maasta toteutettu keilaus sopii paremmin pienille alueille vaadittaessa tarkkaa mittatietoa esim. rakennuksista, teollisuusrakenteista, silloista tai maakerroksista. Varsinkin suurissa rakennushankkeissa se on syrjäyttämässä aikaisemmin käytettyjä mittausmenetelmiä. (Tolonen 2010, 1.)

Liikkuvassa kartoituksessa (mobile mapping) ajoneuvoon on kiinnitetty yksi tai useampi laserkeilain ja paikannuslaitteisto. Lisälaitteena voi olla myös digitaalikamera. Ajoneuvoa ajettaessa voidaan maan pinnalta mitata

laajojakin alueita. Menetelmä sopii erityisesti tie- ja katualueiden kartoittamiseen ja mallintamiseen, joten se on kunnille varteenotettava mittausmuoto. Liikkuva kartoitus on ilmalaserkeilausta tarkempi mittausmuoto, jonka käyttö- ja mobilisointikustannukset ovat huomattavasti alhaisemmat. (Kukko – Hyyppä – Kaartinen – Ahlavuo – Vaaja 2010, 6-7.)

Liikkuva kartoitus on vielä mittausmuotona uusi, ja se varmasti yleistyy tulevaisuudessa. Kustannusten vielä laskiessa ja tarkkuuksien parantuessa siitä voi kehittyä kunnille kannattava menetelmä esim. katujen kunnostuksiin tarvittaviin mittauksiin. Huomioitavaa on, että ilmalaserkeilauksella tuotettujen aineistojen tarkkuudet eivät yleensä riitä tähän tarkoitukseen. Mobiilikartoitusta voi olla hyödyllistä käyttää myös täydennettäessä ilmalaserkeilausta. Ainakin Kokkolan kaupungille on tehty liikkuvaa kartoitusta ilmalaserkeilauksen lisäksi. Tällä tavoin kaupunki on saanut tarkat kuvaukset maanpinnasta, tiestöstä ja rakennuskannasta sekä uutta tietoa esim. rakennusten julkisivuista.



Kuvio 4. Laserkeilain kiinnitettyä ajoneuvoon. (Salolahti 2010.)

2.3 Laserkeilauksen vahvuudet ja kannattavuus

Laserkeilauksen vahvuuksia ovat sen tarkkuus, nopeus ja turvallisuus. Joitain poikkeuksia lukuun ottamatta mittaaminen onnistuu riippumatta kohteen laadusta, muodosta tai sijainnista. Jopa vesistöjen pohjia voidaan nykyisin laserkeilata. Ehdottoman suositeltavaa laserkeilauksen käyttö on tilanteissa, joissa mitattava kohde sijaitsee vaarallisessa tai vaikeasti saavutettavassa paikassa. Laserkeilaamalla saadaan vaivattomasti ja nopeasti mitattua pistemääriä, joita muilla mittausmenetelmillä on mahdotonta saavuttaa. (Koski 2001, 24-26)

Pääsääntöisesti laserkeilaus on kilpailija ilmakuvauselle. Ilmakuviasta kaukokartoituksella tehtävissä korkeustiedon hankintamenetelmissä inhimillisen virhelähteen riski on suurempi kuin laserkeilatessa. Laserpisteiden luokittelu tapahtuu pääsääntöisesti automaation avulla, joten kuvatulkinnan merkitys ei ole yhtä ratkaisevaa. Laserkeilaus on suhteellisen yksiselitteinen mittausmenetelmä, joka perustuu lähetettävään säteeseen ja sen vastaanottoon. Tarkkojen mittausten toistettavuus ja fysikaalinen perusta on laserkeilauksessa muita menetelmiä parempi. (Nenonen ym 2010, 67.) Erityisesti peitteisillä alueilla laserkeilaus on digitaalisia stereoilmakuvia luotettavampi tapa tuottaa maanpinnan korkeustietoa, koska stereoilmakuvilta ei voida nähdä puiden ja muun kasvillisuuden alle. Laserkeilauksessa osa pulsseista kulkeutuu maahan asti lehvästössä olevien aukkohtien läpi ja palaa takaisin last pulse-havaintoina. Laserkeilaus onkin kustannustehokkain menetelmä tuottaa pohjakarttaa katveisilla alueilla, kun esim. asemakaavoitettava alue laajenee täysin rakentamattomille alueille (Torvinen 2010). Juuri kaavan pohjakartan tuottaminen kustannustehokkaasti voikin olla kunnille merkittävin hyöty laserkeilausta tehtäessä.

Kannattavuuden osalta on olennaista että ennen hankkeen toteutusta on määritelty selvästi lopputuotteet ja niiden laatu. Ne ratkaisevat työn määrän ja siten myös kustannukset. Kustannukset nousevat pinta-alaa kohden pistetiheyden kasvaessa ja lentokorkeuden alentuessa. Pistetiheyden onkin syytä olla riittävä aineiston suunniteltua käyttöä varten siten, ettei hinta

kuitenkaan nouse liian suureksi. Mikäli työn tilaaja ei ole perehtynyt laserkeilaukseen ja siinä käytettäviin ohjelmiin, on hyvin tärkeää että operaattori kalibroi laserpisteet eli yhdistää eri lentolinjoilta mitatut pistepilvet saumattomasti toisiinsa. Muussa tapauksessa työn tilaajalle voi langeta lisää kustannuksia oikean ohjelman (esim. TerraMatch) hankkimisessa ja itse työn suorittamisessa. Keilauksen tilaajan on syytä vaatia itselleen myös lennon tuloksena saatavat käsittelemättömät tiedot WGS84-koordinaatistossa. Niihin kuuluvat laserpisteet, yksittäiset kuvat, lentoradat ja kameran kalibrointitiedot. Näiden lisäksi kaikki käsittelyn tuloksena syntyvät lopputuotteet kuten luokitellut pisteet ja yksittäisten kuvien korjatut sijaintitiedot ovat tilaajalle tärkeitä. (Korpela 2008, 37-38.)

Tutkimuksissa on ilmennyt että laserkeilauksen yleistymisen suurimpina esteinä pidetään rahan ja koulutuksen puutteita. Tehokkaasti hyödynnettyinä laserkeilaus maksaa kuitenkin itsensä nopeasti takaisin. Esimerkiksi Ylivieskan kaupunki on myynyt laserkeilausaineistoaan Tiehallinnolle, Ympäristökeskukselle tulvaselvityksiin, paikalliselle jätehuoltoyhtiölle, teollisuudelle ja yksityisille rakentajille. (Korpela 2008, 38-39.) Aineistolla voi korvata rakennusluvan yhteydessä vaadittua rakennuspaikalle tehtävää vaaitusta. Myyntiin liittyen on laserkeilaustyötä kilpailutettaessa muistettava kirjata konsulttisopimukseen aineiston käyttöoikeuksiin liittyvät asiat huolellisesti. Mikäli aineistolle ei vaadita kaikkia oikeuksia, ei sitä voida vapaasti luovuttaa ja myydä ulkopuolisille tahoille. Tässä tapauksessa aineistoa tarvitsevaa asiakasta ei voida palvella, vaan käyttöoikeus täytyy ostaa konsultilta. Laserkeilauksen hinta ei pitäisi juurikaan nousta, vaikka kaikki käyttöoikeudet aineistolle vaatisikin. (Torvinen 2011.)

Ongelmat

Ehkä merkittävimpana ongelmana laserkeilausaineiston hyödyntämisessä voidaan pitää valtavaa tietomäärää, joka asettaa rajoituksia tietokoneiden kapasiteettien osalta. Tästä johtuen suuri osa laserdatasta voi jäädä hyödyntämättä. Ongelman välttämiseksi aineistot toimitetaan yleensä loppukäyttäjälle myös helposti hyödynnettävässä muodossa siten, että

pisteiden määrää on vähennetty ja siten myös laatua yksipuolistettu. Tämä tarkoittaa sitä, että pistepilvet on jaettu ruudukoihin ja esim. maanpinnan pisteet toimitetaan myös harvennettuna. Muistin loppumiseen liittyen on huomioitava että 32-bittisissä järjestelmissä yksittäinen sovellus saa käyttöönsä korkeintaan 2Gb muistia. Näin ollen muistin laajennuskaan ei välttämättä auta vaan suositeltavaa on siirtyä käyttämään 64-bittisiä versioita.

Varsinkin pienillä kunnilla koulutuksen puute voi merkittävästi rajoittaa aineistojen hyödyntämistä. Jo pelkkä laseraineistojen tilaaminen vaatii osaamista, puhumattakaan käsittelystä ja jatkojalostuksesta. Suurilla kaupungeilla, joissa laserkeilaus on yleisempää, myös resurssit ovat paremmat. Näissä kunnissa voi olla kannattavaa jopa hankkia omaa erityisosaamista asiaan liittyen. Kunnan koosta riippumatta tiedonkulun olisi syytä olla hyvällä tasolla jo laserkeilausta suunniteltaessa. Aineiston käytön kannalta olisi tärkeää, että työntekijät sitoutuisivat sen käyttöön alusta alkaen. Useilta tämä edellyttää kokonaan uusien työtapojen ja ohjelmien käytön oppimista. Laserkeilauksen edullisuuden vertailu on vaikeaa juuri siksi, että lopputuotteita ei aina osata hyödyntää kaikilla mahdollisilla tavoilla.

Mobilisointikustannusten vuoksi ilmalaserkeilaus ei sovellu pieniin kohteisiin. Alueen tulee olla yhtenäinen, suorakaidemainen ja kooltaan yleensä vähintään 200 ha. (Korpela 2008, 37.) Maalaserkeilaus sen sijaan on vielä pitkälti kehitysvaiheessa ja lisäksi on huomioitava, että vain muutamat valmistajat ovat suunnitelleet laitteensa maastomittaukseen. Laitteita on kehitetty enemmän laitossuunnittelun ja kappaleiden mallinnuksen tarpeisiin. (Heiska 2010, 15.) Sekä maasta että ilmasta tuotetussa keilauksessa laitteistot ovat monimutkaisia, joten jokin osa voi hyvinkin pettää (Soininen 2003).

Pistepilveen liittyvistä heikkouksista voidaan mainita yksittäisten pisteiden epätarkkuudet sekä se että lopputuotteena on hajapisteitä. Hajapisteiden tuottamisen vuoksi vektorointi voi olla hankalaa. (Soininen 2003.) Mikäli pistepilvi on liian harva, voi esim. rakennusten mallinnuksessa ilmetä suuria virheitä automaattivektorointia tehtäessä.

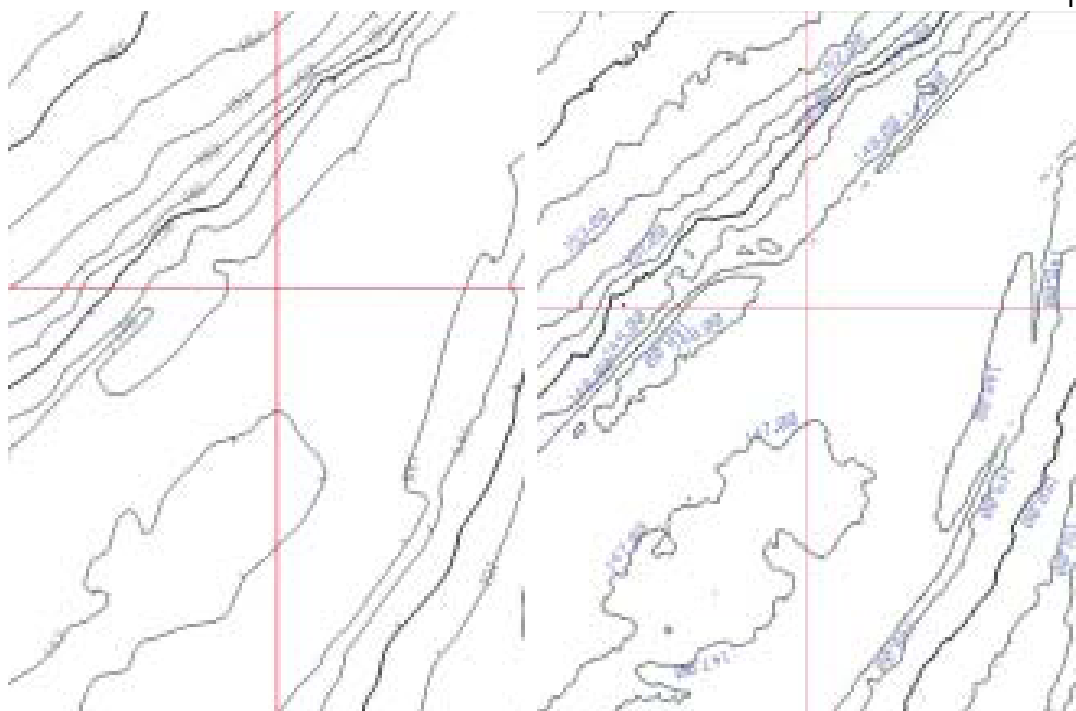
3 OHJELMAT JA TIEDOSTOMUODOT

3.1 Formaattit

Laserpisteiden tiedonsiirrossa käytetään yleisesti binääristä LAS-formaattia, jota tukevat nykyisin yleisesti käytössä olevat kartta- ja GIS-sovellukset. LAS-formaatissa on aineisto, jota konsultit käyttävät esim. suunnittelun lähtöaineistona.

Pienempiä tiedostoja kuten maanpinnan harvennettua hajapisteistöä voidaan toimittaa loppukäyttäjille ASCII-formaatissa (esim. xyz tai gt). Mikäli ASCII-formaatissa toimitetaan koko keilauksen pisteistö, voivat tiedostokoot olla liian suuria. Lisäksi kaikkea aineistossa olevaa tietoa esim. lentolinjoista tai intensiteetistä ei pysty ASCII-muodossa hyödyntämään. ASCII-aineisto menee suoraan 3D-Winiin ja lukuisiin muihin yleisiin mittaustietoa käsitteleviin ohjelmistoihin, ja on niissä suoraan mallinnettavissa.

Vektorimuotoisen tiedon siirrossa sopivimmat vaihtoehdot ovat dgn- ja dwg-kuvatiedostot tai yleisesti käytetyt kartoitusformaattit. Maanpinnan korkeuskäyrien tuottamiseen on useita eri ohjelmia, mikäli käyrät eivät sisälly toimitettavaan lopputuotteisiin. Käytettäessä korkeuskäyriä maastomallina täytyy muistaa, että karttatuotannossa pääpaino on käyrien kartografisessa esityksessä. Mallin kannalta sijainnit ovat likimääräisiä, joten korkeuskäyrien käyttöä on syytä välttää. (Korpela 2008.) Likimääräisyyden vuoksi korkeuskäyrät voivat kulkea esim. talojen ja muiden tasaisella pohjalla olevien rakenteiden läpi.



Kuviot 5 ja 6. Vasemmalla yleistettyjä korkeuskäyriä. Oikealla tarkasti mallin mukaan tehtyjä käyriä, jotka eivät ole kartografisesti hyviä. (Hyypä 2008, 39.)

3.2 Terrasolid

Suomalainen Terrasolid on maailmanlaajuisesti merkittävin laserkeilausohjelmistojen valmistaja. Yhtiö on kyennyt saavuttamaan tuotteillaan mittavaa menestystä ja sillä on maailmanlaajuisesti jopa yli 80%:n markkinaosuus ja asiakkaita yli 100 maassa. (Lehtonen 2010, 11-12.) Terrasolid ohjelmien käyttäjiä ovat karttakonsultit, insinööritoimistot sekä kuntien tekniset osastot. Ohjelmien ominaisuudet ovat monipuolisia, ja työskentelyn sujuvuuden takaa ohjelmien saumaton yhteensopivuus. Suunnittelu tapahtuu kolmiulotteisesti Microstation CADissa, jonka merkittävimpiä käyttäjiä ovat Suomessa kuntien teknisen toimen laitokset. Lisäksi Terrasolidilla on ohjelmia, joilla voi käsitellä ja yhteensovittaa eri lähteistä tullutta aineistoa. Näin esimerkiksi ilmakuvat voidaan yhdistää laserkeilausaineistoon. (Terrasolid 2011.)

Terrasolidin ohjelmat voidaan jakaa kahteen osaan. Toiseen kuuluvat mittaukseen ja tiedonkeruuseen liittyvät ohjelmistot ja toiseen

suunnitteluohjelmistot. (Lehtonen 2010, 12.) Kaikki Terrasolidin ohjelmat ovat maksullisia.

Terrasolidin keskeisimpiä tuotteita ovat:

- Terrascan, laserdatan käsittely
- Terramodeler, maastomallinnus
- TerraPhoto, kuvien käsittely, ortokuvatuotanto
- TerraMatch, lentolinjojen sovitus
- TerraStereo, isojen laserkeilausaineistojen visualisointi ja katselu stereona reaaliajassa.

Terrasolidin tuotteet infrasuunnitteluun:

- TerraStreet, katujen suunnittelu
- TerraPipe, viemäreiden ja vesijohtojen suunnittelu
- TerraGas, maakaasuputkien suunnittelu
- TerraHeat, kaukolämpöputkien suunnittelu
- TerraBore, kairaustiedon tietokanta ja visualisointi. (Lehtonen 2010, 13.)

Terrasolidin tärkeimmät tuotteet ovat TerraScan, TerraPhoto ja Terramatch, jotka soveltuvat erityisen hyvin lentokone/helikopteripohjaisen laserdatan käsittelyyn. Nämä ovat ohjelmistoja, jotka ovat tarpeellisia toimijoille laserkeilausaineiston onnistuneessa tuottamisessa. (Lehtonen 2010, 12.) Tilaajaa ajatellen hyödyllisiä ohjelmistoja ovat myös suunnittelun apuna käytettävät TerraScan Viewer, Terramodeler ja TerraPhoto Viewer. Näillä ohjelmistoilla loppukäyttäjä voi tarkastella, käyttää, muokata ja visualisoida ilmasta tuotettua laserdataa. (Terrasolid 2011.)

Suomalaisittain Terrasolidin tuotteet lienevät ykkösvaihtoehto mikäli kyse on laajamittaisesta laserkeilaushankkeesta. Muitakin vaihtoehtoja on, sillä jokaisella pistepilviä tuottavalla mittalaitteiden valmistajalla on markkinoilla omat ohjelmansa aineistojen käsittelyyn.

3.3 Ilmaisohjelmat

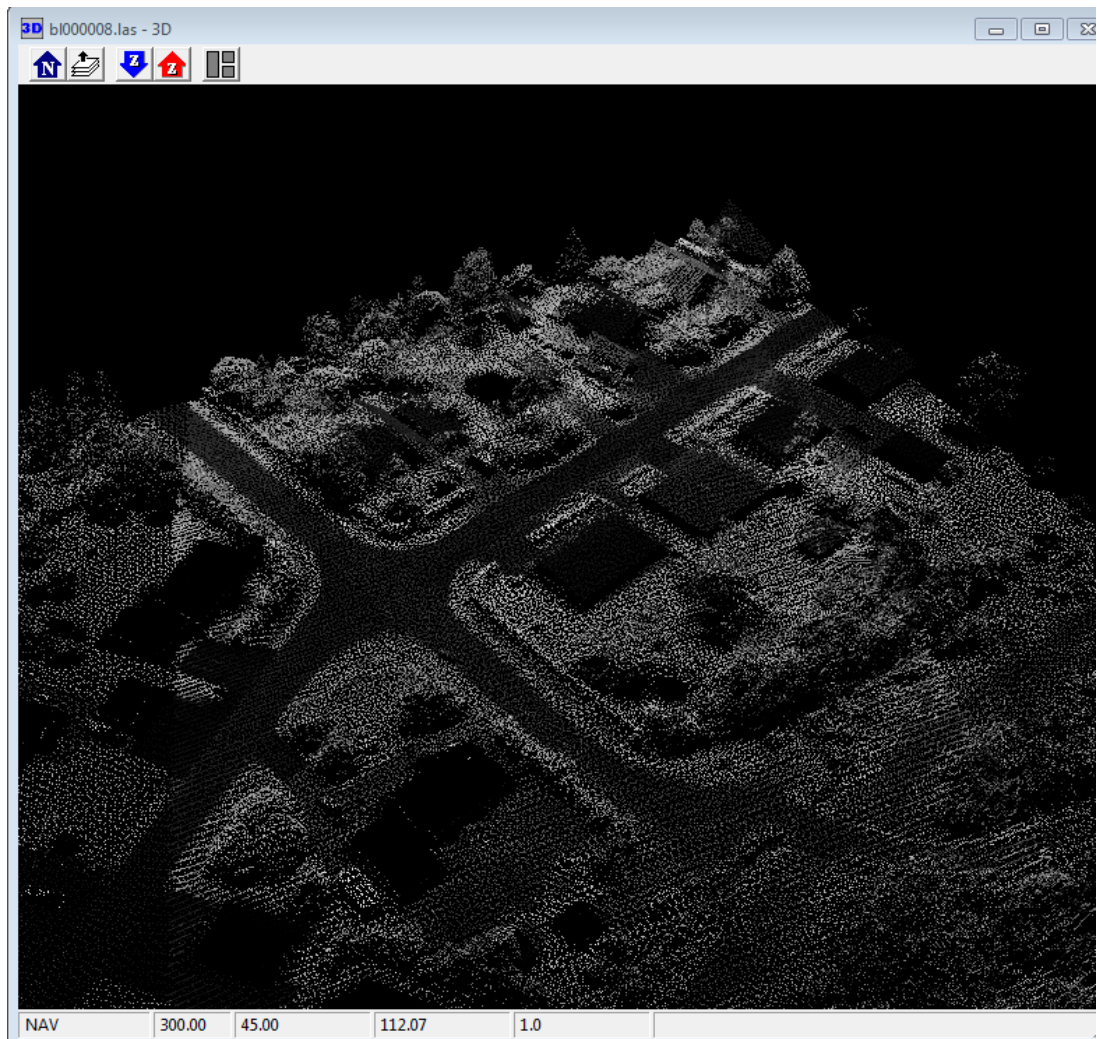
Laserkeilausaineistojen käsittelyyn ja visualisointiin on saatavilla myös runsaasti ilmaisia ja avoimeen lähdekoodiin perustuvia ohjelmia. Ohjelmien paljouden vuoksi niitä kaikkia ei tässä työssä esitellä, mutta muutamien tärkeimpiä ominaisuuksia on hyödyllistä käydä läpi.

Fugro Viewer

Fugro Viewer on niin sanottu Viewer- eli näyttöohjelma. Muita vastaavanlaisia ohjelmia ovat LP 360, Mars Viewer ja VG4D Viewer. Nämä ohjelmat sopivat käyttäjille, joiden tarkoitus on lähinnä analysoida dataa tekemättä siihen muutoksia. Kaikissa ohjelmissa on seuraavat toiminnot:

- info-työkalu, jolla nähdään pisteen koordinaatit
- mittaustyökalu jolla näkee kahden pisteen etäisyyden toisistaan
- korkeuskäyrien näyttäminen
- pisteiden valinta luokittelun mukaan
- kaiun osan näyttö
- TIN-mallin tuottaminen
- pistekoon muuttaminen
- profiilityökalu jolla voi tarkastella profiilia aineistosta. (Ventin 2010.)

Viewer-ohjelmat muistuttavat hyvin paljon toisiaan, mutta Fugro Viewer on kuitenkin ohjelmista monipuolisin. Siihen voidaan tuoda ainakin neljä aineistoa sekä ortokuva 6x6km kokoisesta alueesta. Fugro Viewerillä voi muokata ja luoda pisteitä sekä viivoja, joita voi tallentaa shapefile-muodossa (*.shp). Ohjelmalla voi myös muuttaa korkeuskäyrien käyräväliä. Fugro Viewerissä, kuten muissakin ohjelmissa voidaan päättää mihin ryhmään kuuluville pisteille korkeuskäyrät halutaan tehdä. Näin maanpinnan korkeuskäyrät voidaan luoda jättäen talot ja puut huomioimatta. (Ventin 2010.)



Kuvio 7. Tornion kaupungin laseraineistoa Fugro Viewerissä. Visualisointi on tehty intensiteetin perusteella.

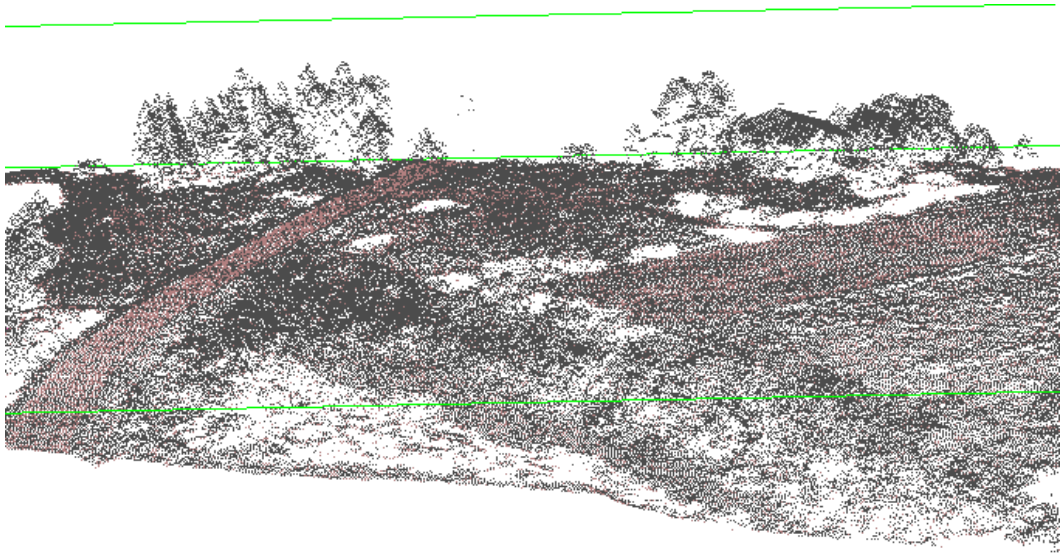
LAStools

LAStools sisältää 15 ohjelmaa, jotka toimivat komentoriviltä. Avoimeen lähdekoodiin perustuvat ohjelmat on kehitetty laserkeilausaineistojen muuntamiseen, näyttämiseen ja pakkaamiseen. LAStoolsilla voi mm. luoda pintamalleja ja korkeuskäyriä, muuntaa aineistoja LAS-formaatista ASCII-formaattiin sekä yhdistää ja pakata aineistoja. Ainakin lasinfo.exe ja las2las.exe voivat olla monille käyttäjille hyödyllisiä. Lasinfo.exe:llä voi nähdä yleiskuvan tiedostosta ja las2las.exe:llä automatisoida erilaisia suodatuksia. (Ventin 2010.)

Las2dem on LAStoolsin ohjelma pintamallien tekemiseen. Sen yksi ominaisuus on kml-tiedostojen luominen. Näitä tiedostoja voidaan käyttää

Google earth -sovelluksissa. Toiminto on hyödyllinen, mikäli satelliittikuvien resoluutio on riittävän tarkka käyttöä varten. (Ventin 2010.)

LAStoolsilla maastomalli voidaan georeferoida, jolloin se on mahdollista avata muilla ohjelmilla kuten Fugro Viewerillä. Tämä edellyttää tiedoston tallentamista TIF-formaatissa. Georeferoinnilla tarkoitetaan sijaintia koskevan tiedon liittämistä kuvaan ja kuvan liittämistä sijaintia koskevaan tietoon. Näin kuvaa voidaan analysoida oikeassa koordinaattijärjestelmässä. (Ventin 2010.)

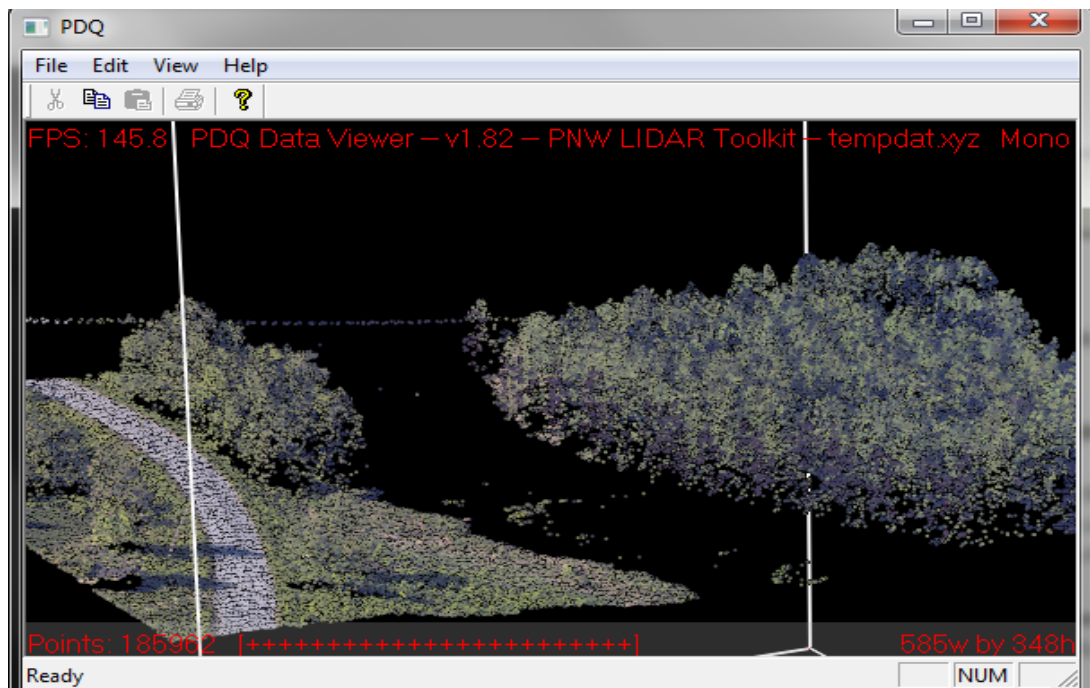


Kuvio 8. LAS-tiedosto Tornion kaupungilta Lasview.exe-ohjelmalla avattuna.

Fusion

Fusion on Yhdysvaltain metsäviranomaisten kehittämä ohjelma laserkeilausaineistojen käsittelyyn ja visualisointiin. Sen graafisella käyttöliittymällä suurienkin aineistojen lukeminen onnistuu. Fusion on suunniteltu erityisesti metsien inventointiin ja mittauksiin, joten monet ohjelman toiminnot ovat sen mukaisia. Ohjelmassa on puiden mittaamiseen kaksi eri työkalua, treeheights ja treemetrics. Treeheights-työkalulla voidaan mitata myös muita kohteita. Ohjelmalla voidaan esim. mitata kohteiden korkeuksia maanpinnasta ja tehdä maastomalleja. Fusion lukee TIF- ja shp-tiedostoja ja sillä voidaan muuntaa aineistoja ASCII-tiedostoiksi. (Ventin 2010.)

Fusionin käytön aloituksessa täytyy tietää, mihin ohjelman toiminta perustuu. Aluksi ohjelmalla täytyy avata ortokuva tai intensiteettiarvojen perusteella luotu teko-ortokuva. Tämän jälkeen ohjelmaan tuodaan laserpisteet, joita ei kuitenkaan lueta muistiin heti. Lukeminen tapahtuu, kun pisteet halutaan näyttää kolmiulotteisessa LDV-ikkunassa. Tällöin tiedosto indeksoidaan. Indeksoinnin jälkeen aineiston näyttäminen nopeutuu. (Ventin 2010.) Alkuun pääseminen Fusionilla on aikaa vievää ja vaatii hyvää englannin kielen taitoa. Ohjelman internet-sivuilla on 12 harjoitusta jotka ohjaavat käytön aloittamisessa. Huomioitavaa on että kunnilla harvemmin on tarvetta metsien inventointiin, johon ohjelma on alunperin suunniteltu.



Kuvio 9. Tornion kaupungin laseraineistoa Fusionissa.

4 OHJEITA AINEISTON KÄYTTÖÄ VARTEN

Seuraavassa on eritelty ohjeita, jotka voivat olla tilaajalle hyödyllisiä. Osa niistä edellyttää, että käyttäjä on perehtynyt jo jonkin verran aineistojen käsittelyohjelmiin. Ohjeet ovat ensisijaisesti Terrasolidin ohjelmia varten.

Laadun kontrollointi:

- Lataa pistepilvi näkymään 3D:nä.
- Tarkista päällekkäisiltä lentolinjoilta, että pisteiden sijainnit täsmäävät.
- Tarkasta kuinka hyvin laserpisteet ja ortokuvat täsmäävät toisiinsa ja signalointeihin sekä maastomittauksella tehtyihin profiileihin.
- Määrittele ero TIN-mallien välillä, joista toinen on tehty koko maanpinnan aineistosta ja toinen maanpinnan harvennetusta aineistosta, johon on valittu ns. avainpisteet. (Terrasolid 2010.)

Aineiston käyttö suunnittelussa:

- Luo maastomalli maanpinnan pisteistä suunnittelun tarpeisiin.
- Tarkastele kohteita kuten puita ja rakennuksia pistepilvinä ilman vektorointia.
- Käytä korkearesoluutioisia ortokuvia vektoroitujen karttojen sijaan, tai päivitä karttojen vektorit.
- Peitä ortokuvat ja sijoita RPC-solut TIN-malliin. Tarkastele 3D-malleja eri kuvakulmista tai animaationa.
- Poimi väriarvot ortokuvilta, joita voi lukea mm. TerraPhoto Viewerillä. (Terrasolid 2010.)

Aineiston tuonti toiseen CAD-ympäristöön:

- Muunna aineisto yhteensopivaksi ohjelmaan.
- Jaa suuri aineisto pienempiin osiin siten kuin se alueellisesti suunnittelun kannalta on järkevintä.
- Vähennä pisteiden määrää etsimällä mallien avainpisteitä.
- Tallenna maanpinnan pisteet ruuduittain eri tiedostomuodoissa.
- Alenna ortokuvien resoluutiota.
- Vaihda ortokuvien formaattia ja sijaintia. (Terrasolid 2010)

Työskentelyn optimointi

Mikäli samaan aikaan lataa eri tyyppisiä suuria aineistoja, voi tietokoneen kapasiteetti rajoittaa työskentelynopeutta. Ensisijaisen tärkeää on pistepilven jako osiin ja avainpisteiden käyttö mikäli mahdollista. (Terrasolid 2010.)

Miljoonan pisteen TIN-mallin ja kymmenen miljoonan laserpisteen samanaikainen käsittely ei aiheuta hidastumista esim. Terrasolidin ohjelmia käytettäessä. Ongelmia aiheutuu vasta, kun laserpisteitä on yli 50 miljoonaa ja TIN-mallin pisteitä yli viisi miljoonaa. (Terrasolid 2010.)

5 PISTEIDEN LUOKITTELU

Pisteiden luokittelu on tärkeä toimenpide, mikäli laserkeilausaineistoa halutaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. Luokittelun lähtökohtana on määrittellä, minkä laatuiseista kohteesta mikäkin lasersäde on heijastunut. Yleensä tämä on paljon aikaa vievä toimenpide, jonka tekee tavallisesti konsultti, mutta pisteitä voi luokitella myös aineiston tilaaja. Vaikka luokittelu tapahtuukin 90%:isesti automaation avulla, joutuu käyttäjä määrittämään luokan jopa miljoonille pisteille. TerraScan on toimenpiteeseen sopiva ohjelma ja ilmakuvat ovat suurena apuna. Interaktiivisesti editoidessa aineistoa täytyy tarkastella joustavasti yhdessä eri lähteiden kanssa. Apua voi olla myös vanhoista maanpinnan malleista ja olemassa olevista vektorikartoista. (Soininen– Korpela 2007, 2.)

Luokitteluperusteet vaihtelevat suuresti projektikohtaisesti. Monissa projekteissa ainoa lopputuote on maastomalli, ja mahdollisesti siitä tuotetut korkeuskäyrät. Tässä tapauksessa 5-8 luokkaa on riittävästi. Joissain projekteissa käytetään kuitenkin jopa 50 eri luokkaa, mikä vaatii jo runsaasti aikaa luokittelijalta. (Soininen – Korpela 2007, 2.)

numero	luokka	kuvaus
1	Default	Ei luokiteltu vielä
2	Ground	Maanpinta
3	Low vegetation	Kohteet < 0,3m maanpinnasta
4	Medium vegetation	Kohteet 0,3-2,0m maanpinnasta
5	High vegetation	Kohteet > 2,0m maanpinnasta
6	Building	Rakennusten katot
7	Low point	Heikkolaatuiset pisteet
8	Model-key-point	Avainpisteet maastomalliin
9	Overlap	Luokittelussa poistetut pisteet

Kuvio 10. Yleisimmät pisteiden luokitukset. (Soininen 2007.)

6 KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET

Laserkeilauksen käyttökohteiden määrä kasvaa koko ajan. Tyypillisessä kohteessa tarvitaan tarkkaa 3D-tietoa nopeasti. Lopputuotteiden yksityiskohtaisuuden ansiosta laserkeilaus on sopiva mittausmuoto monille eri toimijoille.

Laserkeilauksen lopputuotteesta voidaan muodostaa:

- korkeusmalli
- korkeuskäyrät
- kolmiointi
- grid
- valumamalli
- 3D-rakennusmalli.

Sovelluskohteita voivat olla mm.

- tulva-analyysit
- melumallinnukset
- maastomallituotanto
- tie- ja raidemittaukset
- metsäarvioinnit
- korkeuskäyrätuotanto
- valumavesianalyysit
- maastotiedon keruu (Salolahti 2010.)

Kuntien vastuualueisiin kuuluu useita eri toimintoja liittyen erilaisiin mittauksiin ja niihin liittyviin suunnitteluihin. Seuraavissa alaluvuissa on esitelty muutamia tapoja hyödyntää laserkeilaushankkeilla tuotettuja aineistoja näissä toiminnoissa.

6.1 Laserkeilaus apuna korkeusjärjestelmävaihdoksessa

Laserkeilaus on hyvä mittausmenetelmä siirryttäessä uuteen N2000-korkeusjärjestelmään. Suomen alueella korkeusjärjestelmien muuttaminen tietyin ajanjaksoin on tarpeen maannoususta johtuen. Uuteen järjestelmään siirtyminen edellyttää kantakartan korkeuskäyrien uudelleen kuvaamista. Vaihdosta tehtäessä on syytä tuottaa maastomalli riittävän laajalta alueelta. Laserkeilauksen jälkeen malli orientoidaan N2000-järjestelmään. Orientointi on mahdollista, kun tiedetään riittävän monen korkeuskiintopisteen korkeudet sekä N2000-järjestelmässä että aiemmassa järjestelmässä. Korkeuskäyrien uudelleen piirto tapahtuu maastomallin perusteella. (Honkanen 2011.)

Laserkeilauksella korkeuskäyrien tuotanto on helppoa myös peitteisillä ja runsaasti korkeuseroja sisältävillä alueilla. Kun korkeustiedot mitataan maastomallina, on muutos eri järjestelmien välillä mahdollista ilman uutta mittausa, ja samalla voidaan keskittyä myös käyrien kartografiseen ulkoasuun. (Honkanen 2011.) Laseraineistojen käytössä täytyy toki muistaa, että työmäärä voi muodostua melkoiseksi kun korkeuskäyrät sijoitetaan pohjakarttoihin. Käyrät voi nimittäin joutua katkomaan jokaisen rakennuksen ja tien kohdalta erikseen.

6.2 Rakennukset ja rakentaminen

Usein laserkeilausaineistojen käyttäjää kiinnostaa vain maanpinnan pisteistä tehty maastomalli. Kuitenkin pistetiheydestä riippuen laserkeilauksella voidaan saada arvokasta tietoa myös rakennuksista. Kaupungin tehtäviin kuuluu kantakartan rakennusten päivittäminen. Laserkeilauspistepilven ja ortokuvien avulla voidaan helposti inventoida muuttuneet, puretut ja puuttuvat rakennukset. Lisäksi voidaan tutkia yksittäisten rakennusten ja haluttaessa vaikkapa puiden korkeuksia ja muotoja. Keilaimien kehittyessä ja toistotaajuuden kasvaessa sekä maan pinnan, että rakennelmien havainnoiminen helpottuu. (Korpela 2008, 36-38.)

Ilmasta toteutetussa laserkeilaushankkeessa ortokuvat ovat huomattava apu rakennuksia inventoitaessa. Ortokuvia ei kuitenkaan välttämättä tarvita, sillä esim. Terrascan-ohjelma löytää tasomaiset pistejoukot tietyltä korkeudelta maan pinnasta, jonka jälkeen ne voidaan luokitella. (Soininen 2010.)

Kun rakennusten pisteet on luokiteltu, voidaan rakennuksia mallintaa käyttämällä esim. TerraModeler-ohjelmaa. Helpoin tapa mallinnukseen on käyttää automaattivektorointia. Näin tehdessä pistetiheyden on oltava riittävän hyvä, koska pistepilvi koostuu hajapisteistä.

Kunnilla on mahdollisuudet tuottaa tarkkaa kaupunkimallia hyödyntämällä aikaisemmin takymetrillä rakennusvalvontaa varten mitattuja kivijalkojen sijainteja. Nämä tiedot voidaan yhdistää laseraineistoon jolloin kattotasot määritellään laseraineistosta. Tällaista mallinnusta on tehnyt mm. Helsingin kaupunki kaikilta laserkeilaamiltaan alueilta. (Korpela 2008, 38.)

Kaavoitus

Kuten luvussa 2.3 mainittiin, on laserkeilaus tehokkain tapa tuottaa pohjakarttaa asemakaavan levitessä uusille alueille. Rajapyykkien mittaamista lukuun ottamatta kaikki pohjakartan tietosisältö voidaan tuottaa käyttämällä laserpisteaineistoa ja laserkeilauksen yhteydessä tuotettuja ortokuvia. Rakentamiseen liittyen voidaan suurista pistepilvistä helposti tehdä tulvavaarakarttoja ja rakennettavuuskarttoja. Kaavoitukseen liittyvästä katusuunnittelusta ja yhdyskuntateknisestä suunnittelusta kerrotaan luvussa 8.4.1.

Melumallinnus

Melulaskennan pohjana on hyvä käyttää laserkeilaukseen perustuvaa maastomallia mikäli alueelta ei ole kolmiulotteista kantakartta-aineistoa. Mikäli aineisto on luokiteltu, voidaan siitä hyödyntää rakennuksien

korkeustiedot. Muissa aineistoissa rakennusten korkeudet ovat yleensä virheellisiä eikä melusteista ole tietoja. (Kokkonen 2010.)

Mallinnukseen sopii mm. Maanmittauslaitoksen laseraineisto, joskin pistepilvet ovat liian yksityiskohtaisia eivätkä ne toimi sellaisenaan laskentaohjelmissa. Rakennuksia ei myöskään ole luokiteltu. Rakennusten mallintamisen tueksi tarvitaan ilmakuvia tai olemassa olevaa vektoriaineistoa. (Kokkonen 2010.)

Laskentaohjelmiin sopivien maastomallien tuotanto on aikaa vievä työvaihe. Siinä pistepilvet harvennetaan, muodostetaan korkeuskäyrät sekä rakenteet vektoroidaan. Korkeuskäyrät ja taiteviivat ovat korkeuspisteitä käyttökelpoisempia melulaskennassa. Riittävä käyräväli on 1 metri. Vektoroinnissa on hyvä käyttää tukiaineistoa kuten tiekuvia tai viistokuvia. Ilman tukiaineistoa kapeiden meluaitojen tulkinta ja mallinnus ei onnistu. Vahvasti suodatettunakin laseraineiston laatu pysyy riittävänä melumallinnuksen tarpeisiin. (Kokkonen 2010.)

6.3 Ilmakuvaus ja ortokuvat

Ortokuvat ovat ilmakuvia, joista maaston aiheuttamat virheet on oikaistu laskennallisilla menetelmin. Tämän ominaisuuden ansiosta ne soveltuvat hyvin erilaisten suunnitelmien pohjaksi yhdessä esim. kaavapohjakartan kanssa. Ortokuvien laadulle tärkeä korkeusmalli voidaan tuottaa 3D-maastomittauksella, stereotulkinnan avulla, laserkeilauksella tai systemaattisella 2D-3D-muunnostyöllä (Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen seura 2005, 39).

Ilmasta suoritettujen laserkeilausten yhteydessä on yleistä ottaa samalla myös ilmakuvat. Ilmakuvien tarve riippuu laserkeilausten tarkoituksesta. Ilmakuvat ovat merkittävä apu luokiteltaessa laserkeilausaineistoa, ja kartoitusta varten suoritetuissa laserkeilaushankkeissa ne ovat tärkeä osa kokonaisuutta. Yhdistettäessä laserkeilaus ja ilmakuvaukset, merkittävimpiä hyötyjä ovat:

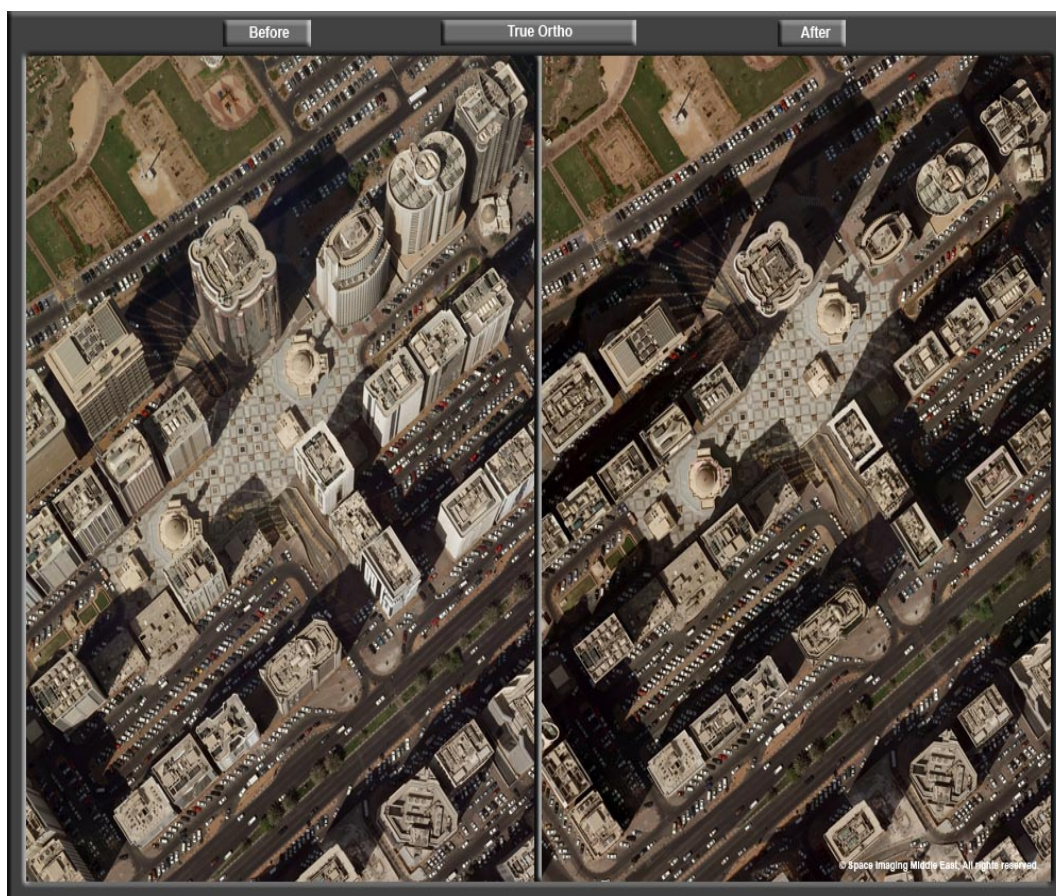
- pisteitä voidaan luokitella kuvien avulla
- väriarvoja voidaan määrittellä kuvista laserpisteille
- kohteiden vektorointi ortokuvien avulla ja korkeuksien määrittäminen laserkeilausaineistoa käyttämällä
- perspektiivikuvien avulla voidaan vektoroida 3D-kohteita
- Kyetään helposti varmistamaan että tietokokonaisuuksien paikannukset täsmäävät
- käyttämisen helppous kun käsittely tehdään samassa järjestelmässä (Soininen – Korpela 2007, 2.)

Ortokuvien raakaversiot voidaan tuottaa ilmakuvista suhteellisen helposti hyödyntäen lennossa tehtyjä GPS/IMU-havainnoita. Näillä havainnoilla voidaan määrittää tarkat kuvanottoaikan koordinaatit. Laserkeilausaineiston automaattisesti luokiteltua maanpintaa voi myös käyttää apuna ortokuvien tuotannossa. Raakaversioita vastaavasti voidaan hyödyntää luokiteltaessa interaktiivisesti laserkeilausaineiston maanpintaa. (Soininen–Korpela 2007,2.)

Lopullisten ortokuvien tuottamiseksi vaaditaan yleensä liitospisteiden mittaus ja ilmakolmiointi. Lisäksi ortokuvamosaiikki vaatii värien tasapainottamisen sekä kuvien reunalinjojen editoinnin. Näin mosaiikista saadaan visuaalisesti yhtenäinen. (Soininen – Korpela 2007, 2.)

Maanpintaortokuvat eroavat tosiortokuvista siinä, että korkeat rakennukset kuvautuvat virheellisesti maanpintaortokuvaan. Haluttaessa tuottaa tosiortokuvia oikaisupintaan otetaan mukaan myös rakennusten katot, sillat ja muut rakenteet, jotka halutaan oikaista geometrialtaan oikein. (Rönholm – Haggren 2011.) Tosiortokuvien tuotantoa varten on olemassa mm.

TerraPhoto-ohjelma, joka tukee pisteiden luokittelua ja rakennusten vektorointia.



Kuvio 11. Maanpintaortokuva ja tosiortokuva. (spaceimagingme 2011.)

Ortokuvien tarkkuuteen vaikuttavat lentokorkeus ja resoluutio. Tarkan 5-10 cm maastopixelikoon tuottamiseksi on esim. Tieliikelaitoksen laserkeilaushankkeissa lentokorkeutena ollut 100-200 m. Vastaavat lentokorkeudet 10-20 cm ja 10-50 cm maastopixelikokoja varten ovat olleet 200-700 m sekä 400-700 m. (Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen seura 2005, 47.)

Kaavoitusmittausohjeiden mukaan käytettäessä digitaalista kuvaa lähinnä taustakuvana riittää digitoinnissa mittausluokittain seuraavat maastopixelikoot:

mittausluokka 1 : 0,125 m

mittausluokka 2 : 0,25 m

mittausluokka 3 : 0,5 m (Maanmittauslaitos 2003, 20)

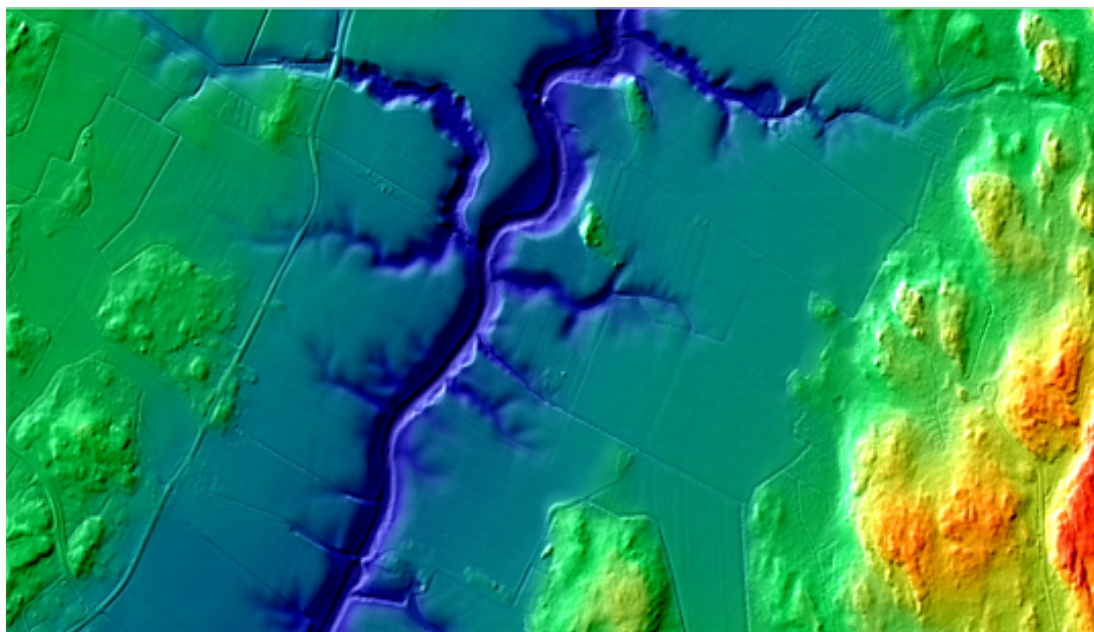
Laserkeilauksen yhteydessä tuotettavien ortokuvien ongelmana on usein se, että ilmakuvat otetaan pieniformaattisilla (n 1000 x 1000 pikseliä) ja keskiformaattisilla (n 4000 X 4000 pikseliä) digitaalikameroilla. Näillä kameroilla ei välttämättä ole kustannustehokasta kartoittaa laajoja alueita, koska kuvakoko on pieni. (Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen seura 2005, 22.)

Aina ortokuville ei ole tarvetta, mutta ne ovat tärkeitä kaupungeille mm. erilaisten karttapalveluiden ylläpitämistä varten. Yleisesti ortokuvien valmistus on aikaa vaativa toimenpide, joka pienten kuntien voimavaroilla jää usein konsulttivoimin tehtäväksi. Konsulttivetoisen laserkeilaushankkeen yhtenä lopputuotteena tilaajalle toimitetut ortokuvat voivatkin olla erittäin hyödyllisiä, ja kuvauksen lisäkustannukset ovat minimaalisia saatavaan hyötyyn verrattuna. Ortokuvia voidaan hyödyntää seuraavissa kunnallisissa toiminnoissa:

- kiinteistönmuodostus- ja kartastotehtävät
- maankäytön suunnittelu
- vesihuoltosuunnittelu
- liikennesuunnittelu
- katujen suunnittelu ja rakentaminen
- viheralueiden suunnittelu ja rakentaminen
- maa-ainesten otto ja maanläjitys
- elinkeino- ja yrityspalvelut
- pelastustoimi
- ympäristönvalvonta
- tilastolliset tietopalvelut
- rakennusvalvonta
- johtoverkoston suunnittelu (Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen seura 2005, 39-41.)

7 MAANMITTAUSLAITOKSEN LASERKEILAUSAINEISTO

Laserkeilausaineistoa on saatavilla Maanmittauslaitokselta, joka on tehnyt keilauksia valtakunnallisen korkeusmallin parantamiseksi. Kevään 2010 keilauslentojen jälkeen aineistoja on saatavilla noin 90 000 neliökilometrin alueelta. Laserkeilauksia on suunnattu ensisijaisesti tulvaherkille ja tiheään asutuille alueille, joissa tarvitaan entistä tarkempaa korkeutietoa tulvakarttojen laadintaan. (Maanmittauslaitos 2011.)



Kuvio 12. Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineiston perusteella tuotetun korkeusmallin vinovalovarjostekuva. (Maanmittauslaitos 2011.)

Aineistot luovutetaan valtion viranomaisille viranomaiskäyttöön pelkillä aineiston irrotus- ja toimituskuluilla. Vuoden 2009 alusta lähtien viranomaishinnoittelu on alkanut koskea ainoastaan valtion viranomaisia. (Nenonen ym 2010, 68.) Kunnille aineistot hinnoitellaan normaalin hinnaston mukaisesti, ellei osapuolten välillä ole asiaan liittyen erityistä sopimusta. Maanmittauslaitoksen internet-sivuilla on aineiston tarkat hintatiedot.

Maanmittauslaitoksen laserkeilauspistepilvet toimitetaan LAS-formaatissa 3X3km kokoisina TM35-karttalehtijaon mukaisina paloina. Aineistoa voi hankkia versioina, joissa maanpinta on joko automaattisesti tai stereomallivasteisesti luokiteltu. Stereomallivasteisesti luokitellussa

versiossa ovat luokiteltuina myös vakavedet, virtavedet ja sillat. Koordinaattijärjestelmänä on ETRS-TM35FIN. (Maanmittauslaitos 2011.)

Maanmittauslaitoksen keilaukset on suoritettu 2000 metrin korkeudesta, jolloin laserpulssin jalanjälki maastossa on noin 50 cm. Korkeustarkkuuden keskivirhe on enintään 15 cm ja tasotarkkuuden 60 cm yksiselitteisellä pinnalla. Näillä arvoilla interpoloidun mallin tarkkuus on 30 cm. Aineiston pistetiheys on noin yksi piste kahta neliometriä kohden. (Maanmittauslaitos 2011.)

Keilaukset on suoritettu korkealta, joten lentojonojen määrä on voitu pitää pienenä. Siten kustannukset ovat olleet vähäisiä pinta-alayksikköä kohti. Aineistot ovat hyvin edullisia, mutta korkealta keilattaessa myöskään tarkkuus ei tietenkään ole paras mahdollinen. Esimerkiksi rakennuksien mallintamista varten puoli pistettä neliometriä kohden on hyvin vähän. Kuntien olisi hyödyllistä käyttää Maanmittauslaitoksen aineistoja eräänlaisena harjoittelumateriaalina.

Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoa voidaan käyttää mm. kaavoituksen tukena. Kaavoitusmittausohjeiden mukaan korkeuskäyrällä olevan pisteen tai numeerisesta korkeusmallista interpoloidun pisteen korkeuskeskivirhe saa olla enintään:

$$dh = 0,3 \text{ m} + 1,0 \text{ m} * \tan v \quad \text{Mittausluokka 1}$$

$$dh = 0,5 \text{ m} + 2,0 \text{ m} * \tan v \quad \text{Mittausluokka 2}$$

$$dh = 1,0 \text{ m} + 5,0 \text{ m} * \tan v \quad \text{Mittausluokka 3}$$

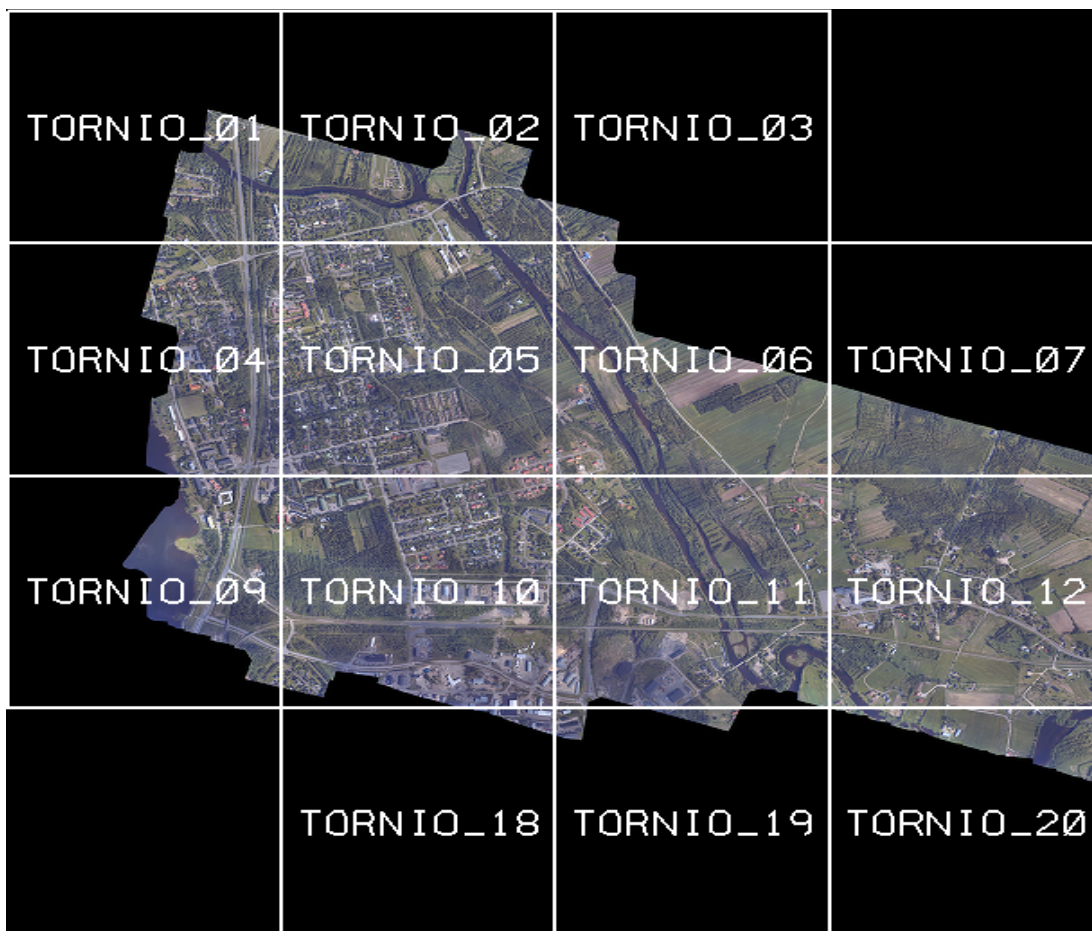
$$v = \text{maaston kaltevuus (Maanmittauslaitos 2003, 55.)}$$

Maanmittauslaitoksen aineistoa voidaan käyttää myös esim. siirryttäessä uuteen korkeusjärjestelmään. Näin on tehty ainakin Turun ja Kaarinan alueella. Ennen laserkeilausta Kiinteistöliikelaitos ja Maanmittauslaitos sopivat, että keilaukset tehdään alkuperäistä suunnitelmaa tiheämmin, jotta aineisto soveltuu korkeuskäyrätuotantoon. Siirtyminen ei kuitenkaan sujunut täysin suunnitelmien mukaan. Alunperin tavoite oli saada 10 senttimetrin

tarkkuus kantakartan maanpinnan korkeusluville, mutta tihennyksestä huolimatta tarkkuus ei riittänyt kuin 15 senttimetriin. Tarkkuustaso ei kuitenkaan jäänyt kauas tavoitteesta, ja perinteiseen menetelmään verrattuna korkeustietojen uusiminen oli vaivatonta. (Ala-Uotila 2010, 17-18.)

8 LASERKEILAUS TORNION KAUPUNGIN ALUEELLA

Laserkeilaus ja samanaikainen ilmakuvauus on tehty helikopterista Kivirannan, Raumon ja Kyläjoen alueella noin 400 metrin korkeudesta FM-International Oy FINNMAP SURVEYS:in toimesta. Laserkeilauksella saavutettu pistetiheys on noin 10 pistettä neliometrille. Tämä pistetiheys mahdollistaa aineiston käytön tarkkaa maastomallia vaativassa suunnittelussa. Keilauksen yhteydessä otetuista ilmakuvista on muodostettu ortokuvamosaiikki. Työ on tehty Tornion kaupungin käyttämään taso- ja korkeusjärjestelmään. Lennon aikainen paikannus tapahtui Euref-Fin -koordinaatistossa GPSNet-virtuaaliverkkoon sitoutuen. Koordinaatistomuunnokset tilaajan järjestelmään on tehty JHS-suositusten mukaisesti. Korkeusjärjestelmämuunnos on tehty valtakunnallista geoidimallia käyttäen. Lopullinen sovitus Tornion käyttämään taso- ja korkeusjärjestelmään on suoritettu tilaajan toimittamien tukipisteiden avulla.



Kuvio 13. Keilatun alueen länsiosa. Osa lopputuotteista on jaettu kartan mukaisiin ruudukoihin, jotta tiedonkäsittely onnistuu paremmin.

8.1 Sovitus taso- ja korkeusjärjestelmään ja aineiston tarkkuuden tarkastelu

Laserkeilaushankkeessa ei välttämättä tarvita ollenkaan erillisiä maastomittauksia. Kuitenkin viimeisten senttimetrien viilaamiseksi paikoilleen on suositeltavaa sovittaa aineisto maastossa mitattuihin referenssipisteisiin. Ilmakuvaus- ja laserkeilausyritykset eivät yleensä tee maastotöitä, mutta kuntien laserkeilaushankkeissa se ei ole ongelma omien maastomittausyksiköiden pystyessä vaadittaviin mittauksiin.

Torniossa maastoreferenssimittaukset tehtiin kahdeksalle eri paikalle laserkeilatulla alueella. Jokaisen kohteen yhteyteen mitattiin GPS:llä korkeusgridi eli korkeustukipisteruudukko, joissa pisteitä oli suunnilleen 5X5 pistevälin ollessa noin 3-5 metriä. Mitattavat alueet olivat tasaisia alueita pääosin teiden risteysalueilla. Korkeustuen lisäksi jokaiselta alueelta mitattiin 2-3 xy-tukipistettä. Näille pisteille sopivia kohteita olivat maaliviivojen päät mm. suojateilla sekä erilaiset selkeät rakenteet, kuten kaivot tai venttiilit jotka näkyvät tuotetuilta ortokuvilta. Joillakin alueilla sopivien tukipisteiden löytyminen oli ongelmallista, vaikka ortokuvien maastopikselikoko onkin hyvää luokkaa. Korkeustukipisteiden avulla tiedetään kuinka paljon pistepilviä täytyy nostaa tai laskea, jotta pistepilvet olisivat mahdollisimman tarkkoja. Tasotarkkuuspisteiden avulla pistepilvi saadaan orientoitua xy-tasossa oikealle kohdalle.

Maastomallin tarkkuus riippuu pitkälti siitä, onko maan pinta kyseisessä kohdassa yksiselitteisesti kovaa materiaalia oleva tie vai esimerkiksi ruohikkoa tai metsää. Tornion kaupungin laserkeilausaineiston tarkkuutta tarkasteltiin marraskuussa 2010. Pisteiden otanta oli tosin melko pieni ja ainoastaan yhdeltä alueelta. Tarkastelu tehtiin tasolaserilla asfaltilla korkeuskiintopistettä hyväksi käyttäen. Mittaus käsitti 17 laserkeilausaineiston yksittäisen pisteen korkeuden vertailun.

pistenum.	Poikkeama/m		
292232	0,032		
292161	0,014		
292019	0,008		
291780	0,014		
291543	-0,011		
291446	0,020		
291292	0,023		
272793	0,019		
272738	0,008		
272412	0,028		
272194	0,016		
272096	0,009		
271851	0,011		
271668	-0,016		
271344	0,035		
271994	0,024		
270883	0,044		
	keskim.	0,020 m	korkeuksien
	keskiarvo	0,016 m	keskihajonta
			0,015 m

Mittauksen perusteella tarkastelun alueella korkeudet poikkeavat keskimäärin 0,02 cm maanpintojen todellisista korkeuksista. Pistepilvi on keskimäärin 0,016 cm todellisuutta korkeammalla. Korkeuksien keskihajonta taas on 0,015 cm.

Ongelmia tarkistusmittauksissa tuottivat talviset olosuhteet sekä sopivien korkeuskiintopisteiden vähäinen määrä keilatulla alueella. Mitatut lukemat eivät kuvasta koko aineiston tarkkuutta, mutta Tornion kaupunki ei katsonut ainakaan tässä vaiheessa tarpeelliseksi suorittaa enempää mittauksia. Aineiston tarkkuus on varmasti riittävän hyvä ainakin maastomallien tekoa varten, joka on aineiston tärkein käyttötarkoitus. Huomioitavaa on että GPS:llä mitatessakaan korkeustarkkuudet eivät ole yleensä kuin parin senttimetrin luokkaa.

8.2 Huomioita hankkeeseen liittyen

Yleisesti parhaat ajankohdat laserkeilaukselle ovat aikainen kevät ja myöhäinen syksy. Tornion kaupungin laserkeilaus on kuitenkin suoritettu kesäkuussa jolloin puissa on ollut lehtiä ja aluskasvillisuuden aiheuttama mahdollinen virhelähde on otettava huomioon. Aineiston tarkastelu osoitti että maanpinnan pisteitä on tasaisesti myös katveisilla alueilla. Tarkkuudet voivat kuitenkin vaihdella alueittain.



Kuvio 14. Laserkeilattu alue on osaksi lähes läpituunkematonta lehvästöistä ja aluskasvillisuudesta johtuen. (Google maps 2011.)

Keilatussa alueessa on sekä asemakaavoitettua aluetta, haja-asutusaluetta että täysin rakentamatonta aluetta. Kaupungilta saatujen tietojen mukaan suunnitelmissa on ainakin seuraavia toimintoja keilatulle alueelle lähitulevaisuudessa:

- Kivirannan asemakaava laajenee merkittävästi itäänpäin
- Pintavesien kuivatussuunnitelma koko Kivirannan alueella
- Kunnallistekniikan rakentamissuunnitelmia
- Palvelualueita kyläjoelle (yleissuunnitteluasteella)

8.3 Lopputuotteet

Lopputuotteena Tornion kaupunki on saanut pistepilviaineiston kahdessa eri muodossa;

Binäärisessä LAS-formaatissa olevana pistepilvenä, jossa on kaikki keilauksen tuottamat pisteet. Pisteiden luokitukset ovat seuraavat:

- 1 – Luokittelemattomat pisteet
- 2 – Maanpinta, sisältää vesipisteet, eli vedenpinta keilaushetkenä
- 7 – Virhepisteet
- 10 – Linjojen peitto.

ASCII-formaatissa (xyz ja gt) on toimitettu maanpinnan harvennettu hajapisteistö. Harvennus on tehty älykkäästi eli siinä on otettu huomioon maastomallin kolmioinnin osalta oleelliset pisteet. Jyrkät maastomuodot kuvautuvat tiheällä pisteistöllä ja loivat harvemmallä.

Tornion kaupunki on saanut myös pisteaineistosta tehdyt korkeuskäyrät. Varsinaisen pisteaineiston lisäksi Tornion kaupungille on toimitettu ortokuvat, joiden geometrinen tarkkuus on varsin hyvä, sillä oikaisu on toteutettu tarkan ja tiheän keilauspisteistön avulla. Ortokuvamosaiikin pikselikoko on 10 senttimetriä ja se on ecw-formaatissa. Lopputuotteet sisältävät myös laserkeilausraportin, josta ilmenevät muun muassa laserkeilauksen sisäisen sovituksen ja hankekoordinaatistoon orientoinnin tarkkuutta kuvaavat tunnusluvut.

8.4 Lopputuotteiden hyödyntäminen

Tornion ja muiden laserkeilausta suorittaneiden sekä suorittavien kaupunkien olisi hyvä tehdä tuotemarkkinointia organisaation sisällä. Valmiudet lopputuotteiden hyödyntämiseen tulisi hankkia hyvissä ajoin, jotta aineisto ei jäisi makailemaan käyttämättömänä. Aineistosta olisi hyvä laittaa informaatiota ulkopuolisillekin tahoille. Hyvänä esimerkkinä on Kokkolan

kaupunki, jonka internet-sivuilla on hyvä kuvaus ja tiedot kaupungin laseraineistosta sekä sen jakelusta.

Tornion kaupungille tehtyä laserkeilausta voi verrata Ylivieskan kaupungin vuonna 2004 suorituttamaan laserkeilaukseen. Pistetiheydet ja kuvien pikselikoot ovat samaa tasoa. Ylivieskan kaupunki on hyödyntänyt aineistoa ainakin yleis- ja asemakaavoituksessa, kunnallisteknisessä suunnittelussa, kantakarttojen teossa ja päivityksessä, numeerisen viemärikartan teossa, puistojen suunnittelussa ja hoidossa sekä rakennuslupakäsittelyssä. (Korpela 2008, 37.)

8.4.1 Käyttökohteet

Maanpinnan luokitellut pisteet ovat Tornion kaupungille tärkeä lopputuote. 3D-mallinnusta esim. rakennuksista ei varmaankaan alueelta ainakaan lähitulevaisuudessa tehdä. Rakennuksien pisteitä ei lopputuotteisiin ole luokiteltu.

Kaavoitusta varten lopputuotteet ovat monelta osin käyttökelpoisia, sillä laseraineistoa ja ortokuvia käyttämällä voidaan tuottaa pohjakarttaa. Laserpisteiden tarkkuus riittää ainakin katujen suunnitteluun uusilla kaava-alueilla. Yleensä vanhojen katujen kunnostukseen ilmalaserkeilausten tarkkuudet eivät riitä. Näin ollen vanhan ja uuden kadun liitoskohta olisi tarkemittattava. (Korpela 2008, 38.) Mikäli tarkkuus on koko keilausalueella tarkistusmittausten mukainen, ei maastomittauksille liene tarvetta.

Yhdyskuntateknistä suunnittelua ajatellen keilauksen yhteydessä tuotetut ortokuvat ovat hyödyllisiä. Maastopikselikoko on 10 cm, joten kuvista erottuvat kaivojen kannet, reunakivet ja muut tärkeät yksityiskohdat. Aineistoa käyttämällä maastokäyntien määrää voidaan vähentää.



Kuvio 15. Ortokuvien tarkkuus on hyvä.

8.4.2 Ohjelmat

Ainakaan vielä keväällä 2011 Tornion kaupunki ei ole tehnyt uusia ohjelmahankintoja laseraineiston käsittelyä varten. LAS-aineistoa ei kuitenkaan voi tehokkaasti käyttää ilman asianmukaisia ohjelmia. Ilmaisista ohjelmista kaupungin maastomittauksessa on kokeiltu ainakin Fusionia, joka osoittautui vaikeaksi käytettäväksi. Ilmaisia ohjelmia käytettäessä ongelmana onkin, että tuotetukea ei helposti saa ja ohjeet ovat yleensä englanniksi. Mikäli laseraineistojen käsittely ei ole tuttua, voi ilmaisohjelman käyttö osoittautua liian vaikeaksi ja aikaa vieväksi. Laserkeilausraportista ilmenee että raakadataa on käsitelty Terrasolidin ohjelmilla lopputuotteita valmistettaessa. Terrasolidin loppukäyttäjille tehtyjen tuotteiden käyttämisen voisikin nähdä eräänlaisena jatkumona.

Terrasolidin ohjelmista ainakin seuraavat voivat olla vartenotettavia vaihtoehtoja kunnan tekniselle toimelle:

Ohjelma	kuvaus	kappalehinta/€
TerraScan	pisteiden käsittely ja luokittelu	5100
TerraScan Viewer	TerraScania kevyempi versio luokiteltujen pisteiden tarkasteluun	340
TerraModeler	3D-pintamallien luonti	3400

Hinnat ovat Terrasolidin hintalaskurista. Kyseisiin hintoihin ei ole laskettu lisenssien ylläpidon kustannuksia eikä arvonlisäveroa. Hinnat ovat viitteellisiä, ja tapauskohtaiset hinnat lasketaan Terrasolidin toimesta. Tornion kaupungilla ei kuitenkaan ole Microstation-ohjelmistoja käytössä, joten tämä voi olla esteenä Terrasolidin ohjelmien hankkimiselle ja käytölle.

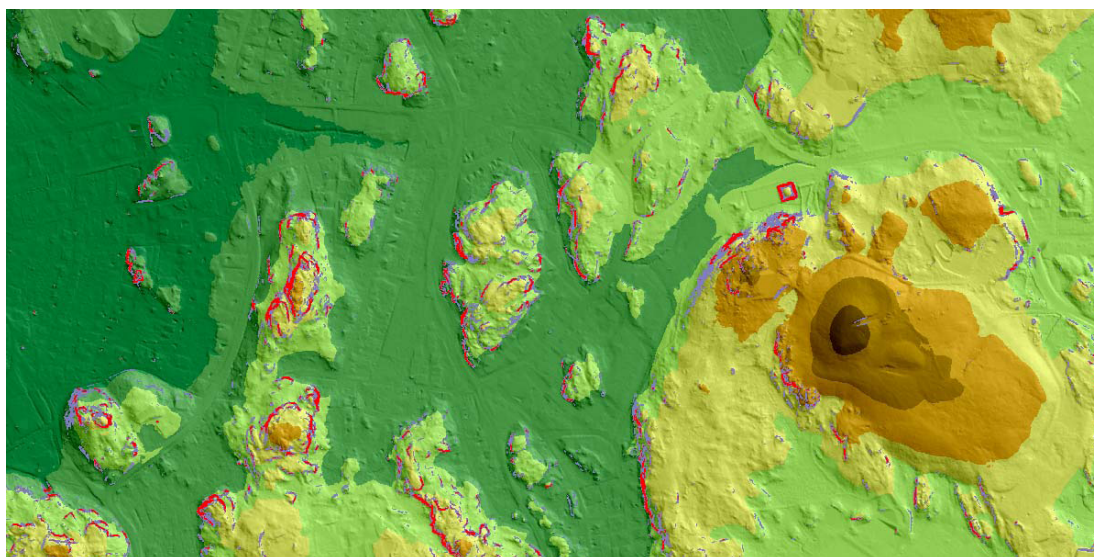
Kunnallistekniseen suunnitteluun ja mittaustiedon käsittelyyn Tornion kaupungilla on tällä hetkellä käytössään:

- Tekla Xcity
- Tekla Xstreet
- Tekla Xpower (energialaitoksella).
- Gemini (maastomittauksessa)
- 3D-Win (maastomittauksessa).

Tekla

Teklan tuotteet eivät vielä tue LAS-formaattia, mutta tulevaisuudessa lukemisen on tarkoitus toimia. ASCII-tiedostojen luokiteltu maanpinta voidaan lukea Teklan Xstreet- tai Xgeo-ohjelmilla, jolloin automaattisesti syntyy maastomalli, jota voidaan suoraan hyödyntää Xcity-, Xpower- ja Xpipe-ohjelmissa. Hyödyntämistapoina ovat mm. korkeuskäyrien ja kolmiomallien piirto, korkeuskyselyt maastomallin alueelta ja pituusleikkaukset maastopintoineen. Tekla Xstreet-ohjelmalla voidaan maastomallista tuottaa

pinnan muotoja havainnollistavia taustakarttoja X-tuotteiden käyttöön. Pinnan muotoja voidaan havainnollistaa mm. liukuvärein ja varjostuksin tai kaltevuusanalyysin. Karttoja voidaan tuottaa mm. tulvavaara-alueista. Tekla Xgeo ja Tekla Xstreet tuotenimet vaihtuvat Tekla Civil tuotteeksi, joka julkaistaan toukokuussa 2011. (Alanko 2011.)



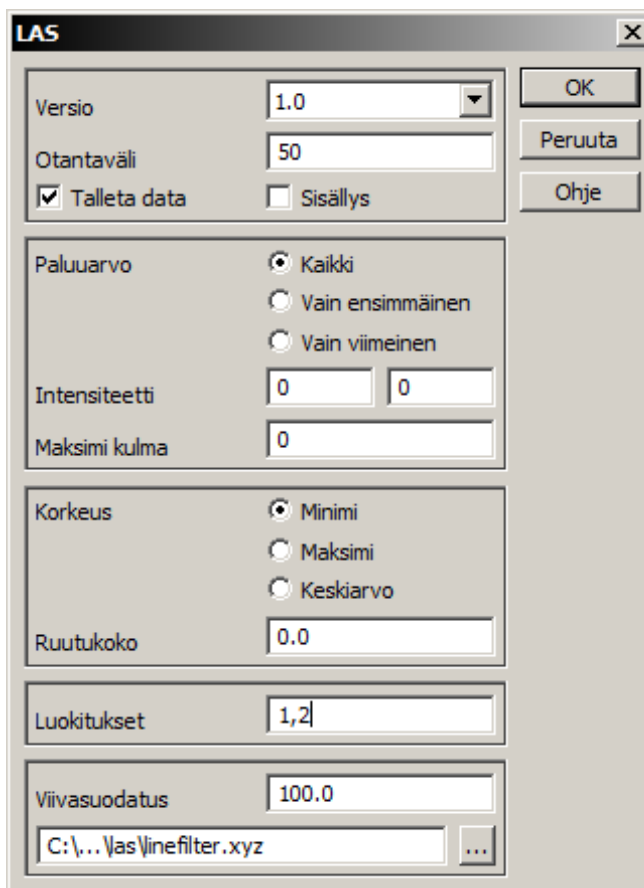
Kuvio 16. Tekla Xgeo-ohjelmalla tuotettua rakennettavuuskarttaa, jossa eri värit kuvaavat korkeusvaihteluita ja pintojen kaltevuuksia. (Ala-Uotila 2010)

3D-Win

3D-Win on suomalaisen 3D-system Oy:n kehittämä ohjelmisto mitatun tiedon jatkokäsittelyyn. Se on yleinen ohjelma, jota ei ole tarkoitettu ainoastaan laserdatan käsittelyyn. Kuitenkin versiosta 5.4 lähtien 3D-winin päivitettyllä formaatinmuuntimella on pystynyt käsittelemään myös LAS-tiedostoja siten että laserkeilausaineistojen avaaminen onnistuu. Ongelmallisinta keilausaineiston käytössä 3D-Winillä on ollut pisteiden suuri määrä ja 3D-Winin melko raskas pisterakenne, joka on suunniteltu tukemaan mahdollisimman monia formaatteja. Näin ollen tietoneiden muistien riittämättömyys on suuri este käytölle. Viimeisissä ohjelmaversioissa ongelmaa on jonkin verran korjattu. Versiosta 5.5.1 lähtien LAS-formaatin kirjoitus ei ole enää tuottanut yhtä suuria ongelmia muistin osalta. (3D-system 2011.)

Varma ratkaisu riittämättömän muistin kanssa on pisteiden suodattaminen jo lukuvaiheessa. Tiedostoa avattaessa formaatinmuuntimella voi valita tiedostotyyppin ja määrittää luettavat kohteet. Ilman suodatusta koko tiedosto luetaan normaalisti. Uusimmissa versioissa suodatuksen voi tehdä seuraavilla tavoilla:

- Pisteiden poimiminen tietyin otantavälein
- Aluerajaus
- Pisteiden ominaisuuksien esim. luokittelun tai intensiteetin perusteella
- Ruuduittain siten että annetaan ruutukoko ja jokaiseen ruutuun jää yksi piste
- Viivasuodatus siten että määritetään hakuetaisyys vektoritiedoston viivoista (3D-system 2011.)



Kuvio 17. Las-muuntimen ikkuna 3D-winissä.

9 YHTEENVETO

Tässä työssä selvitettiin miten kunnat voivat laserkeilausta hyödyntää. Samalla kartoitettiin menetelmän ongelmia ja rajoituksia. Käsitelty aihe on todella laaja, joten kaikkiin asioihin ei voitu keskittyä syvällisesti. Työn pääpaino on ollut ilmalaserkeilauksessa, joten vastaavasti voitaisiin tutkia maalaserkeilauksen mahdollisuuksia kuntien käyttämänä mittausmuotona. Esimerkiksi kaupunkimallien valmistusta ja niiden tarkkuutta voitaisiin myös tutkia tarkemmin.

Perinteisiin mittausmenetelmiin verrattuna laserkeilauksella voidaan tuottaa nopeasti erittäin paljon kolmiulotteista tietoa. Kun lasersäteitä suunnataan tietylle alueelle, saadaan alueesta lopputuotteena miljoonia pisteitä sisältävä pistepilvi. Yleinen tapa käyttää kolmiulotteista pistepilveä ja muita lopputuotteita on tehdä siitä maanpinnan pisteistä koostuva maastomalli.

Yksi laserkeilauksen ongelmista liittyy juuri mitatun tiedon suureen määrään. Tämä aiheuttaa ongelmia lopputuotteen hyödyntämisessä, koska tietokoneiden kapasiteetit eivät yleisesti ole sillä tasolla, että työskentely aineistojen kanssa onnistuisi ilman pistepilven ositteluja ja harvennusta. Tiheä pistepilvi voi jäädä suureltakin osin hyödyntämättä mikäli käyttäjillä ei ole aikaa, halua tai resursseja uusien ohjelmien käytön opetteluun. Ohjelmia aineistojen käsittelyyn löytyy kyllä monia, mutta suuri osa niistä vaatii pitkäaikaista perehtymistä eri toimintoihin.

Laserkeilaukselle ei ainakaan toistaiseksi ole Suomessa laadittu kansallisia ohjeita kuten on tehty esimerkiksi ortokuvien tuotannolle ja käytölle. Laserkeilauksen käyttömahdollisuudet ovat laajat, joten virallisten ohjeiden laatiminen edistäisi varmasti myös kuntien laserkeilaushankkeita ja lopputuotteiden hyödyntämistä. Nykyisin aihetta käsittelevää tietoa täytyy etsiä monista eri lähteistä, jotta saisi laajan kokonaiskuvan menetelmästä.

Tornion kaupunki on saanut laserkeilauksella hyvin yksityiskohtaista tietoa keilatun alueen maaston muodoista ja rakennuksista. LAS-tiedostoja

käytettäessä voi ainakin aluksi ilmetä ongelmia, mutta ASCII-muotoinen aineisto on tuttua ja sitä voi hyödyntää kaupungin nykyisilläkin ohjelmilla. Harvennettukin laseraineisto on riittävän yksityiskohtaista monenlaiseen suunnitteluun.

Laserkeilaus luo kohdealueesta pistepilven tietyllä ajanhetkellä. Erilaisten muutosten kohdistuttua alueeseen, eivät lopputuotteet ole enää täsmällisiä. Laseraineistojen käyttäminen monipuolisesti vaatiikin myös jatkuvaa ylläpitoa sen osalta mikä tieto on vanhentunutta ja mikä vielä paikkansa pitävää. Ylläpito voi parantaa aineiston käytettävyyttä, mutta toisaalta se lisää kustannuksia. Laserkeilaus on ehdottomasti tulevaisuuden mittausmuoto, mutta ympäristömme jatkuvasti muuttuessa ei sillä kannata yrittääkään kaikkia maastokäyntejä korvata.

LÄHTEET

3D-System. Las-formaatti. Osoitteessa <http://www.3d-system.net/forum/viewtopic.php?f=15&t=36>. Luettu 5.2.2011

Ala-Uotila, Päivi 2010. Laseraineistot suunnittelussa. Projektityö. Metropolia ammattikorkeakoulu / Turun kiinteistöliikelaitos. Maanmittaustekniikan koulutusohjelma.

Alanko, Markku 2011. Sovelluspäällikkö. Tekla. Sähköpostikeskustelu 20.4.2011

Alho, Petteri – Hyyppä, Hannu – Hyyppä, Juha 2008. Laserkeilaamalla maastomallit tulvakartoitukseen. Positio 4/2008, s 11-14.

FM-International Oy FINNMAP SURVEYS 2011. Yritysesittely. Osoitteessa <http://www.finnmap.com/fi/yritysesittely.php>. Luettu 10.1.2011

Fotogrammetrian ja kaukokartoituksen seura 2005. Ohjeita ortokuvien tuotannolle ja käytölle Suomessa. Julkaisu 1/2005.

Heiska, Nina 2010. Maalaserkeilaimet ovat kehittyneet geodeettisiksi mittalaitteiksi. Maankäyttö 4/2010, s 14-17.

Honkanen, Petri. Lahden kaupungin N2000-korkeusjärjestelmävaihdos. Osoitteessa http://www.kolumbus.fi/eino.uikkanen/H-II/PetriHonkanen/korkeuspaiva_Honkanen_100310.pdf. Luettu 10.2.2011.

Joala, Vahur 2007. Terrestriaalinen laserkeilaus. Luentomoniste.

Kokkonen, Jarno 2010. Laserkeilaus melulaskennan maastomallituotannossa. SITO. TietoTorstai 11.3.2010.

Korpela, Hannu 2008. Laserkeilaus kannattavampaa käytön yleistyessä. Maankäyttö 2/2008, s 36-39.

Koski, Jarkko 2001. Laserkeilaus – uusi ulottuvuus paikkatiedon keräämiseen. Maankäyttö 4/2001, s 24-26.

Kukko, Antero – Hyyppä, Hannu – Kaartinen, Harri – Ahlavo, Marika – Vaaja, Matti 2010. Liikenneympäristö kolmiulotteisiksi liikkuvalla kartoituksella. Positio 2/2010, s 6-8.

Lehtonen, Pekka 2010. Terrasolid toimii maailmanlaajuisesti. Maankäyttö 4/2010, s 11-13.

Maanmittauslaitos 2003. Kaavoitusmittausohjeet.

Maanmittauslaitos. Laserkeilaamalla tuotetaan uutta korkeusmallia. (WWW-dokumentti.) Osoitteessa <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/laserkeilausaineistot/laserkeilaamalla-tuotetaan-uutta-korkeusmallia>. Luettu 15.1.2011

Maanmittauslaitos. Laserkeilausaineiston tuotekuvaus. (WWW-dokumentti). Osoitteessa <http://www.maanmittauslaitos.fi/digituotteet/laserkeilausaineisto>. Luettu 15.1.2011.

Nenonen, Keijo - Vanne, Jouko - Laaksonen, Heli 2010. Laserkeilaus – uusi menetelmä geologiseen kartoitukseen ja tutkimukseen. Geologi 2/2010 s 62-69.

Rönholm, Petri – Haggren, Henrik 2004. Fotogrammetrian yleiskurssi, Luento 10: Optinen 3D-mittaus ja laserkeilaus.

Rönholm, Petri – Haggren, Henrik. Fotogrammetrian perusteet, luento 8: Kartoitussovellukset. Luettu 20.1.2011

Salolahti, Mika 2010. Laserkeilaus ja sen käyttömahdollisuudet. Terrasolid, esite. Helsinki

Soininen, Arttu 2003. Laserkeilauksen sovellusalueet. Maanmittaustieteiden seuran julkaisu 40, Maanmittaustieteiden päivät 2003.

Soininen, Arttu 2010. TerraScan user's guide.

Soininen, Arttu – Korpela Hannu. Processing of Airborne Laser Data and Images – Versatile products through skilled processing. GIS development magazine 10/2007.

Terrasolid. Designers` solution to work with lidar data and orthoimages: TerraScan Viewer, Terraphoto Viewer and TerraModeler Field for Microstation. Osoitteessa http://www.terrasolid.fi/system/files/End-users_laser_software_0.pdf. Luettu 2.2.2011

Terrasolid. Laserkeilaus aluekartoituksessa. Osoitteessa http://www.terrasolid.fi/system/files/Laserkeilaus_aluekartoituksessa_FIN.pdf. Luettu 29.3.2011

Tolonen, Jukka 2010. Maalaserkeilaus. Artikkel. Osoitteessa <http://koti.mbnet.fi/jtolonen/artikkelit/Maalaserkeilaus.pdf>

Tornio. (www-dokumentti) Wikipedia, osoitteessa <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Tornio>> luettu 10.1.2011

Torvinen, Jari 2011. Paikkatietoinsinööri. Kuopion kaupunki. Sähköpostikeskustelu 20.2.2011

Ventin, Jakob 2010. Ilmaisia ohjelmia laserkeilausaineistojen käsittelyyn. Esitelmä laserkeilaus- ja korkeusmalliseminaarissa Helsingissä 8.10.2010.

www.maps.google.fi. Viitattu 1.4.2011

www.spaceimagingme.com. Viitattu 20.1.2011

www.terrasolid.fi. Viitattu 1.2.2011

Liite 1: Kartta Tornion laserkeilausalueesta

