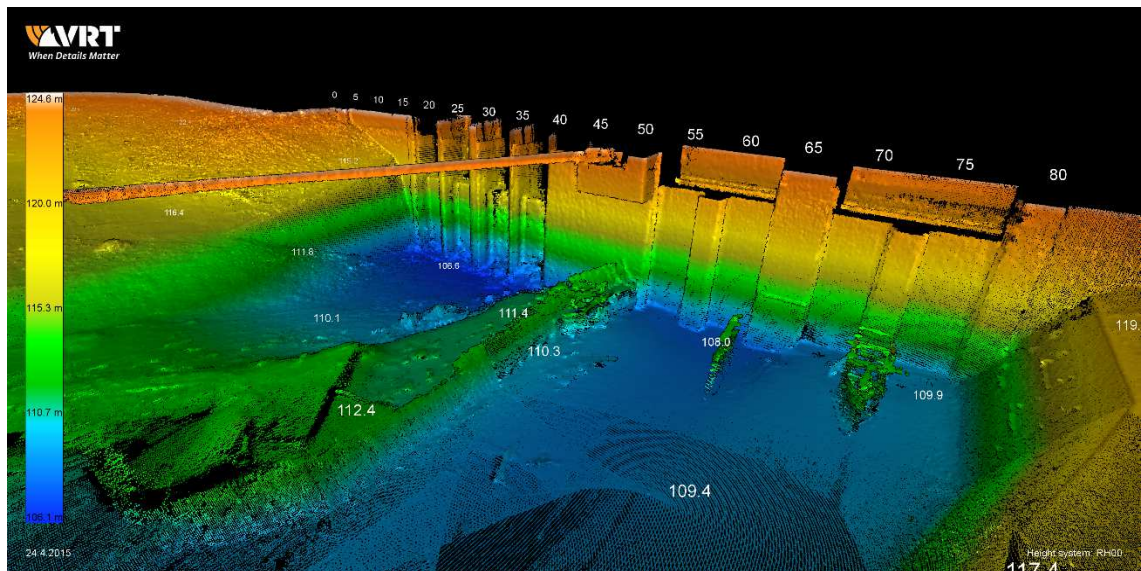


VRT Finland Oy

Patorakenteiden tarkastusmenetelmät



28.10.2015
Kirsi Hänninen
Olli Auer

Sisällys

1. Johdanto	2
2. Patorakenteiden tarkastusmenetelmät	3
2.1 Akustiset tarkastusmenetelmät (Kaikuluotaus)	3
2.1.1 Paikaltaan skannaava kaikuluotain	6
2.1.2 Monikeilain	6
2.1.3 Matalataajuusluotain	7
2.1.4 Viistokaikuluotain	8
2.2 Optiset menetelmät	8
2.2.1 Maalaserkeilaimet	8
2.2.2 Vedenalainen laserkeilain	9
2.2.3 Muut optiset laitteet	10
2.2.4 Sukellustarkastus	11
2.3 Menetelmien keskinäinen vertailu	12
2.3.1 Vedenalaiset tarkastukset	12
2.3.2 Vedenpinnan yläpuoliset tarkastukset	14
2.4 Patotarkastusten tilanne Euroopassa	16
3. Tarkastusmenetelmän valintaan vaikuttavat tekijät	17
3.1 Tarkastuksen tavoite ja tarve	17
3.2 Kohteen erityispiirteet	20
3.3 Esimerkkikohteet	23
4. Aineiston hallinta	28
4.1 Aineiston jatkokäsittely	29
5. Johtopäätökset	31



1. Johdanto

Padon omistajan on pidettävä pato sellaisessa kunnossa, että se toimii suunnitellulla tavalla ja on turvallinen. Laajojen vedenalaisten rakenteiden kunnon kokonaisvaltainen tarkastaminen on kuitenkin ollut haasteellista. Aikaisemmin rakenteiden tarkastuksia on tehty lähinnä sukeltamalla. Perinteisten sukellustarkastusten ongelmina ovat kuitenkin olleet ympäristötekijät kuten veden virtaus ja sameus sekä itse sukeltajaan liittyvät inhimilliset tekijät. Koska laajat alueet ovat sukeltajalle hankalia tarkastaa, vaurioiden syyt saattavat jäädä selvittämättä ja mahdollinen ongelman aiheuttaja huomaamatta.

Kaikuluotauslaitteistojen kehittyminen on tarjonnut uusia mahdollisuuksia vedenalaisten rakenteiden tarkastustoimintaan. Kaikuluotauslaitteistolla saadaan vedenalaisesta kohteesta laaja ja mittatarkka tarkastusaineisto nopeasti eikä veden sameudella tai virtauksella ole vaikutusta mittaustuloksiin. Vesirajan yläpuolella olevat rakenteet ovat tärkeä osa kokonaisuutta. Mittausaineiston tulisi ylettyä paitsi vesirajaan asti, kattaa myös vedenpinnan yläpuoliset osat rakenteesta. Vedenpinnan yläpuolisten rakenteiden ja rakennuspaikkojen 3D-mittaaminen on jo tänä päivänä yksi keskeinen osa rakentamisen, korjaamisen ja kunnossapidon toimintaprosesseja.

Rakenteiden suunnittelun siirtyessä 3D-tekniikkaan myös lähtötietojen saaminen kolmiulotteisena muodostuu välttämättömäksi. 3D-mittauksia rakenteista voidaan hyödyntää paitsi kuntotarkastuksen myös korjaussuunnittelun ja rakentamisen apuna. Kokonaisvaltaisen 3D-tarkastuksen suurin hyöty luo perustan rakenteen elinkaaren kustannustehokkaalle hallinnalle.

Tässä raportissa selvitetään eri mittausmenetelmiä, niiden keskinäisiä eroja ja soveltuvuutta erilaisten patorakenteiden tarkastusmenetelmäksi.

2. Patorakenteiden tarkastusmenetelmät

Perinteisesti patorakenteiden yleistarkastus on ollut ns. visuaalinen tarkastus, jossa vedenalainen osuus on suoritettu sukeltamalla. Tässä kappaleessa on esitelty vaihtoehtoisia menetelmiä ja niiden toimintaperiaatteita patorakenteiden tarkastamiseen soveltuvista laitteista. Menetelmät ovat kaikki ainetta rikkomattomia ja soveltuvia näkyvän pinnan kunnon ja muodonmuutosten kartoittamiseen. Kappaleessa 2.3 on vertailtu eri menetelmien keskinäisiä eroja ja kappaleessa 3 on esitelty suositeltavat tarkastusmenetelmät. Lisäksi kappaleessa 2.4 on kooste patotarkastuksen tilanteesta Euroopassa.

2.1 Akustiset tarkastusmenetelmät (Kaikuluotaus)

Sonar on yleisnimi kaikuluotaimille. Se tulee sanoista **sound navigation and ranging**. Kaikuluotaaminen perustuu äänisignaalien lähettämiseen ja vastaanottamiseen. Lähetetyn aallonpituuden ja ääniaallon etenemisajan perusteella tarkastettavalle kohteelle saadaan määritettyä etäisyys kaikuluotaimeen. Näiden havaintojen perusteella muodostetaan visuaalinen kuva tai pistemäinen havainto tarkastuskohteesta tai tutkittavasta objektista. Tarkastuksia suoritettaessa on tärkeää tietää, miten eri asiat vaikuttavat äänisignaaleihin ja tämän seurauksena saatuihin tutkimustuloksiin.

Akustisten laitteistojen hyötynä on tarkastusten suorittamisen mahdollisuus myös sameissa vesissä, koska laitteistot perustuvat ääniaaltojen etenemiseen. Ääniaallot aiheuttavat liikettä veden (väliaineen) molekyyleissä, jolloin esimerkiksi vedessä olevat pienet hiukkaset eivät vaikuta mittauksiin liikkeessaan vesimolekyylien mukana. Myöskään hiukkasten epätasainen jakautuminen vesikerroksessa ei vaikuta mittaustuloksiin. Kaikuluotauksia voidaan suorittaa myös talvella. Tällöin on syytä kuitenkin huomioida, että luotain tulee saada jään läpi veteen ja näin ollen mittaaminen on huomattavasti työläämpää. Rakenteita mitattaessa aineistoon jää myös jääkerroksen paksuinen katvealue vesirajaan.

Kaikuluotauksen tuloksiin vaikuttaa viisi tärkeää tekijää:

a) äänen etenemisnopeus

Äänen etenemisnopeus on tärkeä määre, koska mittaukset perustuvat kohteen etäisyyden määrittämiseen luotaimesta. Kaikuluotaimet mittaavat äänen matkustamiseen käytettyä aikaa kohteen ja mittaussensorin välillä. Äänen nopeus on vedessä luonnollisissa olosuhteissa 1410 m/s – 1550 m/s ja se voi vaihdella vesikerrosten välillä. Äänen nopeuteen vedessä vaikuttaa lämpötila, veden suolapitoisuus ja paine (syvyys). Äänen nopeus nousee, kun lämpötila, veden suolapitoisuus tai paine nousee. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tarkastusta

tehtäessä tulee yllä mainitut kolme elementtiä olla tiedossa, jotta mittausvirheiltä vältytään. Äänen nopeutta mitataan tarkastuksen aikana tasaisin väliajoin.

b) taajuus

Laitteistojen lähettämällä signaalin taajuudella on suuri merkitys luotaimien tuottamiin tuloksiin. Kaikuluotaimien taajuus vaihtelee yleisimmin välillä 2 - 2000 kHz. Korkeammalla taajuudella saavutetaan yleisesti ottaen myös kapeampi äänikeila ja matalammalla taajuudella leveämpi äänikeila. Lisäksi taajuus vaikuttaa läpäisevyyteen. Matalammalla taajuudella lähetetty ääni kantaa pidemmälle kuin korkeammalla taajuudella lähetetty ääni. Matalataajuusluotaimia käytetäänkin pohjasedimenttien määrittämiseen.

Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että korkeammalla taajuudella lähetetyt ääniaallot vaimenevat vähemmän kuin matalammalla taajuudella lähetetyt osuessaan kohteeseen. Toisin sanoen, jos samaa kappaletta tarkastellaan kahdella eri taajuudella, paluukaiun voimakkuudet eroavat toisistaan ja näin ollen havaintotarkkuuskin muuttuu.

c) äänikeilan muoto ja aukeamiskulma

Äänikeilan aukeamiskulmalla ja muodolla on omalta osaltaan suuri vaikutus mittaustuloksiin. Äänikeila laajenee edetessään. Näin myös mittavirhe kasvaa suhteessa aukeamiskulmaan ja etäisyyteen. Toisaalta äänikeilan aukeamiskulma vaikuttaa skannattavan alueen laajuuteen. Kaikuluotaimissa on tyypillisesti joko kartionmuotoinen tai viuhkamainen äänikeila.

Viuhkamaista äänikeilaa käytetään yleisesti tuotettaessa 2D-kuvamateriaalia. 3D-aineistoa tuotetaan yleensä kartiomaisella äänikeilalla. Kartiomainen äänikeila on kapeampi ja geometrian vääristymä pienempi.

d) akustinen jalanjälki

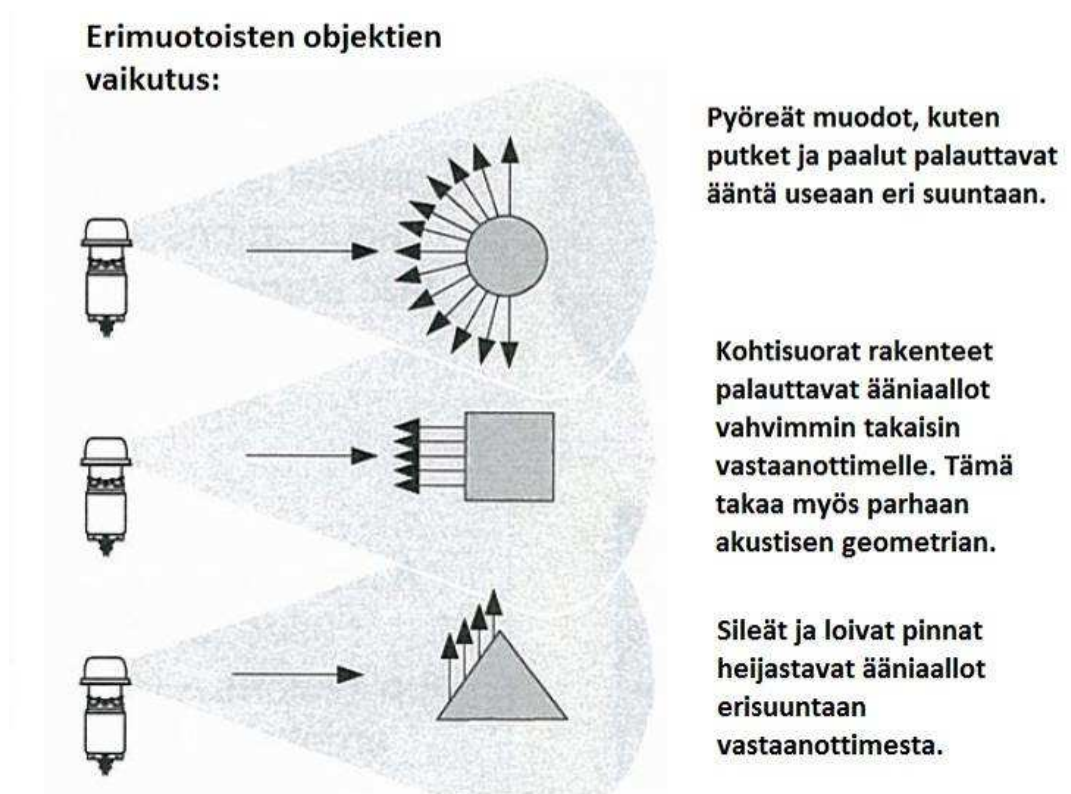
Akustiseksi jalanjäljeksi kutsutaan aluetta, jonka äänikeila peittää alleen osuessaan kohteeseen. Mitä kauemmaksi äänikeila etenee, sitä suuremmaksi äänikeilan peittämä alue kasvaa. Haluttaessa tarkkoja havaintoja, tulee akustisen jalanjäljen olla mahdollisimman pieni. Luotaimen saama havainto taltioidaan akustisen jalanjäljen keskikohdalta.

Kohteen sijainnilla suhteessa luotaimeen on myös suuri merkitys havainnointiin. Mitä suuremmassa kulmassa äänikeila osuu kohteeseen, sitä todennäköisemmin siitä saadaan hyviä havaintoja. Kohtisuoraan äänikeilan etenemissuuntaan olevat kohteet näkyvät siis paremmin. Vaikeimmin havaittavia ovat kohteet, jotka ovat äänikeilan kanssa samansuuntaisia. Jos kohde on akustista jalanjälkeä pienempi, se

saattaa jäädä jopa havaitsematta. Kaksi kohdetta voidaan havaita yhtenä, mikäli kohteet ovat lähellä toisiaan ja jäävät samanaikaisesti akustisen jalanjäljen alle.

e) kohteen muoto ja materiaali

Kohteena olevien objektien muodolla ja pinnan karheudella on myös suuri merkitys kohteen havaitsemisen kannalta. Karheat pinnat havaitaan pääsääntöisesti sileitä paremmin. Myös äänen etenemissuunnalla ja -kulmalla kohdetta vastaan on vaikutus objektin havaitsemiseen. (Kuva 1.) Rakenteen läpi tai takaa ei saada havaintoja. Tämäkin asia on syytä ottaa huomioon laitteen asemoinnissa kattavan tutkimusaineiston saavuttamiseksi.



Kuva 1. Äänikeilan heijastuminen kohteesta.

Havaintotarkkuuteen vaikuttaminen

Rakennetarkastusten kannalta kohdat a-d ovat tärkeitä laitteistoteknisiä määreitä ja vaikuttavat osaltaan havaintotarkkuuteen. Kohteen muoto ja materiaali ovat puolestaan asioita, jotka mittausta tekevän tahon on syytä ymmärtää parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi. Teknisiltä ominaisuuksiltaan huippulaitetta on siis myös osattava käyttää. Tarkastusta tilaavan tahon tulisi painottaa laitteistomääritysten lisäksi mittausryhmän kokemusta vastaavista kohteista.



Markkinoilla on useita erityyppisiä kaikuluotaimia, joiden käyttötarkoitus ja erityisesti havaintotarkkuus vaihtelee suuresti. Kaikille kaikuluotaimille on kuitenkin tyypillistä, että ne on ensisijaisesti kehitetty vesistöjen pohjan mittaamiseen. Markkinoilla olevia kaikuluotaimia voidaan kuitenkin hyödyntää rakennetarkastuksiin edellyttäen, että mittaajat ymmärtävät kaikuluotaamisen toimintaperiaatteen ja rakennetarkastamisen pääperiaatteet. Kaikuluotaimien käyttöä rakennetarkastuksiin, putkilinjakartoituksiin jne. onkin alettu suorittaa enenevässä määrin viimeisen 5-10 vuoden aikana.

2.1.1 Paikaltaan skannaava kaikuluotain

Skannaavat kaikuluotaimet lähettävät yleensä yhden äänikeilan kerrallaan ympärilleen. Kun skannaavan kaikuluotaimen mittausanturi pyörii oman akselinsa ympäri, halutusta kohteesta tai alueesta saadaan kartoitettua laajempi alue. Tarkimpiin tuloksiin päästään tällä hetkellä laitteistoilla, jotka ovat paikoillaan skannauksen aikana. Tämä mahdollistaa myös laitteiston asemoimisen monimuotoisten rakenteiden osalta siten, ettei tarkastukseen jää katvealueita.

Rakenteiden tarkastuksissa käytettyjen kaikuluotaimien toimintataajuus on tyypillisesti 700 - 2000 kHz. Skannaustaajuuden nostaminen kaventaa lähetettyä äänikeilaa, mikä mahdollistaa tarkempien tulosten saamisen. Kun taajuutta kasvatetaan, etäisyyttä tarkastettavaan kohteeseen joudutaan pienentämään. Tämä puolestaan lisää mittauspaikkojen eli asemapisteidien määrää ja sen seurauksena tarkastukseen käytettävää aikaa. Skannaavia kaikuluotaimia käytetään muun muassa rakenteiden tarkastamiseen, pohjatopografian kartoitukseen, sukeltajan ohjaamiseen sekä kadonneiden etsimiseen. Mittausaineisto kerätään yleensä joko valokuvamaisina 2D-havainnekuvina tai 3D-pistepilvenä.

2.1.2 Monikeilain

Monikeilaaminen suoritetaan yleensä liikkuvasta aluksesta. Alukseen asennetut laitteistot lähettävät tyypillisesti yhden äänipulssin, jonka paluukaikua kuunnellaan viuhkamaisesti saaden satoja havaintoja kerralla. Monikeilaimien taajuudet vaihtelevat tyypillisesti 200 - 700 kHz:n välillä. Signaalien perusteella muodostetaan yleisimmin pohjatopografiakartta, jossa on useita syvyyshavaintoja neliometriä kohden.

Monikeilaimella saadaan skannattua suhteellisen suuria alueita huomattavan nopeasti. Tarkastusalue ajetaan valittuja ajolinjoja pitkin. Paikannuslaitteistoilla kerätyt koordinaattitiedot, erilaisilla liiketunnistimilla kerätyt kallistuskulmat sekä kaikuluotaimella saadut havainnot tallennetaan, jonka jälkeen kerätty data yhdistetään aikaleiman avulla yhtenäiseksi 3D-pistepilveksi.

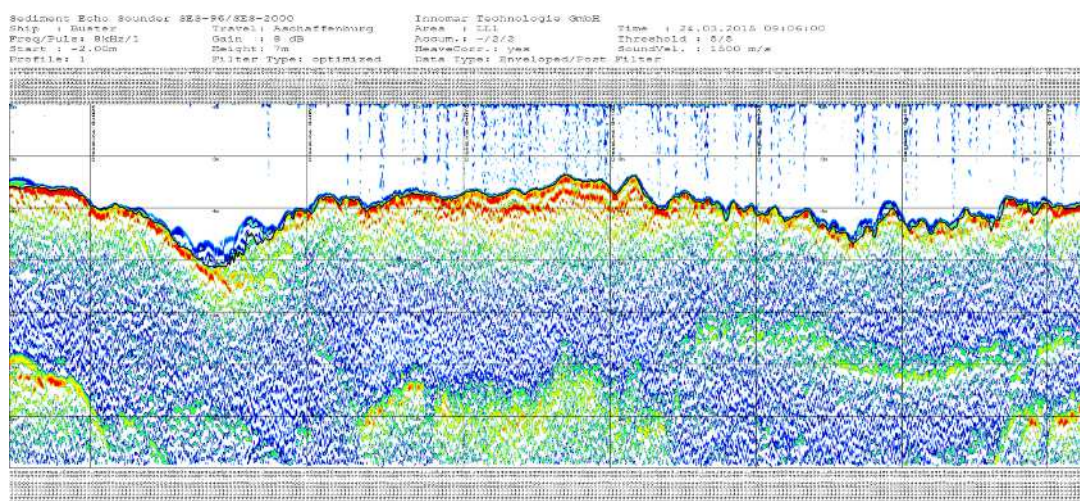
Suhteellisen matalan taajuuden ansiosta ääniaalto ei heikkene nopeasti. Tämä mahdollistaa syvienkin kohteiden kartoittamisen. Toisaalta samalla tarkkuus hieman kärsii ja pienet yksityiskohdat jäävät helposti havaitsematta. Liian matalat vedet aiheuttavat puolestaan ongelmia mittauskulman ja veneen syvyyksen suhteen. Minimisyvyys monikeilaukselle onkin n. 1,2 metriä.

Nopean tiedonkeruun ja alueen laajuuden takia monikeilaimia on alettu hyödyntää myös rakennetarkastuksissa. Tällöin luotain käännetään osoittamaan sivulle päin, jolloin mittauskulma rakenteisiin nähden saadaan optimoitua ja mittausaineisto kerättyä vesirajaan asti. Lisäksi mittaus pyritään suorittamaan suhteellisen lähellä rakennetta käyttäen korkeampaa taajuutta (n. 700 kHz). Näin akustinen jalanjälki pysyy mahdollisimman pienenä ja havaintotarkkuus paranee. Monikeilaimen haasteena rakennetarkastuksia ajatellen voidaan pitää luotaimen kiinteää asemointia tarkastusveneessä sekä veneen vaatimaa kääntösädettä. Tämä hankaloittaa optimaalisen mittauskulman saamista monimuotoisten rakenteiden tai ahtaiden alueiden osalta ja näin ollen mittausaineistoon voi jäädä katvealueita.

2.1.3 Matalataajuusluotain

Matalataajuusluotaimien toimintataajuus on tyypillisesti 2 - 20 kHz. Niitä käytetään mm. kalliopinnan, eri maalajien ja niiden kerrostuneisuuden määrittämiseen. Mittaus suoritetaan ennalta määritettyjä ajolinjoja ajaen ja tuloksina esitetään luotauslinjoilta tulostetut eri maalajien profiilipiirroksset. (Kuva 2.)

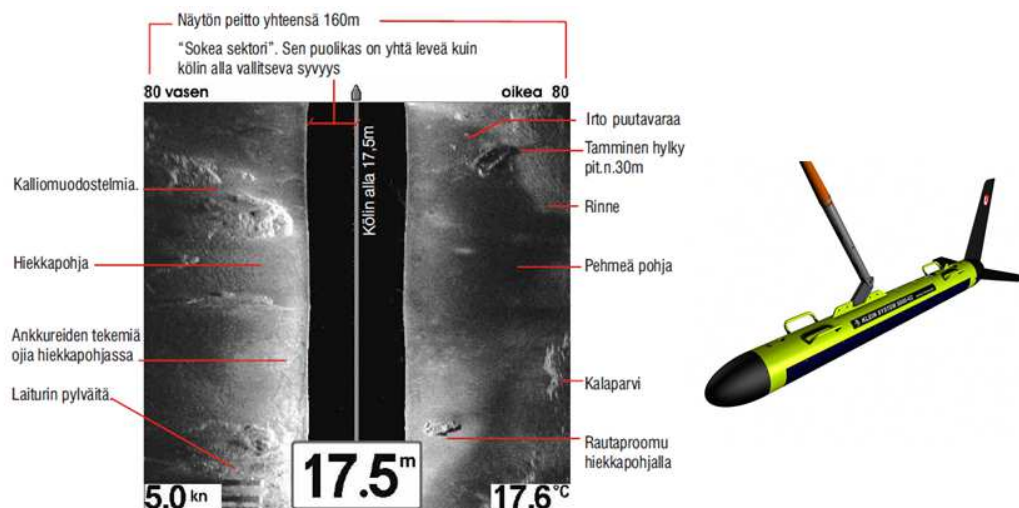
Matalataajuustutkimus on hyödyllinen menetelmä esimerkiksi perustamistapoja ja kantavuutta määriteltäessä suunnittelua varten. Tämä menetelmä vaatii yleensä tueksi kairausnäytteitä. Näin varmistetaan matalataajuusluotaimen havainnot ja voidaan määrittää tarkka kuvaus maalajeista.



Kuva 2. Matalataajuusluotauksen tuloksina esitettävä profiilikuva eri maalajien kerroksista.

2.1.4 Viistokaikuluotain

Viistokaikuluotaimen toimintataajuus on tyypillisesti 400 - 1200 kHz. Yleisimmin viistokaikuluotaimia käytetään hylkyjen ja vedenalaisten kohteiden paikantamiseen. Viistokaikuluotaamisessa paikantaminen tapahtuu liikkeessä. Luotainta vedetään perässä tai se on asennettu kiinni veneen kylkeen. Ajolinjan kohdalla aluksen kölin alle jää yleensä sokea sektori, johon ei nähdä. Vierekkäisiä ajolinjoja luodataan useaan kertaan, jolloin saadaan kartoitettua myös kölin alle jäävät alueet. Luotain lähettää äänikeilan sivuilleen ja tuloksena saadaan akustista kuvaa pohjassa sijaitsevista kohteista. Kohteet havaitaan heijastumina ja varjoina luotausmateriaalista. Viistokaikuluotaimella saatava tarkastusaineisto on samankaltaista kuin skannaavalla kaikuluotaimella tuotettu 2D-kuva-aineisto. Viistokaikuluotaukuvien resoluutio on kuitenkin heikompi kuin paikaltaan tehtävissä skannauksissa. (Kuva 3.)



Kuva 3. Esimerkki viistokaikuluotaimesta ja sen kuva-aineistosta (www.atmarine.fi).

2.2 Optiset menetelmät

Optisiin menetelmiin voidaan lukea laserkeilaimet, erityyppiset kamerat ja näköhavainnot. Kaikki edellä mainitut menetelmät tarvitsevat tai käyttävät valoa toiminnassaan.

2.2.1 Maalaserkeilaimet

Maalaserkeilaimet voidaan jakaa paikaltaan skannaaviin ja mobiililaserkeilaimiin tai vaihtoehtoisesti pulssi- ja vaihe-erolaserkeilaimiin. Laserkeilaus on tunnetusti tarkka ja nopea menetelmä 3D-lähtötietojen keräämiseen. Laserkeilausaineistoa voidaan kerätä niin liikkeestä kuin paikaltaan. Laitteistosta ja sen tekniikasta riippuen mittaushavainnot saadaan 10 000 - 1 000 000 kappaletta sekunnissa. Se sopii hyvin liikennöidyille alueille tai muuten vaikeasti saavuttavien kohteiden mittaamiseen. Laserkeilaimen toiminta perustuu

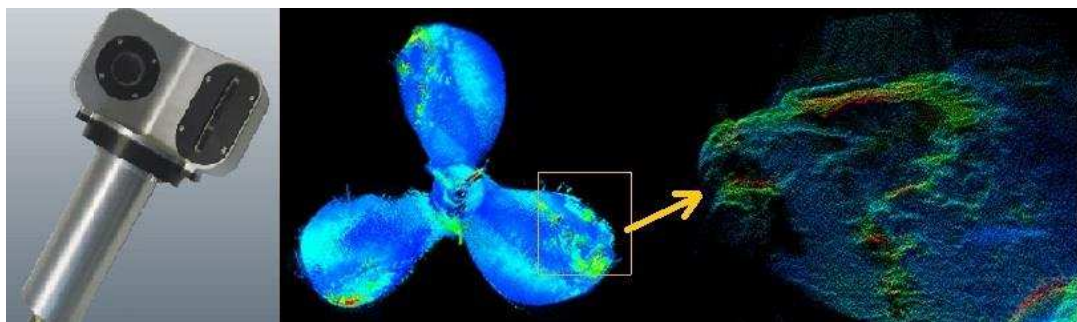
lasersäteen lähettämiseen sekä kappaleesta takaisin heijastuvan säteen vastaanottamiseen. Lähetetyn laserpulssin etenemisajan sekä lähtö- ja tulokulman perusteella tarkastettavalle kohteelle saadaan määriteltyä etäisyys ja sijainti.

Mittaushavainnoista muodostuu pistepilvi. Laitteistosta riippuen mittaushavainnoille saadaan heijastuvuus- eli *intensiiteetti*arvo, *väri*arvo tai lasersäteen heijastuskulmaa kuvaava *normaali*arvo.

2.2.2 Vedenalainen laserkeilain

Perinteiseen lasersäteen etenemisnopeuteen tai vaihe-eroon perustuvaan etäisyysmittaukseen on pinnan alapuolisessa maailmassa tiettyjä haasteita. Näitä ovat esimerkiksi lyhyet etäisyydet laserkeilaimen ja mitattavan kohteen välillä sekä vedessä olevat hiukkaset. Samea vesi ja auringonvalo rajoittavat merkittävästi mittausetäisyyttä ja aiheuttavat häiriötä mittausaineistoon. Lasersäteen lähetys- ja paluuhetken ollessa lyhyt, muodostuu tarkka ajanmääritys lähetys- ja vastaanottohetken välillä haasteelliseksi. Sameissa vesissä olevat pienet hiukkaset aiheuttavat laservalon sirontaa, jossa säde muuttaa suuntaansa eikä osu haluttuun kohteeseen. Partikkelit tallentuvat skannauksessa havaintopisteinä. Tämä aiheuttaa merkittävää kohinaa mittausaineistoon.

Vedenalaisia laserkeilaimia ei ole markkinoilla vielä montaa mallia. Tässä raportissa tarkastellaan ja vertaillaan ULS-100 vedenalaisen laserkeilaimen toimintaperiaatetta ja soveltuvuutta rakennetarkastuksiin. ULS-100 perustuu trigonometriseen lähestymistapaan, jossa kohteen pintaan lähetetyn laserlinjan satojen pisteiden 3D-sijainti määritellään optisen sensorin saaman signaalin perusteella. Näin pisteiden etäisyys ja suunta laitteeseen saadaan määritettyä. Laitteen sisäinen moottori kääntää mittapäätä, jolloin laserlinja pyyhkäisee tarkastettavan kohteen pinnan yli muodostaen profiileja pinnan muodoista. (Kuva 4.)



Kuva 4. Vedenalainen laserkeilain ja sillä tuotettua mittausaineistoa.

2.2.3 Muut optiset laitteet

Muita vedenalaisissa tarkastuksissa käytettyjä optisia laitteita ovat erilaiset kamerat mm. videokamera. Vedenalaisten kohteiden kuvaamisessa on samantapaisia ongelmia kuin vedenalaisessa laserkeilaamisessa. Eroavaisuutena oikeastaan on vain se, että kamerat tarvitsevat erillisen valonlähteen kuvanottohetkellä. Valon taittuminen vedessä olevista partikkeleista pakottaa kuvaamiseen lähellä tutkittavaa kohdetta ja näin ollen hankaloittaa suurten kohteiden kokonaisvaltaista kartoitusta.

Muihin optisiin laitteisiin voidaan lukea myös ROV (Remote Operated Vehicle), joka on kauko-ohjattu vedenalainen robotti. Sitä käytetään esimerkiksi tarkastusten tai vedenalaisten töiden tekemiseen. Robottia ohjataan erillisellä ohjauslaitteella, jota voidaan operoida aluksesta tai rannalta käsin. Robottien koot vaihtelevat pienistä, kymmenen senttimetrin kokoisista, useiden metrien mittaisiin tarkastusrobotteihin. Robotteihin on yleensä asennettu videotallennuslaitteet ja kameroita. Lisäksi niihin on mahdollista asentaa erilaisia kaikuluotaimia, mittausvälineitä tai robottikäsivarsia.

Patorakenteiden tarkastamisessa voidaan hyödyntää myös vedenpinnan yläpuolisille osille 3D-valokuvausta. 3D-valokuvaus on menetelmä, jossa valokuvaparien avulla luodaan näkymästä kolmiulotteinen mittatarkka 3D-malli. Tästä 3D-mallista puolestaan voidaan generoida vastaava 3D-pistepilvi kuin laserkeilaimillakin. Tietokoneiden laskentatehon sekä digitaalikameroiden kehityksen myötä valokuvista tuotettavan 3D-mittausaineiston käyttö yleisty. 3D-valokuvaukseen soveltuu lähes kaikki nykyiset digikamerat.

3D-valokuvauksen hyötynä voidaan pitää valokuvan informatiivisuutta sekä menetelmän suhteellisen edullista hintaa. Menetelmän haasteina voidaan pitää valokuvaukseen ja kuvien tarkkuuteen yleisesti vaikuttavat tekijät. Näistä merkittävimpiä ovat mm. olosuhteiden vaikutus kuvaamiseen kuten huono näkyvyys, liiallinen valaistus tai sen puute ja sade.

3D-valokuvauksen tekniikka perustuu kuvaparilta määritettävien vastinpisteiden sijainnin mittaamiseen. Vastinpisteiden perusteella ohjelma osaa laskea kameran sijainnin kuvattavaan kohteeseen nähden sekä kuvaparilla olevien objektien keskinäisen sijainnin.

Valokuvattaessa tulee muistaa valokuvauksen perusteet. Alla on lueteltuna 3D-kuvaukseen liittyviä sääntöjä:

- Kuvien tulee olla teräviä.
- Kuvat tulee ottaa pienellä aukolla syvyyserävyuden saavuttamiseksi.
- Kuvissa ei saa olla heijastuksia.
- Kuvilla tulee olla riittävä ylipaist (60 - 80 %).

Mittatarkkojen kuvien saamiseksi tulee ainakin yhdessä kuvaparissa olla tunnettu mitta tai mitattuja kiintopisteitä tai tähyksiä. Tunnetuilla mittalinjoilla tai tähyksillä kuva-aineisto

saadaan skaalauttua oikean kokoiseksi 3D-aineistoa luodessa. Mitattujen kiintopisteiden tai tähysten avulla kuvat ja malli saadaan myös paikannettua oikeaan koordinaatistoon.

2.2.4 Sukellustarkastus

Sukellustarkastus on perinteisin ja edelleenkin käytetyin menetelmä vedenalaisissa tarkastuksissa. Sukellustarkastuksia voidaan suorittaa erilaisilla pintailmalaitteilla tai kevytsukelluskalustolla. Tarkastusmenetelmä on vahvasti rajoittunut näkyvyyteen. Sameissa vesissä partikkelit sirottavat valon ja sukeltajat joutuvat työskentelemään ns. sokkona käsillä tunnustellen. Myös laajojen kokonaisuuksien, vaurioiden tarkan sijainnin ja koon määrittäminen on näköhavaintoihin pohjautuvassa tarkastuksessa haasteellista. Lisäksi voimakkaat virtausolosuhteet rajoittavat sukeltajan käyttämistä rakenteiden tarkastamisessa. Sukeltamisen hyötynä on kuitenkin olosuhteiden salliessa tarkkojen havaintojen ja johtopäätösten tekeminen rakenteista. Rakenteista tehtävä näytteenotto ja näytteiden analysointi on yksi tärkeä osa-alue korjausrakentamisessa. Ainetta rikkovilla menetelmillä saadaan tarkkaa tietoa näytekohdan materiaalien kunnosta, joiden perusteella voidaan määritellä korjaustarpeen laajuutta. Sukellustoissa käytettäviä työvälineitä ovat muun muassa hydrauliset pora- ja piikkauskoneet, hioma- ja katkaisukoneet, pulttikoneet, ketjusahat sekä timanttisahat ja -porat. (Kuva 5.)



Kuva 5. Poranäytteen ottaminen sukellustyönä.

2.3 Menetelmien keskinäinen vertailu

2.3.1 Vedenalaiset tarkastukset

Tarkastusmenetelmien keskinäinen vertailu vedenalaisissa tarkastuksissa voidaan jakaa kahteen osaan a) mittalaitteilla tehtävä tarkastus vs. visuaalinen tarkastus ja b) mittalaitteiden keskinäinen havaintotarkkuus sekä soveltuvuus patotarkastuksiin. Lisäksi vedenpinnan yläpuolisten osien tarkastusmenetelmiä vertaillaan omana kokonaisuutenaan.

Mittalaitteilla tehtävien tarkastusten merkittävimmät edut verrattuna visuaaliseen tarkastukseen (sukellus, videokuvaukset, tyhjäksi patoaminen) ovat mittauksen nopeus ja turvallisuus sekä kokonaisuuden hahmottaminen ja mitta-aineiston sijaintitarkkuus. Kenttätyön suorittaminen on mittalaitteilla tehtäessä huomattavasti nopeampaa kuin perinteisellä sukellustarkastuksella. Näin ollen toiminnallinen häiriö esim. vesivoimalaitoksen tuotannolle on huomattavasti vähäisempää. Lisäksi tarkastuksen turvallisuus paranee, kun vain mittalaitteet ovat vedessä.

Sukellustarkastuksen etuna, että sukeltaja kykenee tekemään havaintoja pienistä yksityiskohdista tai silmäkäsikoordinaatiota vaativissa tehtävissä kuten näytteenotto. Toisaalta tässä rajoittavana tekijänä on veden sameus tai mahdollisen yksityiskohdan koon ja sijaintitarkkuuden määrittäminen.

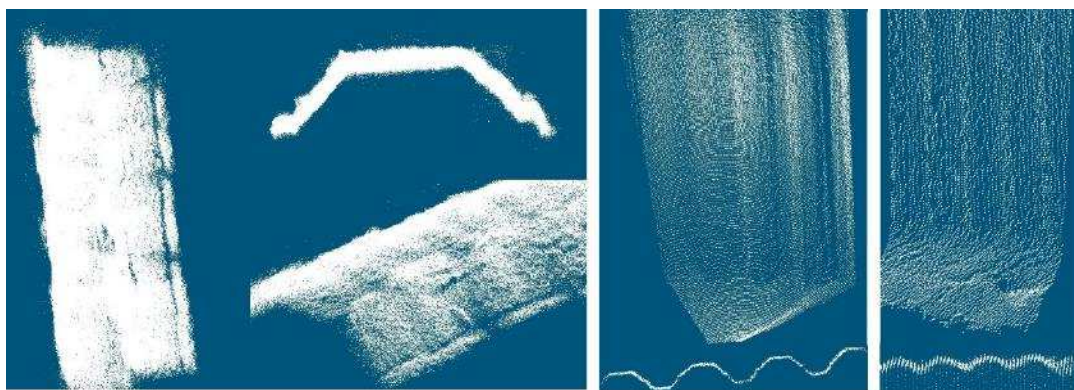
Laajemman alueen kokonaiskuvan hahmottaminen ja tästä johtuva vaurioitumisen syy-seuraussuhde on niin ikään visuaalisella tarkastuksella lähes mahdotonta toteuttaa. Mittalaitteilla voidaan kartoittaa kerralla laajoja kokonaisuuksia.

Mittalaitteilla tehtävät vedenalaiset tarkastukset voidaan jakaa 2D- ja 3D-tarkastuksiin. 2D-tarkastuksissa käytettäviä laitteita ovat paikaltaan skannaava kaikuluotain, viistokaikuluotain ja matalataajuusluotain. Näistä matalataajuusluotain ei sovellu rakennetarkastuksiin, vaan sitä käytetään pohjasedimenttikerrosten määrittämiseen. Myöskään viistokaikuluotainta ei suositella rakennetarkastuksiin sen heikohkon havaintotarkkuuden takia.

2D-tarkastuksista lopputuloksena syntyy pintaprojektio mitattavasta kohteesta. Kuvissa esiintyvät muodonmuutokset, kuten esim. syventymät eroavat toisistaan värien ja varjojen avulla. Menetelmä soveltuu seinämäisille betoni- hirs- ja kivirakenteille. Suurimmat ongelmat esiintyvät pitkien ja hoikkien rakenteiden, kuten paalujen kohdalla. 2D-aineistossa konkretisoituu vääristymä, joka syntyy kun kolmiulotteinen objekti esitetään kaksiulotteisena. 2D-aineistosta saadaan kuitenkin mitattua mahdollisen vaurion laajuus, muttei sen syvyyttä. Mittausaineiston havaintotarkkuus vaihtelee 5 - 20 cm:iin riippuen

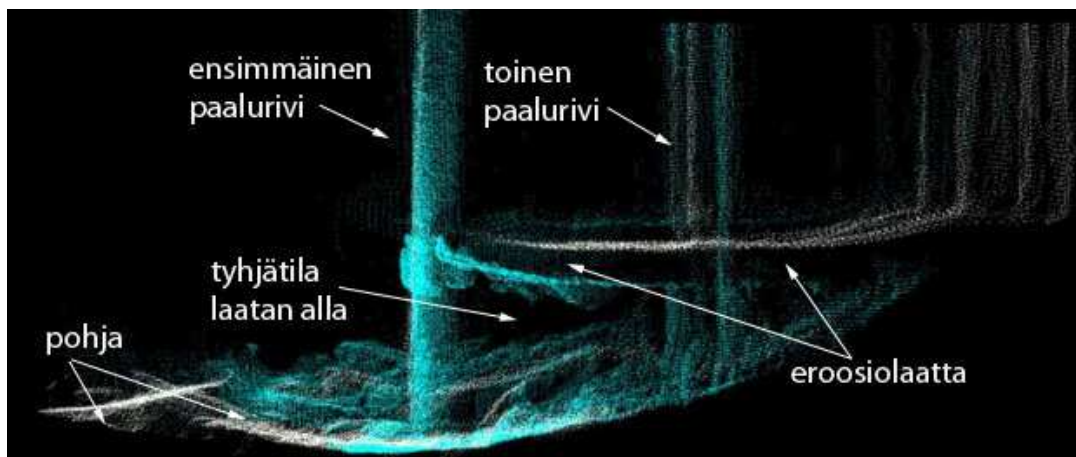
käytettävästä laitteistosta ja mittausta suorittavan henkilöstön osaamisesta. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että korkeammalla taajuudella ja paikaltaan skannatessa saadaan kuviin tarkempi resoluutio. 500 m patorakennetta tarkastetaan kenttätöiden osalta paikaltaan skannaavalla 2D-kaikuluotaimella n. 2 - 3 päivää riippuen rakenteen monimuotoisuudesta. Kuva-aineistoa kerätään useasta eri asemapistestä, jotka sittemmin yhdistetään yhdeksi kokonaisuudeksi.

3D-tarkastuksissa mittausaineisto kerätään ns. kolmiulotteisena pistepilvenä, jossa jokaisella yksittäisellä pisteellä on x,y,z -koordinaatti. (Kuva 6.) Tämä menetelmä mahdollistaa mm. vaurioiden syvyytiedon kartoittamisen. Lisäksi mittausaineisto on monipuolisesti hyödynnettävissä esimerkiksi tilavuuslaskennassa tai muodonmuutosten seurannassa. 3D-tarkastuksissa vältetään mittausaineiston vääristymältä.



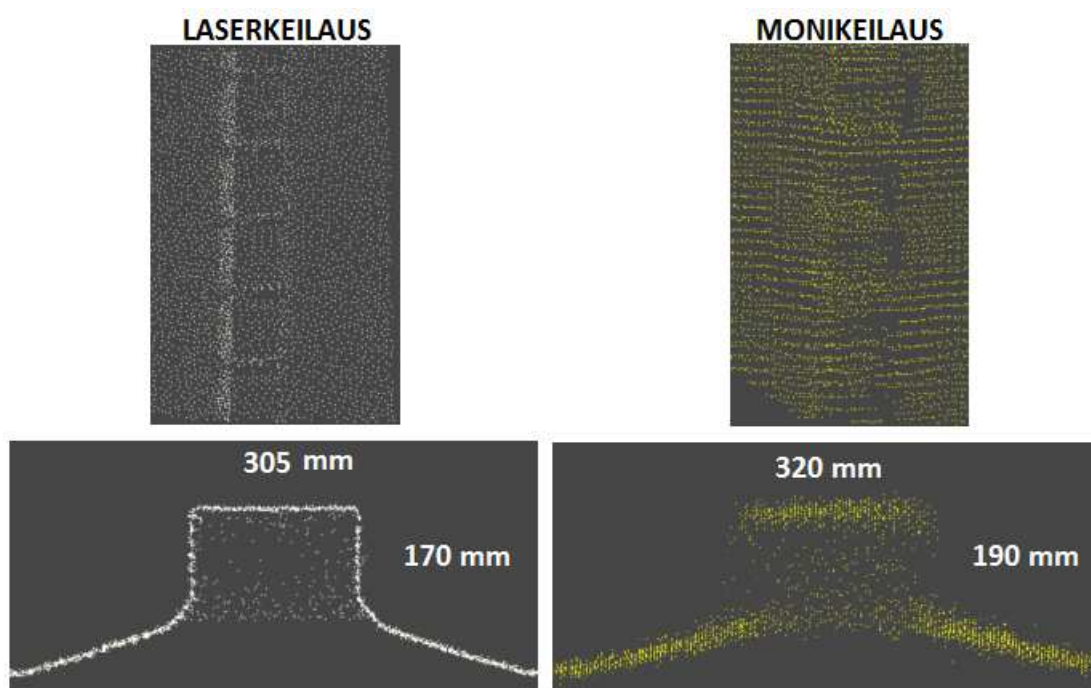
Kuva 6. Vedenalaisella laserkeilaimella, paikaltaan skannaavalla 3D-kaikuluotaimella ja monikeilaimella kerätty pistepilviaineisto.

3D-tarkastuksissa käytettäviä laitteita ovat vedenalainen laserkeilain, paikaltaan skannaava kaikuluotain ja monikeilain. (Kuva 6.) Näistä vedenalainen laserkeilain on ihanneolosuhteissa ylivoimaisesti tarkin menetelmä saavuttaen jopa millimetrien havaintotarkkuuden. Valitettavasti ympäristön aiheuttamat ongelmat, päivänvalo ja veden sameus, aiheuttavat mittausaineistoon merkittävää kohinaa ja supistavat yksittäisen mittausalueen olemattomaksi. Toistaiseksi markkinoilla ei ole rakennetarkastuksiin soveltuvaa vedenalaista laserkeilainta. Jäljelle jäävistä menetelmistä paikaltaan skannaavalla kaikuluotaimella saavutetaan n. 2 - 5 cm havaintotarkkuus ja monikeilaimella 5 - 10 cm havaintotarkkuus. Huomionarvoista on, että monikeilaus tapahtuu liikkuvalla alustalta ja näin ollen sillä kartoitetaan huomattavan suuria alueita suhteellisen nopeasti. Esimerkiksi 500 m patorakennetta tarkastetaan monikeilaimella n. tunnissa, kun taas paikaltaan skannatessa yksittäinen asemapiste, jolla saadaan kartoitettua n. 10 m kestää yhtä kauan. Toisaalta monikeilain on kiinni veneessä ja näin ollen mittausalueeseen voi jäädä katvealueita. Tällaisia ovat esimerkiksi alueet, joissa veneellä ei mahdu kääntymään tai vedenalaiset ulokkeet, joissa kaikuluotain tulisi asemoida esim. 5 m:n syvyyteen, jotta mittausaineistoon ei jää katvealueita. (Kuva 7.)



Kuva 7. Tyhjätila laatan alla edellytti paikaltaan skannaavan kaikuluotaimen käyttöä.

Yleisesti ottaen kaikuluotaimilla ei pystytä tarkastamaan muutamien millimetrien kokoisia syöpymiä tai betonin halkeamia. Alla olevassa kuvassa 8 on vertailtu monikeilaimen ja laserkeilaimen keskinäistä tarkkuutta samasta kohteesta tuotetulla aineistolla.

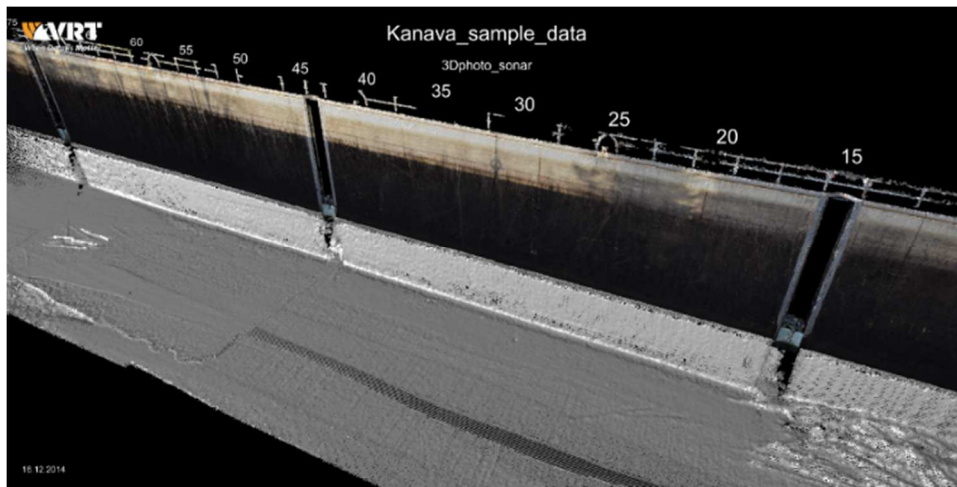


Kuva 8. Laserkeilaus- ja monikeilausaineiston keskinäistä vertailua.

2.3.2 Vedenpinnan yläpuoliset tarkastukset

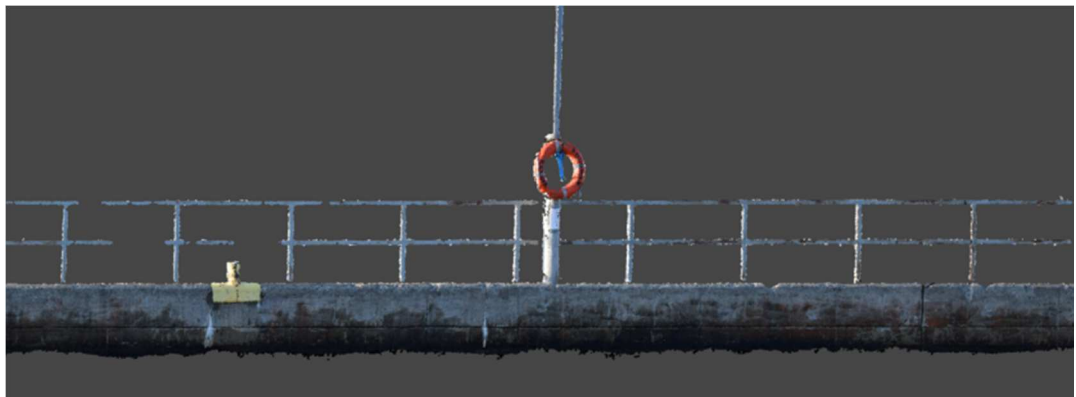
Vedenpinnan yläpuolisille osille tehtävät tarkastukset on pääsääntöisesti suoritettu näköhavaintoihin ja yksittäisiin vauriovalokuvaan pohjautuen. Nykyaikaiset mittausmenetelmät, laserkeilaus ja 3D-valokuvaus, avaavat kuitenkin uusia mahdollisuuksia entistä tarkempaan, kokonaisvaltaisempaan ja kustannustehokkaampaan kunnonhallintaan. Kummallakin yllämainitulla menetelmällä aineisto kerätään 3D-

muodossa ja on täten yhdistettävissä vedenalaisiin mittausaineistoihin. Kokonaisuutena nämä muodostavat oivallisen tietopaketin rakenteen elinkaaren aikaiseen hallintaan.

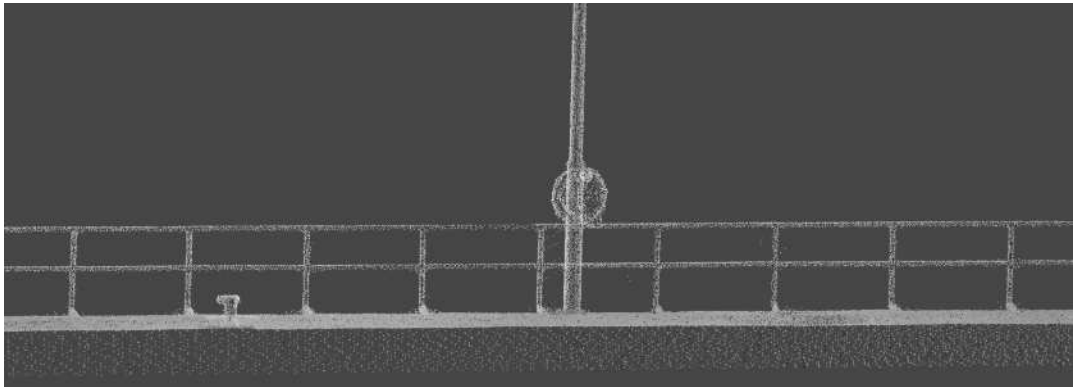


Kuva 9. Monikeilaus- ja 3D-valokuvausaineistosta tuotettu havainnekuva.

Laserkeilausta on jo pitkään käytetty rakennemittauksiin ja sen hyödyllisyys todennettu. 3D-valokuvaus alkaa kuitenkin olla varteenotettava vaihtoehto laserkeilaukselle johtuen merkittävästi edullisemmasta laitteistokustannuksesta ja havaintotarkkuudesta. 3D-valokuvauksella (Kuva 10.) saavutettava havaintotarkkuus on hyvin lähellä, paikoin jopa parempi kuin laserkeilaamalla (Kuva 11.) saavutettu tarkkuus. Kummallakin menetelmällä saavutetaan alle senttimetrin havaintotarkkuus. Valokuvauksen hyvänä puolena voi pitää todellisten värien seuraamista lopulliseen valokuvamalliin ja mallin "pintamaisuutta". (Kuva 12.)



Kuva 10. 3D-valokuvamalli.



Kuva 11. Kuvan 10. kohteesta laserkeilattu pistepilvi.

Vertailuaineistossa kuvassa 12 oli havaittavissa betonipinnassa olevan työ- / muottisauman kohta ja siinä oleva n. 2 cm:n syvennys. Valokuvaamalla tuotetun mallin tarkkuus riittää hyvin rakennetarkastusten edellyttämiin havaintovaatimuksiin. Toisin kuin laserkeilausaineistosta, valokuvamallin avulla voidaan havaita pinnassa olevat väriaihtelut ja näin saada lisäinformaatiota esim. vesivuodoista.



Kuva 12. 3D valokuvamalli, muottisauma.

2.4 Patotarkastusten tilanne Euroopassa

Hankkeen aikana tehtiin pienimuotoinen sähköpostikysely, jonka avulla pyrittiin luomaan käsitys Eurooppalaisten maiden suhtautumisesta kaikuluotaintekniikan käyttämiseen patoturvallisuuden ylläpidossa. Saatujen vastausten perusteella koostettiin lyhyt arvio mittausmenetelmien käytöstä ja tulevaisuudenkuvasta.

Tehdyn kyselyn perusteella voidaan todeta seuraavaa: Lainsäädännön asettamia vaatimuksia tai rajoitteita eri mittausmenetelmien käytölle patoturvallisuuteen liittyvissä mittauksissa ei käytännössä ole. Tarkistusten määräaikaaisuuteen liittyviä vaatimuksia ja ohjeistuksia on olemassa suurimmassa osassa kyselyyn vastanneista maissa. Vastuu



tutkimusmenetelmien valinnasta ja käyttämisestä on usein jätetty tutkimusten käytännön suorittajille. Vaatimuksia ja suosituksia patomittausten suorittamiseen on kuvattu, mutta tutkimuksen suorittajalla on mahdollisuus käyttää eri menetelmiä, myös kaikuluotausta.

Patojen vedenalaisten osien mittausmenetelmistä on käytössä sukellustarkastus, videokuvaukset ja kaikuluotaus. Lisäksi joissakin tapauksissa allas on tyhjennetty tarkastusta varten. Useissa maissa perinteinen sukellustarkastus nähdään edelleen käyttökelpoisena tarkastusmenetelmänä, varsinkin jos olosuhteet veden kirkkauden ja virtauksen vähäisyyden osalta ovat siihen otolliset.

Kaikuluotausmenetelmien käytölle ei nähdä periaatteellisia esteitä ja kiinnostus menetelmän käyttöön ja sen laajentamiseen on olemassa. Tärkeimpänä seikkana tuodaan esille, että kaikuluotausmenetelmän tuottamien tulosten laadun tulee täyttää tutkimukselle asetetut vaatimukset.

3. Tarkastusmenetelmän valintaan vaikuttavat tekijät

3.1 Tarkastuksen tavoite ja tarve

Tarkastusta suunnitellessa on ensin syytä selvittää tarkastuksen tavoite ja tarve. Tavoitteeksi on lähes poikkeuksetta määritetty rakenteen nykykunnan selvittäminen. Tavoitetta kannattaisi kuitenkin ajatella hieman laajempaan kokonaisuuteen, rakenteen elinkaaren pitempiaikaisena hallintana, jonka nykyaikaiset mittausmenetelmät mahdollistavat. Esimerkiksi rakenteen tai pohjan muodonmuutosten seuraamisella saavutetaan huomattavia säästöjä ja ennaltaehkäistään vaurioita, kun vaurioitumismekanismiin päästään hyvissä ajoin käsiksi. Toisaalta muodonmuutoksia ei ole perinteisellä sukellustarkastuksella pystytty seuraamaan ja tämä on osaltaan ohjannut rakenteen kunnonhallintaa pois tavoitteellisesta elinkaariajattelusta.

Tavoitteeseen verrattuna tarve on enemmänkin yksittäisen tehtävän analysointia. Se voi olla esimerkiksi määräaikaistarkastus, lähtötietojen hankkiminen korjaussuunnittelua varten, rakentamisen aikainen tai rakennustyön jälkeinen valvonta. Tarpeen analysoinnin yhteydessä selvitetään tarkastettavan kohteen laajuus, erityispiirteet ja tarkastustulosten jatkokäyttö. Kaikki nämä vaikuttavat oleellisesti tarkastusmenetelmän valintaan ja tätä kautta kustannustehokkuuteen.

Tarkastusmenetelmät voidaan karkeasti jakaa visuaalisiin ja kolmiulotteisiin tarkastuksiin. Visuaalisilla tarkastuksilla (sukellustarkastus, videokuvaukset, 2D-kaikuluotaus) saadaan kohteen nykykunnosta kartoitettua yleiskäsitys, joko sukeltajan raportin tai 2D-luotauksen havainnekuvien avulla. Tämä on usein riittävä menetelmä ajatellen esimerkiksi määräaikaistarkastuksia. Visuaalinen tarkastus soveltuu erityisesti pieniin kohteisiin.



Kolmiulotteisilla (3D) tarkastuksilla saadaan paitsi yleiskäsitys kohteen nykykunnosta myös mittatarkat lähtötiedot ajatellen esimerkiksi korjaussuunnittelua. 3D-tarkastus on myös ainoa luotettava menetelmä esimerkiksi muodonmuutosten seuraamiseen tai pohjatopografian kartoittamiseen. 3D-tarkastus soveltuu niin pieniin kuin isoihin kohteisiin. Sen keskeinen etu on kerätyn aineiston monipuoliset hyödyntämismahdollisuudet.

Huomionarvoista kuitenkin on, että usein näiden menetelmien kombinaatio antaa parhaan lopputuloksen. 3D-tarkastuksessa voi ilmetä kohtia, jotka vaativat lisätutkimuksia, kuten esimerkiksi näytteen ottamista. Tällöin tarvitaan sukeltaja ko. näytettä ottamaan. Myös mahdolliset läheltä otetut vauriovalokuvat voivat antaa tarvittavaa lisäinformaatiota parhaan ymmärryksen saavuttamiseksi.

Kuvassa 13 on esitetty tällä hetkellä käytössä olevien tarkastusmenetelmien soveltuvuus erityyppisiin kohteisiin.

2D-kaikuluotaus (ns. paikaltaan skannaava)

Käyttökohteet: Vesivoimalaitosten ja säännöstelypatojen määräaikaistarkastukset. Osittain myös korjaussuunnittelun lähtötiedoiksi, tarjoten kokonaiskuvan vedenalaisesta rakenteesta.

Ominaisuudet: Menetelmä on turvallinen, koska vain mittalaitteet ovat vedessä. Havainnekuvat ovat mittakaavassa, mikä helpottaa mahdollisten vaurioiden paikantamista ja suuruusluokan arvioimista. Kenttätyöt ovat suhteellisen nopeita toteuttaa, mutta aineiston prosessointi toimistolla on työlästä. Veden sameus ja virtaus eivät vaikuta tuloksiin, sen sijaan ilmakuplat vaikuttavat häiritsevästi.

Sukellustarkastus

Käyttökohteet: Vesivoimalaitosten ja säännöstelypatojen määräaikaistarkastukset. Korjaussuunnittelun lähtötiedoiksi, kun tarvitaan näytteenottoa tai tarkempia vedenalaisia vauriovalokuvia.

Ominaisuudet: Tarkastusaineisto kerätään videokameran ja tarkastajan muistin avulla. Menetelmä soveltuu hyvin pieniin kohteisiin, joissa visuaalinen tarkastus on riittävä tai lisätiedoiksi kaikuluotausaineistosta ennalta valituista paikoista kokonaiskuvan tarkentamiseksi. Veden sameus ja virtaus rajoittavat tarkastustyötä. Kenttätyö on hidas suorittaa ja vaatii aina voimalaitoksen tuotannon pysäyttämisen kokonaisuudessaan. Tulokset pohjautuvat yksittäisen ihmisen havaintoihin ja ovat täten alttiita inhimillisiin



virheisiin. Lisäksi sukellustarkastaminen on erityisesti voimalaitosten läheisyydessä riskialtista.

3D-kaikuluotaus (monikeilaus)

Käyttökohteet: Vesivoimalaitosten ja säännöstelypatojen määräaikaistarkastukset. Osittain myös korjaussuunnittelun lähtötiedoiksi, tarjoten kokonaiskuvan vedenalaisesta rakenteesta.

Ominaisuudet: Menetelmä on turvallinen, koska vain mittalaitteet ovat vedessä. Mittausaineisto kerätään 3D-pistepilvenä. Aineisto on tarkasti mittakaavassa, mikä mahdollistaa vaurioiden paikantamisen ja suuruusluokan analysoinnin myös vaurion syvyyssuunnassa. Kenttätyö on erittäin nopea toteuttaa. Mittausaineisto mahdollistaa monipuolisen hyödyntämisen. Aineiston jatkokäsittely toimistolla on suhteellisen nopeaa riippuen siitä miten pitkälle jatkokäsittely halutaan viedä (havainnekuvat, 2D-CAD piirustukset, 3D-CAD mallit, BIM mallit). Veden sameus ja virtaus eivät vaikuta tuloksiin, sen sijaan ilmakuplat vaikuttavat häiritsevästi. Menetelmä soveltuu erinomaisesti laajoihin alueisiin. Sen sijaan monimuotoiset rakenteet ja ahtaat alueet voivat hankaloittaa ja jopa rajoittaa mittauksen suorittamista.

3D-kaikuluotaus (ns. paikaltaan skannaava)

Käyttökohteet: Vesivoimalaitosten ja säännöstelypatojen määräaikaistarkastukset. Rakennustyön laadunvalvontaan ja korjaussuunnittelun lähtötiedoiksi.

Ominaisuudet: Menetelmä on turvallinen, koska vain mittalaitteet ovat vedessä. Tarjoaa samat ominaisuudet aineiston jatkokäsittelyn osalta kuin 3D-monikeilauskin. Kenttätyöt ovat suhteellisen hitaita toteuttaa, toisaalta laite voidaan asemoida hyvinkin ahtaisiin ja hankaliin paikkoihin. Tätä menetelmää käytetäänkin pienten yksittäisten alueiden tarkastamiseen tai yhdistettynä monikeilustarkastuksessa saatuun suurempaan kokonaisuuteen.

Laserkeilaus ja 3D-valokuvaus

Käyttökohteet: Vedenpinnan yläpuoliset osat (rakenteet, penkat, jne.)

Ominaisuudet: Mittausaineisto kerätään 3D-pistepilvenä joko liikkeestä tai staattisesti. 3D-valokuvauksessa pistepilvi generoidaan valokuvista. Mittausaineisto mahdollistaa monipuolisen hyödyntämisen ja on liitettävissä vedenalaisiin 3D-mittausaineistoihin. Aineiston jatkokäsittely toimistolla on suhteellisen nopeaa riippuen siitä miten pitkälle

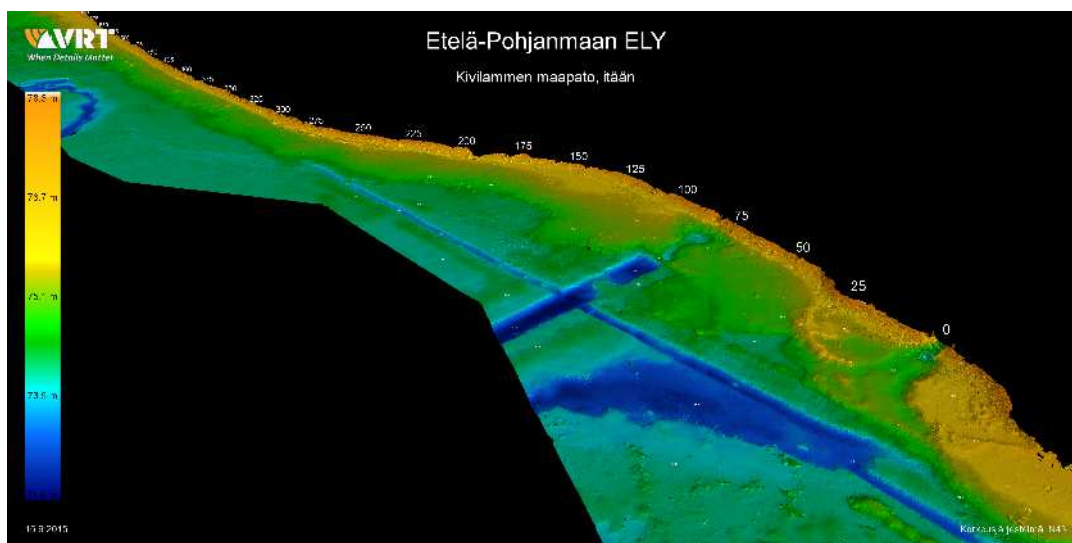
jatkokäsittely halutaan viedä (havainnekuvat, 2D-CAD piirustukset, 3D-CAD mallit, BIM mallit, orthokuvat).

	VESIVOIMALAITOKSET	SÄÄNNÖSTELYPADOT	MAAPADOT	POHJA-ALUEET
SKANNAAVA 2D	●	●		
SKANNAAVA 3D	◐	●		
MONIKEILAIN	●	◐	●	●
SUKELTAJA	◐	●		
LASERKEILAUUS	●	●	●	
3D-VALOKUVAUS	●	●		

Kuva 13. Eri tarkastusmenetelmien suositeltavuus erityyppisille kohteille. (puolikas pallo merkitsee, että soveltuu osittain).

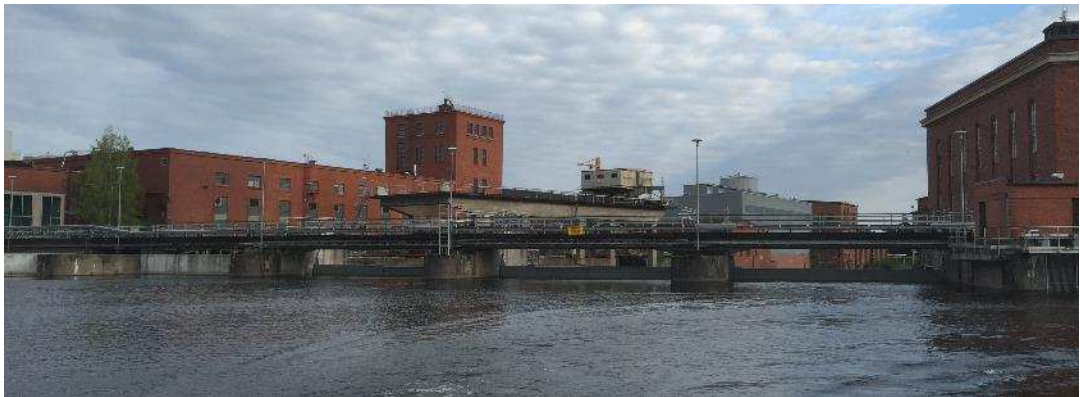
3.2 Kohteen erityispiirteet

Kohteen laajuus poissulkee jo itsessään lukuisia menetelmiä. Esimerkiksi maapadot ja pohja-alueet ovat paikaltaan skannaavilla laitteilla tai sukeltajatyönä toteutettuna kustannustehottomia ratkaisuja. (Kuva 14.) Kohteen erityispiirteitä arvioidessa ja käytettävää mittausmenetelmää valittaessa kannattaa myös huomioida, että vaurioitumismekanismin syy voi olla seurausta rakenteen lähettyvillä olevasta pohjan eroosiosta. Näin ollen pelkkä pystyrakenteen tarkastus ei ole yksinään tarpeeksi kattava tarkastus.



Kuva 14. Maapato tarkastettu monikeilaimella liikkuvalla alustalta.

Suuret vesivoimalaitokset on kustannustehokkaampaa kartoittaa liikkuvalla mittausalustalla (Monikeilain). Toisaalta taas monimuotoiset rakenteet ja ahtaat paikat hankaloittavat mittausveneen liikkumista ja näin ollen aineistoon voi jäädä katvealueita. (Kuva 15.) Tällöin voidaan mittauksen jälkeen miettiä tehdäänkö ns. kombinaatiomittaus, jossa yhdistetään paikaltaan skannaavan 3D-kaikuluotauksen aineisto monikeilaimella kerättyyn aineistoon.



Kuva 15. Monimuotoinen ja ahdas rakenneosa.

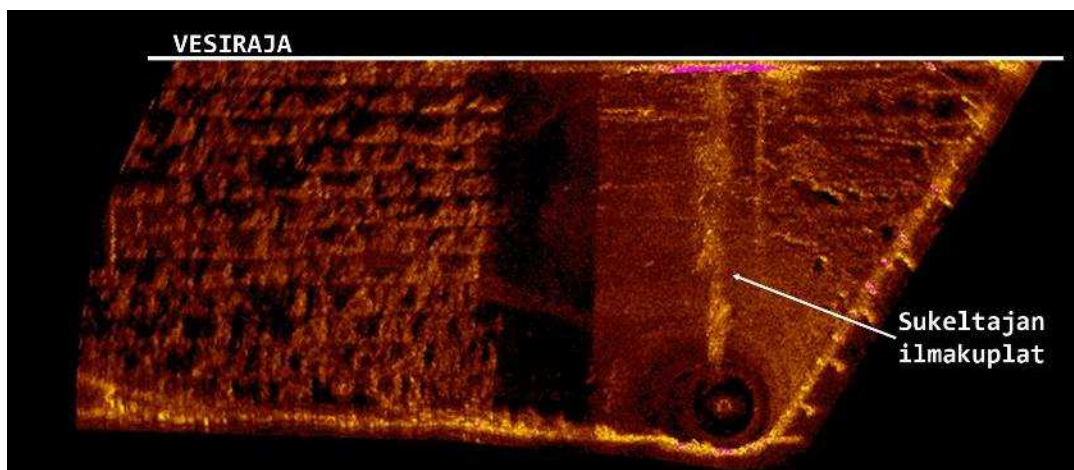
Erilaisilla rakennusmateriaaleilla ei ole vaikutusta tarkastustuloksiin. Paksu kerros kasvillisuutta rakenteen pinnassa voi kuitenkin heikentää mittalaitteilla tehtävän tarkastuksen havainnointikykyä.

Veden virtaus ja sameus eivät vaikuta kaikuluotaimilla tehtäviin tarkastuksiin, kun taas sukeltajan työn ne tekevät todella vaikeaksi. Sen sijaan ilmakuplat vedessä aiheuttavat merkittävää häiriötä mittalaitteilla tehtäviin tarkastuksiin. Tämän takia erityisesti voimalaitosten alapuolella tulisi kaikki turbiinit ja luukut sulkea mittauksen ajaksi. Usein tämä ei kuitenkaan kokonaisuudessaan onnistu, koska voimalaitoksissa on havaittavissa vuotoja vaikka kaikki luukut olisikin suljettu. (Kuva 16)



Kuva 16. Vuotoja voimalaitoksen alapuolella luukkujen ollessa kiinni.

Vuodot aiheuttavat veden pyörimistä ja synnyttävät lukuisia ilmakuplia. Nämä siirtyvät virtauksen mukana eteenpäin ja aiheuttavat merkittävää häiriötä kaikuluotaustarkastuksille. Kuvassa 17 on esitetty kuinka sukeltajan ilmakuplat näkyvät kaikuluotausaineistossa. Kuvassa 18 on esitetty erään voimalaitoksen alapuolen mittaustuloksia. Ilmakuplien virta tekee havainnekuvasta puuroisen ja mahdolliset vauriot jäävät näin ollen havaitsematta.



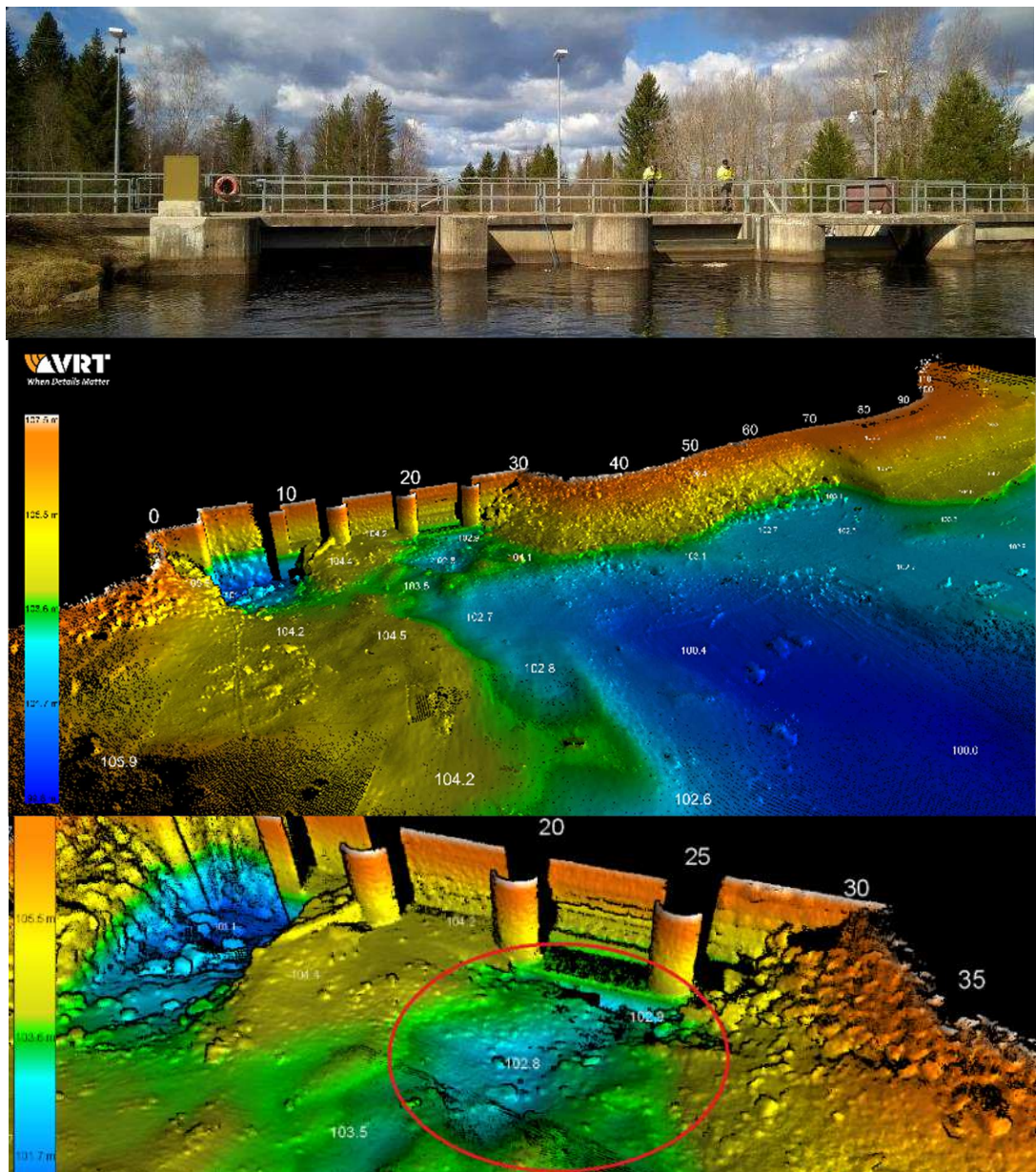
Kuva 17. Sukeltajan ilmakuplat näkyvät häiriönä mittausdatassa.



Kuva 18. Vuodon seurauksena syntyvät ilmakuplat voimalaitoksen alapuolella.

3.3 Esimerkkikohteet

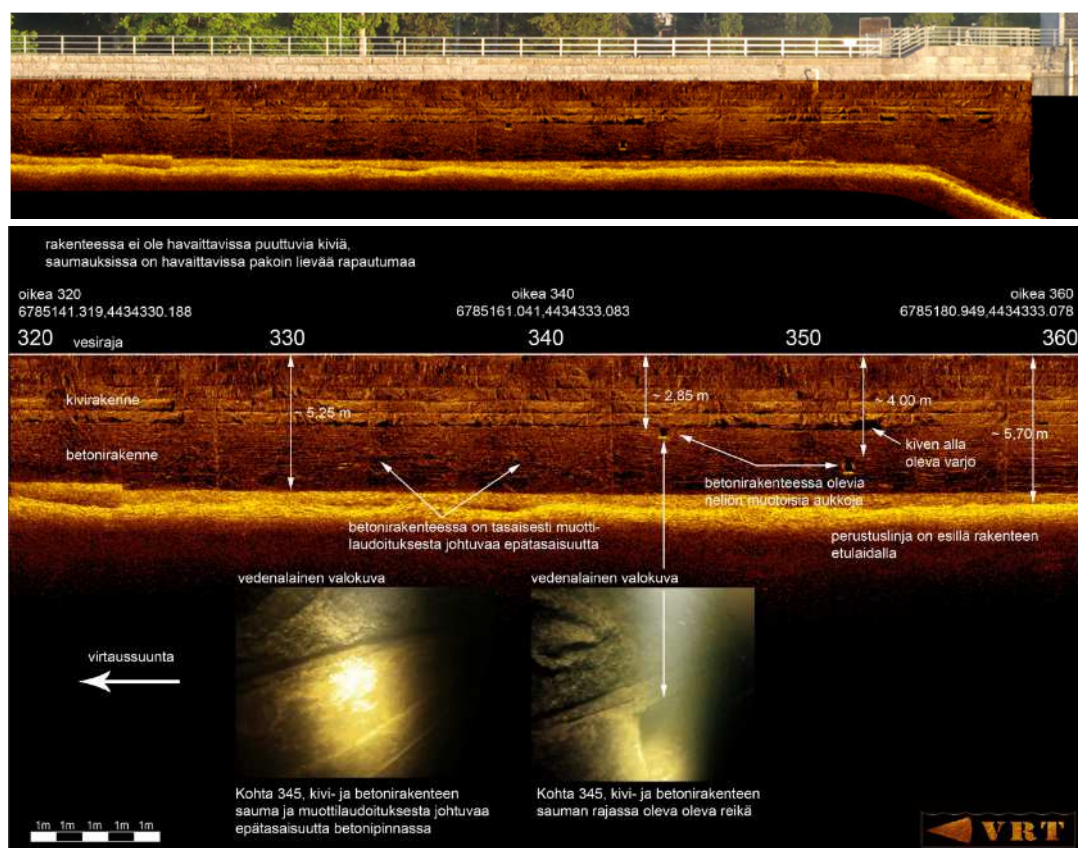
Esimerkkikohteena 1 on pienehkö vesivoimalaitos, jonka tarkastusalueeseen kuului n. 30 m:n laajuudelta voimalaitoksen rakenteita ja n. 100 m maapatoa. (Kuva 19.) Tarkastus suoritettiin liikkuvalla alustalta monikeilaamalla. Tarkastus antaa kattavan yleiskäsityksen rakenteen kunnosta ja pohjan muodoista. Mittausaineistossa on havaittavissa katvealueita betoniulokkeiden sivuilla. Tämä johtuu siitä, että mittauskulmaa ei ole ahtaan tilan takia saatu optimaaliseksi. Mikäli haluttaisiin katveeton mittausaineisto, tulisi nämä kohdat mitata paikaltaan skannaavalla 3D kaikuluotaimella ja yhdistää monikeilaimella tuotettuun aineistoon.



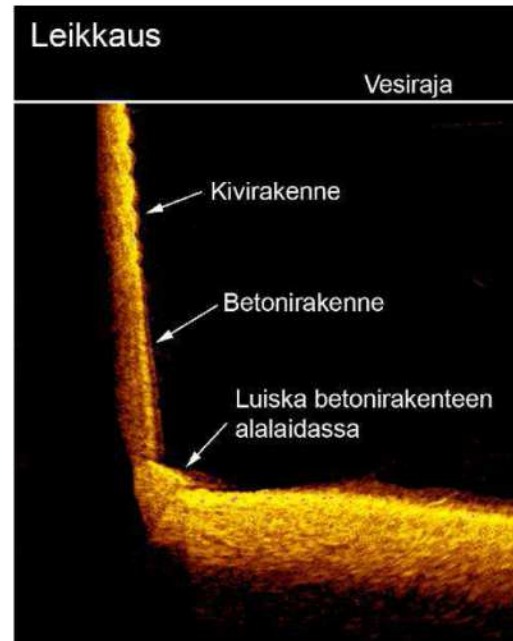
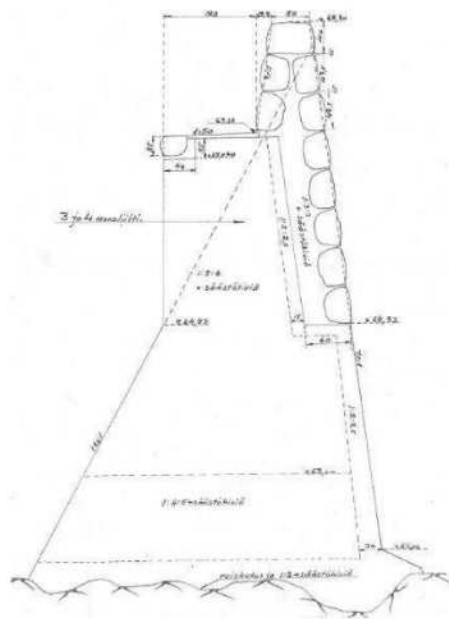
Kuva 19. Pienehkö vesivoimalaitos ja maapato. Tulvaluukun kohdalla välillä 20 – 25 betonirakenteet ovat esillä pohjatason korkeudella.

Esimerkkikohteena 2 on vesivoimalaitoksen tarkastus paikaltaan skannaavalla 2D-kaikuluotaimella. (Kuva 20.) Menetelmä soveltuu pystyrakenteiden tarkastamiseen pienemmissä kohteissa. Selkeimpänä erona liikkeestä tapahtuvaan 3D-tarkastukseen on tarkastuksen hitaus sekä se, että pohjan ja rakenteen profiilia ei voida kartoittaa yhtä kattavasti. Kun aineistoa ei voida toimistolla jälkeinpäin tarkastella eri kulmista, on esimerkiksi poikkileikkaukset osattava ottaa jo tarkastusta tehdessä halutuista paikoista. (Kuva 21.)

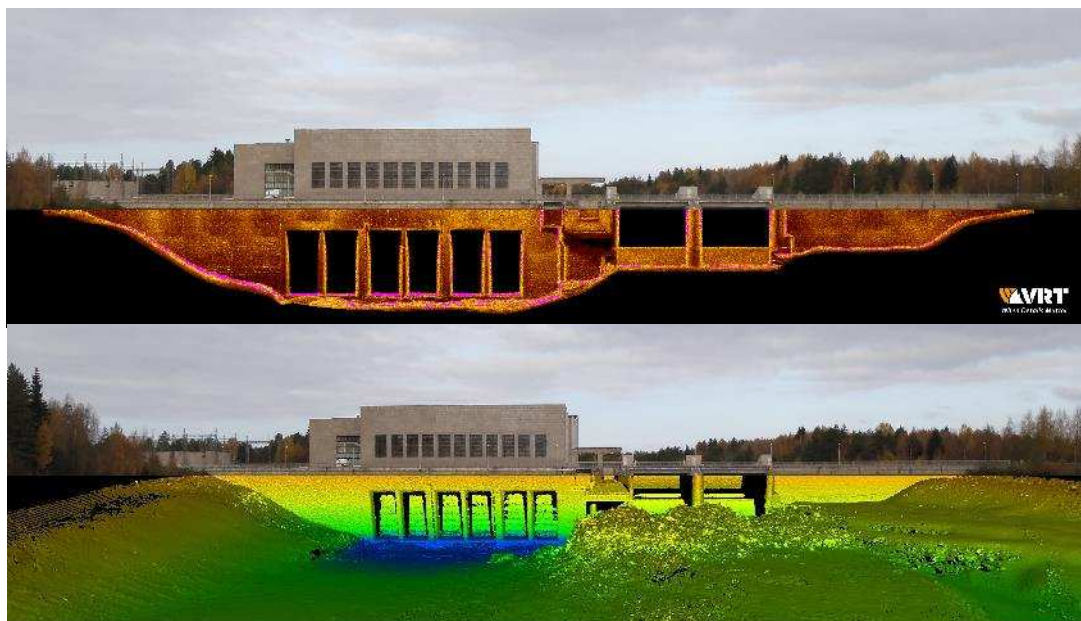
2D-tarkastuksen hitaus liikkuvalla alustalta tapahtuvaan mittaukseen verrattuna kasvaa mitä suuremmasta kohteesta on kysymys. Esimerkiksi 500 metriä voimalaitosrakenteita kestää kokonaisuudessaan (kenttätyö ja aineiston käsittely) noin 7-8 päivää, kun vastaava tarkastus liikkuvalla alustalla 3D-muodossa suoritettuna kestää 3-4 päivää.



Kuva 20. Havainnekuva 2D-tarkastuksesta yläpuolella sekä sama kohta kommentoilla alapuolella.



Kuva 21. Poikkileikkaus 2D-tarkastuksessa.

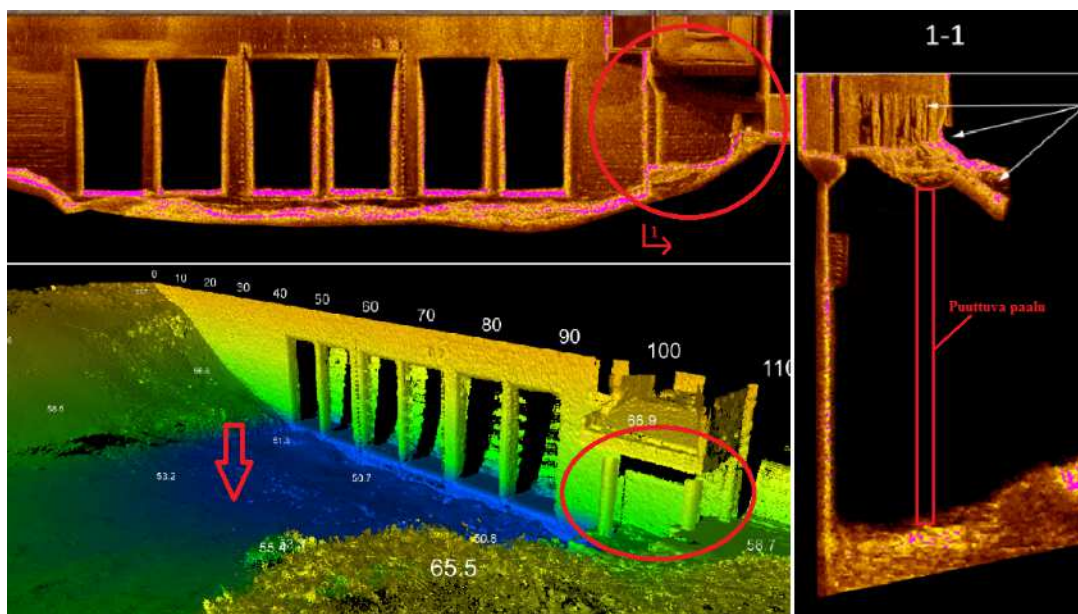


Kuva 22. Saman kohteen havainnekuva 2D-aineistosta yläpuolella ja 3D-aineistosta alapuolella.

Esimerkkikohde 3 on vesivoimalaitos, jossa sama kohde on tarkastettu sekä 2D-, että 3D-menetelmillä. (Kuva 22.)

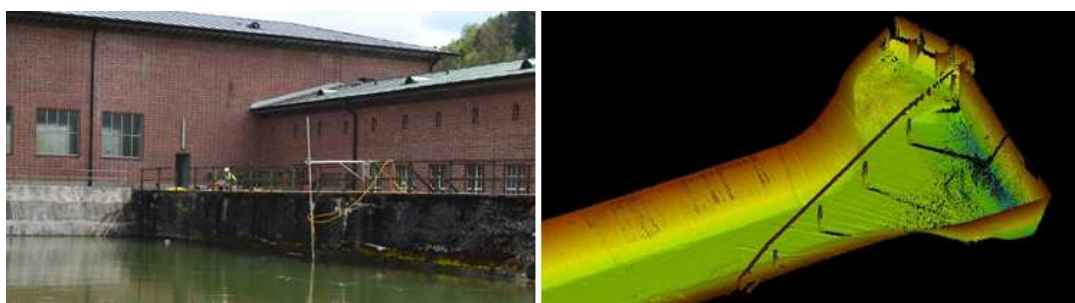
Kuvassa 23 on vertailtu 2D- ja 3D-tarkastusaineistoja toisiinsa. 2D-tarkastuksessa varjot ja paluukaiun voimakkuus tekevät kuvista havainnollisia. Toisaalta ne ovat aina kohtisuora

näkymä rakenteeseen, jolloin esimerkiksi pohjan muotoja ei saada kartoitettua. Lisäksi aineistoon voi jäädä kohtia, joita ei ole saatu kartoitettua. Kuvassa 23 on esitetty kuinka betoniulokkeen alla oleva paalu on kokonaisuudessaan jäänyt havaitsematta 2D-aineistossa, kun taas 3D-aineistossa se on selkeästi nähtävissä.

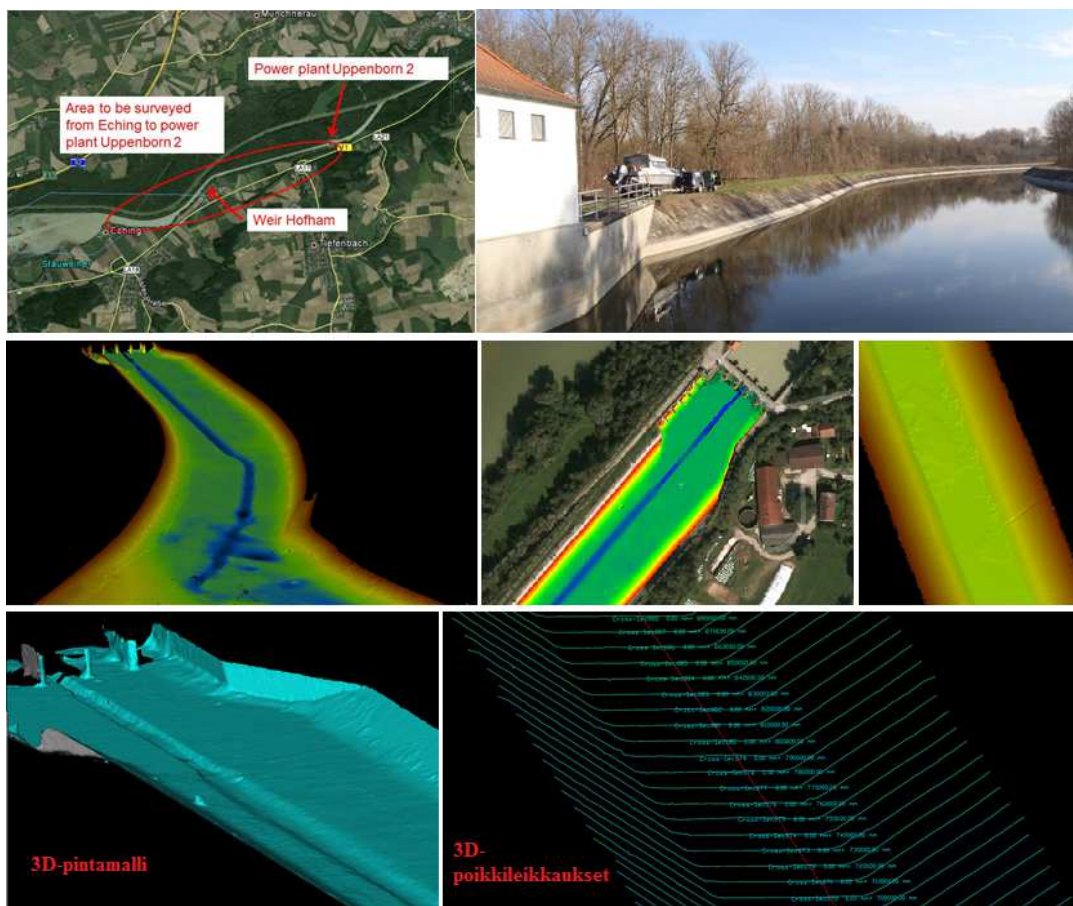


Kuva 23. 2D- ja 3D-aineiston vertailua.

Esimerkkikohde 4 on voimalaitokselle johtavasta betonirakenteisesta kanavasta. Tarkastusalueen pituus oli 3,5 km. Tarkastus suoritettiin liikkuvalla alustalta monikeilaamalla, jonka jälkeen aineistosta kartoitettiin alueet tarkempia tutkimuksia varten. Nämä alueet käytiin mittaamassa paikaltaan skannaavalla 3D-kaikuluotaimella. (Kuva 24.) Yhdistetystä 3D-aineistosta tehtiin kirjallisen tarkastusraportin ja havainnekuvien lisäksi 3D-pintamalli sekä poikkileikkauksia mahdollisten kasautumien tarkempaan analysointiin ja virtauslaskelmia varten. (Kuva 25.) Kerätty mittausaineisto toimii myös lähtötietona toistuville mittauksille muodonmuutosten, kuten betonilaattojen liikkeiden seurannassa.

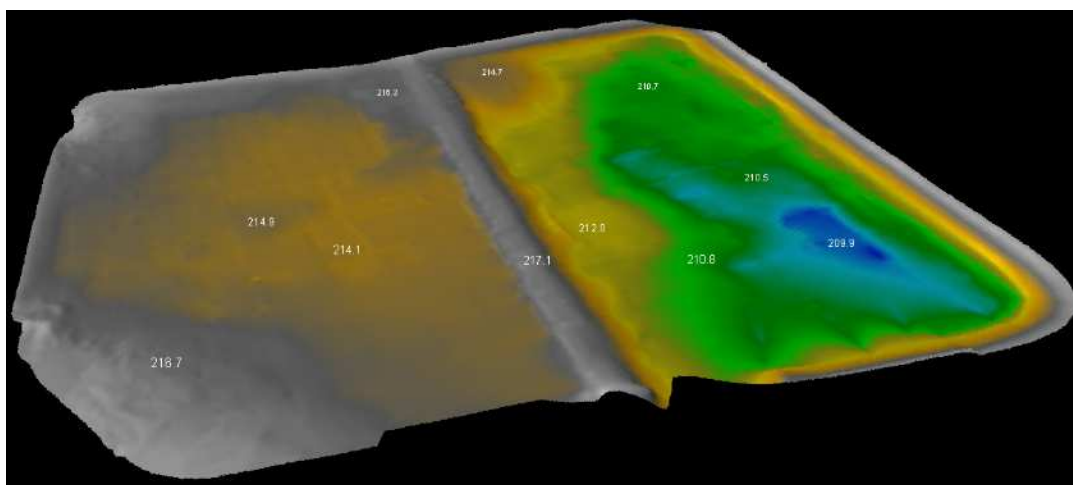


Kuva 24. Lisämittauksia paikaltaan skannaavalla 3D-kaikuluotaimella.

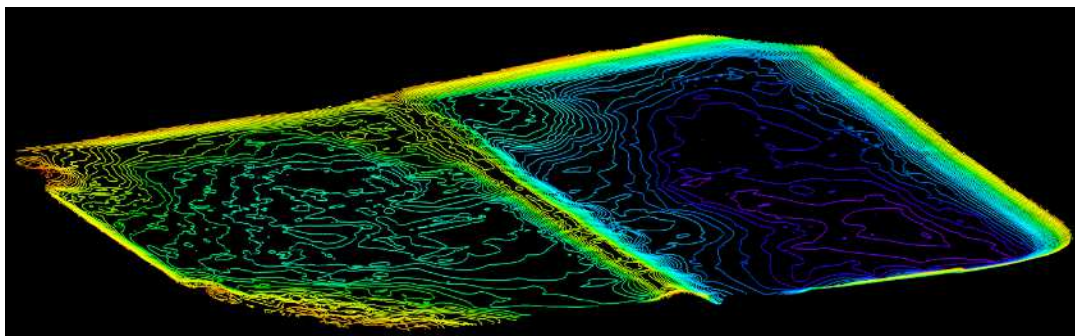


Kuva 25. Aineiston jatkokäsittelyä mm. 3D-pintamalliksi ja poikkileikkauksiksi.

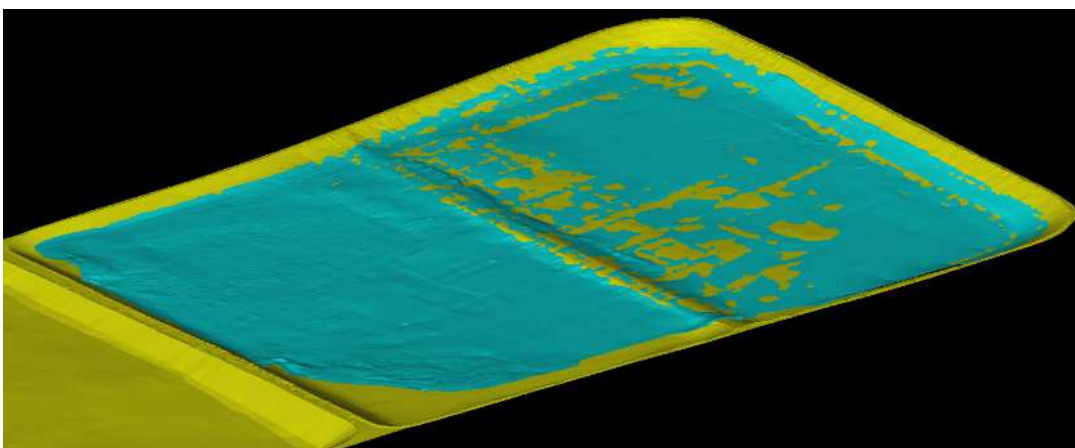
Esimerkkikohde 5 on prosessivesialtaan määräaikaismittaukset. Mittausten tarkoituksena oli seurata altaan muodonmuutoksia. Kuvissa 26-28. on esitetty mittausaineistosta luotu havainnekuva, 3D-syvyyskäyrät ja kahden eri mittauksen 3D-pintamallien keskinäistä vertailua.



Kuva 26. Prosessivesialtaan havainnekuva.



Kuva 27. Prosessivesialtaan syvyyskäyrät.



Kuva 28. Kahden eriaikaan tehdyn mittausaineiston vertailua 3D-pintamallien avulla.

4. Aineiston hallinta

Aineiston hallinnalla tarkoitetaan paitsi mittausaineiston, myös muiden rakenteeseen liittyvien dokumenttien hallintaa. Tämä vaikuttaa olevan monella padon omistajalla haasteellista, kun tarjolla ei ole ollut yhtä selkeää järjestelmää ja hallintaan tarvittavia tietoja tulee monelta eri toimijalta, eri muodoissa. Lisäksi useimmat kohteet ovat niin iäkkäitä, että esimerkiksi vanhat suunnitelmapiirustukset ovat osin kadonneet tai rakentamisen aikaisia muutoksia ei ole päivitetty suunnitelmiin. Mahdollinen tieto näistä muutoksista tai muista korjauksista on usein siirtynyt työntekijöiden mukana.

Järjestelmällisellä aineiston hallinnalla mahdollistetaan kohteen elinkaaren aikainen kunnon valvonta ja saavutetaan selkeitä kustannussäästöjä. Se mahdollistaa eri aikaan tehtyjen tarkastusten keskinäisen vertailun ja näin tarvittavien korjaustoimenpiteiden oikea-aikaisen sekä suunnitelmallisen aloittamisen. Kun tarvittavat dokumentit ja tiedostot ovat yhdessä paikassa, helpottuu ja nopeutuu esimerkiksi korjaussuunnittelijan tai tarkastusviranomaisen työnteke.

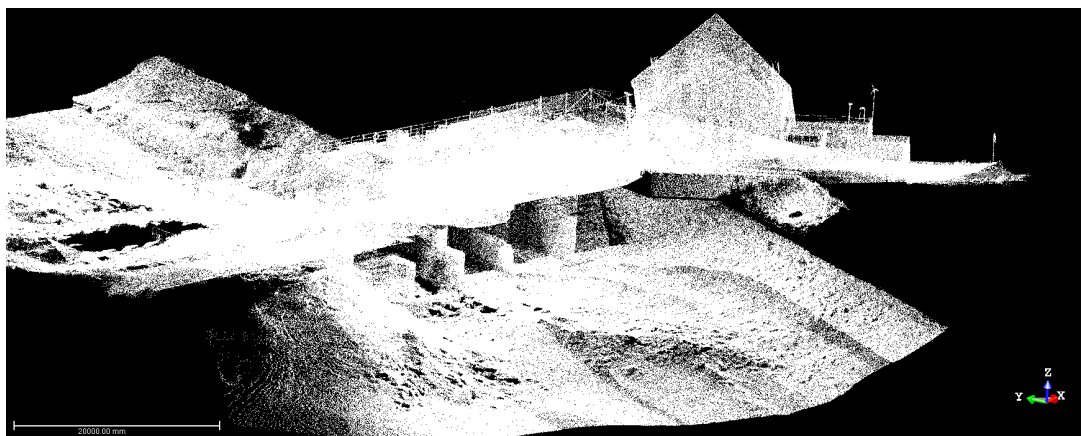
4.1 Aineiston jatkokäsittely

Aineiston jatkokäsittely sukellustarkastusten yhteydessä koostuu tehtyjen muistiinpanojen puhtaaksi kirjoittamista tai piirtämisestä sekä videoaineiston analysoinnista ja kirjallisesta raportoinnista.

2D-kaikuluotauksen osalta aineiston jatkokäsittely on yksittäisten kuvien yhdistämistä toisiinsa yhdeksi panoraamakuvaksi. Tämän jälkeen kuvat analysoidaan, niihin lisätään tarvittavat kommentit ja mitat sekä laaditaan kirjallinen tarkastusraportti.

3D mittausaineiston jatkokäsittely ja hyödyntämismahdollisuudet ovatkin sitten huomattavasti monimuotoisemmat. Menetelmä mahdollistaa eri aikaan tehtyjen mittausten keskinäisen vertailun, massan laskennan esim. eroosioalueilta sekä 2D CAD piirustusten, 3D CAD mallien tai BIM mallien teon. Erityisen tärkeää on myös huomioida, että mikäli suunnittelua tehdään 3D-ympäristössä, tulisi myös lähtötiedot olla 3D-muodossa.

3D-aineisto pyritään jo lähtökohtaisesti mittaamaan haluttuun koordinaatti- ja korkeusjärjestelmään, mutta tarvittaessa näitä voidaan muuttaa myös jälkikäteen. Aineiston jatkokäsittely aloitetaan kohinapisteidien siivoamisella. Mikäli on käytetty eri mittausmenetelmiä, yhdistetään nämä yhdeksi kokonaisuudeksi. (Kuva 29.)



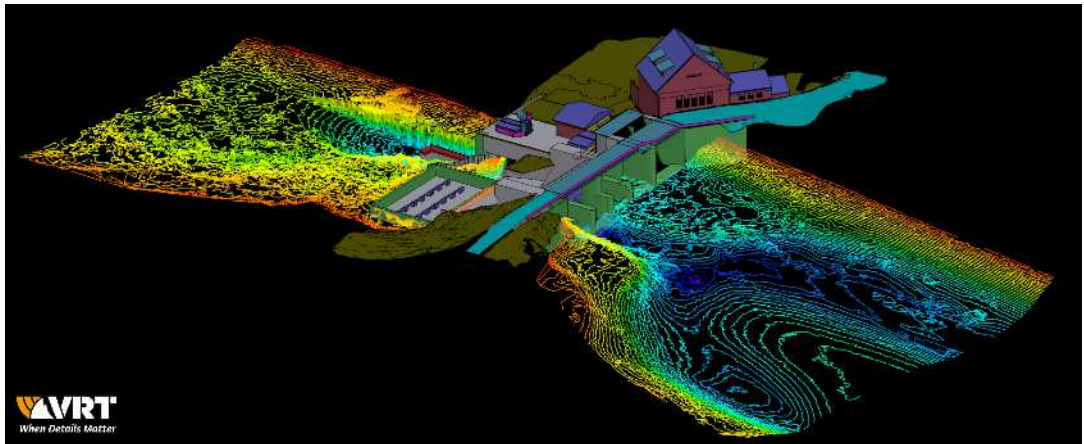
Kuva 29. Yhdistetty pistepilvi (laserkeilaus, monikeilaus, paikaltaan skannaava 3D-luotaus).

Tämän jälkeen aineistosta tehdään tyypillisesti havainnekuvat, koska useimmilla asiakkailla ei ole tarvittavia ohjelmistoja 3D-pistepilviaineiston tarkasteluun. 3D-aineistosta tehtyjen havainnekuvien hyvänä puolena on se, että niitä voidaan tarkastella eri kuvakulmista ja näin saada parempi käsitys kohteesta. (Kuva 30.)



Kuva 30. Havainnekuva vesivoimalaitoksen yläpuolelta.

Lisäksi 3D-aineistosta voidaan mitata mahdollisten vaurioiden syvyyksiä, laskea näiden tilavuuksia tai ottaa poikkileikkauksia esimerkiksi rakenteen profiilin hahmottamiseksi. Mikäli tarkoituksena on hyödyntää mittausaineistoa esimerkiksi korjaussuunnittelussa tai analysoida uoman muotojen vaikutusta virtauksiin, tehdään pistepilvestä 2D-piirustus tai 3D-malli. (Kuva 31.)



Kuva 31. Pohja mallinnettu syvyyssäyrinä ja rakenteet pintamallina.

Tarvittaessa mallinnusta voidaan jatkaa vielä pidemmälle, jolloin mallinnustyötä jatketaan aina tietomalliksi (BIM) asti. Tietomallinnuksessa mallinnettaville osille määritetään, esimerkiksi ainevahvuus ja materiaali. Suunnittelutyön yhteydessä sinne lisätään myös tarkempaa detaljitietoa, kuten raudoitukset. (Kuva 32.) Tietomallia voidaankin tämän jälkeen hyödyntää monipuolisesti esimerkiksi tulostamalla tarkat materiaaliluettelot tai työmaan aikataulutuksen työkaluna.

