



Kuva2. Laserkeilaus tuottaa tarkan 3D-mallin kohteesta.

modernisointeja, koska laitosuunnittelussa on siirrytty 3D-suunnittelumenetelmien käyttöön. Tehdasmalleja käytetään myös teollisuuslaitosten kunnossapitojärjestelmissä mm. kolmiulotteisena käyttöliittymänä kuvaamaan virtuaalista todellisuutta tai laadittaessa ns. älykäs malli, joka sisältää geometrisen as-built-tiedon lisäksi ominaisuustietoina yksityiskohtaiset laitetiedot, putkimateriaalit, tiedot virtaavista aineista ja huoltotiedot. Maa ja Vesi Oy:ssä laserkeilausta on vuoden 2000 aikana sovellettu kuudessa metsä- ja kemianteollisuuden kohteissa Suomessa, Hollannissa ja Saksassa.

Menetelmällä on teollisuushankkeiden ohella merkittäviä sovelluskohteita myös infrastruktuurisektorilla. Ensimmäiset käytännön infrasovellukset ovat liittyneet tunnelien ja siltojen mallintamiseen sekä maastomallin mittaamiseen. Uusia sovelluskohteita on löydetävissä mm. maanalaisten tilojen rakentamisesta, kaivosteollisuudesta, laivanrakennusteollisuudesta ja talotekniikasta.

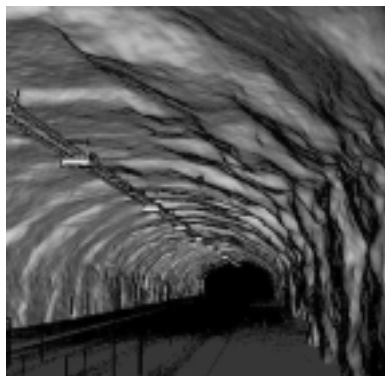
Kehitysnäkymät

Laserkeilaus on nopeasti syrjäyttämässä monia perinteisiä mittausmenetelmiä. Helikopterista tai lentokoneesta tehtävästä laserkeilauksesta on tullut varteen-

otettava kilpailija fotogrammetrisille mittauksille. Tilamallinnuksen perinteisiin menetelmiin (takymetrimittaus ja lähifotogrammetrian käyttö) verrattuna laserkeilaus mahdollistaa selvästi kustannustehokkaammin kattavien 3D-mallien tuottamisen ja tuo virtuaalimallien käyttäjille uusia mahdollisuuksia ja monenlaista lisäarvoa.

Laserkeilausprosessissa pistemäisen tiedon keruu on jo tänä päivänä hyvin automaattista. Käytössä on kuitenkin vasta ensimmäisen sukupolven laitteet, joten tulevaisuudessa laitteet tulevat olemaan nykyistä selvästi pienempiä ja suorituskyseisempiä. Pistetietojen jatkokäsittelyohjelmistoissa on vielä paljon kehitettävää. Tietotekniikan huima kehitys antaa kuitenkin uskoa siihen, että jo lähitulevaisuudessa ohjelmistot hallitsevat selvästi suurempien tietomäärien käsittelyn sekä nykyistä automaattisemman kohteiden luokittelun ja mallinnuksen.

**Kirjoittaja on diplomi-insinööri ja osastopäällikkö Maa- ja Vesi Oy:ssä.
Sähköposti: jukka.makela@poyry.fi.**



Kuva 3. Tunnelimallinnusta laserkeilauksella.

- Merenkululaitoksen
- kartta- ja väyläosasto
- tilasi laserkoemittauksen
- Australialaiselta LADS Corporation Ltd:lta.
- Mittauksella oli tarkoitus selvittää tämän uuden merenmittausmenetelmän soveltuvuutta Suomen oloihin ja samalla saada merenpohjan syvyystietoja matalilta merialueilta, joita ei ole aiemmin mitattu kattavasti.

Juhani Laaksonen, Mark Sinclair ja Mike Rodney seuraavat intensiivisesti mittauksen etenemistä.

Lentokone, lasermittauslaitteet, jälkikäsittelytietokoneet ja 15 henkilön tiimi saapui Turkuun lokamarraskuun vaihteessa 1999. Mittaus- ja jälkikäsittelyhenkilöstö viipyi Turussa koko marraskuun ja aineisto valmistui joulukuksi 1999. Lentokone poistui välillä suorittamaan myös koemittauksia Iso-Britanniaan ja Islantiin.

Testimittausalue Ahvenanmaalla

Testimittausalue käsitti pinta-alaltaan noin 160 km² Ahvenanmaan koillispuolelta pääosin karikkoista ja alle 20 met-

Lasermittauskokeilu Ahvenanmaalla

MERIKARTOITUSTA LENNOSTA



rin syvyistä merialuetta. Johtuen veden sameudesta ja läpinäkyvyydestä syvyystietoja saatiin noin 15 metrin syvyyteen ja vain noin puolesta mitattua aluetta. Nämä alueet, joista syvyydet puuttuvat, joudutaan mittaamaan monikeilaisella kaikumittauslaitteistolla, joka on nykyisin päämerenmittausmenetelmä. Lasermittausmenetelmä sopii Suomen merialueilla alkukartoitukseen ja yleistietojen hankkimiseen matalilta vesialueilta, mutta on vielä kallis merenmittausmenetelmä.

Testimittausaluetta (noin 160 km², Teilin selkä Ahvenanmaan koillispuo-

lella) mitattiin kolme täyttä mittauspäivää (noin 7 tuntia mittausa/lento). Turvallisuussyistä laserin automatiikka (ohjelmisto) sammutti laservalon, kun lennettiin maan yläpuolella (saaret ja luodot) enemmän kuin 5 sekuntia. Tämä aiheutti joidenkin mittauslinjojen uudelleenmittauksen vastakkaisesta suunnasta (paikkaukset kolmantena mittauspäivänä). Kokonaisuus edellytti varsinaista mittausa suorittavalta ja tukevalta henkilökunnalta arviolta 75 miestyöpäivää. Tämän lisäksi jälkikäsitteilyhenkilökunta käytti työn valmisteluun noin 5 miestyöpäivää. Kiintopistetiedot ja riittävät

lähtötiedot toimitti työn tilaaja. Lisäksi tilaaja toimitti sää- ja vedenkorkeustietoja. Tilaajan puolelta valmisteluun, mittaus- ja jälkikäsitteilytyön seurantaan ja raporttien tekemiseen käytettiin noin 55 työpäivää, sekä aineiston tarkasteluun ja käsittelyyn noin 15 työpäivää. Varsinaisen aineistovertailu jää tehtäväksi vertailumittausausten jälkeen tänä vuonna 2001.

Noin viisi miljoonaa syvyyssivistettä

Mittausaustyö tapahtui hyvin kontrolloidusti ja ammattitaitoisesti. Kaikista mit-

taustapahtumista ja jälkikäsitteystä tehtiin tarkat mittauspöytäkirjat, joissa mainittiin mm. paikannuksen eri kontrollit, mittaolosuhteet käsittelijän/operaattorin huomiot ja eri laskentaparametrit. Työsuoritus oli esimerkiksi. Tuotetun datan määrä oli suuri: noin 10 GB dataa (noin 5 miljoonaa syvyyspistettä). Jälkikäsitteilyoperaattorit työstivät aineiston laatutarkastelun manuaalisesti ruutukokoon 5 m × 5 m tilaajan vaatimuksesta, kun normaali käytäntö on aineiston automaattinen valinta 15 m × 15 m -ruutukokoon ja manuaalinen vertailu tiheämpään aineistoon. Tämä tilaajan vaatima käsittely vaati noin 200 miestyöpäivää toimittajalta.

Paikannuksesta

Paikannus tapahtuu mittauksen aikana WADGPS:n (Wide Area Differential GPS) avulla, jolloin horisontaalinen paikannustarkkuus on luokkaa 3–5 metriä. Korjaukset tulevat satelliittiteitse (laskennallinen piste Helsinki) – palvelun tarjoaa RACAL, UK. Lentokoneen korkeus saadaan määritettyä riittäväällä tarkkuudella vedenpinnasta heijastuvan lasersignaalin perusteella.

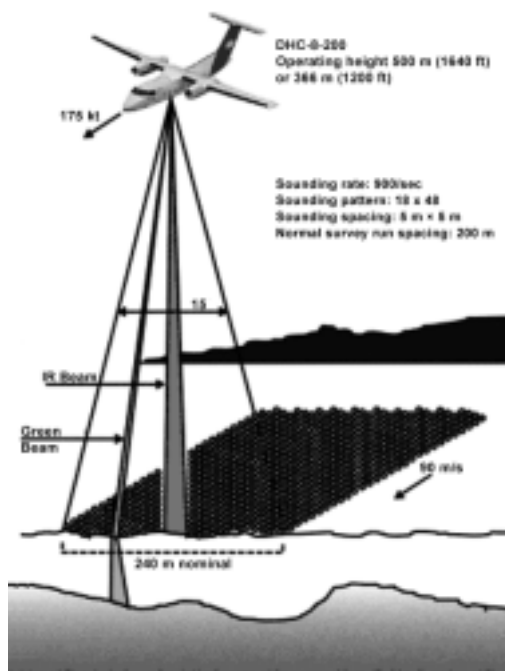
Tarkempi lasersäteen keskipisteen paikannus tapahtuu jälkilaskennassa (post processing kinematic GPS), jolloin GPS-antenni paikannetaan noin 0,2 metrin tarkkuudella (2 drms). Kiinteä referensiasema mitattiin tilaajan toimesta Turun lentokentälle.

Mittauskeila

Yhden mittauskeilan "valaisu" veden pinnassa on noin 3 metriä halkaisijaltaan oleva ympyrä, jonka paikannuksen sijainti on keskellä ympyrää. Edelleen noin 5 metrin syvyydessä "valaisu" on kooltaan noin 6 metriä halkaisijaltaan oleva ympyrä (saavutetaan peitto). Laitteistoa on testattu siten, että se täyttää kansainvälisen merenmittausjärjestön IHO:n Order 1:n merenmittauksen minimivaatimukset ja siten se havaitsee n. 8 m³:n suuruisen kohteen pohjasta.

Näin ollen esimerkiksi 5 metrin syvyydessä yhden raakasyyvyshavainnon muodostaa kohde, joka valaistuu lasersäteestä (noin 6 metriä halkaisijaltaan), joka antaa 50 % energiavasteen (ei välttämättä matalin arvo) ja jonka paikannuksen sijainti on keskellä tätä ympyrää.

Raakadatan havaintotiheys on yksi



TEKNISIÄ TIETOJA

Lasersäde tunkeutuu syvyyteen, joka on noin 2–2,5 kertaa veden läpinäkyvyys Secchi-levyllä (30 cm valkoinen metallipyörä) mitattuun syvyyteen verrattuna. Teillä on mitattu Secchi-levyn näkyvyyksiä (27.7, 23.9 ja 15.11.) ja ne ovat olleet välillä 3–7 metriä. Lasersäteellä saatiin mittauksen aikana raakadataa vielä kattavasti 15 metrin syvyydestä. Lentoja suoritettiin 10.11., 12.11., 15.11. ja 17.11., mutta 15.11.-lennolla myrskyn jälkeen signaali oli häiriöistä ja kohinaista, joten mittaus keskeytettiin heti alkuunsa. Tuolloin Secchi-levymittaukset osoittivat vain 3–4 metrin läpinäkyvyyksiä. 17.11.-lennolla vesi oli jo kirkahtanut lähes ensimmäisen lennon tasolle.

havainto jokaista 5 m × 5 m -ruutua kohden linjavälin ollessa 200 metriä. Jos halutaan tiheämpää mittausta 3 m × 3 m -ruutukokoon, on linjaväli 100 metriä.

Uloimmat säteet (keilat) käyteen järjestelmän kontrollointiin. Raakadata käsitellään heti alussa olosuhteita vastaavasti (saavutettu maksimi havaintosyvyys) sekä harvennetaan, valitaan määrätyn säteisen yksikköympyrän mukaan. Aineisto on siten esitarkistettu ja luotettavaa siirrettäväksi jälkikäsitteilytietokantaan, tässä tapauksessa ruutukoossa 5 m × 5 m (aina 15 metrin syvyyteen saakka). Jälkikäsitteilyssä operaattorit tarkastavat valitun aineiston oikeellisuuden vertaamalla sitä vielä raakadataan. Käsitteilyssä tarkastellaan mm. laserpulsin vastekäyrää, syvyyskäyrien jakaumaa ja epäselvissä tapauksissa voidaan havaintojen luokitusta muuttaa (hylätä, merkitä epävarmaksi jne.) myös jälkilaskennan parametreja voidaan muuttaa alue/tapauskohtaisesti.

Alun perin mittaaaja tarjosi laaturkasteletuna lopputuotteena vain harvennettua 15 m × 15 m -ruutukokoon dataa.

Pohjan ollessa noin 5 metrin syvyydellä sama mittauslinja useaan kertaan ja ristiin mitattuna antaa tuloksiksi:

- syvyytstarkkuus selviää vasta vertailumittauksista, arvio noin 0,5 m (2, IHO Order 1)
- syvyystoistotarkkuus on noin 10 cm ja hajonta 20–35 cm
- lasersäteiden keskipiste on paikannettu noin 2 metrin tarkkuudella (2)
- veden alla oleva kohde on paikannettu noin 5 metrin tarkkuudella (2, IHO Order 1).

Datan käsittely 5 m × 5 m -ruutukokoon teettää siis töitä noin 4–5 kertaa verrattuna 15 m × 15 m -ruutukokoon (meidän tapauksessamme noin 3 viikkoa 6–7 henkilön tiimiltä).

Ongelmia esiintyi erityisesti matalassa vedessä. Kuivan maan päällä järjestelmä menettää vertailutason (veden pinta) ja siten tulvaessa takaisin veteen, on laserlaitteistolla vaikeuksia saada välittömästi vertailutaso uudelleen kohdalleen. Vastaavasti veden pinnan voimakkaan heijastuksen alta on vaikea erottaa matalan syvyyden heijastusta. Näin rantaviiva ja matalat syvyydet välillä 0–3 metriä jäävät epävarmoiksi ja ainakin rantaviiva pitää verrata ja tarkastaa peruskartan rantaviiva-aineiston kanssa.



David Long esittelee laserlaitteiston "silmiä".

Mittauksen tarkkuudesta ja peittävydestä

Mittausmenetelmällä saavutetaan vain kansainvälisen merenmittausjärjestön (IHO) normin S-44 Order 1 -minimivaatimus. Laitteisto on suunniteltu Australian kirkkaiden vesien laajojen koralliriuttojen kartoittamiseen päämääränään merikartta, ei pienipiirteisten yksityiskohtien mittaukseen. Järjestelmään vaikuttavat mm.: paikannuksen epävarmuus, syvyysmittausepävarmuus, jalanjäljen koko ja havaittava kohde 8 m³, ei täyttä peittoa syvyysvälillä 3–5 m sekä ei varmuutta rantaviivasta. Lasermittausmenetelmällä mitattu data edellyttää täydentäviä tietoja, mm. rantaviivan osalta peruskartta-aineisto (tai ilmakeivaus ja tulkinta) ja meidän olosuhteisamme syvempien, yli 14 metriä syvien alueiden osalta monikeilainmittausta.

Tilattu ja rajattu mittausalue oli 160 km², josta saaria ja luotoja noin 27 km². Mitattu kokonaispinta-ala huomioiden mittauslinjojen päät ja reunojen levennykset oli noin 190 km². Huolimatta kuivasta maasta joudutaan saaret kuitenkin ylittämään lentäen tai kiertämään ne veneellä, mikä hidastaa työtä ja katkoo mittauslinjoja. Mittausalue oli aivan liian pieni lentokoneen kapasiteettia ajatellen. Sopivampi alue olisi noin 10-kertainen ja mielellään ainakin 200 km pitkä.

Mittaamatta jäi noin 82 km² (noin

50 %). Järkevän muotoiset mittausalueet monikeilainmittausta varten ovat pinta-alaltaan noin 90–100 km², joka ajallisesti vie noin 25 mittauspäivää ja 25 jälkikäsitteilypäivää. Syksyllä 2000 on alueella tehty vertailevia merenmittauksia veneellä monikeilainlaitteistolla. Tämä syvyysaineisto on tarkistettu, mutta tilastolliset vertailut odottavat vielä tekemistä.

Johtopäätökset

- Lasermittaus sopii parhaiten niille alueille, joille on hankalaa päästä vaikeiden sää- ja kulkuolosuhteiden vuoksi. Lisäksi lasermittauksella saadaan laajat alueet mitattua lyhyessä ajassa (jälkikäsitteilyineen kuitenkin viikkoja) mutta kustannustaso per km² on yli 2 kertaa niin korkea kuin monikeilaisella mittausmenetelmällä. Edelleen joitakin vaikeuksia on matalien syvyyksien mittausdatan (0–3 m) havainnoimisessa välittömästi luotojen, saarien ja muiden kuivien alueiden jälkeen. Menetelmä on täysin riippuvainen veden läpinäkyvyysolosuhteista.
- Lasermittauksen syvyystarkkuus ja luotettavuus meidän koetapauksessamme selviää vasta tilastollisessa analysissä vertailtaessa monikeilaimella tehtyjä tarkistus- ja täydennysmittauksia. Monikeilainmittauksella saadaan kaikki syvyysuhteet mitat-

tua kerralla.

- Aktiivista mittauslentoa oli yhteensä noin 16 tuntia. Yhdessä mittauslennossa mitattiin keskimäärin 11,9 km², josta saatiin matalilta vesialueilta läikittäin noin 5,3 km² syvyysdataa.
- Ajatellen menetelmän jatkokäyttöä, on etukäteisvalmistelut tehtävä huolella ja harkittava tarkasti mitattava alue (riittävän suuri pinta-ala, geodeettiset ja merentutkimukselliset valmistelyt). Jatkuvia Secchi-levymittauksia olisi harkittava merenmittaus työn osaksi.
- Mittausalueen tuloksia voidaan myös verrata samalta alueelta olevaan ilma-kuvaan (mv) sekä satelliittikuvaan. Satelliittikuvakeskukselta voitaneen tilata pienempiäkin alueita vertailun tekemiseen, jos vain kuvan resoluutio on riittävä.

Kirjoittajat ovat diplomi-insinöörejä, jotka työskentelevät Merenkulkulaitoksen merenmittaustoimistossa.
Sähköposti:
juhani.laaksonen@fma.fi ja seppo.makinen@fma.fi.