

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma
Infratekniikan suuntautumisvaihtoehto

Simo Nyrönen

3D-skannerin käyttö vedenalaisrakenteiden tarkastuksissa

Opinnäytetyö 2014

Tiivistelmä

Simo Nyrönen

3D-skannauksen käyttö vedenalaisrakenteiden tarkastuksissa, 34 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma

Infratekniikan suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2014

Ohjaajat: yliopettaja Tuomo Tahvanainen, Saimaan ammattikorkeakoulu; operatiivinen johtaja Pasi Hukkanen, Pöyry CM Oy

Opinnäytetyön tavoite oli testata ja ottaa käyttöön 3D-skannaukseen perustuvia menetelmiä vedenalaisrakenteiden tarkastuksiin Subreering Ammattisukellustyöt Oy:ssä. Työ tehtiin Liikennevirastolle, joka halusi esimerkkikohteiden kautta selvittää skannaamalla tuotetun pistepilvimateriaalin käyttökelpoisuutta ja sen tuomia mahdollisuuksia. Tilaaja valitsi tarkastuskohteet Vt 14 -projektin yhteydessä Savonlinnassa toteutetuista vedenalaisrakenteista.

Työssä esitellään tilaajan valitsemat tarkastuskohteet ja suoritettut työt sekä käydään läpi skannaustyön tulokset. Pistepilvimateriaalin käyttöä vertaillaan perinteisen sukellustarkastuksen tuloksiin ja pyritään tutkimaan, millaisten tarkastustöissä havainnoitavien asioiden toteamiseen skannausmenetelmä soveltuu.

Lopuksi työn tuloksena hahmotellaan vedenalaisen pistepilvimateriaalin erilaisia käyttösovelluksia ja pohditaan tarkastustöissä parhaaseen lopputulokseen tähtäävää 3D-skannauksen ja sukellustarkastuksen yhdistelmää.

Avainsanat: 3D-skannaus, pistepilvi, vesirakentaminen, vesistösilta, sukellustarkastus

Abstract

Simo Nyrönen

The use of 3D-scanner in inspections of underwater structures, 34 pages

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Construction Management

Infrastructure Engineering Option

Bachelor's Thesis 2014

Instructors: Mr. Tuomo Tahvanainen, Senior Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences; Mr. Pasi Hukkanen Operational Director, Pöyry CM Oy

The aim of this thesis was to test and take into use the underwater inspection methods that are based on 3D-scanning. The work was commissioned by Finnish Transport Agency, the interest of which was to determine the utility and possibilities that the 3D-scanning can bring.

The data for this thesis was collected in field tests in three different worksites, which the commissioner had selected. This thesis describes the fieldworks that were carried out during the process and also tells about the theoretical prework. The use of the pointcloud material was compared to traditional dive inspection.

The best combination between these two methods and the effective use of pointcloud material is sketched out in as a final result of the thesis.

Keywords: 3D-scanning, pointcloud, civil engineering, waterway bridge, dive inspection

Sisältö

1 Johdanto	5
2 Vedenalainen 3D-skannaus työmenetelmänä	6
2.1 Laitteen toimintaperiaate	6
2.2 Pistepilvi	6
2.3 Laitteiston fyysiset osat	6
2.4 Pistepilvimateriaalin tuottaminen vedessä.....	7
2.5 Pistepilvimateriaalin jälkikäsittely.....	9
3 Perinteiset sukellustarkastukset.....	10
3.1 Tarkastustöiden tarve ja perusteet	10
3.2 Tyypillisiä tarkastuksissa havaittuja vaurioita	11
3.3 Työturvallisuus ja pätevyysvaatimukset	12
3.4 Sukellustarkastuksen sisältö ja tutkimustavat	13
4 Työkohteiden esittely	14
4.1 Kasinosaaressa silta T11	14
4.2 Koululahden laiturin eroosiolaatta	14
4.3 Kyrönsalmen eteläinen maantiesilta T2.....	16
5 Kenttätöiden suorittaminen	18
5.1 Sukellustarkastukset.....	18
5.2 Skannaustyöt.....	19
6 Sukellustarkastuksen ja skannauksen vertailu.....	20
6.1 Kohteen yleiskuvan muodostuminen.....	20
6.2 Kohteen yksityiskohtien ja vaurioiden havaitseminen	22
7 Vedenalaisen 3D-skannauksen käyttömahdollisuudet tietomallintamisen eri tasoilla	24
7.1 Tietomalli	24
7.2 Suunnitteluvaihe	25
7.3 Rakentamisen ohjaus ja laadunvarmistus	26
7.4 Ylläpitovaihe ja korjaussuunnittelu	26
8 Yhteenveto ja päätelmät	27
Kuvat	32
Lähteet	34

1 Johdanto

Tiedonkeruu veden alla sijaitsevasta kohteesta poikkeaa merkittävästi pinnan päällä sijaitsevan kohteen tutkimuksista. Perinteisesti vedenalaisia rakenteita on tarkastettu pelkästään sukellustyönä, mutta tekniikan kehittyminen on tuonut laajan joukon uusia mahdollisuuksia. Erilaisten kaukokartoitusmenetelmien käyttö on lisääntynyt ja tullut alalle jäädäkseen. Nämä menetelmät pyrkivät parantamaan ja täydentämään sukeltajan suorittamia tarkastustöitä ja jopa joiltain osin korvaamaan ne kokonaan. Uudet tiedonkäsittelytavat, kuten tietomallintaminen, tekevät vahvasti tuloaan infra-alalle ja vaativat uudessa muodossa tuotettua tietoa myös vedenalaisista rakenteista ja tulevista rakennuskohteista.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on selvittää ja testata yhden menetelmän, 3D-skannauksen, toimivuutta ja mahdollisuuksia. Työn tilaajana on Liikennevirasto ja se toteutetaan Pöyry CM Oy:n ohjauksessa, joka vastasi Vt 14 -hankkeen projektinjohdosta, rakennuttamisesta ja työmaavalvonnasta. Työt esimerkkikohteissa toteutti Subreering Ammattisukellustyöt Oy. Pistepilvimateriaalin jälkikäsitteily tehtiin yhteistyössä Saimaan ammattikorkeakoulun Tekniikan laboratorioden esimiehen Mikko Ruotsalaisen kanssa. Lähtökohtainen tavoite on yrityksen palvelutarjonnan kehittäminen ja mahdollisten asiakkaiden mielipiteiden kuuleminen jo menetelmän testivaiheessa. Kyseessä tulee olemaan myös oppimisprosessin kuvaus, koska lähtötiedot menetelmästä perustuvat lähinnä itseopiskeltuun teoriaan.

Tässä työssä ei lähdetä ruotimaan syvällisemmin erilaisten pistepilvimateriaalia tuottavien laitteiden teknistä toimintaa ja teoriaa, vaan keskitytään valitun menetelmän testaamiseen kolmella toisistaan poikkeavalla esimerkkikohteella verraten saatuja tuloksia sukellustarkastusten tuloksiin.

Luvussa kaksi kuvataan lyhyesti vedenalaisen 3D-skannerin toimintaperiaate, sekä mitä pistepilvellä tarkoitetaan. Luvussa kolme kerrotaan pääpiirteittäin perinteisistä sukellustarkastuksista. Luku neljä esittelee tilaajan kohteiksi valitsemat rakenteet ja viidennessä luvussa kerrotaan suoritetuista kenttätöistä. Luvussa kuusi vertaillaan perinteisellä sukellustarkastuksella saavutettuja tuloksia skannausmateriaaliin. Luku seitsemän hahmottelee vedenalaisen pistepilvima-

teriallin käyttömahdollisuuksia, ja viimeisessä luvussa kahdeksan esitetään omaa pohdintaa ja päätelmiä liittyen 3D-skannerin käyttöön.

2 Vedenalainen 3D-skannaus työmenetelmänä

2.1 Laitteen toimintaperiaate

Vedenalainen 3D-skanneri on laite, jolla tuotetaan rakenteista tai pinnoista pistepilvimateriaalia maanpinnalla tapahtuvan laserkeilauksen tapaan. Koska väliaineena on vesi, käytetään pisteiden luomiseen laserin sijasta ääntä, sillä valon etenemä vedessä jäisi verrattain lyhyeksi. Laitteen toiminta perustuu siis kai-kumittaukseen, laite lähettää ja vastaanottaa korkeataajuuksisia ääni-impulsseja, joiden takaisinkimpoamispisteiden etäisyyden- ja kulmamittauksen avulla muodostuu kolmiulotteinen pistepilvi.

2.2 Pistepilvi

Pistepilvi on avaruudessa oleva kolmiulotteinen pistejoukko, joka on ryhmittynyt skannerin vastaanottamien takaisinkimpoamispisteiden muotoon. Jokainen piste saa x-, y- ja z-koordinaatit, mittauksen lähtöpisteen eli laitteen sijainnin ollessa koordinaatiston nollapiste. Kolmiulotteista pistepilveä voidaan käänellä ja tarkastella kaikkien akselien suhteen ja yksittäisten pisteiden välisiä etäisyyksiä ja kulmia toisiinsa nähden kyetään mittaamaan. Tiettyjen pisteiden rajaamisen alueiden pinta-aloja ja tilavuuksia voidaan myös mitata, ja näiden tietojen perusteella hyödyntää pistepilveä eri sovelluksiin.

2.3 Laitteiston fyysiset osat

Laitteisto koostuu itse skannerista, eli mittapäädystä, joka liitetään sitä kahden akselin suhteen käänteleviin askelmootoreihin. Laite asemoidaan käyttökohteen mukaan valittuun jalustaan tai puomiin, johon kiinnitettynä se viedään haluttuun asemapaikkaan suhteessa tutkittavaan kohteeseen (kuva 1). Laite on yhteydessä pinnalla olevaan PC:hen, jonka ohjelmistolla laitteen toimintoja ohjataan ja skannausmateriaali tallennetaan.



Figure 3.44 Pole-mount Deployment for Imaging and Profiling

Kuva 1. Skannerin kiinnitys mastoon (Atherton 2011, 3.49)

2.4 Pistepilvimateriaalin tuottaminen vedessä

Koska laitteen mittaus perustuu ultraääneen laserin sijaan, ei sen tarkkuus yllä laserkeilainten tasolle. Pistemäisen säteen sijasta laite tuottaa kartiomaisen akustisen keilan. On tiettyjä fysikaalisia lainalaisuuksia, jotka asettavat rajoitteen laitteen tuottaman pistepilven resoluutiolle (Gillham 2011). Äänienergia leviää edetessään veden läpi ja näin ollen laitteen vastaanottama palaava kaiku ei välttämättä ole peräisin keilan keskeltä, vaan miltä tahansa pinnalta, jonka kartiomainen keila kohtaa (Gillham 2011). Laitteen mittausetäisyyden kasvaessa kasvaa siis myös kartion poikkileikkauksen pinta-ala. Laite vastaanottaa ja mittaa pinnasta heijastuneen palaavan kaiun, olettaen sen tulevan kartion keskipisteestä, josta impulssi on väliaineeseen lähetetty.

Laitteen käyttämä ääni-impulssien taajuus vaikuttaa keilan kokoon ja leviämiseen vedessä, korkeammalla taajuudella saavutetaan parempi erottelukyky.

Taajuuden noustessa äänen etenemiskyky vedessä kuitenkin heikkenee johtuen äänienergian absorboitumisesta veteen, ja laitteen käyttöetäisyys pienenee.

Kulma, jossa keila kohtaa kimpoamis pintansa, vaikuttaa keilan mittaaman pisteen tarkkuuteen. Laitteen ja mitattavan pinnan välisen kulman pienentyessä keilan osumapinta-ala kasvaa ja tästä seuraa virheellisen mittauksen mahdollisuus. Laitteen ja kohdepinnan välinen pieni kulma ja kohteen pyöreä muoto aiheuttavat myös äänen poisheijastumista (kuva 2).

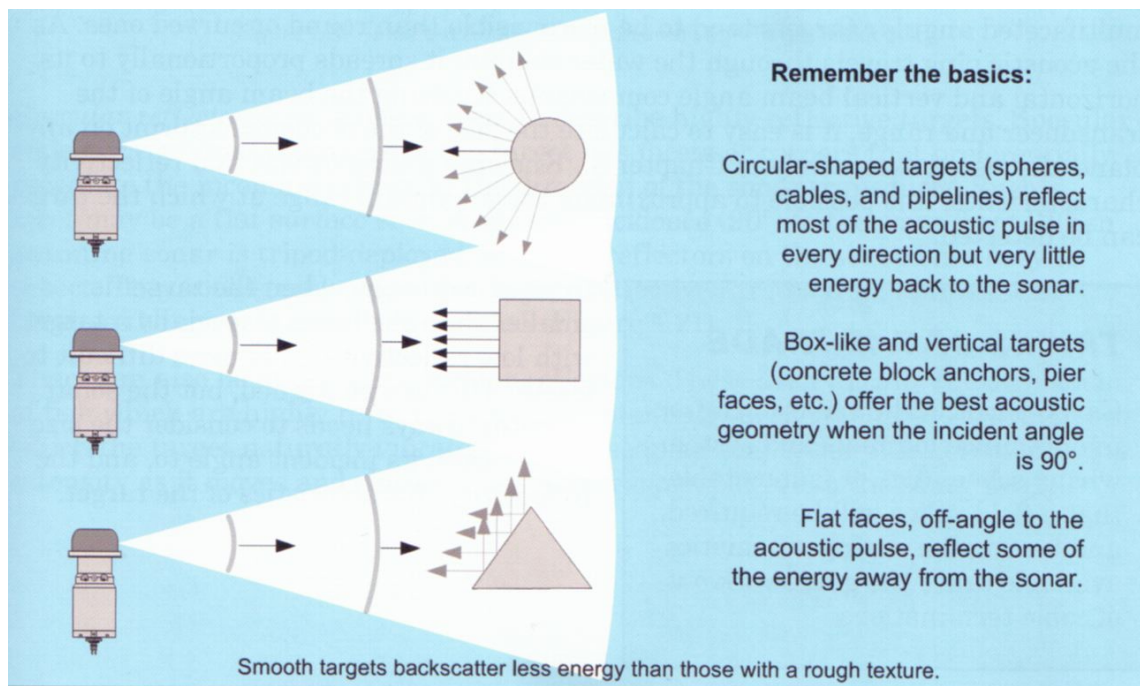


Figure 1.18 Target Shape and Reflectivity

Kuva 2. Kohtauskulman ja muodon vaikutus äänen heijastumiseen (Atherton 2011, 1.27)

Työkohteella tapahtuvista laitesäädöistä tärkein on äänennopeuden kalibrointi. Äänennopeuteen vedessä vaikuttavat veden suolapitoisuus, paine ja tärkeimpänä lämpötila. Tyypillinen äänennopeuden vaihteluväli vedessä on 1405 m/s - 1550 m/s (Atherton 2011, 1.17). Mikäli kalibrointi on suoritettu virheellisesti, laitteen etäisyysmittaus tuottaa väärää tietoa.

Esteet, jotka ovat laitteen ja skannattavan kohteen välissä, aiheuttavat katvealueita (kuva 3). Kohteen ympäristön geometria on otettava huomioon laitteen

asemapaikkoja valittaessa, jotta kyetään varmistamaan mahdollisimman aukoton skannaustulos.

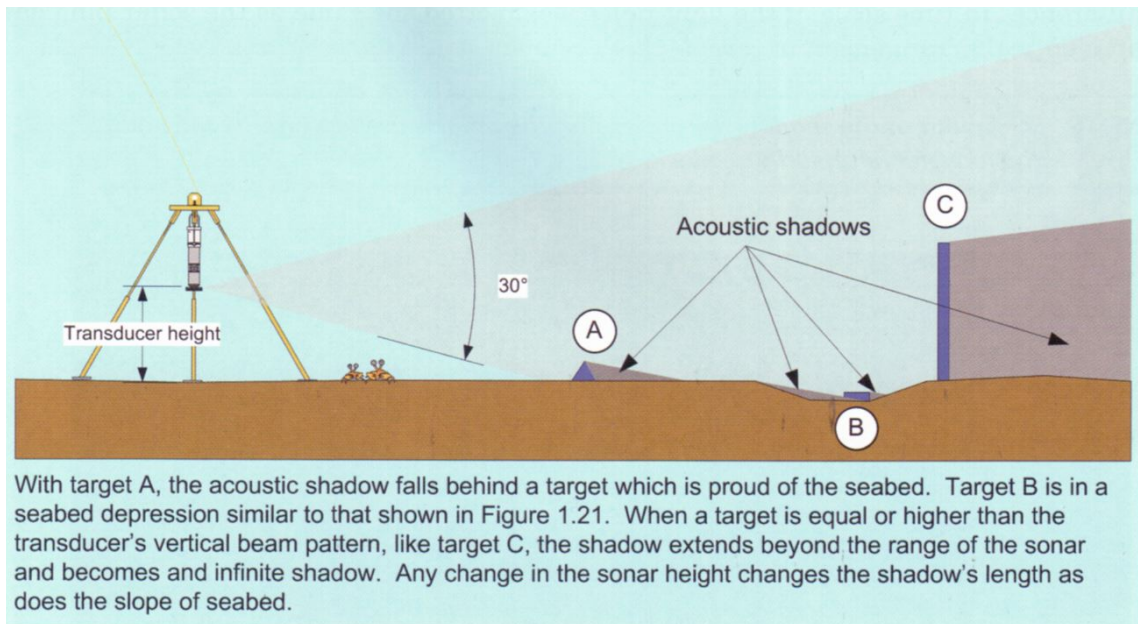


Figure 1.9 Shadow Acoustic Geometry

Kuva 3. Akustisten varjojen syntyminen (Atherton 2011, 1.17)

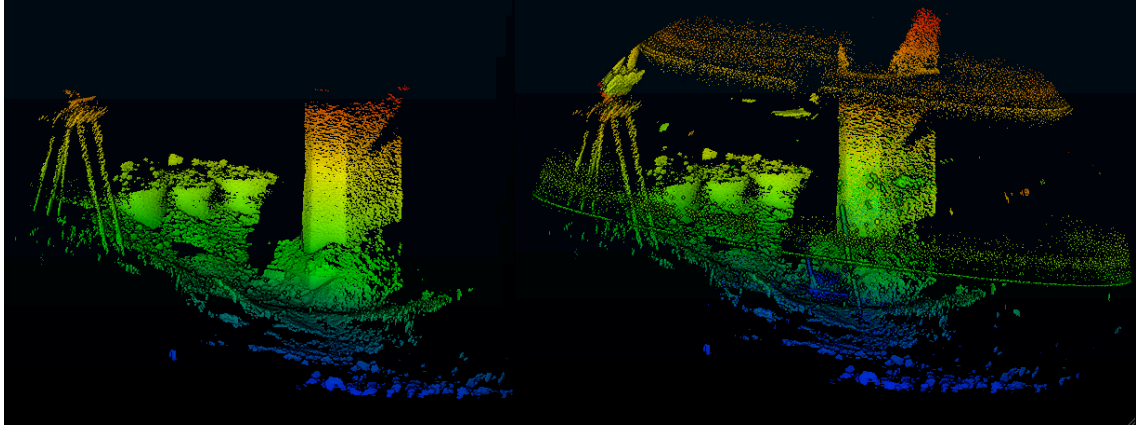
U.S. Department of Transportation -viraston tilaama siltojen vedenalaisia tarkastuksia käsittelevä ohjeistus määrittelee akustisen kuvantamisen menetelmät apuneuvoksi sukellustarkastusten suunnittelussa, koska selkeät vauriot kyetään paikallistamaan ja näin keskittämään sukeltajan suorittamat tarkastustyöt näille alueille. (Collins Engineers, Inc 2010, 4-17.)

2.5 Pistepilvimateriaalin jälkikäsittely

Skannerin tuottaman pistepilvimateriaalin jälkikäsittely on keskeinen osa prosessia ja usein kestoaltaan jopa kenttätyövaihetta pidempi. Jälkikäsittelyssä materiaali puhdistetaan, ja eri asemapaikkojen pistepilvet yhdistetään toisiinsa. Työ suoritetaan erillisillä pistepilvimateriaalin käsittelyyn tarkoitetuilla ohjelmistoilla, joista löytyy lukuisia kaupallisia sovelluksia.

Eri asemapaikkojen pistepilvissä on pistejoukkoja, jotka hankaloittavat materiaalin käsittelyä ja jopa peittävät oleellista informaatiota. Osa poistettavista pisteistä on syntynyt olemassa olevista objekteista, esimerkiksi laitekaapeleista,

jotka kulkevat laitteen mittausalueen läpi. Osa taas on syntynyt erilaisista häiriöistä ja heijastumista esimerkiksi vedenpinnan vaikutuksesta. Kuva 4 esittää saman asemapaikan pistepilven ennen ja jälkeen puhdistusprosessin.



Kuva 4. Saman asemapaikan pistepilvi ennen ja jälkeen puhdistusprosessin

Yhtenäisen 3D-kuvan saamiseksi eri asemapaikoilta tuotetut pistepilvet on yhdistettävä toisiinsa. Tätä varten eri asemapaikkojen peittoalueiden on limityttävä keskenään, jotta yhdistämistä varten vaadittavat rekisteröintipisteet kyetään määrittelemään. Rekisteröintipisteinä voidaan käyttää skannauskohteessa olevia selvästi erottuvia pistejoukkoja tai kenttätyövaiheessa erikseen asennettuja nk. tähyksiä. Yhdistettävistä pistepilvistä on kyettävä löytämään vähintään kolme rekisteröintipistettä.

3 Perinteiset sukellustarkastukset

3.1 Tarkastustöiden tarve ja perusteet

Tiehallinto (nyk. Liikennevirasto) julkaisi 2009 erillisen ohjeistuksen koskien siltojen sukellustarkastuksia. Ohjeistuksen laadinta koettiin tarpeelliseksi, koska siltojen ylläpidossa päätettiin panostaa sukellustarkastuksiin ja siten kartoittaa riskialttiit sillat. (Tiehallinto 2009, 5.)

Sillan vedenalaisiin rakenneosiin kuuluvat perustusrakenteet sekä maa- ja välitukien alaosat. Siltapaikan rakenteista etuluiskien ja keilojen alaosat ja eroosiosuojaukset ovat myös usein vedenalaisrakenteita. (Tiehallinto 2009, 9.)

Vedenalaiset rakenteet tulisi tarkastaa rakennustyön aikana, takuutarkastusten yhteydessä sekä sillan käyttöajan kuluessa tietyin väliajoin. Vanhan sillan kunto on myös selvitettävä suunniteltaessa korjaus- tai muutostöitä. (Tiehallinto 2009, 9.)

Määräaikaistarkastusten aikataulu määritellään siltakohtaisesti riippuen siltapaikan olosuhteista. Tarkastusten tiheyteen vaikuttavia seikkoja ovat veden virtausnopeus, kohteen tulvariski, suppopatojen muodostumismahdollisuus, maaperän eroosioherkkyys, perustamissyvyys, veden laatu, vesiliikenne sekä aikaisempien tarkastusten yhteydessä mahdollisesti havaitut vauriot. Näiden olosuhde- ja riskitekijöiden pohjalta arvioidaan sillat, joiden vedenalaisten osien vaurioitumisriski on suuri. Riskialttiiksi määritellyille kohteille sukellustarkastus tulee suorittaa vähintään 10 vuoden välein. (Tiehallinto 2009, 9.)

3.2 Tyypillisiä tarkastuksissa havaittuja vaurioita

Tyypillisiä sukellustarkastuksissa havaittuja vaurioita ovat virtaavan veden aiheuttamat eroosiovauriot, joiden syynä voi olla uoman eroosioherkkyys ja siihen nähden riittämätön eroosiosuojaus tai perustusten alun perin riittämätön perustamissyvyys. Eroosion aiheuttajina voivat olla myös liian lähelle ulotetut ruoppaukset tai uoman suhteellisen virtausnopeuden kasvu johtuen uoman virtausaukon supistumisesta. (Tiehallinto 2009, 10.)

Tyypillisiä vaurioita ovat myös vedenalaisena valuna toteutettujen perustusrakenteiden vauriot. Valun yhteydessä betoni on erottunut sideaineen huuhtoutuessa pois, mistä aiheutuu valuvikoja ja syöpymiä. Vedenalaisena valuna toteutetun peruslaatan ja pilarin liitoskohdissa havaitaan usein ongelmia. (Tiehallinto 2009, 10.)

Vedenpinnan vaihteluväli on vaurioille altis alue johtuen betonin pakkasvaurioista ja mahdollisen liikkuvan jään aiheuttamasta mekaanisesta rasituksesta. Vauriotyypit vahvistavat toisiaan, koska karkea betonipinta on alttiimpi pakkasvaurioille ja pakkasvaurion rapauttama pinta on taas herkempi kulumiselle (Tiehallinto 2009, 10).

Tyypillisenä ongelmana mainitaan myös betonipinnassa näkyvillä olevat raudoitusteräkkeet. Ellei syvää rapautumista ole havaittavissa, syynä on todennäköisesti raudoituksen liikkuminen valutyön aikana. (Tiehallinto 2009, 10.)

Mahdollisia löytyviä vaurioita ovat myös betonin halkeamat, jotka voivat johtua muun muassa rakenteiden liikkeistä, mitoitusvirheistä, lämpöliikkeistä tai huonolaatuisesta rakennustyöstä (Tiehallinto 2009, 10).

Sukellustarkastusten yhteydessä havaitaan usein myös muita puutteita varsinaisten vaurioiden lisäksi, esim. vedenalaiset muotit ovat jääneet osittain tai kokonaan purkamatta. Siltapaikalla pohjassa on usein rakennusjätettä ja pahimmillaan uomaa on jopa raivattava, jotta tarkastuksia päästään suorittamaan. (Tiehallinto 2009, 10.)

3.3 Työturvallisuus ja pätevyysvaatimukset

Sukellusryhmän vahvuus on pääsääntöisesti kolme henkilöä. Ryhmään kuuluu sukeltaja, pinta-avustaja ja turvasukeltaja. Käytännössä ko. tehtävät kiertävät ryhmän sisällä.

Ryhmän vedenalaista työtä tekevilla jäsenillä tulee olla Työministeriön päätöksen 674/1996 mukainen kevyt- tai ammattisukeltajan pätevyys.

Jokaiselle työkohteelle laaditaan Valtioneuvoston asetuksen 1088/2011 3 §:n mukainen työturvallisuussuunnitelma:

Työnantajan on tehtävä sukellustyötä varten työturvallisuuslain (738/2002) 10 §:n 1 momentissa tarkoitetun työn ja työympäristön vaarojen selvittämisen ja arvioinnin perusteella työpaikka- ja työvaihekohtainen kirjallinen turvallisuussuunnitelma.

Turvallisuussuunnitelmasta tulee tarpeellisessa laajuudessa ilmetä 1 momentissa tarkoitetun arvioinnin sisältö ja turvallisuuden varmistamiseksi tehtävät toimenpiteet seuraavista asioista:

- 1) työn ja työolosuhteiden erityisvaatimukset;*
- 2) työntekijöiden pätevyys- ja ammattitaitovaatimukset;*
- 3) sukellusryhmän turvallinen kokoonpano;*
- 4) käytettävät sukelluslaitteet ja muut työvälineet;*

5) pelastautuminen, yhteydenpito, ensiapu ja muu toiminta onnettomuustilanteissa;

6) muut työntekijän terveyteen ja turvallisuuteen vaikuttavat tekijät.

Turvallisuussuunnitelma on tehtävä ymmärrettävässä muodossa ja käsiteltävä asianosaisten työntekijöiden kanssa. Turvallisuussuunnitelma on pidettävä ajan tasalla. (Valtioneuvoston asetus 1088/2011.)

Sukellustarkastuksiin on nimettävä päätarkastaja, jolta edellytetään voimassa olevaa Liikenneviraston siltatarkastajan pätevyyttä (Tiehallinto 2009, 14). Päätarkastajan ei täydy kuulua sukellusryhmään, vaan hän voi olla esimerkiksi kohteen erikois- tai yleistarkastusta suorittavan yrityksen vastuuhenkilö. Päätarkastajan ei tarvitse olla siltapaikalla sukellustarkastusten aikana (Tiehallinto 2009, 14).

Päätarkastaja vastaa tarkastussuunnitelman laadinnasta yhteistyössä sukellusryhmän kanssa sekä tarkastustulosten raportoinnista ja tietojen päivittämisestä siltarekisteriin (Tiehallinto 2009).

3.4 Sukellustarkastuksen sisältö ja tutkimustavat

Tarkastuksiin kuuluvat tarkastussuunnitelman laadinta, sillan vedenalaisten rakenteiden tarkastaminen näkö- tai tuntohavainnoin, mittaukset vaurioiden sijainnin ja laajuuden selvittämiseksi, vaurioiden valo- ja videokuvaus sekä tarkastustulosten raportointi. Lisäksi voidaan suorittaa erikoistutkimuksia, kuten kimmovasaramittauksia ja näytteidenottoja. (Tiehallinto 2009, 14.)

Käsin koskettelemalla ja sopivalla työkalulla koputtelemalla tehtävien havaintojen merkitys korostuu kohteissa, joissa näkyvyysolosuhteet ovat erittäin huonot. Mahdollisten vaurioiden mittaus suoritetaan käsimitoituksena esimerkiksi mittatankoa tai teleskooppimittaa käyttäen. Laajempien vaurioiden ja rakenneosien mittaukseen voidaan käyttää kahta sukeltajaa. (Tiehallinto 2009, 14.)

Vauriot kirjataan ylös sukellustarkastuksen aikana ja niistä laaditaan vauriokartta suunnitelmapiirustusten kopioihin. Vauriokohdat valokuvataan ja mahdollisuuksien mukaan videoidaan. Videomateriaaliin liitetään selostus kuvattavasta kohteesta. (Tiehallinto 2009, 14.)

4 Työkohteiden esittely

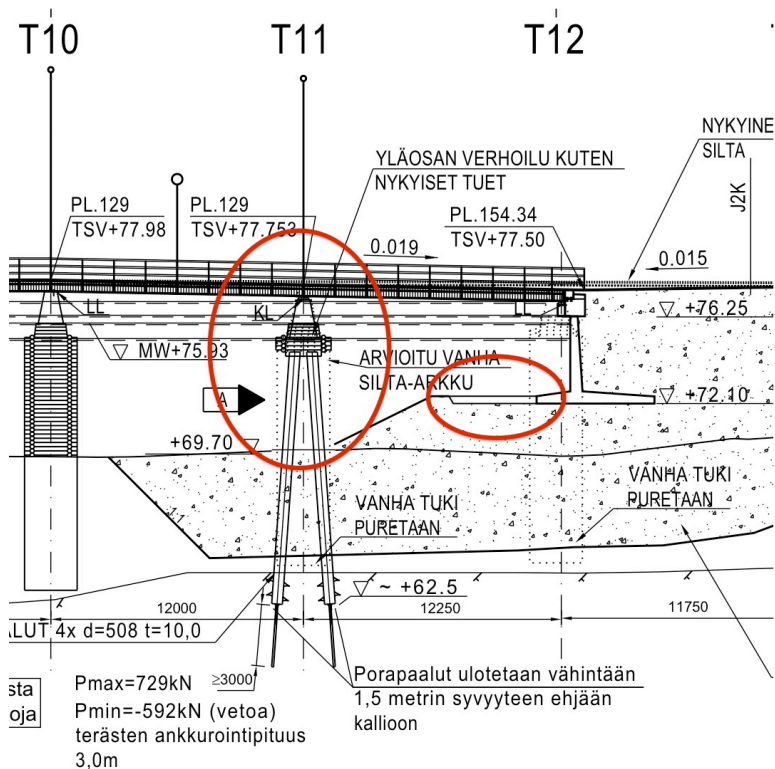
4.1 Kasinosaaren silta T11

Kasinosaaren sillan välituki T11 on perustettu porapaaluille, jotka ovat täytön sisällä (kuva 5). Vesisyvyys kohteella keskivedenkorkeuden (MW) mukaisesti on noin 1,9 m. Välituen anturan leveys on 1700 mm ja pituus 3700 mm. Anturan alapinta on korossa +74.345 ja sen yläpinta korossa +75.145. Välituki on rakennettu vuonna 2011.

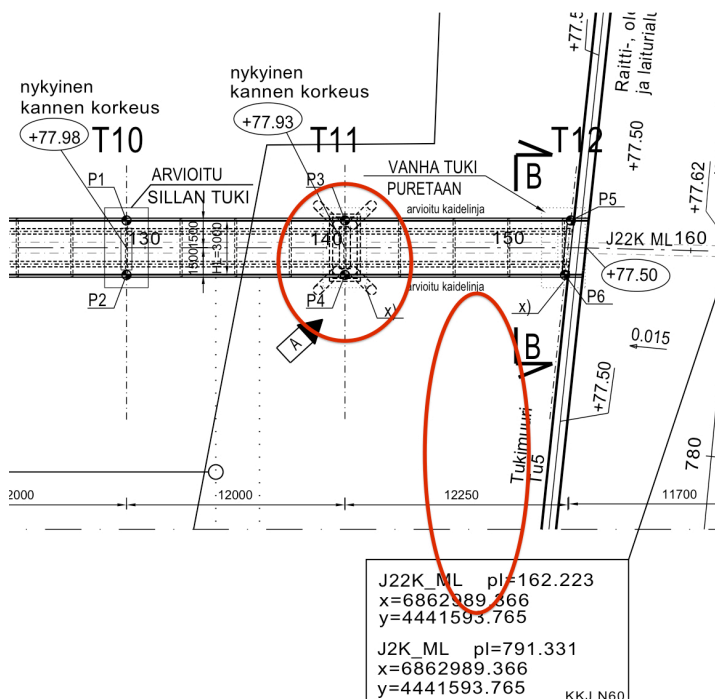
4.2 Koululahden laiturin eroosiolaatta

Koululahden laiturin eroosiolaatta on vedenalaisena betonivaluna toteutettu rakenne, jonka tehtävänä on estää laiturin välittömässä läheisyydessä olevan pohjataso massojen siirtyminen alusten potkurivirtojen seurauksena.

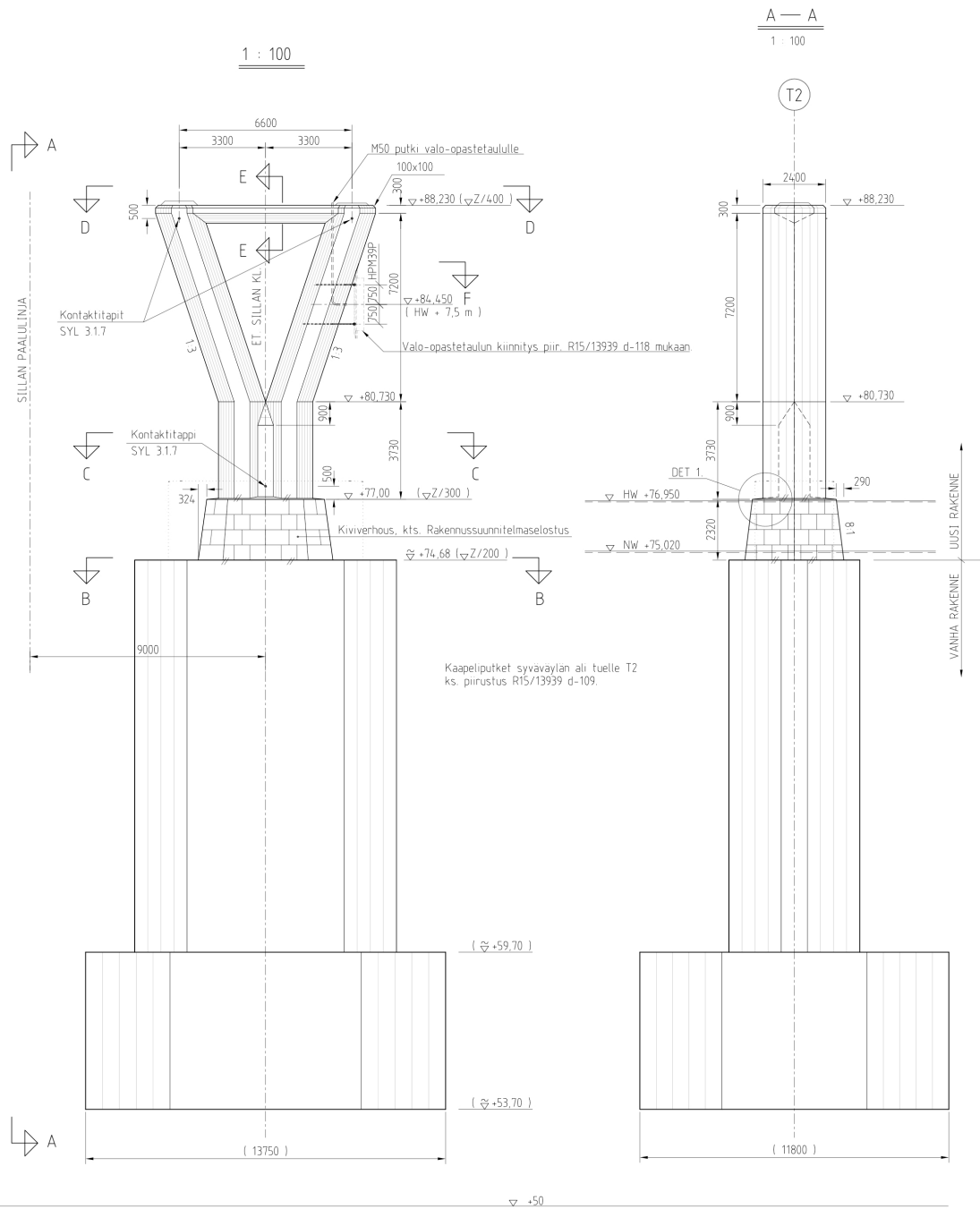
Eroosiolaatta ulottuu saatujen suunnittelutietojen perusteella noin 4,0 m kulmatukimuurielementtien (TU5) kantaosan etureunan ulkopuolelle (kuva 5). Eroosiolaatan tarkastettavan osuuden kokonaispituus on noin 60 m (kuva 6). Vesisyvyys kohteella keskivedenkorkeuden (MW) mukaisesti on noin 3,5 m. Eroosiolaatta on rakennettu laiturin yhteydessä vuonna 2011.



Kuva 5. Kasinosaaressa sillan välituki T11 sekä Koululahden laiturin eroosiolaatta ympäröitynä (Insinööritoimisto Pontek Oy 2007)



Kuva 6. Kasinosaaressa sillan välituki T11 sekä Koululahden laiturin eroosiolaatta ympäröitynä (Insinööritoimisto Pontek Oy)

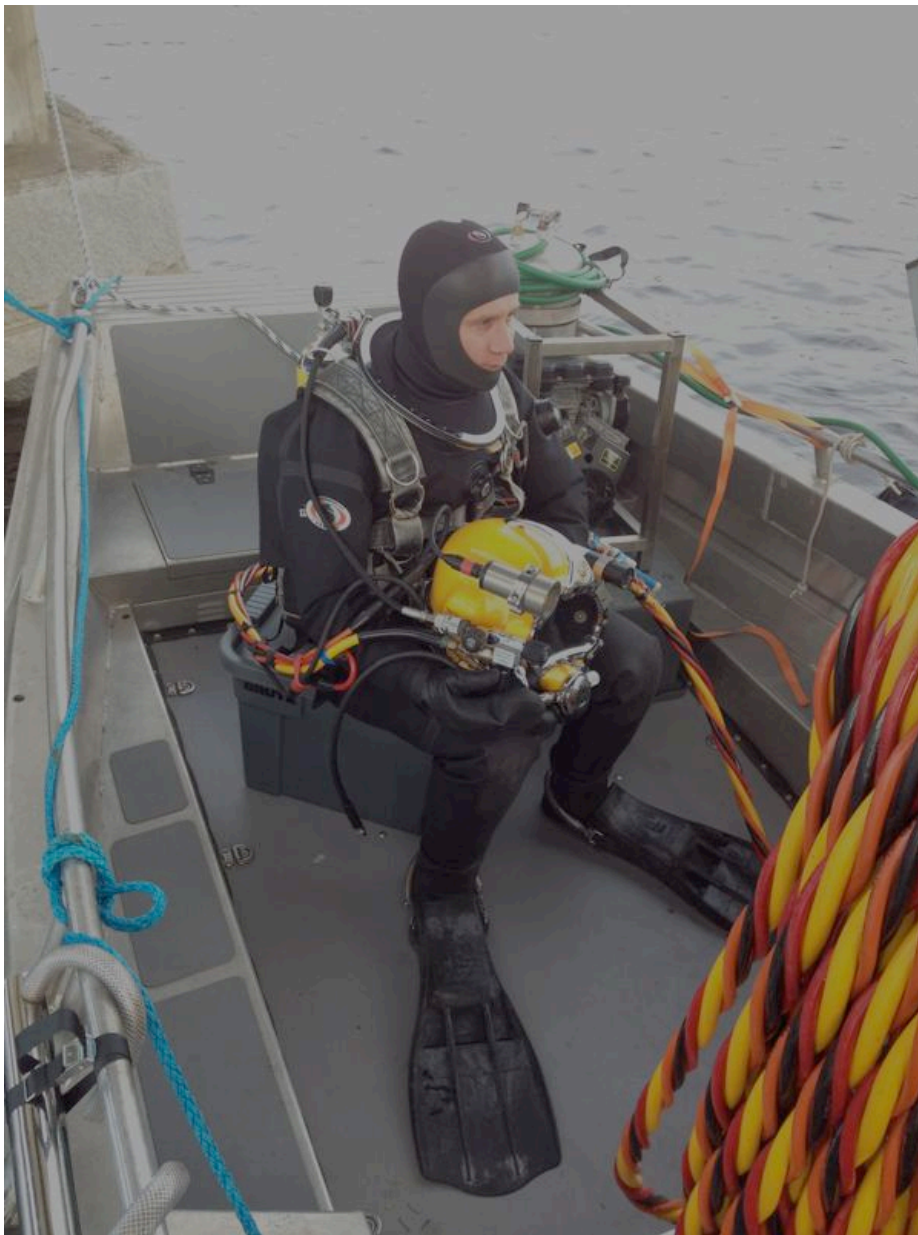


Kuva 8. Kyrönsalmen eteläisen maantiesillan välituki T2 (Insinööritoimisto Pontek Oy 2007)

5 Kenttätöiden suorittaminen

5.1 Sukellustarkastukset

Kohteista saatuihin teknisiin kuviin tutustuttiin sukellustarkastuksia suunniteltaessa ja määriteltiin keskeisimmät tarkastettavat alueet. Sukellustoiminnasta kohteella laadittiin asiakkaalle Valtioneuvoston asetuksen 1088/2011 mukainen työturvallisuussuunnitelma. VTS-palveluun (Vessel Traffic Service) tehtiin tiedustelu alusliikenteestä Kyrönsalmen väyläalueen osalta ja ilmoitus sukellustoiminnasta (kuva 9).



Kuva 9. Sukellustoimintaa, Kyrönsalmi eteläinen maantiesilta välituki T2

Sukellustarkastusten yhteydessä rakenteet videoitiin sekä mittatietoa kerättiin perinteisenä sukeltajan suorittamana työnä. Syvyystiedot mitattiin sukellustietokoneella ja muutettiin keskivedenkorkeuden MW mukaisiksi. Tarkastustiedot merkittiin teknisistä kuvista tulostettuihin leikkeisiin.

Sukellustarkastusten yhteydessä kohdealueiden ympäristö viistokaikuluodattiin skannaustyön työsuunnitelman pohjaksi. Näin pyrittiin keräämään tietoa muun muassa skannerin asemapaikkojen ennakkosuunnittelua varten.

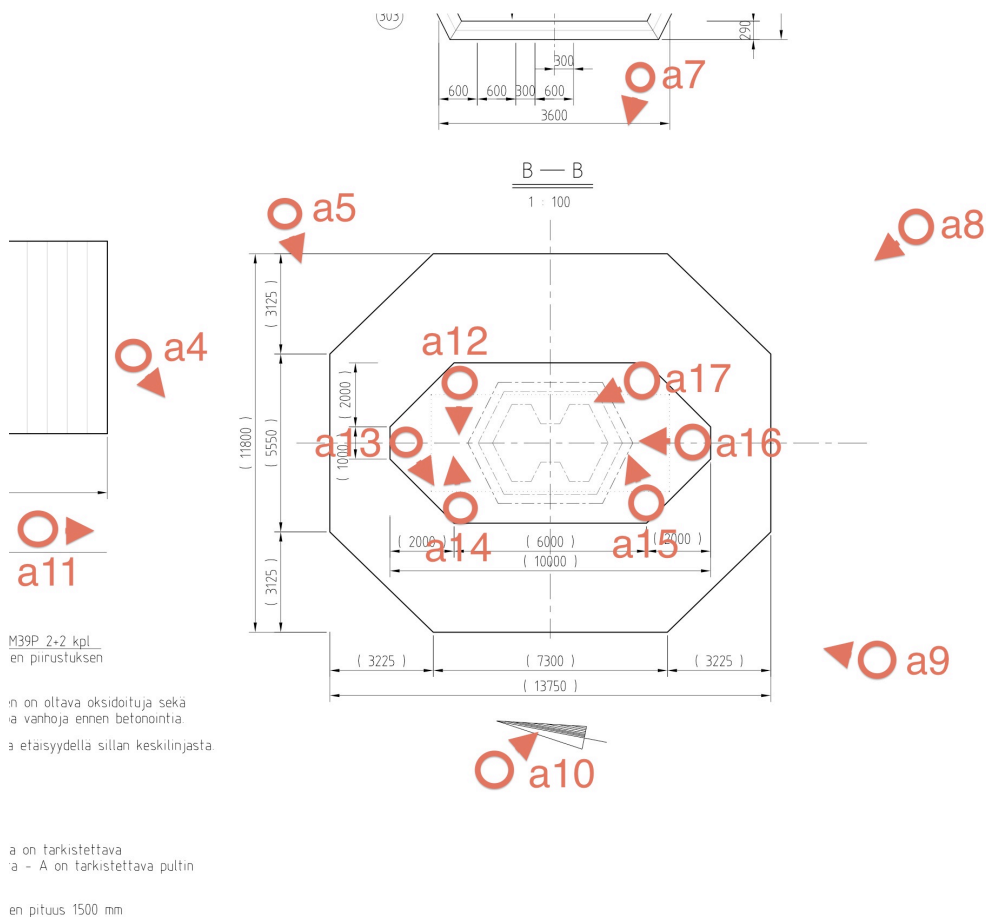
5.2 Skannaustyöt

Tilaajan määrittelemät kohdealueet skannattiin sukellustarkastusten jälkeen tehdyn suunnitelman mukaisesti. Ennen töiden aloittamista VTS-palveluun (Vessel Traffic Service) tehtiin tiedustelu alusliikenteestä Kyrönsalmessa ja ilmoitus työskentelystä alueella.

Jokaisen asemapaikan materiaali käytiin läpi välittömästi työkohteella, jotta mahdolliset virheet ja katvealueet kyettäisiin poistamaan suorittamalla skannaus kyseiseltä asemapaikalta uudelleen.

Tarkempi laitteen asemapaikkojen valinta tehtiin käyttäen apuna edellisen asemapaikan materiaalia. Näin kyettiin valitsemaan esimerkiksi pohjasta tasainen esteetön sijoituspiste.

Laitteen asemapaikat merkittiin piirustusleikkeisiin (kuva 10) ja tallennettavat pistepilvitiedostot nimettiin asemapaikkojen mukaisesti materiaalin jatkokäsittelyn nopeuttamiseksi.



Kuva 10. Kyrönsalmen eteläisen maantiesillan välituki T2:n asemapaikat merkattuna piirustukseen.

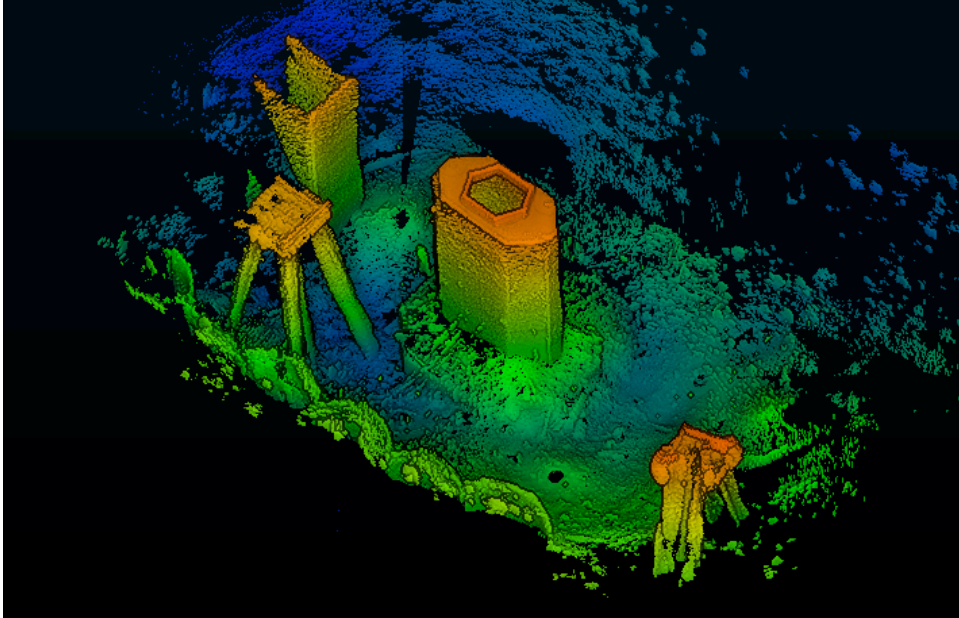
6 Sukellustarkastuksen ja skannauksen vertailu

Vertailtaessa sukellustarkastusten ja skannaamalla suoritettujen tarkastusten tuloksia keskenään keskityttiin tutkimaan kohteiden yksityiskohtien ja vaurioiden havaittavuutta sekä yleiskuvan muodostumista.

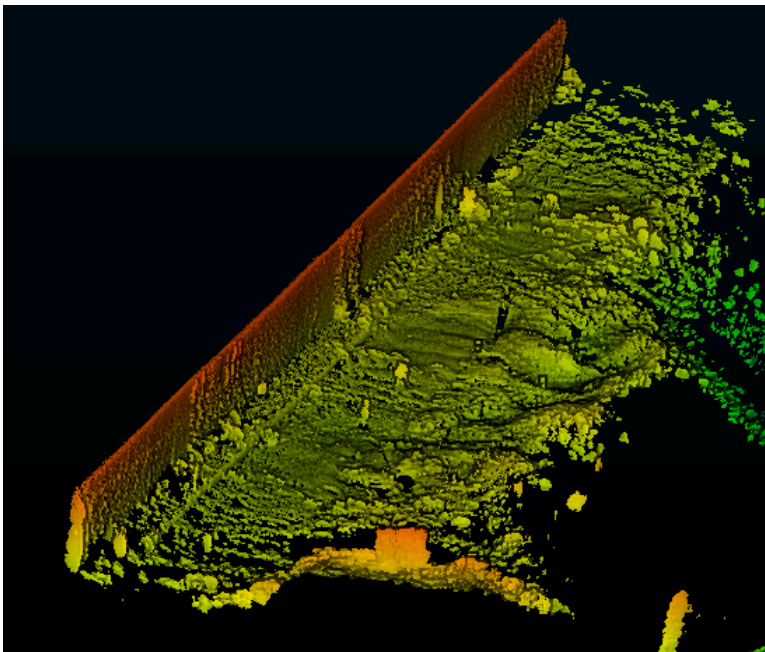
6.1 Kohteen yleiskuvan muodostuminen

Kohteiden yleiskuvan hahmottamiseen skannausmenetelmä todettiin sukellustarkastuksia tehokkaammaksi. Sukellustarkastuksin mittaamalla ja videoimalla ei päästä samaan tarkkuuteen ja kattavuuteen. Tämä korostui etenkin Kyrönsalmen eteläisen maantiesillan välituella T2, koska sukellussyvyys kohteella oli suurin ja kohde mitoiltaan laajin. Skannausmateriaalista saadaan hyvä yleiskuva koko välituen T2 anturan ympäristöstä sekä itse välituesta (kuva 11). Koulu-

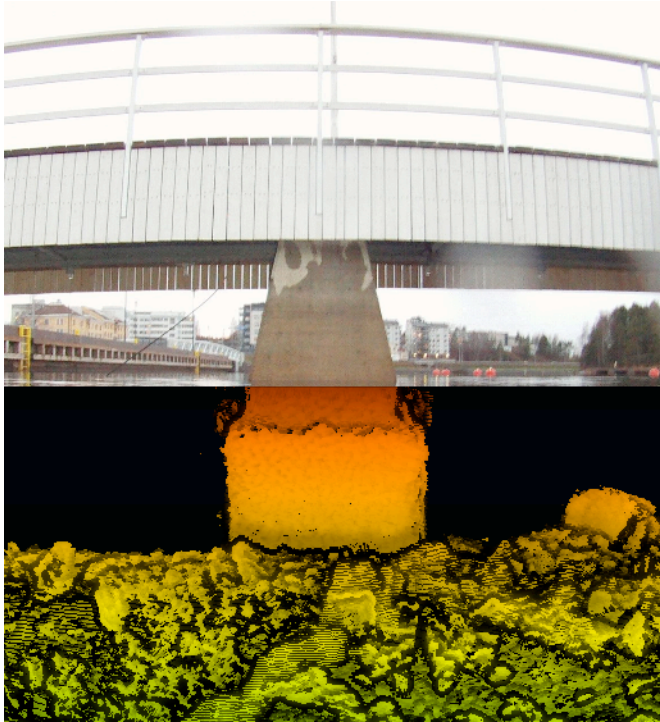
lahden laiturin eroosiolaatan osalta skannausmateriaalista (kuva 12) voitiin mitata laatan ulottuma kulmamuurielementtien ulkoreunasta ja todeta laatan pinnanmuodot. Kasinosaaren sillan välituesta T11 voitiin skannausmateriaalista (kuva 13) havaita anturan korkeuden osalta poikkeama käytössämme olleisiin suunnitelmapiirustuksiin.



Kuva 11. Kyrönsalmen eteläisen maantiesillan välituki T2 ympäristöineen, yhdistetty pistepilvi



Kuva 12. Koululahden laiturin eroosiolaatta, yhdistetty pistepilvi



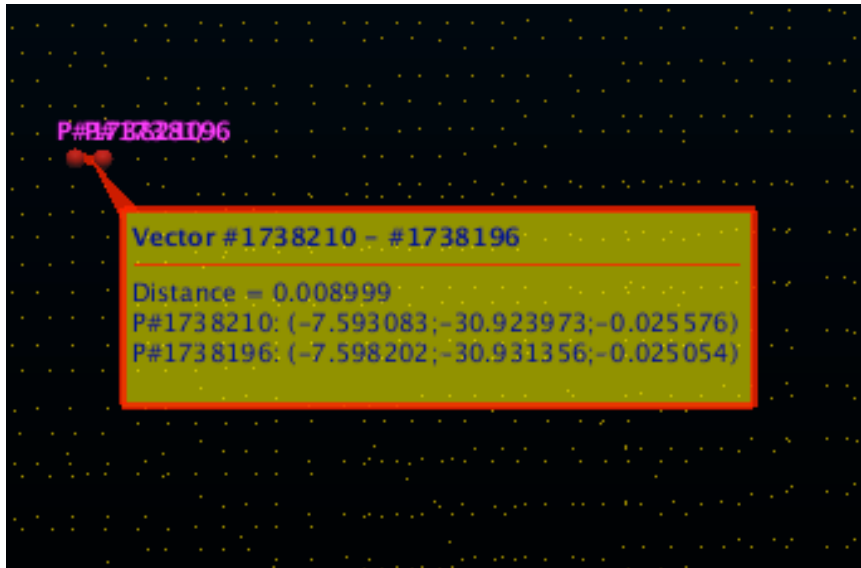
Kuva 13. Kasinosaaren sillan välituki T11, skannauskuva ja valokuva yhdistettynä

6.2 Kohteen yksityiskohtien ja vaurioiden havaitseminen

Verrattaessa yksityiskohtien havaittavuutta molemmilla tarkastusmetodeilla todettiin, ettei pistepilvimateriaalista pysty varmuudella erottamaan pienehköjä betonipinnan vaurioita. Kuvassa 14 on esitetty anturan vedenalaisessa betonivalussa erottunut kerros, jota ei havaittu pistepilvimateriaalista. Pistepilven resoluutioksi todettiin noin 7 m käyttöetäisyydellä noin 9 mm (Kuva 15).

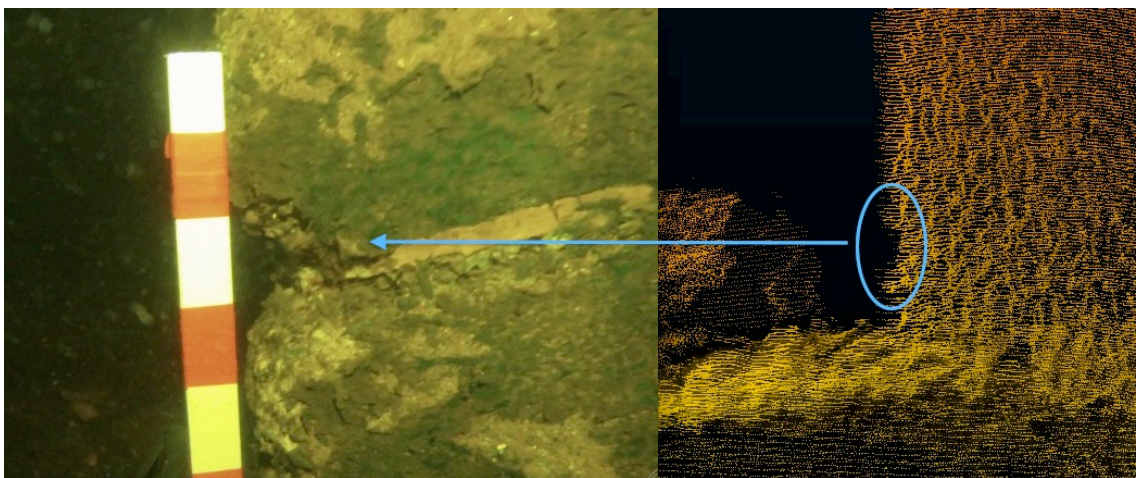


Kuva 14. Pistepilvimateriaalissa huomaamaton erottunut kerros betonivalussa, Kasinosaaren silta välituki T11

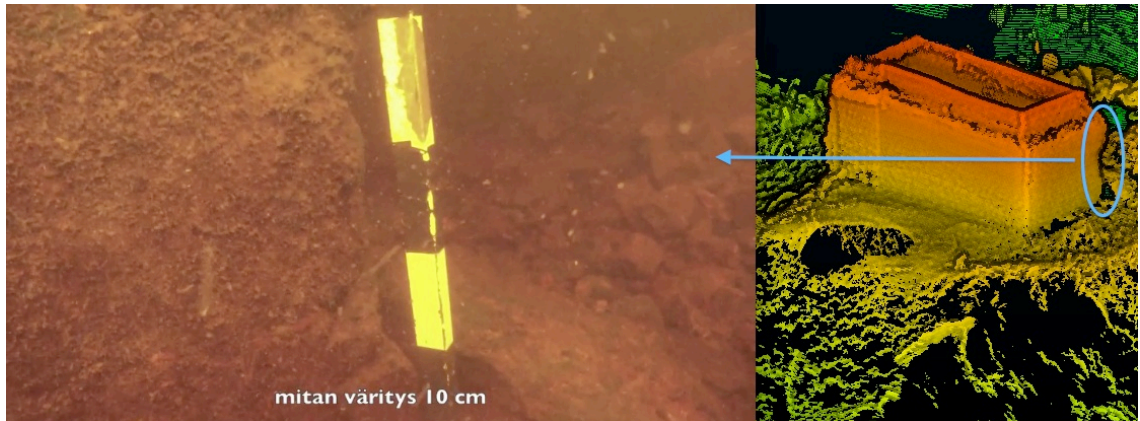


Kuva 15. Pistepilven resoluutio laitteen käyttötäisyyden ollessa noin 7 m

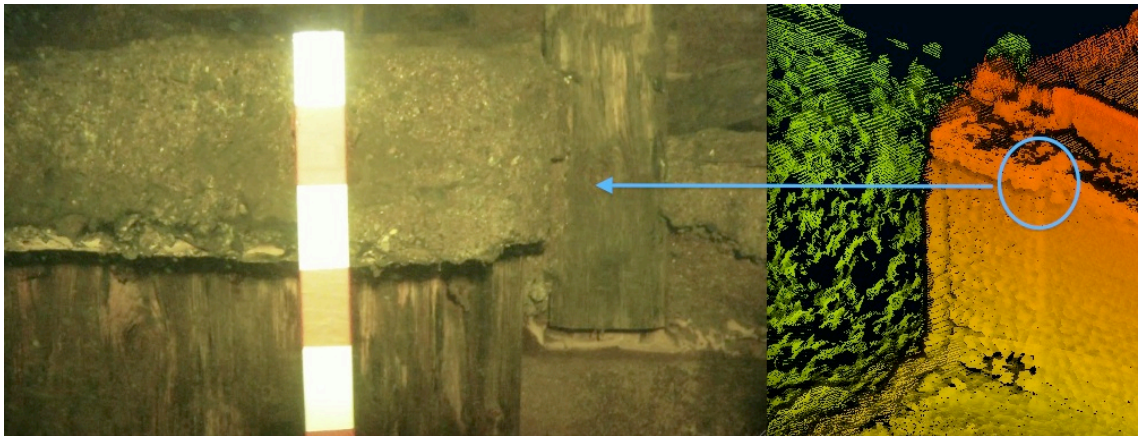
Suuremmat vauriokohdat sen sijaan ovat havaittavissa pistepilvimateriaalista. Kuvat 16, 17 ja 18 osoittavat sukellustarkastuksen yhteydessä kuvatun videon ja pistepilvimateriaalin vertailun kolmessa yksityiskohdassa Kasinosaaren sillan välituessa T2. Kuvissa vasemmalla on kuvakaappaus videosta ja oikealla skannerin tuottama pistepilvikuva. Kuvassa 16 on nähtävissä erottuneen kerroksen vuoksi lohjennut anturan nurkka, mitan väritys on 5 cm. Kuvassa 17 on pistepilvessä oikealla selkeästi erottuva lohkeama anturan nurkassa. Kuvassa 18 on havaittavissa purkamaton muottia ja ylimääräistä betonia anturan yläreunassa.



Kuva 16. Erottuneen kerroksen vuoksi lohjennut anturan nurkka, Kasinosaaren silta välituki T11



Kuva 17. Lohkeama anturan nurkassa, Kasinosaaren silta välituki T11

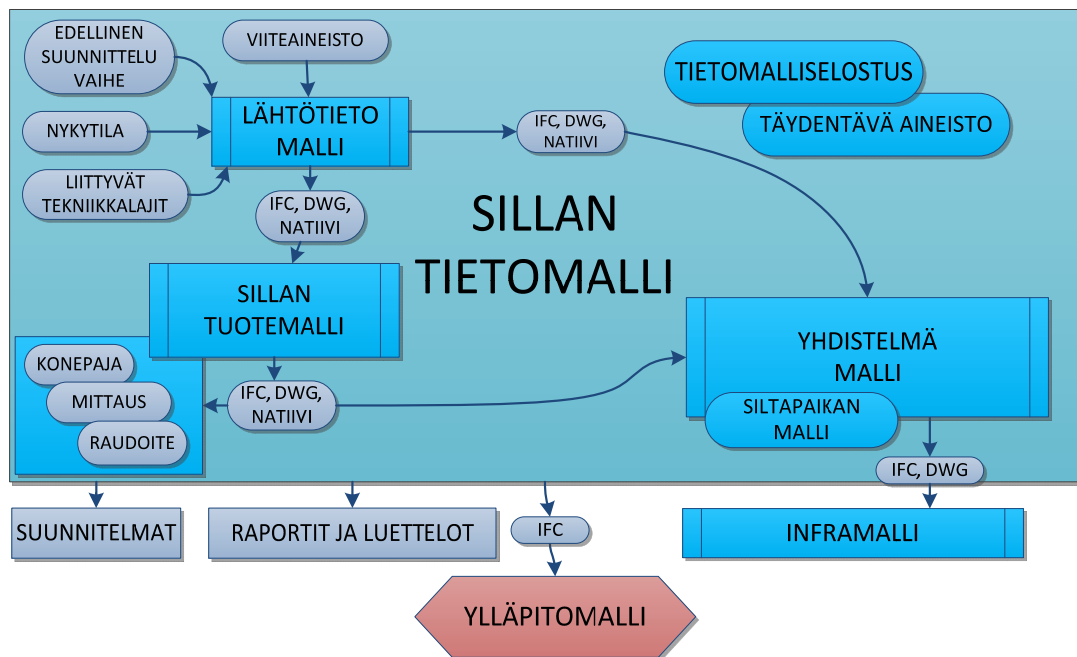


Kuva 18. Ylimääräistä betonia ja purkamatonta muottia anturan yläreunassa, Kasinosaaren silta välituki T11

7 Vedenalaisen 3D-skannauksen käyttömahdollisuudet tietomallintamisen eri tasoilla

7.1 Tietomalli

Tietomallilla tarkoitetaan koko rakenteen elinkaaren kattavaa digitaalisessa muodossa olevaa tietojen kokonaisuutta (kuva 19). Tietomalli sisältää useita osa-alueita, joissa esimerkiksi vesistösilta-kohteella vedenalaista 3D-skannausta voidaan hyödyntää.



Kuva 19. Tietomallin muodostuminen (Liikennevirasto 2014)

Käynnissä on useita uusien taitorakenteiden mallinnuspilotteja, ja Liikennevirasto on laatinut oman siltojen tietomalliohjeensa, joka käsittelee sillan tietomallintamista aina suunnitteluvaiheesta toteutumamallin luomiseen saakka. Tietomallit palvelevat koko rakenteen elinkaaren ajan: suunnittelussa, rakentamisessa ja ylläpidossa. Tavoitteena on tuottavuuden ja laadun parantuminen.

7.2 Suunnitteluvaihe

Tulevilta vesistösilta- ja silta-alueilta skannattua materiaalia voidaan käyttää esisuunnitteluvaiheen lähtötietomallissa. Vedenalainen uoman 3D-malli voidaan yhdistää pinnanpäälliseen maastomalliin. Vedenalainen skannausmateriaali esittää myös mahdolliset olemassa olevat rakenteet.

Mallintamista käytetään silta- ja silta-alueissa I-II. Esisuunnitteluvaiheessa mallintaminen on tarkkuudeltaan luonnoksen tasolla, ko. vaiheessa mallinnetaan tukilinjat, hyödyllinen leveys ja aukkovaatimukset. (Liikennevirasto 2014.)

Samaa vedenalaista pistepilvimateriaalia voidaan hyödyntää vietäessä suunnittelua eteenpäin yleis- ja siltasuunnittelun kautta kohti rakennesuunnittelua.

7.3 Rakentamisen ohjaus ja laadunvarmistus

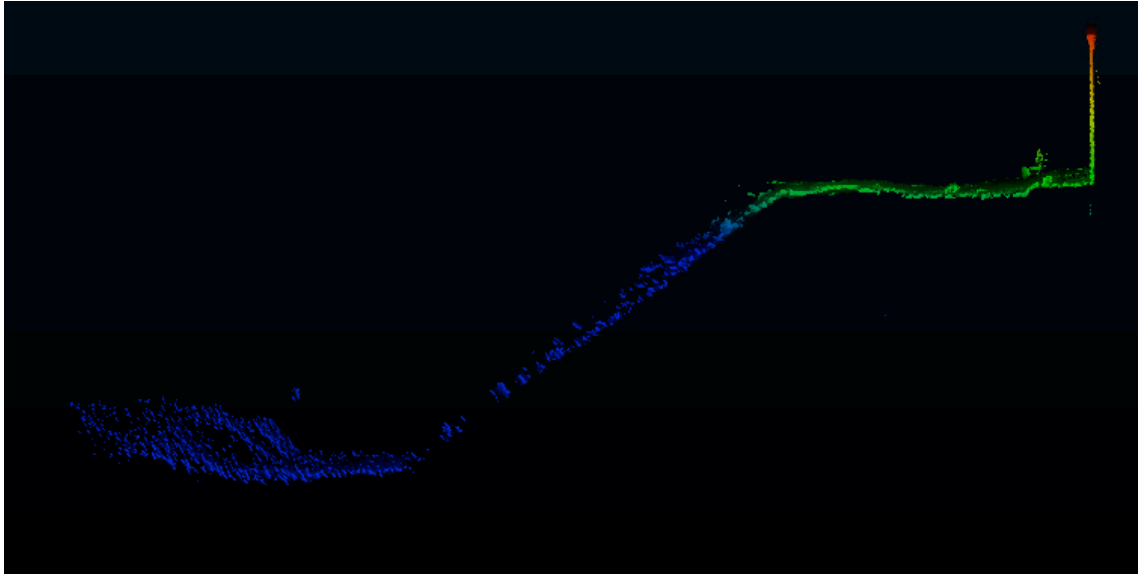
Kun kohteen rakennustyöt ovat käynnissä, vedenalaista 3D-skannausta voidaan käyttää laadunvarmistusmenetelmänä ja esimerkiksi sellaisten rakenneosien dokumentointiin, joiden tarkastelu ei ole enää myöhemmin mahdollista. Tällaisia rakenneosia ovat esimerkiksi täyttöjen sisään jäävät perustukset.

Toteumamalli voidaan mitata laserkeilaamalla silta ja siltapaikan geometria kolmiulotteisesti riittävällä tarkkuudella (Liikennevirasto 2014). Valmiin siltakohteen vedenalaisen skannauksen tuottama materiaali palvelee toteumamallin luomista. Vedenalainen pistepilvi voidaan yhdistää kohteen toteumamallia varten suoritettun laserkeilauksen pistepilvimateriaaliin. Verrattaessa toteumamallia suunniteltuun tuotemalliin saadaan käsitys poikkeamista (Liikennevirasto 2014).

7.4 Ylläpitovaihe ja korjaussuunnittelu

Tietomallintamisen avulla siltojen ylläpidossa voidaan saavuttaa suuria hyötyjä. Ylläpitomalli laaditaan käyttäen pohjana suunnitelma- ja toteumamalleja. Ylläpitomallin tulee noudattaa mahdollisimman tarkasti todellisen siltapaikan tilannetta. (Liikennevirasto 2014.)

Ylläpitovaiheessa vedenalaista pistepilvimateriaalia voidaan käyttää vesistösilta-kohteen ylläpitomallin luomiseen sekä rakenteen kunnon seurantaan myöhemmissä tarkastuksissa aineistoa vertailemalla ja päivittämällä siihen uudet tarkastustulokset. Uomasta tai penkereestä saadaan pistepilvimateriaalista leikkauskuvat (kuva 20), joita voidaan hyödyntää eroosion seuraamisessa.



Kuva 20. Koululahden laiturin vedenalaisen osan poikkileikkaus, kulmatukimuur, eroosiolaatta ja täyttöpenger

Ajantasaista tarkastusten yhteydessä tuotettua vedenalaista pistepilvimateriaalia voidaan hyödyntää korjaussuunnitelmamallia edeltävään lähtötietomalliin.

Vedenalaisen pistepilvimateriaalin käyttösovellukset korjaussuunnittelussa sisältävät materiaalin pidemmälle vietyä jatkokäsittelyä kuten mallintamista, jota tässä opinnäytetyössä ei ole käsitelty. Olemassa olevat rakenteet, joita ei poisteta, kyetään mallintamaan vedenalaisesta pistepilvimateriaalista. Pohjatason alapuolella piilossa olevat rakenteet voidaan mallintaa mitattavissa olevien rakenteiden pistepilven jatkoksi. Vanhaan rakenteeseen voidaan mallintaa esimerkiksi tartuntaterästen reiät.

8 Yhteenveto ja päätelmät

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia 3D-skannauksen toimintaa ja mahdollisuuksia vedenalaisrakenteiden tarkastuksissa. Tässä kirjallisessa osassa on kuvattu prosessi taustatietojen selvittämisestä ja laitetekniikkaan perehtymisestä kenttätöiden kautta aina valmiiseen pistepilvimateriaaliin saakka. Skannausmenetelmää on vertailtu perinteiseen sukellustarkastukseen ja kerrottu skannausmenetelmän käyttömahdollisuuksista. Tässä viimeisessä omaa pohdintaa kertovassa luvussa jäsennellään opinnäytetyötä tehdessä heränneitä ajatuksia sekä esite-

tään hahmotelmia sukellustarkastuksiin hankitun tiedon yhdistämisestä pistepilvimateriaaliin.

Pistepilvimateriaalin tuottaminen, käyttö ja tulkinta vaatii tekijältään useiden kohteiden tuomaa kokemusta. Emme päässeet tässä opinnäytetyössä esityksissä kohteissa vielä parhaaseen mahdolliseen saavutettavissa olevaan lopputulokseen. Työmenetelmän käyttökokemuksen karttuminen oli huomattavissa kuitenkin koko kenttätyövaiheen ajan. Meillä ei ollut minkäänlaista aikaisempaa kokemusta pistepilvimateriaalin käsittelystä eikä sen tuottamisesta, joten kyseessä oli uuden työtavan käyttöönottoon liittyvä oppimisprosessi. Pieneltä erikoisosaamista vaativalta alalta valmiin pohjatiedon ja ohjeistuksen saaminen on hankalaa, ja kenttätöitä edeltävä itseopiskelu perustui pääasiassa internetlähteiden kriittiseen tutkintaan. On ymmärrettävää, että se, jolla on aiheeseen liittyvää praktiikkaa, ei lähde omaa ammattitaitoaan helposti toisille jakamaan.

Tässä opinnäytetyössä kuvatun prosessin jälkeen olemme aivan eri tasolla lähtien liikkeelle skannaustyön vaatimien ajallisten resurssien ja kenttätyön toteuttamisen suunnittelusta. Osaamme hahmottaa pistepilvimateriaalin käsittelyn ja eri asemapaikkojen limittyvien pistepilvien yhdistämisen ongelmakohdat, ja voimme kiinnittää niihin huomiota jo kenttätyövaiheessa esimerkiksi skannerin asemapaikkojen valinnalla. Opinnäytetyö pakotti ottamaan selvää perustavanlaatuisista asioista, ja tästä tiedosta tulee olemaan hyötyä pyrittäessä skannausmenetelmällä saavutettavissa olevaan parhaaseen lopputulokseen. Opinnäytetyö toi myös uusien asiakokonaisuuksien äärelle alkaessani perehtyä tai torakenteiden tietomallintamiseen - käsitteenä tietomalli oli minulle aikaisemmin vieras.

Olen vakuuttunut skannausmenetelmän eduista, mutta sen hiominen ja käytännönläheinen tuotteistus tulevat vaatimaan merkittävää panostusta. Erilaiset kaukokartoitusmenetelmät ovat tulleet vedenalaisrakenteiden tarkastuksiin jäädäkseen; on vain osattava valita kuhunkin tarpeeseen sopivin vaihtoehto ja keskittyttävä sen hallintaan.

Skannausmateriaalista pyritään löytämään radikaalit vauriot ja rakenteiden mahdolliset siirtymät ja muodonmuutokset. Näin sukellustarkastusta vaativat

keskeiset kohteet kyetään paikallistamaan. Pienempien betonirakenteiden pintavaurioiden havaitseminen pistepilvimateriaalista on hankalaa, eikä tällaisten vaurioiden sukellustyönä suoritettavaa dokumentointia voida aukottomasti suunnitella skannaamalla tuotetun pistepilvimateriaalin perusteella.

On tärkeää kysyä itseltään, miksi jokin asia tehdään. Miksi skannataan ja tuotetaan pistepilvimateriaalia? Miksi suoritetaan sukellustarkastus? Miten nämä parhaiten tukevat toisiaan, ja mitä sellaista kummassakin toimintatavassa on, jota toisella ei kyetä tekemään?

Sukeltajan visuaalinen havainnointi riippuu näkyvyydestä. Näkyvyyden ollessa lähes nolla sukeltajan tarkastustyö perustuu pitkälti tarkastettavan kohteen tunnisteluun. Heikoissa näkyvyysolosuhteissa sukeltajan on vaikeaa tarkoin tietää sijaintiaan suhteessa tarkastuskohteeseen. Kokonaiskuvan saaminen ja ennen kaikkea sen esittäminen asiakkaalle on vaikeaa. Tämä korostuu entisestään tarkastettavan kohteen ollessa ulottuvuuksiltaan laaja ja työskentelysyvyyden kasvaessa. Tällöin skannerin käyttö puoltaa paikkaansa.

Skannaus mahdollistaa laajan mittatarkan tiedonhankinnan, jollainen ei ole sukellustarkastuksin mahdollista tai olisi ainakin erittäin aikaavievää. Pistepilvimateriaaliin voidaan aina palata jälkikäteen uusien pisteiden välisten etäisyyksien tai kulmien mittaamiseksi ja sitä voidaan käyttää vaikkapa mallinnuksen tai massalaskennan tarpeisiin tulevassa korjaussuunnittelussa.

Lisäksi skannausmenetelmä mahdollistaa tiedonkeruun myös sellaisilta alueilta, joilla sukeltajan suorittama tutkimus olisi riskialtista esimerkiksi sortumavaaran ja kiinnitarttumis- tai puristumisriskin takia. Tällöin skanneri voidaan asemoida turvallisen etäisyyden päähän.

Kun näkyvyysolosuhteet ovat hyvät, sukeltaja pystyy kuvaamaan hyvälaatuista videomateriaalia sekä havainnoimaan myös sellaiset betonirakenteen vauriot, joita skannerin erottelukyky ei riittä näyttämään. Tällaisia ovat esimerkiksi harvaksi jääneet kohdat betonissa, ns. rotankolot, pienet syöpymät ja halkeamat. Skannauksen ohella on tärkeää suorittaa myös sukellustarkastus, joka voidaan kohdentaa pistepilvimateriaalin selkeästi osoittamille ongelmakohtille. Samalla havainnoidaan myös rakenteen pistepilvimateriaalissa vauriottomilta vaikuttavat

alueet, ja mikäli näillä alueilla havaitaan esimerkiksi betonipinnan syöpymistä tai halkeamia, on sukeltamalla tehtävän tarkastustyön määrää kohteella lisättävä.

Parhaimmillaan yhdistettäessä skannaustyö ja sukellustarkastus 3D-mallista muodostuu tulevien pelkästään sukeltamalla tehtyjen tarkastusten ”kartta”, johon uudet havainnot merkitään. Luotu 3D-malli helpottaa tilaajan viestintää uusien tarkastusten tai kohteeseen liittyvien projektien suunnittelussa. Pinnalla sijaitsevan kohteen vierelle tilaaja, suunnittelija ja työn suorittaja voivat kävellä yhdessä, mutta kohteen sijaitessa veden alla on tilanne toinen.

Kun skannaustyö toistetaan, kyetään pistepilvet asettamaan vierekkäin esimerkiksi rakenteen vaurioiden laajenemista tai rakenteiden muodonmuutoksia seurattaessa. Penkereen tai uoman eroosiota pystytään seuraamaan pistepilvistä samoista kohdin otettujen leikkauskuvien perusteella.

Pohjoisissa vesissämme kesäaikaan vesimassa on usein syvyysuunnassa lämpötilaltaan erittäin kerrostunutta. Veteen syntyy niin kutsuttuja harppauskerroksia, jotka heijastavat ääntä ja aiheuttavat muutoksen äänen etenemisnopeuteen. Tässä opinnäytetyössä suoritettut skannaukset suoritettiin loppusyksystä, jolloin veden lämpötilaerot olivat pieniä, joten veden kerrostuneisuuden vaikutuksia kesäaikaan suoritettavaan skannaustyöhön ei voida arvioida.

Rakenteen tai rakenneosan vaurioituminen tapahtuu ajan, olosuhteiden ja lähtötilanteen yhtälönä. Näin ollen prosessin seuraaminen perustuu tietyn hetken mahdollisimman tarkkaan dokumentointiin. Kun tarkastusmateriaali kerrosteaan pitkältä ajanjaksolta kerätystä materiaalista ja aika liitetään 3D-malliin, syntyy 4D-malli.

Tavoittemme on keskittyä mahdollisimman tarkan pistepilvimateriaalin tuottamiseen selkeästi rajatuista vedenalaisista kohteista ja pyrkiä löytämään yhteistyössä asiakkaidemme kanssa tarkoituksenmukaisin sukellustarkastuksen ja skannaustyön yhdistelmä, jolla asiakkaan pyytämät tiedot kyetään hankkimaan (kuva 21).



Kuva 21. Huomioitavia seikkoja pyrittäessä hyvään vedenalaisrakenteen tarkastustulokseen

Kuvat

Kuva 1. Skannerin kiinnitys mastoon (Echoes and Images 2011), s. 7.

Kuva 2. Kohtauskulman ja muodon vaikutus äänen heijastumiseen (Echoes and Images 2011), s. 8.

Kuva 3. Akustisten varjojen syntyminen (Echoes and Images 2011), s. 9

Kuva 4. Saman asemapaikan pistepilvi ennen ja jälkeen puhdistusprosessin, s. 10.

Kuva 5. Kasinosaaren sillan välituki T11 sekä Koululahden laiturin eroosiolaatta ympyröitynä (Insinööritoimisto Pontek Oy 2007), s. 15.

Kuva 6. Kasinosaaren sillan välituki T11 sekä Koululahden laiturin eroosiolaatta ympyröitynä (Insinööritoimisto Pontek Oy 2007), s. 15.

Kuva 7. Kyrönsalmen eteläisen maantiesillan välituki T2 ympyröitynä (Insinööritoimisto Pontek Oy 2007), s. 16.

Kuva 8. Kyrönsalmen eteläisen maantiesillan välituki T2 (Insinööritoimisto Pontek Oy 2007), s. 17.

Kuva 9. Sukellustoimintaa, Kyrönsalmi eteläinen maantiesilta välituki T2, s. 18.

Kuva 10. Kyrönsalmen eteläisen maantiesillan välituki T2:n asemapaikat merkattuna piirustukseen, s. 20.

Kuva 11. Kyrönsalmen eteläisen maantiesillan välituki T2 ympäristöineen, yhdistetty pistepilvi, s. 21.

Kuva 12. Koululahden laiturin eroosiolaatta, yhdistetty pistepilvi, s. 21.

Kuva 13. Kasinosaaren sillan välituki T11, skannauskuva ja valokuva yhdistettynä, s. 22.

Kuva 14. Pistepilvimateriaalissa huomaamaton erottunut kerros betonivalussa, Kasinosaaren silta välituki T11, s. 22.

Kuva 15. Pistepilven resoluutio laitteen käyttöetäisyyden ollessa n. 7 m, s. 23.

Kuva 16. Erottuneen kerroksen vuoksi lohjennut anturan nurkka, Kasinosaaren silta välituki T11, s. 23.

Kuva 17. Lohkeama anturan nurkassa, Kasinosaaren silta välituki T11 s. 24.

Kuva 18. Ylimääräistä betonia ja purkamatonta muottia anturan yläreunassa, Kasinosaaren silta välituki T11, s. 24.

Kuva 19. Tietomallin muodostuminen (Liikennevirasto 2014), s. 25.

Kuva 20. Koululahden laiturin vedenalaisen osan poikkileikkaus, kulmatukimuu-
ri, eroosiolaatta ja täyttöpenger, s. 27.

Kuva 21. Huomioitavia seikkoja pyrittäessä hyvään vedenalaisrakenteen tarkas-
tustulokseen, s. 31.

Lähteet

Atherton, Mark W. 2011. Echoes and Images.

Collins Engineers, Inc 2010. Underwater Bridge Inspection.
<http://www.fhwa.dot.gov/bridge/nbis/pubs/nhi10027.pdf>. Luettu 6.4.2014.

Gillham, Jason. 2011. Underwater Sonar and Laser Measuring an Experimental Comparison. <http://www.pdfio.com/k-2439293.html>. Luettu 6.4.2014.

Insinööritoimisto Pontek Oy. 2007. Espoo.

Liikennevirasto 2014. Siltojen tietomalliohje.

Tiehallinto 2009. Siltojen sukellustarkastusohje.

Valtioneuvoston asetus 1088/2011.
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20111088>. Luettu 15.4.2014.