

RANTOJEN MITTAAMISEN UUDET MENETELMÄT

Selvitystyö vesivoimayhtiölle soveltuvista mittausmenetelmistä

Ylihurula Helena

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Helena Ylihurula	Vuosi	2019
Ohjaaja	Pasi Laurila		
Toimeksiantaja	Kemijoki Oy		
Työn nimi	Rantojen mittaamisen uudet menetelmät Selvitystyö vesivoimayhtiölle soveltuvista mittausmenetelmistä		
Sivu- ja liitesivumäärä	51		

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää uusia toimintatapoja ja mittaamenetelmiä vesivoimayhtiö Kemijoki Oy:n rantojen mittaamiseen ja kartoittamiseen. Kemijoki Oy:llä on rantoja omistuksessaan yli 1000 kilometriä. Vesivoiman tuottaminen pinnanvaihteluineen aiheuttaa rantojen kulumista. Kulumisen vuoksi rantoja hoidetaan sekä lupaehtovelvoitteiden mukaisesti että vapaaehtoisin toimin. Kemijoki Oy:llä oli vahva halu kehittää toimintaansa ja tarkastella uusien teknologioiden ja toimintatapojen tarjoamia mahdollisuuksia töiden sujuvoittamiseen sekä asioiden hoitamiseen kustannustehokkaammin ja laadukkaammin.

Selvitystyössä tietoa haettiin tutustumalla erilaisiin palveluja tarjoaviin tahoihin sekä yrityksiin, joilla on tarvetta vastaavanlaisiin mittausesioihin. Muutamista mittaamenetelmistä haluttiin enemmän tietoa, jotta soveltuvuus Kemijoki Oy:n tarpeisiin voitiin selvittää. Niiden osalta teetettiin testimittaukset. Ulkopuolisella asiantuntijalla teetettiin myös selvitys Kemijoki Oy:lle sopivista mittaamenetelmistä. Selvitystyön lähteinä käytettiin internetin lähteitä, raportteja ja haastatteluja.

Työn tavoitteena oli selvittää erilaisia mahdollisuuksia, eikä löytää yhtä oikeaa ratkaisua. Todennäköisesti toimiva tapa voi olla useamman menetelmän yhdistelmä. Kemijoki Oy:n toimintamalli huomioiden yhteistyö ja kumppanuus ovat tärkeässä roolissa, jotta löydetään sopiva toimintatapa.

Technology, Communication and
Transport
Degree Programme in Land
Surveying
Bachelor of Engineering

Author	Helena Ylihurula	Year	2019
Supervisor	Pasi Laurila		
Commissioned by	Kemijoki Oy		
Subject of thesis	New Land Surveying Methods by the Riverbanks an Investigation of Land Surveying Methods Suitable for Hydropower Company		
Number of pages	51		

The purpose of this thesis was to investigate new procedures and land surveying methods for surveying hydropower company Kemijoki Oy's riverbanks. Water level fluctuation, partly due to the hydropower production, causes erosion of riverbanks. Kemijoki Oy owns over 1000 km of riverside and riverbanks should be managed according to the obligations ordered by the authorities. In addition, Kemijoki Oy does a lot of voluntary work. Kemijoki Oy had a strong will to progress and to investigate the opportunities of both new technologies and new ways of operation in order to develop its processes more straightforward. It was also necessary to investigate how to take care of the management in a more cost-effective and higher quality manner.

Information was collected by studying the different companies that provide land surveying services. In addition, companies that use similar land surveying in their work were studied. In addition, tests were taken to learn about the practice. An expert outside Kemijoki Oy carried out an investigation of the land surveying methods which are suitable for Kemijoki Oy. The sources used were www-based, interviews or different kinds of reports.

The objective of this thesis was to investigate different possibilities but not to find one suitable solution. Probably the best way could be a combination of many methods. Co-operation and partnership are important for finding the right operating model.

Key words

mapping, land surveying

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	8
2	KOHDEYRITYKSENÄ KEMIJOKI OY	10
2.1	Suomen merkittävin vesi- ja säätövoiman tuottaja	10
2.2	Ainutlaatuinen kumppanuusmalli	11
2.3	Vastuullinen toiminta	12
2.4	Monipuoliset sidosryhmät	13
3	RANTOJEN KARTOITTAMINEN KEMIJOKI OY:SSÄ	15
3.1	Nykyinen toimintatapa	15
3.2	Tulevaisuuden mahdollisuudet	16
4	ERILAISIA VAIHTOEHTOJA RANTOJEN MITTAAMISEEN	17
4.1	Yleistä	17
4.2	Paikkatietopoliittinen selonteko ja Pointcloud-hanke	17
4.3	Laserkeilaus	18
4.4	Monikanavakuvantaminen	19
4.5	Miehittämättömät ilma-alukset	20
4.6	Ilmalaserkeilaus	21
5	TIETOA HAETTIIN TUTUSTUMALLA YRITYKSIIN	23
5.1	Taustaa	23
5.2	VRT Oy	23
5.2.1	Kohde ja työn kuvaus	24
5.2.2	Havainnot	25
5.3	Nordic Geo Center Oy	32
5.4	Mitta Oy	32
5.4.1	M3D-mobiilikeilauspalvelu	33
5.4.2	Testi M3D-mobiilikeilauspalvelusta	33
6	KÄYTÄNNÖN ESIMERKKI LASERKEILAUKSESTA	35
6.1	Taustaa	35
6.2	Testi käytännössä	35
6.3	Tulosten jälkikäsittely	38
6.4	Lopputulos	39

7 BLOM KARTTA OY:N SELVITYS.....	40
7.1 Taustaa.....	40
7.2 Vyörymäkartoitukset	40
7.3 Käytettävissä oleva ilmaisaineisto ja sen soveltuvuus	41
8 MITTAAMISEN TULEVAISUUS	45
8.1 Yleistä	45
8.2 Näkemyksiä tulevaisuudesta	45
8.3 Haastatteluista lisätietoa	46
8.3.1 Asiantuntijat vahvistavat käsitystä	46
8.3.2 Mikko Ilmonen, toimialajohtaja mittauspalvelut, Mitta Oy	47
8.3.3 Jari Lappi, toimitusjohtaja, Mitta Oy.....	47
9 POHDINTA.....	48
LÄHTEET.....	50

ALKUSANAT

Haluan kiittää opinnäytetyöni toimeksiantajaa eli työnantajaani Kemijoki Oy:tä mahdollisuudesta opinnäytetyön tekemiseen. Kiitän myös työni ohjaajaa Marko Talvensaarta avusta, opeista ja kannustuksesta työn eri vaiheissa.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

RPA	remotely piloted aircraft (OPS M1 – 32, 1)
RPAS	remotely piloted aircraft system (OPS M1 – 32, 2)
UA	unmanned aircraft (OPS M1 – 32, 2)
UAV	unmanned aerial vehicle (OPS M1 – 32, 2)

1 JOHDANTO

Mietin opinnäytetyöni aihetta heti opintojen ensimmäisistä viikoista alkaen, ja työn tekeminenkin käynnistyi jo opintojen alkuvaiheessa tiedonhankinnalla. Kemijoki Oy:llä oli vahva halu kehittää rantojen mittaamiseen ja kartoittamiseen liittyvää toimintaansa sekä tarkastella uusien teknologioiden ja toimintatapojen tarjoamia mahdollisuuksia töiden sujuvoittamiseen sekä asioiden hoitamiseen kustannustehokkaammin ja laadukkaammin. Itseäni ovat uudet tekniikat aina kiinnostaneet, ja olen mielelläni mukana kehittämässä jotain uutta.

Digitalisaatio ja uudet tekniikat luovat erilaisia mahdollisuuksia kehittää toimintaa. Opinnäytetyöni tarkoituksena oli selvittää, mitä mahdollisuuksia erilaiset tekniset ratkaisut antaisivat Kemijoki Oy:n rantojen kulumisen mittaamiseen ja toiminnan kehittämiseen sitä kautta.

Kuvaan opinnäytetyössäni selvitystyön eri vaiheita. Rajasin aihetta alustavien selvitysten perusteella siten, että esittelen muutamia toimintatapoja ja yrityksiä tarkemmin. Tavoitteena oli selvittää eri vaihtoehtoja ja pohtia Kemijoki Oy:lle tarkoituksenmukaista rantojen mittaamiseen ja kartoittamiseen liittyvää toimintatapaa tai eri tapojen yhdistelmää.

Lupaehtojen mukaan rantojen kulumisen on korjattava tai korvattava rahallisesti. Rannoilla voi tapahtua syöpmistä tai sortumaa myös muun kuin vesivoimayhtiön virtaaman säännöstelyn vuoksi. Muita syitä voivat olla esimerkiksi tulvat tai puuston paino. Vesivoimalaitoksen virtaamaa muutetaan sähkönkulutuksen mukaan. Sähkönkulutuksen vaihteluihin voidaan vastata helposti ja nopeasti vesivoimalla. Tuotantoa lisätään, kun kulutus on suurinta ja vähennetään, kun kysyntä pienenee. Sitä kutsutaan säätövoimaksi. Koska säätö on lyhytaikaista, vesi- ja jääpinnan vaihtelu voi kuluttaa hienoainespitoisia rantoja aiheuttaen niihin sortumia. Vesivoimayhtiön on todennettava rantojen syöpyminen kartoittamalla tai mittaamalla. Kulumisen vuoksi rantoja hoidetaan sekä lupaehtovelvoitteiden mukaisesti että vapaaehtoisin toimin.

Kemijoki Oy on strategiassaan sitoutunut digitalisaation hyödyntämiseen ns. digikolmiloikkaprojektissa, joka on useamman vuoden projekti. Tämä työ on yksi osa tätä laajempaa kokonaisuutta. Tavoitteena on, että löytyisi käyttökelpoinen ja tarkoituksenmukainen malli, jota voitaisiin jatkossa käyttää ja kokemusten perusteella jatkojalostaa. Uuden toimintatavan tulee olla kustannustehokas sekä vähentää Kemijoki Oy:n asiantuntijoiden työtä.

On hyvä, jos Kemijoki Oy:ssä voidaan jatkossa käyttää mallinnuksia tietojen analysointiin, ja voidaan tehdä päätöksiä rantojen suojauksista olemassa olevien tietojen perusteella. Tekniikka antaa paremmat mahdollisuudet myös ennakointiin. On mahdollista ennakoida rantojen kulumisen ja vyöryminen, kun tilannetta pystytään seuraamaan tarkemmin. Koska Kemijoki Oy:n toiminta-alue on laaja, helpottaa uusien mittaustekniikoiden hyödyntäminen esimerkiksi rannanomistajilta saadun sidosryhmäpalautteen selvittämistä ja mahdollista toteuttamista.

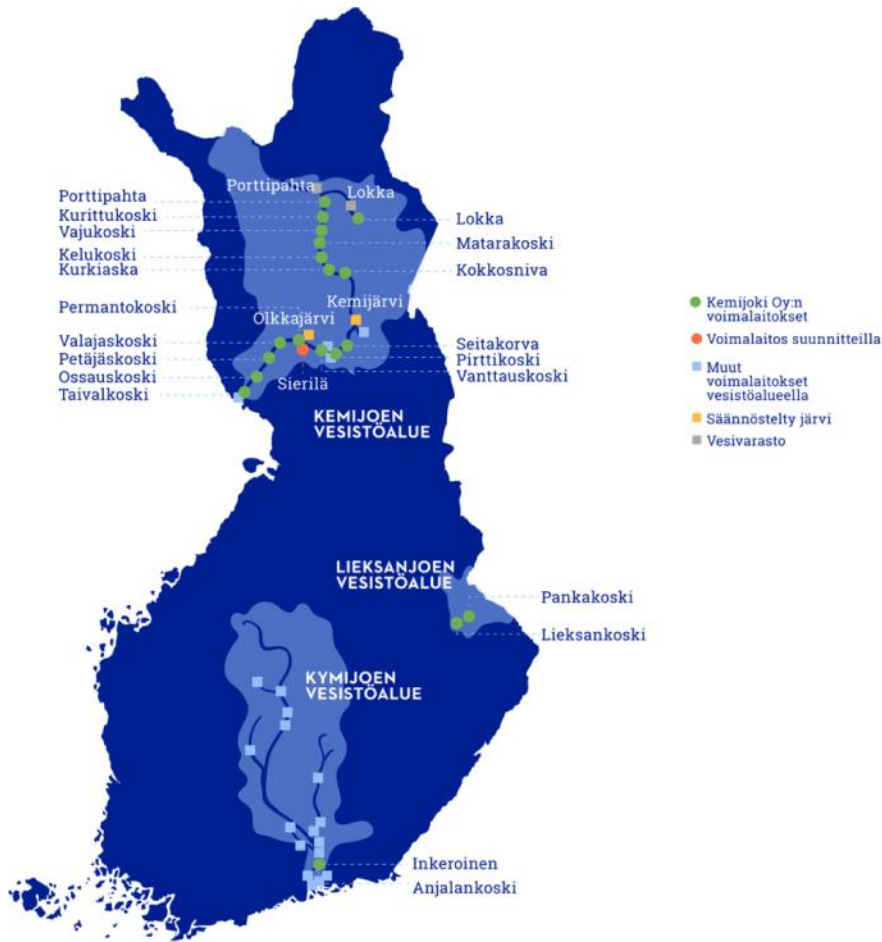
2 KOHDEYRITYKSENÄ KEMIJOKI OY

2.1 Suomen merkittävin vesi- ja säätövoiman tuottaja

Kemijoki Oy on Suomen merkittävin vesi- ja säätövoiman tuottaja. Vesivoiman tuottaminen aiheuttaa pinnanvaihtelua, minkä vuoksi rannat kuluvat. Toiminta vaikuttaa rantoja käyttäviin sidosryhmiin. Sidosryhmät ja sidosryhmäpalautteet ovat tärkeässä roolissa Kemijoki Oy:n toiminnassa. Palautetta saadaan esimerkiksi nettisivuilta löytyvän sidosryhmäpalautejärjestelmän kautta. Vuosittain tehdään myös sidosryhmätutkimus, jossa selvitetään mielipiteitä vesivoimasta ja Kemijoki Oy:n tunnettuutta ja kokemuksia yhtiön toiminnasta.

Kemijoki Oy omistaa 20 vesivoimalaitosta (Kuvio 1), joista 16 sijaitsee Kemijoen vesistöalueella, kaksi Lieksanjoessa ja kaksi Kymijoenjoessa. Lisäksi se säännöstelee Lokan ja Porttipahdan tekojärviä sekä Kemijärveä ja Olkkajärveä. Toiminta-alueen kolmella jokivarrella on mittaa yhteensä yli 1 000 kilometriä – asukkaita alueella on noin 200 000. Kemijoki Oy:n voimalaitosten kokonaisteho ylittää 1 100 MW. Vuonna 2017 vesivoimalaitokset tuottivat sähköenergiaa yhteensä 4 891 gigawattituntia, mikä oli noin kolmannes kotimaisesta vesivoimalla tuotetusta sähköstä. Siitä riittäisi sähköä noin 700 000 nelihenkiselle kotitaloudelle vuodeksi. Vesivoima on tärkeää myös siksi, että se on säätövoimaa: lisäämme tuotantoa, kun kulutus on suurinta ja vähennämme, kun Suomi nukkuu. Vesivoimaa tarvitaan myös silloin, kun sää on liian tyyni tuulivoiman tuotantoon. (Kemijoki Oy 2018.)

Kemijoki Oy:llä on eniten patoja Suomessa. Betonipatoja on 33 kpl ja niiden pituus yhteensä 2 795 m. Maapatoja on 86 ja niiden pituus on yhteensä 82 029 m. Kaikkiaan patoja on 119 kpl ja niiden yhteispituus on 84,8 km. (Talvensaari 2018.)



Kuvio 1. Kemijoki Oy:n voimalaitokset (Kemijoki Oy 2018b, 4)

2.2 Ainutlaatuinen kumppanuusmalli

Kemijoki Oy on asiantuntija- ja tilaajaorganisaatio, joka ostaa suurimman osan vesivoimatuotannon toiminnoista palvelutoimittajilta (Kuvio 2). Kemijoki Oy ja kumppanit ovat vastuullisia vesivoimaosaamisen kehittäjiä, työllistäjiä ja jokivarren yhteisöjen aktiivisia jäseniä. Ketterän, kumppanuuksia hyödyntävän toimintamallin ansiosta vesisähköä tuotetaan kustannustehokkaasti ja sopeudutaan muuttuviin tilanteisiin. Kyse ei ole pelkästä työn ulkoistamisesta ja kustannusten keventämisestä. Kumppaneiden valinnassa yksi tärkeimmistä kriteereistä on, että kumppanit ovat valmiita sitoutumaan yritys vastuun edistämiseen pohjoisessa Suomessa. Kumppanuusmallin ansiosta toiminta-alueelle on syntynyt ja syntyy edelleen uusia mahdollisuuksia sekä kasvu- että suuremmille yrityksille. (Kemijoki Oy 2018b, 9.)



Kuvio 2. Kemijoki Oy:n kumppanuuksverkosto (Kemijoki Oy 2018b, 9)

2.3 Vastuullinen toiminta

Kemijoki Oy keskittyy kaikessa toiminnassaan sidosryhmien ja liiketoiminnan kannalta tärkeisiin asioihin. Myös kumppanit ovat sitoutuneet edistämään yritys vastuuasioita. (Kemijoki Oy 2018.)

Yritysvastuun olennaiset näkökohdat (Kuvio 3) on koottu yhdessä kumppaneiden ja henkilöstön kanssa. Myös paikallisyhteisöjen luottamus ja sidosryhmätyö ovat vastuullisuudessa tärkeitä.



Kuvio 3. Kemijoki Oy:n yritys vastuun olennaiset näkökohdat (Kemijoki Oy 2018)

2.4 Monipuoliset sidosryhmät

Kemijoki Oy:n sidosryhmät ovat todella laajat ja monipuoliset. Kemijoki Oy toimii kolmella jokialueella, joissa on yli 1 000 km jokivartta ja 200 000 asukasta. Sidosryhmiä ovat osakkaat, henkilöstö, kumppanit, toiminta-alueen asukkaat, poliittiset päättäjät, viranomaiset, osakaskunnat ja kalastusalueet, media, suuri yleisö, koululaiset ja opiskelijat, tutkimuslaitokset ja oppilaitokset, energia-alan järjestöt, alihankkijat sekä rahoittajat. (Kemijoki Oy 2018b, 4.)

Kemijoki Oy:llä on erilaisia sidosryhmätyön muotoja. Kemijoki Oy esimerkiksi ylläpitää veneenlaskupaikkoja, osallistuu paikallisyhteisöjen toimintaan järjestämällä ja osallistumalla tapahtumiin, järjestää avoimia ovia, jotta paikallisilla on mahdollisuus tutustua vesivoimaan, tekee laaja-alaista oppilaitosyhteistyötä sekä tapaa paikallisia ihmisiä esimerkiksi erilaisten tapahtumien yhteydessä. Kemijoki Oy:n alueorganisaatio ja aluepäälliköt vastaavat omien alueidensa sidosryhmätyöstä.

Sidosryhmien terveisiä ja palautetta varten on luotu oma kanava, joka löytyy Kemijoki Oy:n verkkosivuilta. Sidosryhmäpalautejärjestelmän kautta tulee paljon palautetta myös rantojen vyörymien korjaukseen liittyen. Vyörymien kartoittamisessa olisi suureksi avuksi, jos rannat olisi kartoitettu ja niistä olisi tarkempaa tietoa saatavilla.

3 RANTOJEN KARTOITTAMINEN KEMIJOKI OY:SSÄ

3.1 Nykyinen toimintatapa

Kemijoki Oy:llä on viranomaisen määräämiin lupaehtoihin perustuvia velvoitteita seurata ja kartoittaa rantatörmissä tapahtumia säännöstelystä johtuvia vyörymiä. Vyörymiä voidaan korjata tai vaihtoehtoisesti kompensoida kulumisen. Kartoituksia tehdään 5–10 vuoden välein. Tällöin rannat tarkastetaan silmämääräisesti ja vyöryneet kohteet kartoitetaan. Mittaus tapahtuu takymetrillä. Tällainen toimintatapa on työläs, eikä data ole jatkokäytettävissä. Mittaustarve voi myös syntyä, jos maanomistaja ilmoittaa tapahtuneesta vyörymästä esimerkiksi sidosryhmäpalautejärjestelmän kautta. Velvoitteiden lisäksi tehdään paljon vapaaehtoisia rannansuojauksia. Esimerkkinä kuva tehdystä rannansuojauksesta (Kuvio 4).



Kuvio 4. Rannansuojaus Taivalkoskella (Kemijoki Oy 2018)

Tällä hetkellä rantojen kartoitustyö vaatii pääsääntöisesti aina ihmisen käymään paikan päällä. Joitain pieniä asioita voidaan hoitaa niin, että henkilö ottaa yhteyttä ja lähettää valokuvan sekä lisätietoja aiheesta. Toiminnassa on erittäin tärkeää olla johdonmukainen ja tasapuolinen. Tehtäville toimenpiteille, kuten rannansuojauksille, pitää olla perusteet, ja niiden täytyy olla samanlaiset jokaisella toiminta-alueella.

Tällä hetkellä katsotaan esimerkiksi tilanne rannalla ja päätetään rannansuojauksesta tai annetaan lupa maiseman siistimiseen. Tällainen toimintatapa vie aikaa jo pitkien etäisyyksien vuoksi. Toiminnan kehittämiseksi on tarvetta, ja uudet tekniikat helpottavat asioiden hoitamista myös kauempaa.

3.2 Tulevaisuuden mahdollisuudet

Tekniikka antaa paremmat mahdollisuudet esimerkiksi ennakointiin. On mahdollista ennakoida rantojen kulumisen ja vyöryminen, kun tilannetta pystytään seuraamaan tarkemmin. Tällöin voidaan esimerkiksi suunnata vapaaehtoisia maisemanhoitotöitä niille rannoille, jotka ovat mittauksen perusteella vaarassa vyöryä.

Jatkossa tilanne voisi olla niin, että rannat kartoitetaan tietyin välein esimerkiksi viiden vuoden välein uusilla mittausmenetelmillä. Yhteydenottojen jälkeen voidaan tallennettujen tietojen perusteella todentaa, onko muutosta tapahtunut asiakkaan ottaessa yhteyttä. Rannan asukas voi lähettää myös valokuvan paikan päältä, jotta tietoja voidaan verrata mittaushetken tilanteeseen. Sidosryhmille palautteen lähettäminen on tehty mahdollisimman helpoksi sidosryhmäpalautejärjestelmällä. Kun palautteen sinne jättää, ohjautuu se suoraan asiaa hoitavalle henkilölle, ja asia saadaan nopeasti käsitteilyyn.

4 ERILAISIA VAIHTOEHTOJA RANTOJEN MITTAAMISEEN

4.1 Yleistä

Nykytekniikka mahdollistaa monien erilaisten mittausmenetelmien käytön tai niiden yhdistämisen. Tavoitteena oli selvittää erilaisia mahdollisuuksia ja käydä läpi erilaisia mittaustapoja Kemijoki Oy:n tarpeisiin. Tarkempaan tarkasteluun valittiin laserkeilaus, monikanavakuvantaminen, miehittämättömät ilma-alukset ja ilmalaserkeilaus. Nämä vaihtoehdot tulivat opinnäytetyön tekemisen aikana esimerkiksi tutustumiskohteiden yhteydessä vastaan tai olivat jollain muulla tavalla mielenkiintoisia. Näissä mittaustavoissa käytetään osittain samaa perustekniikkaa. Kaikkia olemassa olevia tapoja ei ole mielekästä käydä läpi.

4.2 Paikkatietopoliittinen selonteko ja Pointcloud-hanke

Maanmittauksen blogissa on tietoa Paikkatietopoliittisesta selonteosta ja Pointcloud-hankkeesta. Siinä mainitaan, että 3D-pistepilviä voidaan kerätä laserkeilaamalla tai kuvaamalla esimerkiksi lentokoneesta, lennokista, autosta, junasta, veneestä sekä selässä tai kädessä kannettavalla laitteella. Useista lähteistä kertyvät pistepilvet luovat pistepilviekosysteemin, jota Pointcloud-hankkeessa tutkitaan. Yhtenä Paikkatietopoliittisen selonteon kehityskohteena mainitaan paikkatietoekosysteemin luominen. Pistepilviekosysteemi on osa tätä paikkatietoekosysteemiä. (Maanmittauslaitos 2018.) Paikkatieto on asiana myös erittäin ajankohtainen ja asiaan törmää hyvin monessa yhteydessä. Paikkatiedon hyödyntäminen ei rajoitu karttojen tekemiseen ja maanmittaukseen. Paikkatieto on mitä tahansa tietoa, johon liittyy maantieteellinen sijainti. Koska käytännössä jokaisella asialla ja tapahtumalla on paikkansa, voidaan tätä sijaintitietoa hyödyntää lukuisissa erilaisissa käyttökohteissa. (Karttakeskus 2019.) Paikkatietoa tarvitaan ja hyödynnetään entistä enemmän. Myös Kemijoki Oy:llä paikkatiedon hyödyntämistä mietitään eri tarkoituksissa.

Ehdotus selonteossa on, että tiheä ja ajantasainen 3D-pistepilvi on tulevaisuuden kansallisen maastotietokannan runkoaineisto, ja sitä kautta luo rungon koko paikkatietoekosysteemille. Ekosysteemimäisen toiminnan edut on tunnistettu selonteossakin. Se luo yrityksille paremmat edellytykset kehittää palvelujaan ja

kilpailukykyään. Viranomaiset voivat tehostaa yhteiskunnan perusrakenteiden ja toimintojen suunnittelua ja ylläpitoa. Yhteisöillä on paremmat mahdollisuudet käyttää paikkatietoja uusilla tavoilla, ja kansalaiset hyötyvät, kun päätöksenteon laatu paranee ja yhteiskunnan säästettyjä varoja voidaan kohdentaa toisaalle. (Maanmittauslaitos 2018.)

Yhtenä tärkeimmistä kehityskohteista niin Paikkatietopoliittisessa selonteossa, Pointcloud-hankkeessa kuin tulevaisuusvaliokunnan lausunnossakin on tunnistettu osaamisen ja tietoisuuden lisääminen paikkatietoteknologioiden mahdollisuuksista ja uhkista. Blogin mukaan paikkatietoteknologiat ovat murroksessa ja kehitys on erityisen nopeaa, joten tarvitaan koulutusta, että eri organisaatiot pystyvät hyödyntämään paikkatietoja tehokkaasti. (Maanmittauslaitos 2018.)

Blogia lukiessa oli hienoa huomata, että Kemijoki Oy:ssä mietitään oikeita asioita. Ajankohtaisia asioita seuraamalla saadaan myös vahvistusta siihen, että kehitystä tapahtuu koko ajan. Kemijoki Oy:n, kuten kaikkien muidenkin alalla työskentelevien, täytyy olla hereillä ja valmiina muutoksiin. Paikkatietoa käytetään ja hyödynnetään jatkossa paljon laajemmin.

4.3 Laserkeilaus

Laserkeilaus tallentaa isot kohteet mittatarkasti digitaaliseen muotoon. Jalustalle asetettu mittakeilain pyörii ja lähettää suuren määrän lasersäteitä eri suuntiin. Kun lasersäteet kohtaavat minkä tahansa esteen, ne heijastuvat takaisin laitteeseen. Se mittaa osuman sijainnin ja tallentaa sen pisteeksi. Keilain sisältää myös kameran, joka tallentaa kohteen värit. Keilain tallentaa kaksi miljoonaa havaintoa sekunnissa, ja keilauksen tuloksena kohteesta rakentuu pistepilvi. Se on kolmiulotteinen malli, joka muodostuu jopa miljardeista laitteen tallentamista pisteistä eli siis lasersäteiden osumisista. Pistepilven pohjalta kohteesta voi luoda tietokoneella tarkan 3D-mallin helposti ja nopeasti. Laserkeilaus on turvallinen, koska laser on matalatehoinen. Laserkeilaimen laser ei vahingoita silmiä tai muita kudoksia, kasveja eikä hauraitakaan esineitä. Laite ei myöskään kosketa tai läpivalaise, vaan katsoo ympäristöä ihmissilmän tavoin. (Atlastica 2018.)

Laserkeilaus täydentää koordinaattimittausmaailman uudella yksityiskohtaisella mittausmenetelmällä, jolla pystytään keräämään ympäröivästä maailmasta tietoa monipuolisemmin ja nopeammin. Vaikka tämä teksti on vuodelta 2006, se käsittelee laserkeilauksen perustietoja ja on edelleen relevanttia tekstiä.

4.4 Monikanavakuvantaminen

Tekniikka ja talous -lehden artikkelisarjassa, Teknologiamurrokset, käsitellään 3D-kartoituksen uutta läpimurtoa monikanavakuvantamisesta. Kartoituksen alalla on meneillään merkittävä teknologiamurros, jota voi verrata siirtymiseen mustavalkotelevision ajasta väritelevisiolähetysiin. Laserkeilausmenetelmissä siirrytään kohteiden monikanavakuvantamiseen, mikä parantaa kerätyn tiedon laatua, tulkittavuutta ja monipuolistaa tiedon käyttömahdollisuuksia. Kuten mustavalkokuvassa, jossa on käytössä ainoastaan harmaan eri sävyt, myös perinteisessä laserkeilauksessa kohdetta on valaistu laserilla vain yhdellä aallonpituudella. Kohteesta heijastunut lasersäde palaa keilaimeen, joka tallentaa laserpulssin lentoajan eli etäisyyden kohteeseen ja voimakkuuden eli intensiteetin. (Hyypä, Kaartinen, Kukko, Matikainen & Uro 2017.)

Näin kerätyillä kohteen 3D-laserpisteillä on väriarvo vain yhdellä värikanavalla. Monikanavalaserkeilain kartoittaa ympäristöään useammalla aallonpituudella, jolloin samasta kohteesta saadaan paluusignaali useammalla kanavalla ja myös enemmän informaatiota. Periaate on samankaltainen kuin digitaalikamerassa, joka tallentaa kullekin kuvapisteelle RGB-väriarvot. Monikanavalaserkeilaimella kerätyn tiheän pistepilviaineiston kanavasuhteet antavat tietoa kohteiden heijastusominaisuuksista kyseisillä aallonpituuksilla. Pistepilvimateriaalista voidaan eritellä esimerkiksi alueella olevat kohteet, mitä materiaalia tiet ja talojen katot ovat tai mitä puulajeja metsässä on. Kanavasuhteiden antaman tiedon ansiosta pistepilviaineiston tulkinta on entistä useammin mahdollista automatisoida. Monikanavalaserkeilausmenetelmän käyttöönotto merkitsee käänteentekeviä uudistuksia muun muassa metsänhoitoon ja kaupunkisuunnitteluun. (Hyypä ym. 2017.)

Perinteisessä laserkeilauksessa 3D-laserpisteiden väriarvot on määritetty kohteesta otetuista, geometrisesti korjatuista valokuvista, joiden radiometrinen laatu riippuu kuvausajankohdan valaistusolosuhteista. Eri vuoden- ja vuorokauden aikoina samasta kohteesta otetut kuvat aiheuttavat värien vaihtelua tuotettuun aineistoon. Monikanavalaserkeilauksen suuri etu onkin siinä, että menetelmä ei ole herkkä ympäristön valaistusolosuhteille. Siten esimerkiksi auringonvalolta varjoon jäävät alueet eivät aiheuta tulkintaa vaikeuttavaa vaihtelua tuotettavaan dataan. Useaa eri aallonpituutta hyödyntävän mittaustekniikan avulla voidaan kerätä aiempaa tarkempaa ja monipuolisempaa kolmiulotteista tietoa kartoitettavan alueen kohteista. Aktiivinen, laseriin perustuva valaistus mahdollistaa datan hankinnan vuorokaudenajasta riippumatta, myös pimeässä. (Hyyppä ym. 2017.) Monikanavalaserkeilauksen käyttömahdollisuudet ovat laajat.

4.5 Miehittämättömät ilma-alukset

Viranomaiskäytössä miehittämättömistä ilma-aluksista käytetään Liikenteen turvallisuusvirasto Trafín määräyksen OPS M1 - 32 määritelmiä. Kauko-ohjatulla ilma-aluksella (Remotely Piloted Aircraft, RPA) tarkoitetaan miehittämättömää ilma-alusta, jota ohjataan kauko-ohjauspaikasta ja käytetään lentotyöhön. Kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön kokonaisjärjestelmällä (Remotely Piloted Aircraft System, RPAS) tarkoitetaan kauko-ohjattua ilma-alusta, sen kauko-ohjauspaikkoja, tarvittavia ohjaus- ja seurantayhteyksiä ja muita erikseen määrättyjä kauko-ohjatun ilma-aluksen käytön edellyttämän järjestelmän osia. Miehittämättömällä ilma-aluksella (Unmanned Aircraft, UA) tarkoitetaan ilma-alusta, joka on tarkoitettu lentämään ilman ilma-aluksessa mukana olevaa ohjaajaa. Tällä ei kuitenkaan tarkoiteta lennokkia. (OPS M1 - 32, 1–2.)

Opinnäytetyössä käytetään yleisemmin käytössä olevia termejä, koska niitä käyttivät myös tahot, joista tietoa haettiin.

Dronet eli dronit ovat yleistyneet viime aikoina huomattavasti ja niitä käytetään niin yksityis- kuin ammattikäytössäkin. Myös Suomessa puhutaan yleisesti dronesta, vaikka kotimainen versio sanasta on drooni. Sillä tarkoitetaan kauko-

ohjattavia miehittämättömiä ilma-aluksia, jotka ovat levinneet sotilaskäytöstä mm. tutkimus- ja huvikäyttöön. Niitä nimitetään usein myös lennokeiksi. (Kotimaisten kielten keskus 2018.) Hinnat ovat halpuneet niin, että moni haluaa hankkia dronen myös kotikäyttöön. Ammattikäytössä koptereita voidaan käyttää laajemmin ja niiden laadusta eli käytännössä varustelusta riippuu saadut tulokset.

Lentävä laserkeilain toimii siten, että mittalaitteen nostaa taivaalle mini-UAV eli miehittämätön lentolaite. Se on useimmiten moniroottorinen helikopteri, joka lentää autopilotin avulla ennalta ohjelmoidun mittausreitit. Laserkeilain lähettää lasersäteitä tiheänä rasterina ja mittaa takaisin heijastuneiden säteiden kulkumatkan ja säteen intensiteetin muutoksen. Tuloksena on pistepilvi, josta saadaan hahmotettua kohteen kolmiulotteinen pinta. GPS-paikannin määrittää keilaimen sijainnin satelliittien perusteella. Inertiapaikannin on satelliittipaikannusta täydentävä paikannusmenetelmä keilaimen asennon tunnistamiseen. (Partanen 2015.)

4.6 Ilmalaserkeilaus

Ilmasta mitattaessa laserkeilain sijoitetaan useimmiten lentokoneeseen tai helikopteriin ja lentojen korkeudet vaihtelevat muutamasta sadasta metrillä useaan kilometriin käytetyn laitteiston ja mittauksen tarpeen mukaan. Ilmalaserkeilaus yhdistää kolmea eri tekniikkaa eli GPS-paikannusta, inertiapaikannusta ja laseretäisyysmittausta. Varsinainen mittaustulos saadaan sen jälkeen, kun yhdistetään nämä kolme aikaleimoin varustettua komponenttia toisiinsa. Etäisyysmittauksen tuloksena saadaan jokaisesta lähetetystä laserpulssista takaisinheijastunut signaali. Tavanomaiset keilaimet (discrete echo scanner) antavat tuosta signaalista käyttäjälle rajoitetusti tietoa, esimerkiksi ns. ensimmäisen ja viimeisen kaiun. (Nordic Geo Center Oy 2018b.)

Metsäisellä alueella ensimmäinen kaiku tulkitaan puuston latvukseksi ja viimeinen maan pinnaksi. Näin maan pinnan muoto on mahdollista mitata myös kasvuston peittämällä alueella. Täyden aaltomuodon skannerilla (full waveform scanner) saadaan rajoittamaton määrä tietoa paluusignaalin luoteesta ja

mahdollisten kaikkien määräästä digitoimalla koko signaali. (Nordic Geo Center Oy 2018b.)

Varsinainen mitta-aineiston käsittely tapahtuu aina jälkiprosessointina, mutta toisaalta aineistosta on mahdollista saada paljon hienovaraisempia maastonpiirteitä. Varsinkin rinnealueilla etu lopputuloksen laadussa voi olla huomattava. Ilmalaserkeilauksen yhtenä peruslopputuotteena voidaan pitää yksityiskohtaista maastomallia, mutta myös koko pistepilviaineistolla on arvoa. Pistepilvi soveltuu pohja-aineistoksi lukuisilla eri sovellusaloilla, kuten infrasuunnitteluun, tulvamallinnukseen, ympäristötutkimukseen, maisemantutkimukseen, metsäntutkimukseen ja kulttuuriperinnön hoitoon ja tutkimukseen. (Nordic Geo Center Oy 2018b.)

5 TIETOA HAETTIIN TUTUSTUMALLA YRITYKSIIN

5.1 Taustaa

Tässä luvussa kerrotaan tarkemmin muutamasta yrityksestä, joista tietoa ja oppia käytiin hakemassa. Yritykset ovat VRT Oy, Nordic Geo Center Oy ja Mitta Oy. Nämä valittiin sillä perusteella, että niistä on laajempi käsitys tai konkreettisia esimerkkejä siitä, mitä ovat tehneet ja miten. Muistakin yrityksistä ja tapahtumista haettiin lisätietoa, jotta saatiin mahdollisimman laaja käsitys tarjolla olevista mahdollisuuksista. Tapahtumia, joista tietoa haettiin, olivat esimerkiksi Maanmittauspäivät ja Paikkatietomarkkinat.

5.2 VRT Oy

VRT Oy valikoitiin tarkemmaksi tutustumiskohteeksi sen vuoksi, että heillä tiedettiin olevan monenlaista kokemusta esimerkiksi vedenalaisesta kuvaamisesta. Rantojen kuvaamisessa myös veden alla olevilla asioilla on merkitystä. Kemijoki Oy:lle on tärkeää, että tietoa saadaan myös sieltä maan päällä näkyvien maastojen lisäksi.

Tässä luvussa kerrotaan yksityiskohtaisemmin VRT Oy:n tekemästä vedenalaisten rakenteiden tarkastamisesta Lieksankosken voimalaitoksella Lieksassa. Kaikkia asioita ei käydä yksityiskohtaisesti läpi, mutta havainnollistetaan pääasiassa kuvien kautta mittauksen tuloksia. Tämä valittiin tarkemman selvityksen alle sen vuoksi, että opinnäytetyön tekijä toimii Lieksan alueen aluepäällikkönä. Yksi syy on myös se, että Lieksankosken voimalaitos on Alvar Aallon suunnittelema voimalaitos ja osa arkkitehtuurin historiaa. Voimalaitoksen julkisivu kunnostettiin kesän 2018 aikana yhteistyössä Museoviraston ja Alvar Aalto -säätiön kanssa. Alvar Aalto ei liity rantojen kuvaamiseen, mutta tämä kertoo siitä, että Kemijoki Oy:n toimintaan vaikuttavat hyvin moninaiset asiat, jotka pitää ottaa huomioon. Voimalaitoksista pidetään huolta, ja asioita tehdään pitkällä tähtäimellä.

VRT tarjoaa vedenalaisia rakennetarkastuksia monikeilainkaikuluotaus- ja laserkeilainteknologialla esimerkiksi satamille, öljyterminaaleille, tuulipuistoille ja

vesivoimaloille. He antavat asiakkaan myös käyttöön tarkastuksista jälkikäsitellyn 3D-pistepilvidatan. (VRT Oy 2018a.)

5.2.1 Kohde ja työn kuvaus

Tarkastuksen kohteena oli Lieksankosken voimalaitos ja siellä ylävirran puolen vedenalaiset rakenteet ja uoman pohjatopografia. Työn VRT Oy:ltä tilasi opinnäytetyöni ohjaaja Marko Talvensaari. Mitattavan alueen laajuus oli noin 0,2 km ja kenttätyöt suoritettiin 18.–19.7.2018 välisenä aikana. (VRT Oy 2018b, 3, 5–7.)

Tässä luvussa kerrotaan yksityiskohtaisesti myös erilaiset tekniset asiat. Se auttaa käsittämään sitä, että mittaaminen vaatii monia erilaisia toimenpiteitä ja vaiheita, ennen kuin data on käytettävissä. Laitteiden käyttämisessä vaaditaan myös monenlaista erityisosaamista.

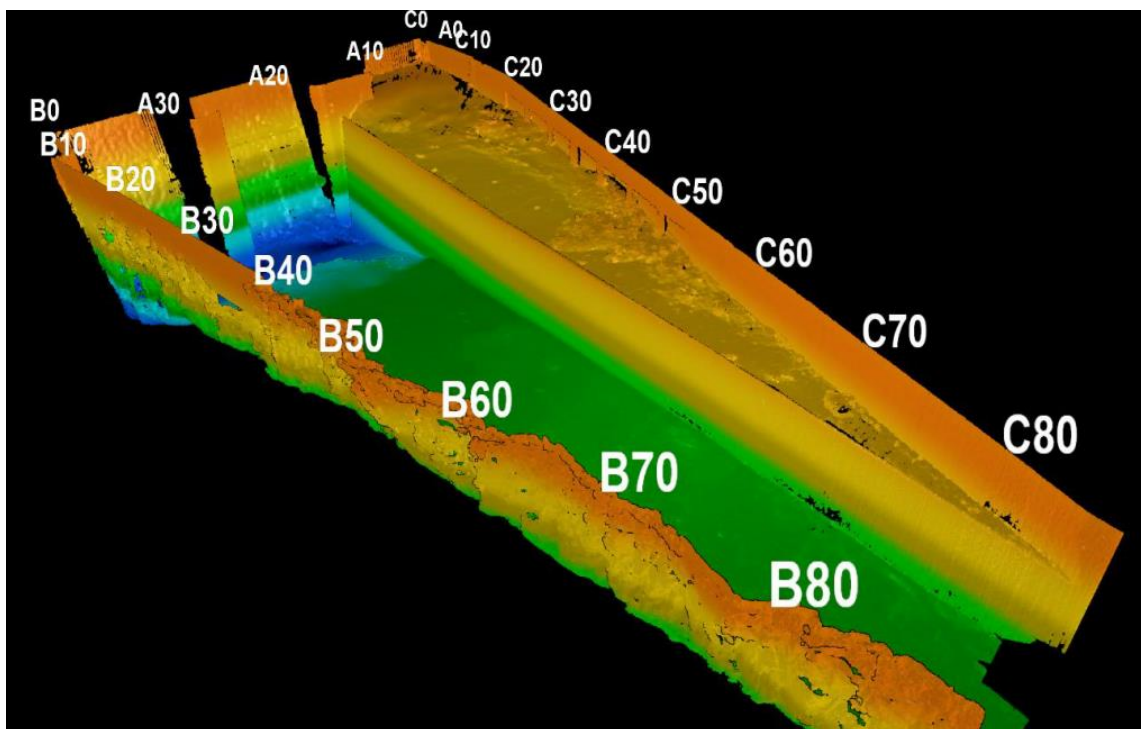
Mittaus suoritettiin R2Sonic SONIC 2022 -monikeilaavalla kaikuluotaimella varustetulla tarkastusaluksella. Pystyrakenteet kaikuluodattiin kallistetulla monikeilaimella käyttäen 700 kHz:n mittaustaajuutta. Pohja-alueella käytettiin 400–700 kHz:n mittaustaajuutta. VRT Finland Oy:n käyttämät tiedonkeruu-, navigointi- ja jälkilaskentajärjestelmät ovat QINSy (Quality Integrated Navigation System) ja Applanix POSPac Mobile Mapping Suite. (VRT Oy 2018b, 4.)

Paikannukseen käytettiin Trimble GNSS -järjestelmiä. Kaikuluotaaminen suoritettiin liikkuvasta tarkastusveneestä. Liikekompensatioon ja georeferointiin käytettiin paikannus- ja inertialaitteistoa POS MV WaveMaster. POS MV yhdistää GNSS-dataa kulmamittaus- ja kiihtyvyydataan IMU- ja GPS-mittausjärjestelmästä (GAMS). (VRT Oy 2018b, 4.)

Monikeilainkaikuluotaimella tuotettiin 3D-pistepilviaineisto. Pistepilvet on yhdistetty ja häiriödata siivottu manuaalisesti hyödyntäen CloudCompare-ohjelmistoa. Mitattu aineisto on sidottu korkeusjärjestelmään NN (N2000-43cm) ja tasokoordinaattijärjestelmään ETRS-GK30. Havainnot raportoitiin VRTBIM-onlinepalvelussa. (VRT Oy 2018b, 4.)

5.2.2 Havainnot

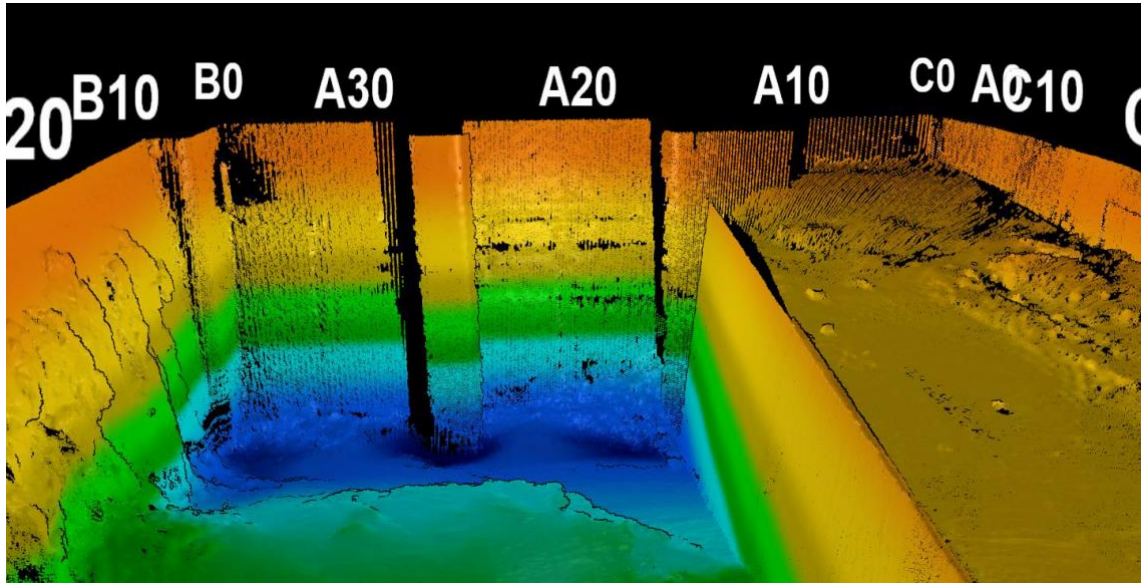
Tarkastusraporttiin on listattu monikeilaavalla kaikuluotaimella kerätyn pistepilviaineiston pohjalta tehdyt havainnot sekä vedenpinnan alapuolisista rakenteista että pohja-alueilta (Kuvio 5). Mittauksen aikana otettiin myös valokuvia vedenpinnan yläpuolisista rakenteista. Havaintojen paikallistamiseksi tarkastusalueelle luotiin kolme mittalinjaa. Mittalinja A sijaitsee voimalaitoksen edustalla ja sen pituus on 39 metriä. Kaakon puoleisen mittalinjan B pituus on 87 metriä ja luoteisen C 83 metriä.



Kuvio 5. Yleiskuva (VRT Oy 2018b, 5)

Tarkastusraportissa on havainnollisesti kuvilla esitetty betonin rapautumiset, materiaalin kasautumiset, valuviat, rapautumiset, epätasaisuudet ja tyhjät tilat rakenteissa (Kuviot 6–17). Raportissa oli paljon kuvia ja tietoa laajemmin. Tähän työhön otettiin malliksi joitakin kohtia, jotta pystyttiin havainnollistamaan erilaisia mahdollisuuksia. Kuvien avulla saa käsityksen siitä, minkälaisia asioita VRT Oy:n tarjoamilla palveluilla saadaan näkyviin. Tätä tekniikkaa voitaisiin hyvin käyttää myös rantojen kuvaamiseen juuri sen vuoksi, että saataisiin tietoa myös pinnan

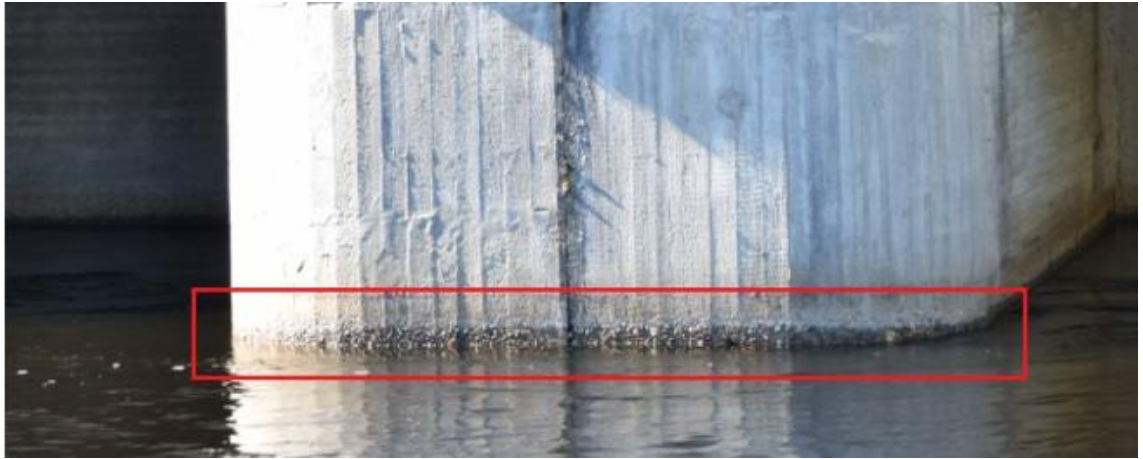
alta. Tämä ei tosin vielä ole kustannustehokas vaihtoehto eli käyttöönotto vaatii harkintaa.



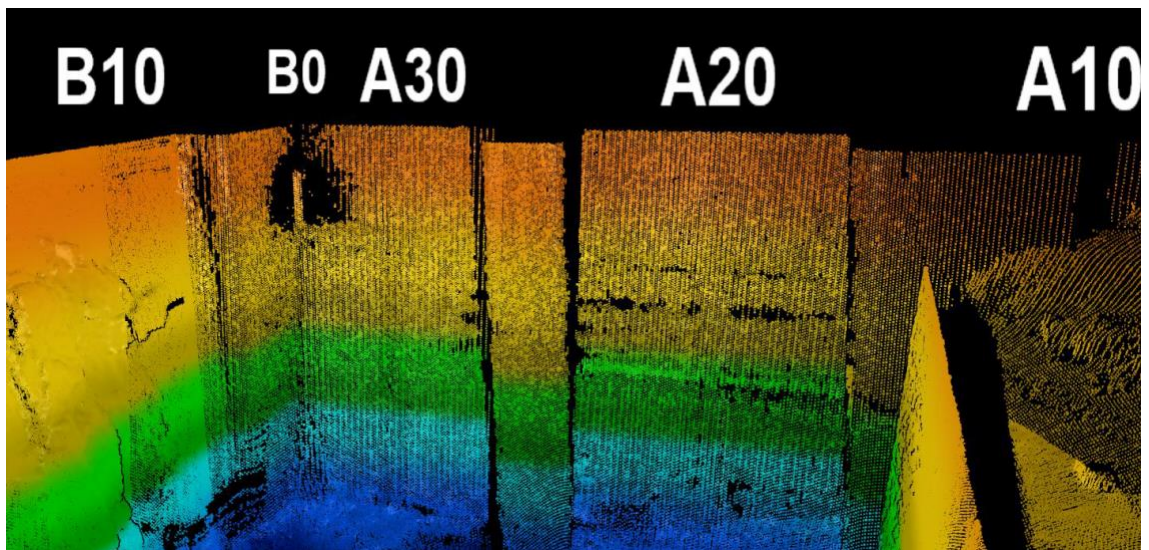
Kuvio 6. Betonin lievää/merkittävää rapautumista vedenpinnan yläpuolella (VRT Oy 2018b, 7)



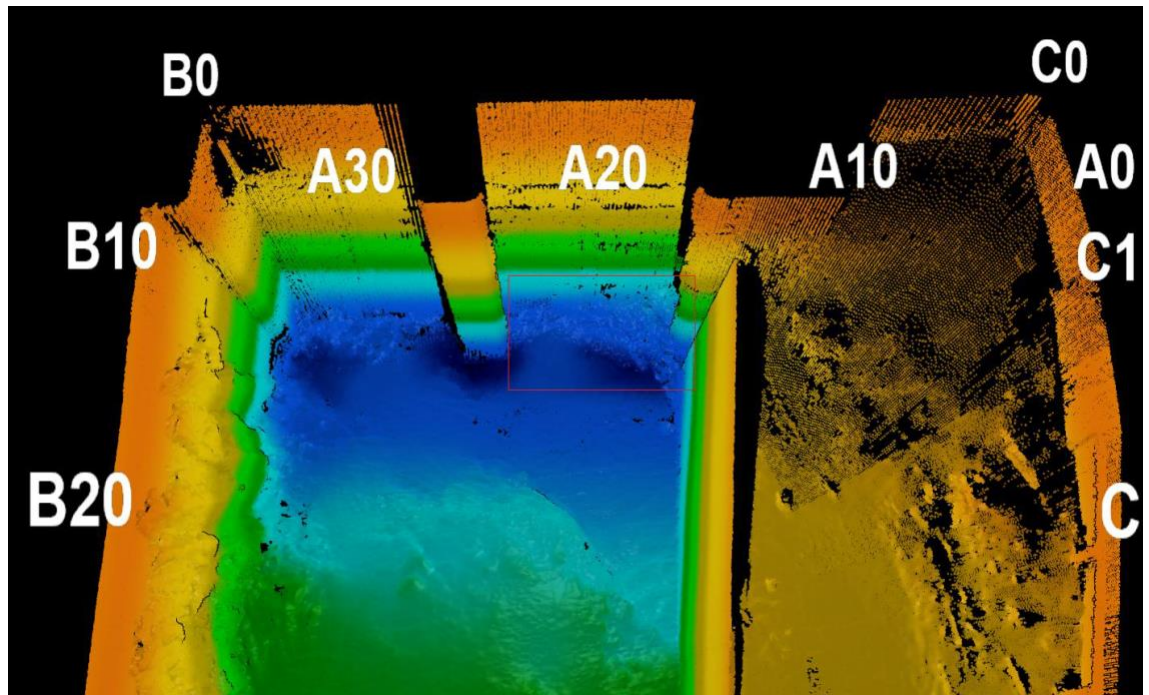
Kuvio 7. Betonin lievää/merkittävää rapautumista sekä vesivuotoa (VRT Oy 2018b, 9)



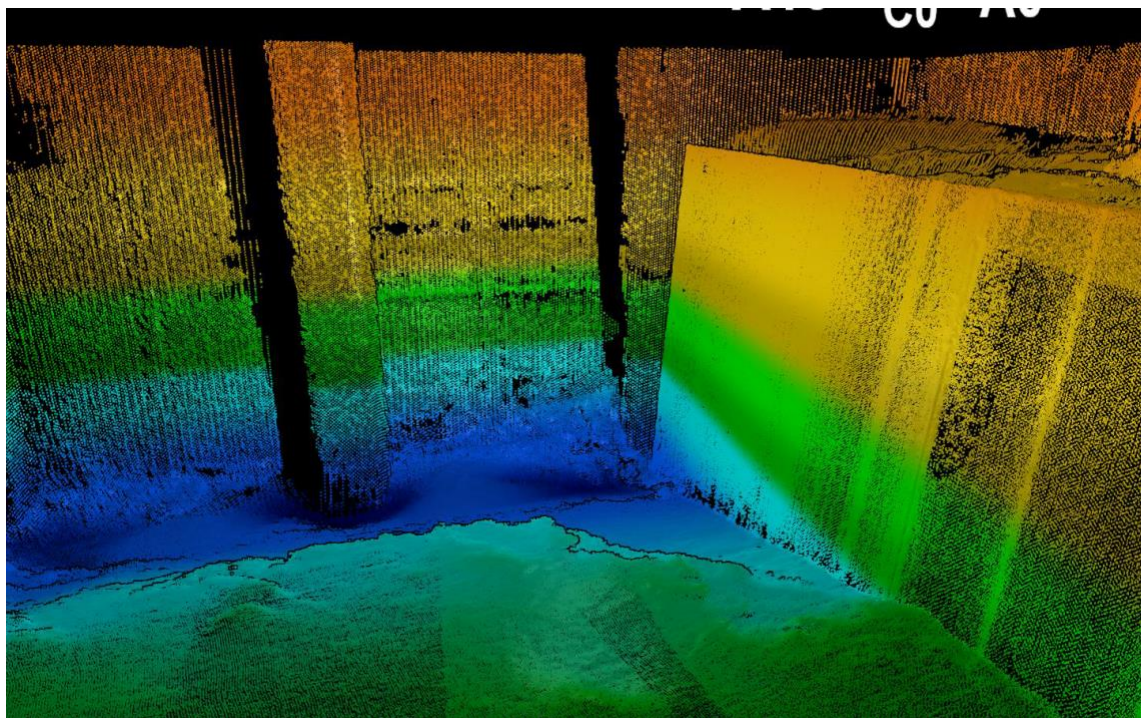
Kuvio 8. Merkittävää rapautumista vesirajassa (VRT Oy 2018b, 9)



Kuvio 9. Lievää/merkittävää rapautumista vesirajassa (VRT Oy 2018b, 10)



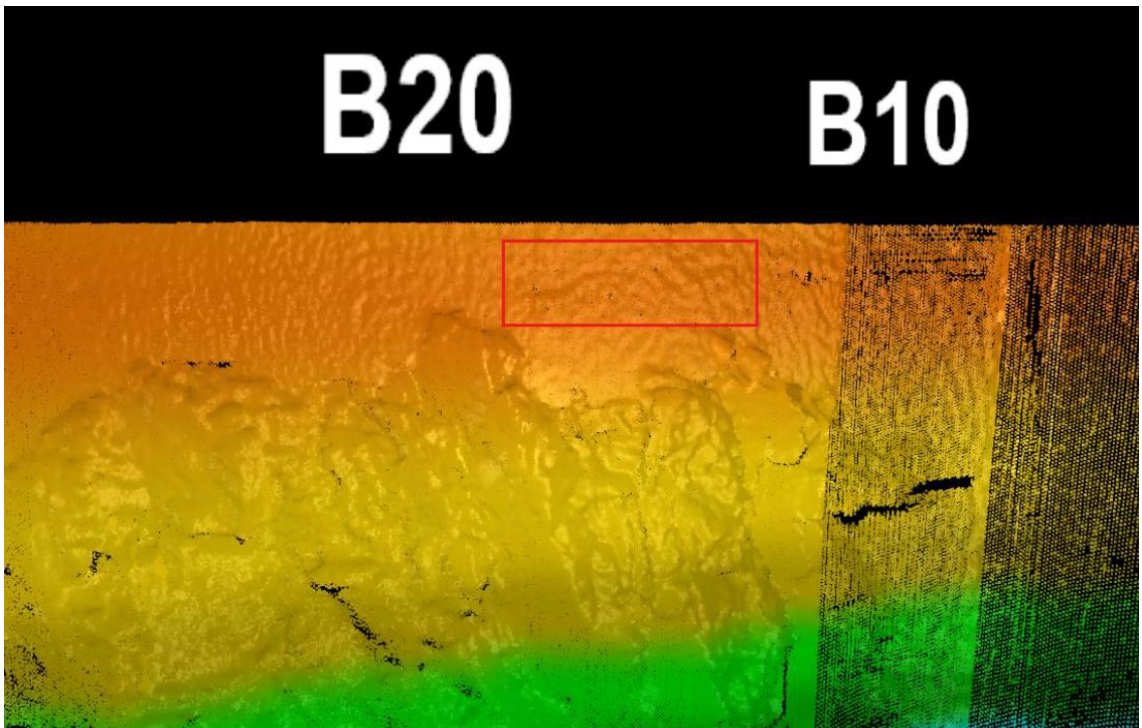
Kuvio 10. Lievää kasaantumaa/materiaalia väljän edustalla (VRT Oy 2018b, 11)



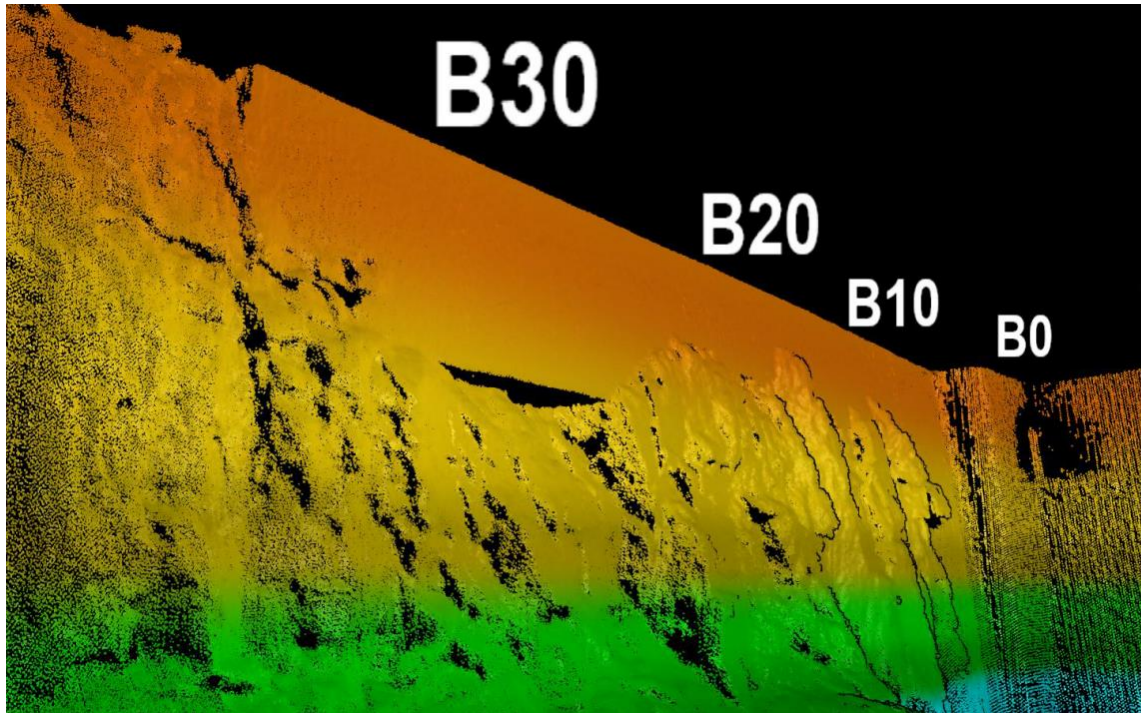
Kuvio 11. Lievää kasaantumaa/materiaalia väljän edustalla (VRT Oy 2018b, 11)



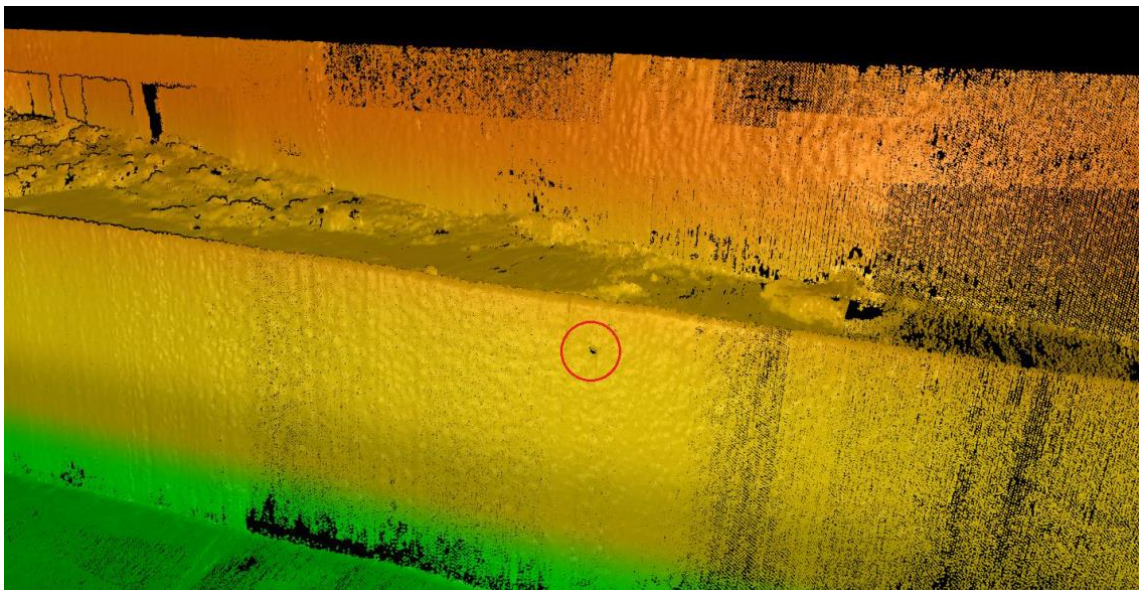
Kuvio 12. Merkittävä valuvika (VRT Oy 2018b, 12)



Kuvio 13. Epätasaisuutta vedenalaisen rakenteen pinnassa (VRT Oy 2018b, 13)



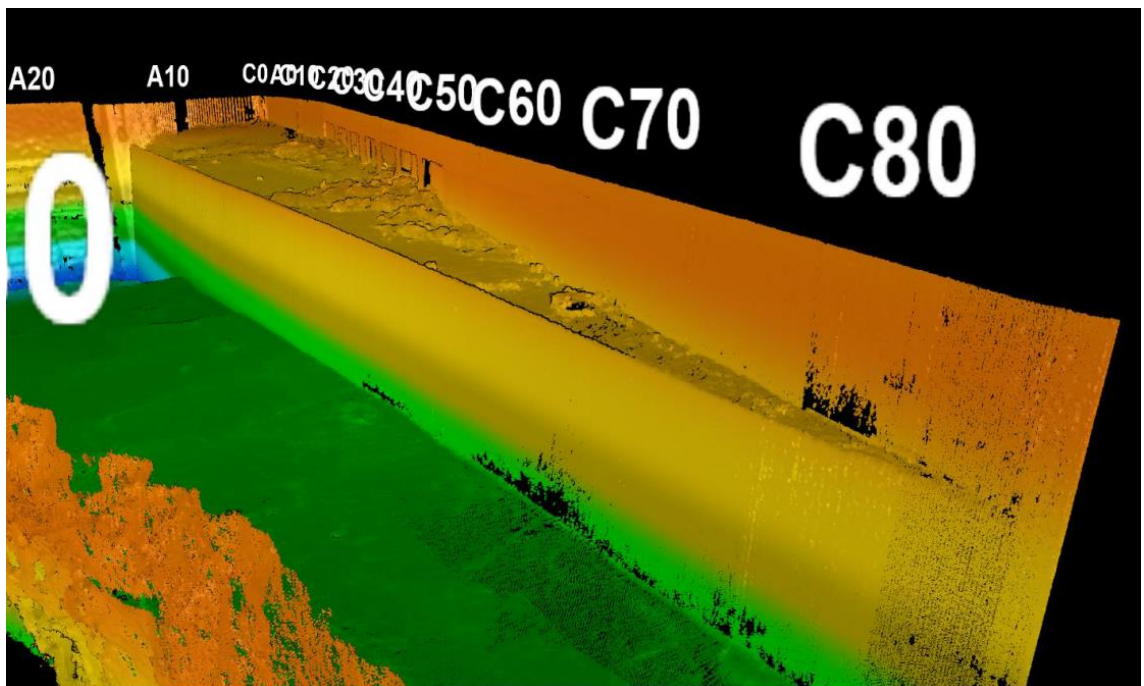
Kuvio 14. Tyhjätillaa betonirakenteen alla (VRT Oy 2018b, 14)



Kuvio 15. Rakenteessa lievä syvennys (VRT Oy 2018b, 17)



Kuvio 16. Betonin lievää/merkittävää rapautumista yleisesti havaittavissa (VRT Oy 2018b, 18)



Kuvio 17. Lievää/merkittävää rapautumista vedenpinnan yläpuolella (VRT Oy 2018b, 19)

VRT Oy:ltä tilattiin tarkastus, koska Lieksankosken patojen tarkkailuohjelman mukaan vedenalaiset betonirakenteet tulee tarkastaa vähintään kymmenen vuoden välein. Raportin pohjalta laaditaan mahdollisiin vauriokohteisiin korjaussuunnitelmat ja korjataan vauriot. Nyt ei löytynyt sellaista vauriota, joka vaatisi välittömiä toimenpiteitä. Raportista saatua vedenalaisen pohjan ja

rakenteiden maastomallia voidaan käyttää myös muun suunnittelun tukena. (Talvensaari 2018.)

5.3 Nordic Geo Center Oy

Nordic Geo Center Oy on vuonna 2005 perustettu mittauslaitteiden maahantuonti- ja koulutusyritys, jonka henkilöstöllä on kokemusta mittausalasta jo 1970-luvulta. Ilmasta ja maasta tehtävään mobiilimittaukseen he ovat perehtyneet jo 80-luvulta alkaen. (Nordic Geo Center Oy 2018a.)

Nordic Geo Center Oy:n henkilökuntaa oli mukana kehittämässä helikopterista tehtävää laserskannausta tiemittauksen tarpeisiin jo 1990-luvun puolivälistä alkaen yhteistyössä SAABin kanssa, joten kokemus pistepilvistä ja mobiilimittauksesta perustuu satoihin projekteihin maasta ja ilmasta. (Nordic Geo Center Oy 2018a.)

Lisäksi heiltä löytyy kokemusta ohjelmistojen kehittämisestä (GT, Mensi Realworks), kansainvälisistä projekteista, mittauslaitteiden suunnittelusta (Nikon, Zeiss), laitekalibroinnista ja laajoista kenttätestauksista. (Nordic Geo Center Oy 2018a.)

Nordic Geo Center Oy on tehnyt aiemmin Kemijoki Oy:lle erilaisia selvitystöitä. Oli siis luonnollinen valinta tutustua myös heidän tarjoamiin palveluihin tarkemmin. Nordic Geo Center Oy:n tarjoamat palvelut ovat laajat ja monipuoliset. Nordic Geo Center Oy on myös ensimmäinen suomalainen yritys, joka hyödyntää tiheää mittausaineistoa tuottavaa mobiilia laserskannausskannausteknologiaa uusilla tavoilla. (Nordic Geo Center Oy 2018a.) Nordic Geo Center Oy:n esittelyssä saatiin hyvää tietoa erilaisten laitteiden ja mittaustapojen käyttömahdollisuuksista.

5.4 Mitta Oy

Mitta Oy on vuonna 1989 perustettu monipuolinen rakentamisen palveluihin erikoistunut konsulttitoimisto. Päätoimialana ovat mittaus, geotekniikka ja pohjatutkimus, maa- ja kiviaineslaboratorio, ympäristö- ja vesistötutkimus sekä

toimialalla tarvittavien laitteiden maahantuonti ja vuokraaminen. Töitä tekee yli 270 ammattilaista ja toimintaa on 26 paikkakunnalla läpi Suomen. Tällä hetkellä Mitta Oy toimii valtakunnallisesti ja on toimialan suurin yritys kaikilla toimialoillaan. (Mitta Oy 2018b.)

Mitta Oy on Kemijoki Oy:n kumppani velvoite- ja ympäristötoissa. Haluttiin luonnollisesti tutustua myös Mitta Oy:n tarjoamiin palveluihin tarkemmin. Mitta Oy on suuri toimija ja osaamista löytyy monenlaisista mittaukseen liittyvistä asioista, joista Kemijoki Oy:llä ei vielä ollut tietoa. Sen vuoksi haluttiin kuulla heidänkin uusista palveluistaan.

5.4.1 M3D-mobiilikeilauspalvelu

Mikko Ilmonen Mitta Oy:stä esitteli M3D-mobiilikeilauspalvelua eli Mobiilia 3D-mobiilikeilauspalvelua. Siinä on pohjalla Pegasus-järjestelmä. Joustavuus mahdollistaa palvelun käytön lähes missä vain. Tulokset ovat saatavissa tunneissa päivien sijaan. Käyttösovelluksia voivat olla kävellen reppukeilain selässä, kevyt sähkömopo, muut ajoneuvot esim. mönkijä tai veneestä tehtävä keilaus. Laitteet ovat usein niin kalliita, että yritysten ei kannata hankkia niitä omaksi vaan palvelu kannattaa ostaa. (Ilmonen 2018.)

Tekniikka menetelmän takana on se, että paikannus ja keilaus liitetään yhteen jo kentällä. 5 RGB-kameraa tekevät pistepilvestä erittäin visuaalisen ja helpon tulkita. Tuloksena on kolmeväriäinen pistepilvi eli se on valmiiksi georeferoitu. Maastotukipisteet toimivat laadunvarmistuksessa. Lopputuotteen tarkkuus on alle 5 cm. Tulokset ovat saatavilla nopeasti keilauksen jälkeen, mikä lisää käyttötarkoituksia huomattavasti. Mobiilikeilauspalvelua on helppo hyödyntää esimerkiksi suunnittelussa eli materiaaliin voidaan lisätä eri tasoja, joissa voi olla esimerkiksi rakennusten lisäosia tai vastaavaa. (Ilmonen 2018.)

5.4.2 Testi M3D-mobiilikeilauspalvelusta

Pääsin testaamaan asiaa käytännössä ja katsomaan Kemijoki Oy:n Vanttauskosken voimalaitoksesta tehtyä M3D-mallia. Sain kokeilla VR eli virtual

reality -laseja (Kuvio 18), joissa on taustalla HTC:n vive-järjestelmä. Oli todella mielenkiintoista nähdä pistepilven sisälle ja nähdä käytännössä, miltä se näyttäisi. Pystyin kulkemaan alueella ja katsomaan näkymiä eri kulmista joko päätä kääntämällä tai ohjaimia käsillä ohjaamalla. Mallin kuvaaminen oli kestänyt noin tunnin eli se oli nopeasti tehty. Tiedon käsittely kesti kauemmin.



Kuvio 18. Testissä VR-lasit ja vierailu pistepilven sisällä

Tällaista tekniikkaa voitaisiin käyttää esimerkiksi rantojen kuvaamisessa ja mallintamisessa. Tällaisessa tapauksessa kontrollipisteet ovat kaiken a ja o eli tietojen vertailussa pitää olla samat pisteet käytössä. Silloin tiedot ovat vertailukelpoisia.

6 KÄYTÄNNÖN ESIMERKKI LASERKEILAUKSESTA

6.1 Taustaa

Jotta saatiin konkretiaa laserkeilauksen mahdollisuuksista Kemijoki Oy:n rantojen vyörymien selvityksessä, teetettiin Mitta Oy:llä testityö. Testissä simuloitiin vyörymä, jotta pystyttiin testaamaan laserkeilauksen mahdollisuuksia käytännössä.

Kartoitettavaksi alueeksi valittiin alue, joka olisi pitänyt kartoittaa joka tapauksessa jossain vaiheessa. Laserkeilaukseen tarkoituksena oli selvittää, onko vyörymien erottelu mahdollista laserkeilauksineistosta riittävän selkeästi ja riittävällä tarkkuudella. Testissä tarkasteltiin vyörymän paikallistamista pitkältä mittausetäisyydeltä, mahdollisen alkutilanteen rantakasvuston läpi. Testi suoritettiin lokakuun alussa 2017. (Mitta Oy 2018a, 1.)

Testissä käytettiin Riegl VZ400 Terrestrial 3D -laserkeilainta. Paikannus tapahtui Trimble R8 VRS-RTK-GPS -laitteella yhdessä VZ400:n kanssa. (Mitta Oy 2018a, 1.)

6.2 Testi käytännössä

Laserkeilaukskokeessa mittaus suoritettiin stationaarisenä mittauksena yhdestä pisteestä Riegl VZ400 -laserkeilaimella. Tämä on paras tapa tuottaa pienen kohteen pistepilvet, joista rantavyörymä on mahdollista havaita parhaiten. Etäisyys laserkeilaimesta kohteeseen oli noin 160 metriä. Alkutilanteessa kohteessa oli luonnontilainen, mutta aiemmin vuosien saatossa vyörynyt ranta. Lopputilanteessa oli simuloitu pieni vyörymä. Vyörymä toteutettiin käsityönä poistamalla lapioimalla ensin pintamaa alueelta. Sen jälkeen siirrettiin moreenia alamäkeen (Kuviot 19–21). (Mitta Oy 2018a, 1.)



Kuvio 19. Simuloitu vyörymä ja taustalla mittausasema niemen kärjessä (Mitta Oy 2018a, 2)



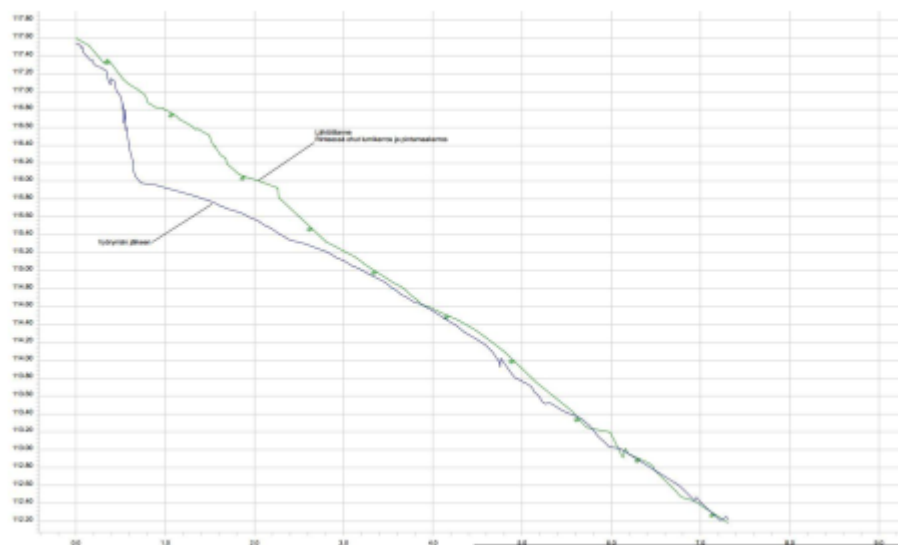
Kuvio 20. Simuloidun vyörymän syvyys (Mitta Oy 2018a, 3)



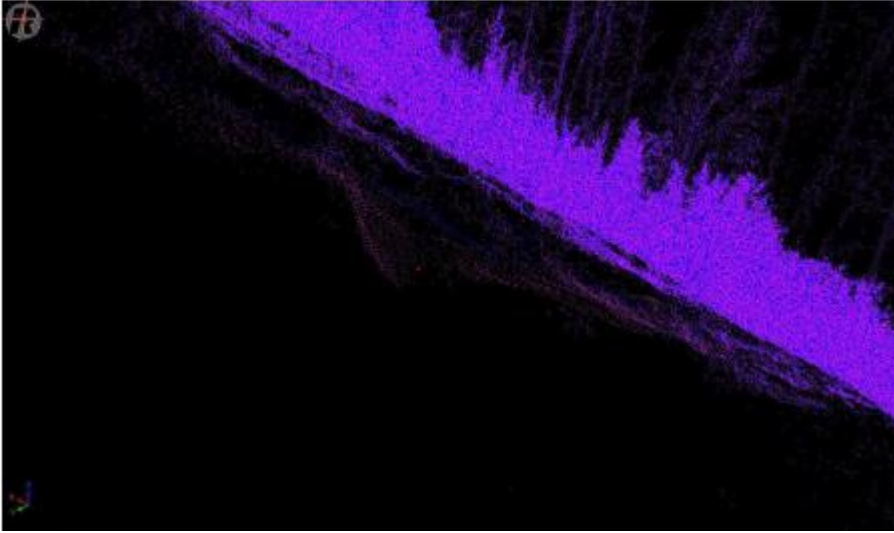
Kuvio 21. Tilanne ennen ja jälkeen vyörymän (Mitta Oy 2018a, 4)

6.3 Tulosten jälkikäsitely

Mittausaineistojen stationäärinen data jälkikäsiteltiin Riegelin Riscan Pro -ohjelmistolla ja vertailu suoritettiin 3D-Win-ohjelmistolla, jolla laadittiin vertailupoikkileikkaus aineistosta (Kuviot 22 ja 23). (Mitta Oy 2018a, 5.)



Kuvio 22. Poikkileikkaus vertailuvyörymästä (Mitta Oy 2018a, 5)



Kuvio 23. Poikkileikkaus laserkeilausaineistosta (Mitta Oy 2018a, 5)

6.4 Lopputulos

Mittauksen perusteella todettiin, että laserkeilaustekniikan erottelukyky on riittävä myös pienimuotoisten vyörymien paikallistamiseen ja muutoksen seuraamiseen riittävällä tarkkuudella. Suurimman haasteen luo alueen kasvillisuus ja sen tiheys. Liian tiheä kasvillisuus estää laserkeilauksen onnistumisen, mutta erittäin aikainen tai myöhäinen sulan ajankohta parantaa keilauksen tulosta huomattavasti. (Mitta Oy 2018a, 6.)

7 BLOM KARTTA OY:N SELVITYS

7.1 Taustaa

Marraskuussa 2018, Kemijoki Oy tilasi Blom Kartta Oy:ltä raportin Kemijoki Oy:lle soveltuvista mittausmenetelmistä. Työ tilattiin sen vuoksi, että oli hyvä saada ulkopuolisen asiantuntijan näkemys asiasta ja suosituksia siitä, miten Kemijoki Oy:n kannattaisi edetä asioissa. Selvitysvaiheen aikana tuli niin paljon asioita esille, että oli hyvä saada näkemys asioista jonkun muun tarkastelemana. Blom Kartta Oy:n tekemä selvitys ja opinnäytetyötä varten tehdyt selvitykset tukevat toisiaan. Blom Kartta Oy:n selvityksessä tuli joitain uusia asioita esille. Blom kartta Oy oli tarkastellut eri mittausmenetelmiä erityisesti kustannustehokkuuden näkökulmasta. Vyörymäkartoituksissa Blom Kartta Oy:n selvityksessä on menty jo askeleen edelle. Lisäksi Maanmittauslaitoksen ilmaisaineistojen hyödynnettävyyttä on pohdittu. Näistä tuloksista kerrotaan tässä luvussa.

Blom Kartta Oy:n selvitystyön tarkoituksena oli tutkia uusimpien mittausmenetelmien soveltuvuutta erilaisiin mittaus-, kartoitus- ja ympäristön inventointitarpeisiin. Tarpeita ovat esimerkiksi jokivarsien ja tekojärvien rantatörmien sortumien seuranta, jokiuomien ja tekojärvien rantavyöhykkeiden kartoitus ja mallinnus, voimalaitosalueiden ja patojen sekä niissä olevien rakenteiden mittaus ja mallinnus. Lisäksi selvitettiin käytettävissä olevien julkisten ilmaisaineistojen käyttökelpoisuutta Kemijoki Oy:n erilaisiin tarpeisiin. Tässä luvussa kerrotaan selvitystyön loppuraportista tarkoituksenmukaisia kohtia.

Blom Kartta Oy on paikkatiedon kerääjä, käsittelijä ja mallintaja. Se tarjoaa ratkaisuja kaikkiin paikkatietotarpeisiin ja kerää paikkatietoa pysty- ja viistoilmakuvauksella, laserkeilauksella ja katunäkymäkuvauksella sekä hyperspektri-instrumenteilla. (Blom Kartta Oy 2018a.)

7.2 Vyörymäkartoitukset

Blom Kartta Oy:n selvitystyön mukaan kustannustehokkain menetelmä tiedon keruuseen on todennäköisimmin ilmakuvausdrone, jossa on sarjavalmistainen hyvälaatuinen kamera. Kuvattaville alueille tarvitaan 4–6 signaloitavaa

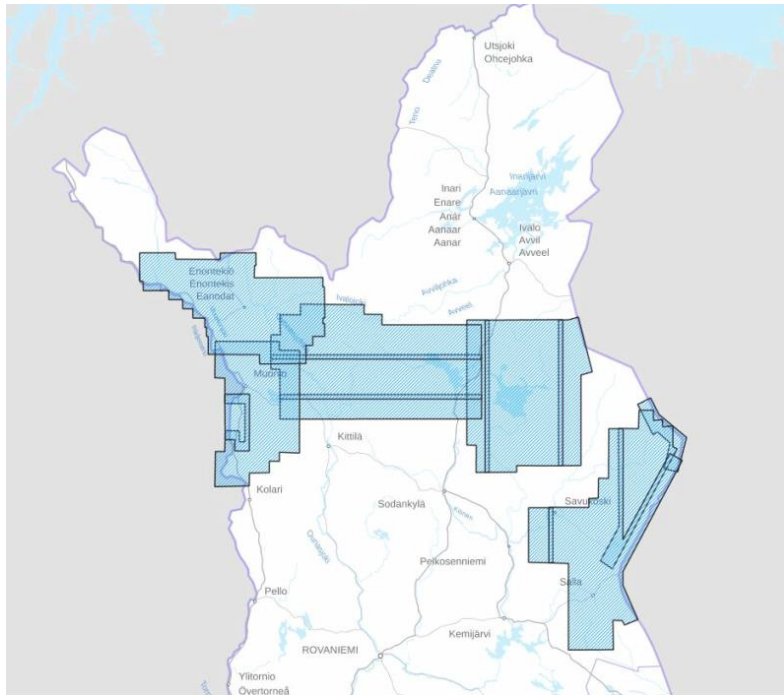
tukipistettä joille mitataan GNSS-mittauksena koordinaatit. Kuvista prosessoidaan ortokuvat. Ortokuvatuotannon korkeusmallina käytetään Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoa. Vyörymät ja maapohjan tiluslajit sekä mahdolliset puustovahingot kartoitetaan kuvatulkinntana ortokuvien avulla. Tulkinnessa voidaan käyttää apuna ilmakuvausten yhteydessä kerättyä maastoaineistoa kuten valokuvia. (Blom Kartta Oy 2018b, 9–10.)

Ilmakuvaukseen pohjautuva vyörymäkarttoitus edellyttää, että kuvaus suoritetaan lehdettömän puun aikaan. Keväällä kyseinen kuvausaika todennäköisesti ajoittuu tulva-aikaan, jolloin kuvausta ei ole syytä tehdä. Toinen mahdollinen kuvausajankohta on syksyllä lehtien pudottua puusta. Tällöin valaistusolosuhteet ovat kuitenkin huonommat kuin keväällä. Toinen mielenkiintoinen menetelmä, jonka käyttökelpoisuus olisi järkevää testata, on veneestä tapahtuva laserkeilaus ja valokuvaus. Tähän sopivia keilaimia on jo saatavilla. Menetelmällä voidaan rantatörmistä mitata verrattain tiheä pistepilvi, jossa näkyy maanpinnan lisäksi puusto ja muuta kasvustoa. Aineiston tarkkuus ja käyttökelpoisuus vyörymien paikantamiseen ja kartoittamiseen sekä menetelmän kustannustaso kannattaisi selvittää koetyön avulla. (Blom Kartta Oy 2018b, 9–10.)

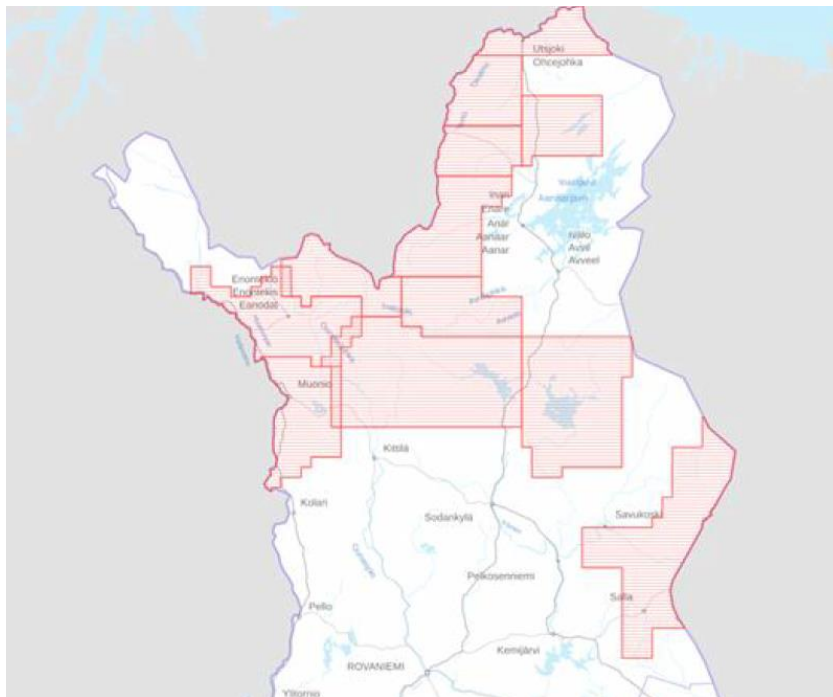
7.3 Käytettävissä oleva ilmaisaineisto ja sen soveltuvuus

Maanmittauslaitos (MML) ilmakuvaava ja laserkeilaa Suomen aluetta vuosittaisen kuvaus- ja keilausohjelman mukaan. Tällä hetkellä koko valtakunnan alue on ilmakuvaattu ja lähes kokonaan laserkeilattu kertaalleen, ja joiltakin osin kahteen kertaan. Lopputuotteena saatava aineisto on avointa, eli kenen tahansa ladattavissa MML:n palvelimelta. (Blom Kartta Oy 2018b, 12.)

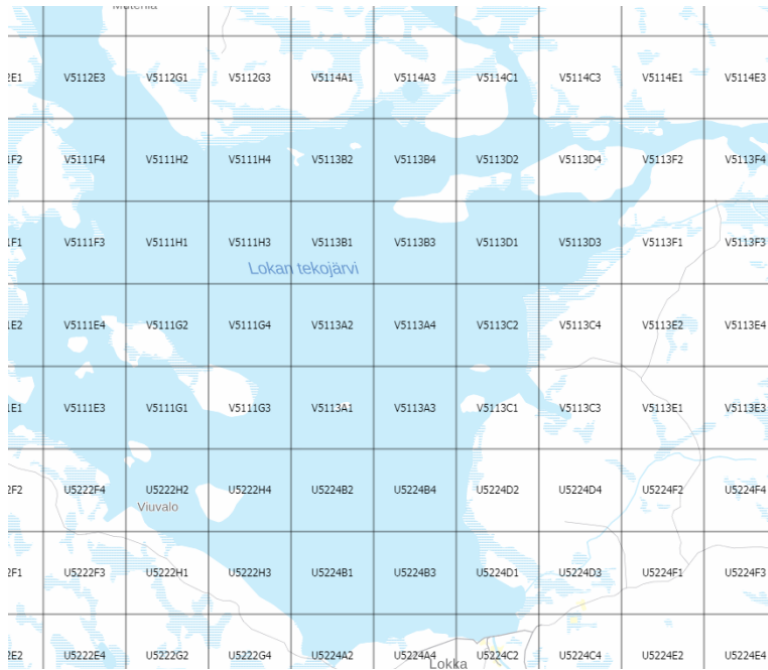
Esimerkkikartat osoittavat vuoden 2018 kuvaus- ja keilausohjelman alueet Lapissa (Kuviot 24–27).



Kuvio 24. MML vuoden 2018 ilmakuvaukset Lapissa (Blom Kartta Oy 2018b, 12)



Kuvio 25. MML vuoden 2018 laserkeilaukset Lapissa (Blom Kartta Oy 2018b, 13)



Kuvio 26. Ladattavien laserkeilaustiedostojen lehtijako (Blom Kartta Oy 2018b, 13)



Kuvio 27. Väri-infra-ortokuva (Blom Kartta Oy 2018b, 14)

Ortoilmakuvat ja erityisesti väri-infrakuvat sisältävät paljon informaatiota erityisesti puustosta ja kasvillisuudesta. Kuvissa lehtivihreä näkyy punaisena. Niitä voidaan käyttää ympäristön tilan arviointiin, metsän arviointiin ym. (Blom Kartta Oy 2018b, 13.)

MML:n laserkeilausaineisto on osoittautunut varsin monikäyttöiseksi, koska siitä voidaan jalostaa erilaisia 3D-paikkatietotuotteita ja käyttää analysointiin, havainnollistamiseen, infrarakentamisen yleissuunnitteluun jne. Aineiston korkeustarkkuus on useissa käytännön töissä osoittautunut selvästi paremmaksi kuin 10 cm. Aineistolle luvataan keskivirheeksi < 10 cm. Tarkkuus voi tosin vaihdella alueittain jonkin verran, ja se tulisi aina kontrolloida mittauksin ennen kuin aineistoa käytetään vaativampiin tehtäviin. Kemijoki Oy:n toiminnassa ylläkuvattuja aineistoja voitaisiin käyttää esimerkiksi rantavyöhykkeiden mallintamiseen ja toteutumakartoitusten korkeuskäyrien tuottamiseen. Korkeusmallia voidaan käyttää käytännössä kaikkien ortokuvahankkeiden toteuttamiseen. (Blom Kartta Oy 2018b, 14.)

8 MITTAAMISEN TULEVAISUUS

8.1 Yleistä

Uusille mittausmenetelmille luonteenomaista on mittausprosessin aikana syntyvä valtava tiedon määrä. Monessa vaiheessa tuli esille, että tietoa kertyy tulevaisuudessa erilaisilla mittausmenetelmillä todella paljon.

Vaikka mittaaminen olisi nopeaa, voi tiedon käsittely viedä paljon aikaa. Tiedon käsittely vaatii myös erityisosaamista. Maanmittausalan koulutuksen on myös pysyttävä kehityksessä mukana.

8.2 Näkemyksiä tulevaisuudesta

Tulevaisuudessa esimerkiksi M3D-mobiilikeilauspalvelua voidaan hoitaa älypuhelimella, eli mittaamista perinteisessä muodossa ei enää tarvita. Myös esimerkiksi Maanmittauslaitoksen avointa aineistoa voidaan yhdistää tietoihin. Suunnittelupalavereissa käytetään VR-laseja ja niitä hyödynnetään käytännön suunnittelutyössä. Jo nyt on netistä saatavilla ilmaisia ohjelmia pistepilven katseluun. (Ilmonen 2018.) Esimerkiksi aiemmin VRT Oy:n hyödyntämä CloudCompare on helposti käyttöön saatavissa oleva ohjelma.

Esimerkiksi ajoneuvokeilauksella tehtävässä mittauksessa voi syntyvien koordinaattipisteiden määrä olla useita miljardeja maanrakennuskohteessa, jonka pituus on kymmenen kilometriä. Tämä asettaa tiedon hallinnalle ja arkistoinnille isoja haasteita. (Blom Kartta Oy 2018b, 2.)

Blom Kartta Oy:n selvityksen mukaan tekninen kehitys mittaustekniikan alalla näyttää kulkevan suuntaan, jossa kaikki tarvittava tieto kohteesta kerätään talteen suurella resoluutiolla yhdellä kertaa. Tieto tallennetaan tiheänä koordinaattipistejoukkona, pistepilvenä. Mittaus tapahtuu laserkeilauksena, usein käyttäen useampia eri aallonpituuden laserinstrumentteja samanaikaisesti. Talteen saadaan koordinaattiarvojen lisäksi myös intensiteettiarvoja, joita käytetään pistepilven luokittelussa. Pistepilven informaatiota täydennetään valokuvaamalla kohde samanaikaisesti. Tällöin saadaan pistepilven pisteille

myös näkyvän valon ja tarvittaessa lähi-infra-aallonpituuden arvot. Laserkeilauksen uusimpia kehitysaskelaita on ns. täyden aaltomuodon menetelmä, jossa laserin paluupulssista otetaan talteen jatkuva intensiteettikäyrä. Menetelmä luo uusia mahdollisuuksia datan tulkintaan. (Blom Kartta Oy 2018b, 18.)

Uusimmilla mittaustekniikoilla tuotetuilla fotorealistilla 3D-aineistoilla on käyttöä jo sellaisenaan havainnollistamisessa, sisätilanavigoinnissa ja peliteollisuudessa. Mittaustietojen jatkojalostus kulkee tietomallintamisen suuntaan. Lähitulevaisuuden näkymä on, että tietomallinnusta ei käytetä pelkästään uusien rakennusten ja infrastruktuurin suunnitteluun, vaan tietomallit palvelevat käyttäjiänsä koko kohteen elinkaaren ajan. Uusimpana kehityspolkena ovat ns. digitaaliset kaksoset (engl. termi Digital Twin), jotka ovat tarkkoja digitaalisia kopioita kohteesta kaikkine ominaisuuksineen. Teollisuudessa digitaaliset kaksoset nähdään lupaavana mahdollisuutena simuloida, kehittää ja tarvittaessa saneerata teollisuuslaitoksen toimintaa ja saavuttaa suuria kustannussäästöjä. (Blom Kartta Oy 2018b, 18.)

Mielenkiintoinen ajatus on, voisiko digitaalinen kaksonen -malli toimia myös vesivoimatuotannossa siten, että siihen kuuluisi koko vesistö, tekojärvet, padot ja voimalaitokset sekä niiden väliset jokiosuudet. (Blom Kartta Oy 2018b, 18.)

8.3 Haastatteluista lisätietoa

8.3.1 Asiantuntijat vahvistavat käsitystä

Haastatteluilla haluttiin selvittää alan osaajilta ja näköalapaikoilla työskenteleviltä lisätietoa maanmittausalaan liittyvistä asioista ja myös mittaamisen tulevaisuudesta.

Haastatteluissa tuli esille samoja asioita, kuin selvitystyössä muutenkin. Vaikka tekniikat kehittyvät, tarvitaan ihmistä jatkossakin maanmittausalan tehtävissä. Mutta kuten sanottu työn luonne muuttuu erilaiseksi. Molemmassa haastatteluissa tuli esille samansuuntaisia asioita eli ihminen on tärkeässä roolissa myös

tulevaisuudessa ja maanmittausalan koulutusta tarvitaan. Tiedonkerääminen mullistuu, ja ihmisen rooli kasvaa tiedon tulkinnassa.

8.3.2 Mikko Ilmonen, toimialajohtaja mittauspalvelut, Mitta Oy

Ilmonen kertoi, että mittaamisen tiedonkerääminen mullistaa mittausalaa sen automatisoituessa. Painopiste mittajilla siirtyy tiedon käsittelyyn ja jalostamiseen. Robotiikka näyttelee merkittävää roolia mittatiedon keräyksessä. Koneäly tulee mukaan, kun suodatetaan suuria datamääriä ja poimitaan niistä oleellinen tieto. Ihmistä ei toistaiseksi voi vielä täysin korvata, vaan viimeisen laadun tekee ajatteleva ihminen. (Ilmonen 2018.)

Mittausperustojen tarve on jatkossakin ilmeinen. Vaikka tiedonkerääminen muuttuu, tulee tieto aina sitoa johonkin koordinaatistoon. Siihen tarvitaan mittaperustaa. Mittajien merkitys ”tulkkina” työmaan ja suunnittelun välillä tulee korostumaan. Mittaaja on itseasiassa näköalapaikalla, ja on yksi niistä harvoista projektin henkilöistä, joka tarkastelee suurta kokonaisuutta. (Ilmonen 2018.)

8.3.3 Jari Lappi, toimitusjohtaja, Mitta Oy

Mitta Oy:n toimitusjohtaja Jari Lappi kertoi haastattelussa, että tulevaisuudessa työn luonne muuttuu, mutta työn määrä ei vähene. Aikaa pitää seurata ja olla tietoinen siitä, mitä ympärillä tapahtuu. (Lappi 2017.)

3D-osaaminen on tulevaisuudessa tärkeää, kuten myös koneohjaus ja mallintaminen. Näiden osaajista on jatkossa pulaa. (Lappi 2017.)

9 POHDINTA

Opinnäytetyöni tavoitteena oli selvittää mahdollisia vaihtoehtoja vesivoimayhtiö Kemijoki Oy:n rantojen mittaamiseen ja mallintamiseen. Mahdollisuuksia on monia, mutta kaikki eivät välttämättä sovi Kemijoki Oy:n tarpeisiin. Selvitystyön aikana tuli esille monenlaisia vaihtoehtoja, ja aiheen rajaaminen oli tärkeää. Tiettyjä asioita oli tärkeää kuvata laajemmin, ja osan asioista pystyi jättämään vähemmälle huomiolle. Asiaa on nyt tutkittu Kemijoki Oy:ssä, mutta selvitystyö soveltuu myös muille vesivoimayhtiöille.

Opinnäytetyön tärkeimmät lopputulokset oli tietomäärästä huolimatta helppo löytää. Mittaustavan tai -tapojen valinnassa laitteiden ja käytettävien ohjelmistojen hyödyntäminen vaatii erityisosaamista ja perehtyneisyyttä. Mittausmenetelmien valinnassa tulee miettiä kustannustehokkuutta, laatua ja soveltuvuutta Kemijoki Oy:n tarpeisiin. Ei välttämättä ole järkevää hankkia laitteita ja ohjelmistoja omaksi. Siksi on tärkeää olla luotettava kumppani tai kumppaneita asioita hoitamassa Silloin saadaan paras hyöty irti ja jokainen voi keskittyä siihen, mitä osaa parhaiten. Monessa vaiheessa tuli esille myös se, että mittausten jälkikäsitteily vie paljon aikaa. Vaikka itse mittaustapahtuma tehdään nopeasti, vie tiedon käsittely paljon aikaa ja vaatii myös osaamista. Ei siis kannata tehdä valintoja vain mittaustavan nopeuden perusteella, vaan on huomioitava muutkin asiat. On myös tärkeää pitää mielessä esimerkiksi Maanmittauslaitoksen ilmaisaineiston hyödynnettävyys.

Mielestäni Kemijoki Oy:n tarpeisiin voisi sopia vyörymien kartoittaminen miehittämättömällä ilma-aluksella eli dronella. Tämäkin vaatii vielä paikan päällä tehtäviä tarkempia testimittauksia eri kohteissa. Toimiva tapa voi olla myös useampien menetelmien yhdistelmä eli mitään esillä ollutta tapaa ei kannata sulkea täysin pois. Tulevaisuus näyttää, minkälainen mittaustapa todetaan toimivimmaksi Kemijoki Oy:n tarpeissa.

Lähteinä olen käyttänyt netistä löytyvää materiaalia, haastatteluja ja erilaisia mittausraportteja. Tutustumiskohteet ja ideoiden hakumatkat olivat hyödyllisiä ja niitä oli kattavasti. Saimme varmuutta omaan tekemiseen ja uskoa siihen, että

asioita ei ratkaista hetkessä. Se varmistui, että parhaiten tietoa uusista tekniikoista ja niiden hyödynnettävyydestä saa juurikin tutustumalla erilaisiin tapoihin käytännössä. Myös teetetyt testit antoivat hyödyllistä lisätietoa mittaustapojen soveltuvuudesta Kemijoki Oy:n käyttöön.

Opinnäytetyölleni asettamat tavoitteet saavutettiin. Opinnäytetyötä voidaan käyttää päätöksenteon tukena tuotannollisessa työssä ja mahdollisissa rantojen mittaamisen kehityshankkeissa. Erilaisia vaihtoehtoja on koottu yhteen ja myös loppuvaiheessa pyydetty ulkopuolisen tekemä selvitys tukee tämän selvitystyön ajatuksia. Itselleni ihan uutena terminä opinnäytetyön teon yhteydessä tuli digitaalinen kaksonen eli tarkka digitaalinen kopio kohteesta kaikkine ominaisuuksineen. Voisiko sopiva aihe jatkotutkimukselle liittyä siihen? Eli voitaisiin selvittää, voisiko digitaalinen kaksonen toimia myös vesivoimatuotannossa niin, että siihen kuuluisi koko vesistö tekojärvet, padot ja voimalaitokset sekä niiden väliset jokiosuudet.

Oli hyvä, että tein työtä monessa osassa ja lopputulos muotoutui pikkuhiljaa. Lopullisesta työstä tuli sisällöltään varmasti erilainen kuin alkuvaiheessa ajattelin. Kun tieto lisääntyi, oli tärkeää muuttaa suunnitelmaa sen mukaisesti. Matka oli itselleni opettavainen ja sain laaja-alaisen käsityksen aiheesta. Opin paljon mittaamiseen liittyvistä asioista ja käytetyistä menetelmistä.

Opinnäytetyötä tehdessä tuli esille useampaan kertaan esille myös maanmittausalan osaajien tarve ja koulutuksen tärkeys. Ala muuttuu, ja myös koulutuksen on pysyttävä muutoksen perässä. Tämä asettaa luonnollisesti haasteita maanmittausalaa kouluttaville oppilaitoksille ja opettajille. On paljon puhuttu siitä, että maanmittausala ei ole houkutteleva opiskeluvaihtoehto tekevien nuorten keskuudessa. Voisivatko uudet tekniikat ja niiden esille tuominen lisätä houkuttelevuutta? Mielestäni kyllä. Maanmittausalalla voi tehdä niin paljon muutakin kuin olla esimerkiksi maastossa takymetrin kanssa tai työskennellä kaavoituksen parissa.

LÄHTEET

Atlastica 2018. 3D-skannaus eli laserkeilaus mitä se on? Viitattu 11.11.2018 <https://atlastica.fi/laserkeilaus/>.

Blom Kartta Oy 2018a. Ratkaisut kaikkiin paikkatietotarpeisiin. Viitattu 11.11.2018 <http://www.blomkartta.fi/>.

- 2018b. Selvitystyön loppuraportti 2018.

Hyyppä, J. Kaartinen, H. Kukko, A. Matikainen, L. & Uro, T. 2017. 3d-karttatuotanto siirtyy vihdoon mustavalkomaailmasta väri-tv-aikaan lupaa yhteiskunnalle merkittäviä säästöjä. Tekniikka ja talous. Viitattu 22.10.2018 <http://www.tekniikkatalous.fi/teknologiamurrokset/3d-karttatuotanto-siirryy-vihdoin-mustavalkomaailmasta-vari-tv-aikaan-lupaa-yhteiskunnalle-merkittavia-saastoja-6673032>.

Ilmonen, M. 2018. Mitta Oy. Toimialajohtajan haastattelu 4.12.2018.

Karttakeskus 2019. Mitä paikkatieto on ja mitä hyötyä siitä on? Viitattu 19.1.2019 <http://www.karttakeskus.fi/paikkatieto/>.

Kemijoki Oy 2018. Kemijoki Oy on merkittävin vesivoiman tuottaja Suomessa. Viitattu 11.9.2018 <https://www.kemijoki.fi/kemijoki-oy.html>.

- 2018b. Kemijoki Oy yleisesitys 2018.

Kotimaisten kielten keskus 2018. Sanapöimintoja vuodelta 2016. Viitattu 11.11.2018. https://www.kotus.fi/sanakirjat/kielitoimiston_sanakirja/uudet_sanat/vuoden_sanapöiminnot/sanapöimintoja_2016.

Lappi, J. 2017. Mitta Oy. Toimitusjohtajan haastattelu 9.11.2017.

Maanmittauslaitos 2018. Onko paikkatiedon tulevaisuus avoimessa pistepilviekosysteemissä? Viitattu 7.11.2018 <https://www.maanmittauslaitos.fi/ajankohtaista/onko-paikkatiedon-tulevaisuus-avoimessa-pistepilviekosysteemissa>.

Mitta Oy 2018a. Raportti Vanntauskosken rantavyörymien koemittaus laserkeilaamalla 18.11.2018.

- 2018b. Mitta Oy etusivu. Viitattu 2.11.2018 <http://www.mitta.fi/>.

Nordic Geo Center Oy 2018a. Mobiililaserskannausta palveluna. Viitattu 3.11.2018 <http://www.geocenter.fi/mittauspalvelut/>.

- 2018b. Ilmassa. Viitattu 8.11.2018 <http://www.geocenter.fi/project/ilmassa/>.

OPS M1 - 32 Määräys 4.12.2018. Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi 2018. Viitattu 20.1.2019 <https://www.finlex.fi/fi/viranomaiset/normi/498001/44667>.

Partanen, P. 2015. Jokamiehen laserkeilain 3D-mallintaa maailman. Viitattu 3.1.2018 <https://lehti.tek.fi/tekniikka/jokamiehen-laserkeilain-3d-mallintaa-maailman>.

Talvensaari, M. 2018. Kemijoki Oy. Geoteknisen asiantuntijan haastattelu 12.11.2018.

VRT Oy 2018a. Paras kumppani vedenalaisiin tarkastuksiin ja omaisuudenhallintaan. Viitattu 3.11.2018 <https://www.vrt.fi/fi/>.

- 2018b. Tarkastusraportti Vedenalaisten rakenteiden tarkastamisesta Lieksankosken voimalaitoksella 20.8.2018.