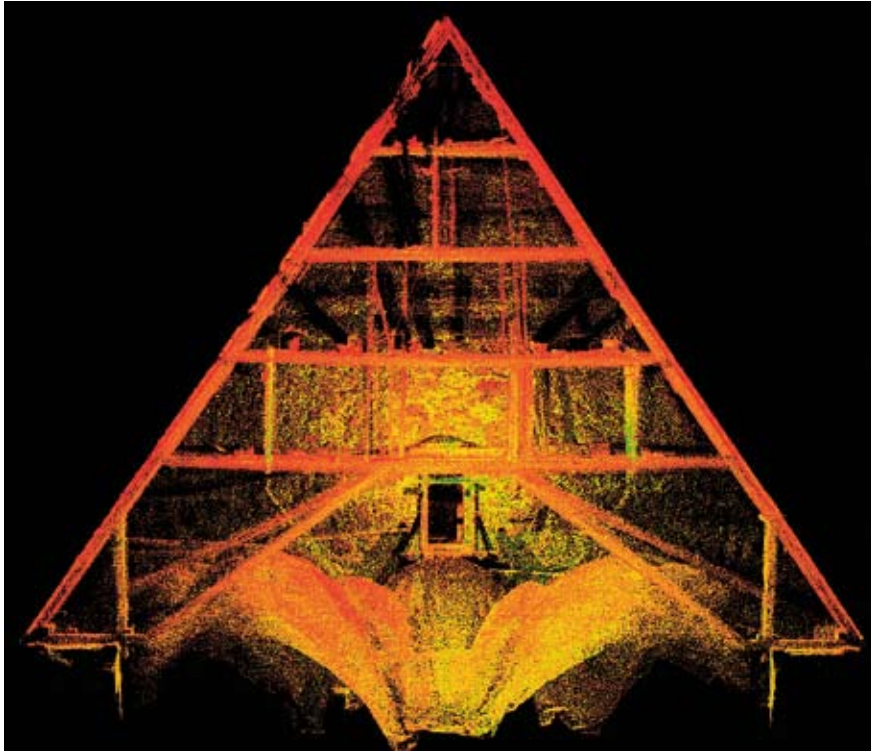
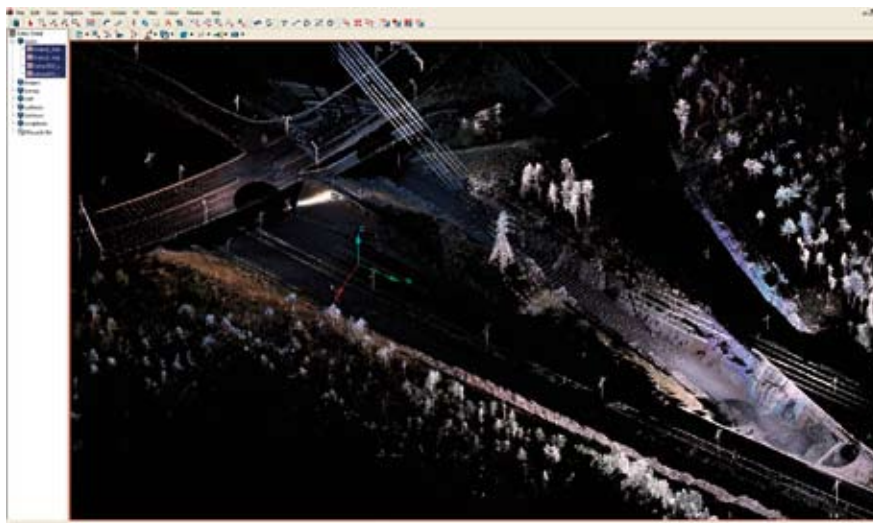


Universaaliskannneria etsimässä eli miten valita maalaserkeilain?



Kuva 1. Sipoon kirkon ullakolta Callidus CPW8000 -keilaimella skannattua aineistoa. Laitteella on mahdollista tallentaa pieniäkin yksityiskohtia, kuten kattopalkkien muotoja.



Kuva 2. Näkymä Kehä 3:n ja Uuden Porvoontien risteyksestä keilattuna I-Site 4400LR -laitteella. Tämä skanneri soveltuu erityisen hyvin suurien kokonaisuuksien nopeaan mittaamiseen.

VIIME VUOSINA maalaserkeilainten määrä on kasvanut nopeasti Suomessa. Pioneeriyritysten lisäksi alalle tulee jatkuvasti uusia yrityksiä kokeilemaan tekniikan suuria mahdollisuuksia. Kokeneiden tekijöiden on helpompi etsiä itselleen sopiva laite, mutta laitteisiin perehtymätön ostaja uppoaa nopeasti mainoslauseiden ja teknisten tietojen suohon. Millaisia asioita laitteiden valinnassa kannattaa siis pohtia?

Laitteiden kirjo ja toimintaperiaatteet

Laitevalinnassa liikkeelle kannattaa lähteä omien tarpeidensa määrittelemisestä. Tässä vaiheessa monet toteavat haluavansa skannata kaikenlaisia kohteita kaikenlaisille asiakkaille. Tämä on lähtökohtaisesti hieman hankala asetelma, sillä varsinaista yleismies-Jantunen-laitetta ei ole vielä valmistettu eikä välttämättä ihan helposti valmistetakaan. Siteeraan tässä saksalaista skannerivalmistajaa **Bernd Breuckmannia**, joka kesällä 2007 totesi hänelle esitettyyn kysymykseen yleisskannerin valmistamisesta: ”Samalla periaatteella ajateltuna meidän pitäisi valmistaa vain yhdenlaisia autoja. Miksi siis myydään kuplavolkareita ja rekkoja?”

Maasta käsin skannattavilla kohteilla on laaja kokovaihtelu aina pienveneistä pilvenpiirtäjiin ja myös mittausten tarkkuusvaatimukset vaihtelevat tilaajan tarpeiden mukaan (kuvat 1 ja 2). Tästä syystä Manner-Euroopassa laserkeilauksiin erikoistuneilla yrityksillä voi olla jopa kuusi erilaista laitetta kaikenlaisten töiden tekemiseksi.

Laserkeilauksikäsitteen sisällä on itse asiassa useampia mittausperiaatteita, joita käyttämällä on mahdollista saavuttaa erilaisia mittaustarkkuuksia. Näistä kolmiointi- eli triangulointimenetelmää käytettäessä on kohteen pinta mahdollista mitata jopa mikrometrien tarkkuudella, mutta tällöin mitattavan kohteen täytyy yleensä sijaita lähellä mittalaitteita. Näin ollen kolmiointitekniikkaan perustuvat laitteet (kuvat 3 ja 4) soveltuvat ensisi-

jaisesti esineiden tai pienten kohteiden mittaamiseen. Nämä laitteet ovat usein myös herkkiä ympäristön valolle, joten niillä on hankala mitata ulkoilmassa.

Laserpulssein aikaeron mittaamiseen perustuvat ns. pulssilaserit (kuvat 5–8) mittaavat puolestaan pidempiä etäisyyksiä jopa muutamaan kilometriin asti ja vaiheeron mittaamiseen perustuvat keilaimet (kuvat 9–10) toimivat tyypillisesti 20–80 m:n etäisyyteen asti. Lisäksi markkinoille on alkanut tulla hybridilaitteita (kuva 11), jotka yhdistävät molempia mittaustekniikoita. Mittausetäisyyden mukaan keilainta valittaessa kannattaa ottaa huomioon, että ilmoitetut etäisyydenmittauksen maksimiarvot toimivat vain hyvin heijastavilla pinnoilla ja että annettuihin tarkkuuksiin ei välttämättä päästä kenttäolosuhteissa. Kaikeksi onneksi monet valmistajat ilmoittavat nykyään 10 % tai 18 % heijastuvuusarvon maksimietäisyyden, joka kuvastaa jo hyvin reaali maailmassa saavutettavia mittausetäisyyksiä. Lisäksi kannattaa tarkastella kriittisesti pistepilven laatua äärietäisyyksiä lähestyttäessä, sillä tarkkuudet ja pisteiden laatu heikkenevät etäisyyden funktiona. Näin tapahtuu erityisen selvästi vaiheerokeilainten kohdalla.

Mittausperiaate vaikuttaa myös mittausnopeuteen, koska laserpulssein vaiheeroa mittaavat keilaimet omat aikaerolasereita huomattavasti nopeampia. Pääosa uusimmista vaihe-erokeilaimista mittaa esimerkiksi horisontaalisesti 360 ja vertikaalisesti 270 asteen alueen muutamassa minuutissa, tosin resoluutiota kasvatettaessa on tällöinkin aikaa käydä kahvilla. Vastaavan alueen mittaamiseen pulssilaserilla voi kulua jopa reilu tunti käytettävästä resoluutiosta riippuen, joten yleensä näiden laitteiden hyvä käyttö perustuu järkevään keilausalueen valintaan. Tosin markkinoiden uusin tulokas (kuva 6) näyttää vievän pulssilaserien nopeuden uudelle tasolle. Rajattujen alueiden skannauksessa, kuten esimerkiksi julkisivujen kohdalla, mittausaikaan vaikuttaa erityisesti horisontaalialueen leveys, jolloin pulssilaserilla voi päästä vaihe-eroskanneria nopeampaan lopputulokseen. Pienissä sisätiloissa vaihe-erokeilaimin on usein nopeampi vaihtoehto, mutta tilojen kasvaessa tai katvealueiden lisääntyessä voi keilauksia joka tapauksessa joutua tekemään useammilta asemapisteiltä. Näin pulssilaserin yläpuolelleen jättämä aukko voidaan mitata viereiseltä asemapisteeltä.

Ympäris kannavaat vaihe-erokeilaimet voivat mitata sekunnissa esimerkiksi 500 000 pistettä ja näin ollen jo yhdestä

“Varsinaista yleismies-Jantunen-laitetta ei ole vielä valmistettu eikä välttämättä ihan helposti valmistetakaan.”



Kuva 3. Lappeenrannan Huhtiniemessä oikeusarkeologisissa tutkimuksissa keilattiin muun muassa Mensi 25 -keilaimella. Kuvassa Mika Lavento ja Hannu Heinonen. Tällä jo myynnistä poistuneella skannerilla saa mitattua pienikohinaista pistepilveä 2–25 metrin etäisyysalueella.

Kuva 4. Konica-Minolta Vivid 9i -skannerilla mitattiin Hattulan kirkon ulkoseinän koristelua. Tämä keilain soveltuu lyhyille etäisyyksille ja sen näkökentän laajuutta voi vaihdella kolmen linssin avulla.





Kuva 5. Eräs varhaisimpia kaupallisia skannereita, Callidus CP3200, mittaamassa arkistohuonetta. Tämä laite on markkinoiden varhaisimpia ympäripyöriviä pulssilaserkeilaimia, mutta sen nopeasti levenevä lasersäde ei sovellu pienten yksityiskoh- tien tallentamiseen.



Kuva 6. Riegl VZ-400 on uusimpia kaupallisia laitteita, joka vaikuttaa siirtävän pulssilaserit suorituskyvyltään aivan uuteen luokkaan sekä nopeudellaan että tarkkuudellaan.



asemapisteestä mitatun pistepilven koko voi olla valtava. Aikaeroskannerit mittaavat noin 1 000–125 000 pistettä sekunnissa, jolloin myös kokonaispistepilven koko pysyy siedettävässä koossa. Pistepilven koolla on merkitystä, koska on erittäin helppoa luoda niin suuria pistepilviä, ettei niitä saa auki edes tehotyöasemalla. Suurissa projekteissa voi myös olla useita satoja tai jopa yli tuhat asemaa. Suuren pistemäärän sijaan kannattaakin panostaa pistepilven laatuun.

Muita valintaan vaikuttavia tekijöitä

Sopivaa laitetta valittaessa onkin siis otettava huomioon monta muuta seikkaa kuin vain laitteen nopeus, jota korostetaan usein myyntitilanteessa. Nopeus on kyllä tärkeä tekijä, koska monasti mittaukset on syytä tehdä lyhyessä ajassa esimerkiksi turvallisuustekijöistä johtuen. Kokonaisuuden ja kustannusten kannalta huomionarvoista ei tosin ole ainoastaan mittaustyön nopeus kentällä, vaan koko skannausprosessiin kuluva aika: skannaus, tiedonpurku, aineistojen yhdistäminen ja haluttuun koordinaatistoon siirtäminen. Kokonaisprosessiin pitää lisätä vielä lopputuotteiden mallintamiseen kuluva aika. Skannerin yleiseen käytettävyyteen vaikuttavat näet monet osatekijät. Toisilla laitteilla ja ohjelmistoilla yksinkertaisia tuloksia voi saada jo heti mittaustapah- tuman jälkeen, kun taas osalla laitteista tuloksien saaminen vaatii hiukan enemmän työtä.

Muita huomion arvoisia tekijöitä ovat mm. laitteen yleinen kestävyys ja käytettävyyys kenttäolosuhteissa sekä sen mittausetäisyys ja -tarkkuus. Toiset keilaimista ovat akkukäyttöisiä ja niillä voi mitata parin akun avulla koko päivän. Myös laitteiden kosteuden, pölyn ja pakkasen suojaus vaihtelee, joten ulkokäytössä vikaherkkyys on otettava huomioon. Laitteen suojausarvoja kuvastaa esimerkiksi sähkölaitteiden koteloita luokitteleva IP-standardi. Sen ensimmäinen luku kuvaa laitteen pölytiivyyttä ja toinen vesitiivyyttä. Mittaustarkkuudesta

Kuva 8. I-Site 4400 LR -keilain Talvivaarassa. Australialaista laitetta on testattu Etelänapamantereella –40 asteen pakkasissa ja siinä on etäisyysmittauksen kanssa samanaikaisesti toimiva pyörivä 37 megapikselin viivakamera.



Kuva 7. Mensi GS200 -keilain mittaamassa rakennuksen ulkoseinien yläosia ja kattoja. Tässä keilaimessa on kaupallisissa laitteissa harvinainen lasersäteen autofokusointiomi- naisuus, jonka avulla lasersä- teen halkaisijaa voidaan pitää pienenä varsin pitkälläkin mittausmatkalla.

mainitaan valitettavan usein vain etäisyysmittauksen tarkkuus, vaikka esimerkiksi kulmamittauksen tarkkuudella on vähintäänkin yhtä suuri merkitys lopulliseen sijaintitarkkuuteen.

Lisäksi mittaustuloksen laatuun vaikuttavat esimerkiksi lasersäteen halkaisija mittausetäisyydellä sekä mittauksen kohina. Tarpeen mukaan voi myös kiinnittää huomiota myyjän tarjoamaan tukeen Suomessa ja suomen kielellä sekä tarjottuun koulutukseen. Yleisesti ottaen sikaa ei edelleenkään kannata ostaa säkissä. Tai kuten jo muinaiset roomalaiset totesivat: "Caveat emptor!" (Ostaja varokoon!) Toisaalta myyjää ei voi syyttää epäonnistuneesta hankinnasta, jollei ostaja osaa määrittellä tarpeitaan ja tavoitteitaan.

Laitteiden keskinäinen vertailu kuulostaa hyvältä lähestymistavalta valintaan, mutta käytännössä tekniset tiedot ovat vaikeasti verrattavissa keskenään. Ilmoitetut tekniset arvot ovat useimmiten maksimiarvoja, joten todelliset arvot, kuten nopeus, ovatkin erilaisia käytännössä. Osasta arvoista ei edes tiedetä, mitä ne käytännössä kunkin valmistajan kohdalla tarkoittavat, sillä terminologia vaihtelee. Alustavan kuvan markkinoilla olevista laitteista saa esimerkiksi *GIM International* -julkaisussa muutaman vuoden välein tehtävistä laitevertailuista.

Käytännön testaaminen on aina hyvä lähestymistapa, jos se suinkin vain on mahdollista. Näin voi tehdä silloin, kun tietää millaisia kohteita laitteella aiotaan pääasiassa skannata. Esimerkiksi eräs kollegani mittaa paljon marmorisia kohteita Kreikassa, joten hän kokeilee jokaisen käsiinsä saamansa skannerin pistepilven laatua marmorin mittauksessa. Puhdistettu tai uusi marmoripinta on näet hankala mittauskohde marmorin valoa osittain läpäisevän kiderakenteen takia. Kannattaa siis muistaa, että mitattavan kohteen materiaali ja väri vaikuttavat lopputulokseen.

Tutkimuspuolella huomionarvoisia asioita laitteenvälinnässä voisivat puolestaan olla esimerkiksi laitevalmistajan suopea suhtautuminen akateemiseen tutkimukseen sekä mahdollisuus saada skannerista ulos suodattamatonta raakadataa. Laitteiden toimintaperiaatehan kyllä tiedetään, mutta valmistajien yksilölliset, ei-julkaistut ratkaisut tekevät kojeista käytännössä mustia laatikoita eli siis toisten mielestä ihanteellisia tutkimuskohteita.

Lopuksi on muistettava, että laserkeilain on mittalaite ja kuten kaikilla mittalaitteilla, myös sillä on omat virheensä. Kolme tärkeintä pisteiden laatuun

vaikuttavaa tekijää ovat käyttäjä, laitteen ominaisuudet ja skannattavan kohteen pinnan heijastusominaisuudet. Virheistä selvillä oleminen ja niiden minimoiminen kuuluu mittajaan ammattitaitoon eli käyttäjän täytyy saada koulutusta. Kaikkien mittalaitteiden tavoin skanneria on kuitenkin syytä myös kalibroida silloin tällöin vertailukelpoisten mittaustulosten saavuttamiseksi. Virallisia kalibrointi- tai korjaustahoja ei vielä tässä vaiheessa ole, vaan laitteet täytyy lähettää takaisin valmistajien tehtaille vikojen ilmettyä tai muuten säännöllisesti kalibroitaviksi. Tämä merkitsee usein muutaman viikon reissua skannerin kotikonnuille ja varsin isoa laskua. Ostokustannusten lisäksi laitteen ylläpitoon tarvittavat varat kannattaisi siis huomioida etukäteen, ettei skanneri jää turhaan varastoon komeron perälle.

Laitteiden ja ohjelmistojen naimakauppa

Ennen keilaimen lopullista valintaa on syytä lisäksi varmistaa kyseisen keilaimen

Kuva 10. Petteri Pöntinen operoimassa Faro LS880 -vaihe-erokeilainta Hangon Hauensuolella. Faron vaihe-erokeilaimen rakenne on modulaarinen eli sen osia voi päivittää erikseen.



"Pistepilven koolla on merkitystä, koska on erittäin helppoa luoda niin suuria pistepilviä, ettei niitä saa auki edes tehotyöasemalla."



Kuva 9. Jatko-opiskelijat tutustuvat Jean-Angelo Beraldinin johdolla Leican HDS6000 -vaihe-erokeilaimen toimintaan TKK:ssa syyskuussa 2008 järjestetyssä tutkijakoulussa. Leican keilain on kompakti ja helppokäyttöinen laite.



Kuva 11. Callidus CPW8000 -hybridikeilain skannaamassa kalliopiiirroksia Hangon Hauensuoella. Laitteen mittauseriaatteessa yhdistetään pulssi- ja vaihe-errotekniikoita, jotta vaihe-erokeilaimille tyypillinen etäisyysmittauksen nopea heikkeneminen matkan funktiona saataisiin kuriin.

jatkokäsittelyohjelmiston soveltuvuus tarvittavaan mallintamiseen. Esimerkiksi monet teollisuuskäyttöön suunnitellut ohjelmistot eivät tue ortokuvien tekoa tai normaalipituisia koordinaatteja. Pistepilvien käsittelyohjelmiin on perehdyttävä tarkoin, sillä ne ovat varsin hinnakkaita ja muodostavat tärkeän osan onnistuneesta lopputuloksesta. Joillekin käyttäjille ohjelmiston toiminnallisuus on suorastaan kojeen ominaisuuksia tärkeämpi tekijä.

Skannerin ostettuaan asiakas on yleensä myös naimisissa laitevalmistajan ohjelmiston kanssa, jota tarvitaan melkein aina raakatiedostojen avaamiseen. Tämän jälkeen aineiston käsittely voi jatkaa samassa

ohjelmassa tai sen voi tekstitiedostoksi tallennettuna avata muissa pistepilvien käsittelyyn tarkoitetuissa ohjelmissa. Tähän työhön löytyy myös laitevalmistajista riippumattomia ohjelmistonvalmistajia kuten esimerkiksi *Polyworks*, *Geomagic* ja *JRC Reconstructor*. Käyttäjien onneksi on alkanut yleistyä tendenssi, että joillakin ohjelmistoilla saa auki usean eri skannerin raakatiedostoja.

Pistepilvien käsittelyohjelmistot ovat myös keskenään varsin erilaisia. Suppeimmillaan ohjelmassa voi olla mahdollisuus vain pistepilvien visuaaliseen tarkasteluun ja mittausten tekemiseen. Yleensä ne kuitenkin sisältävät työkaluja

pistepilvien yhdistämiseen, suodattamiseen, kolmioverkkomallintamiseen ja yksinkertaisten geometrinen elementtien mallintamiseen. Pidemmälle kehitetyt sovellukset sopivat myös esimerkiksi vaativampaan mallinnukseen ja erilaisten vertailujen tekemiseen suunnittelumallin ja mitatun todellisuuden välillä. Useimmiten tärkeää on kuitenkin löytää ohjelmasta keino siirtää siinä vektoroituja ja mallinnettuja kohteita muihin suunnittelu- ja mallinnusohjelmiin eli siis yleensä työn tilaajan käyttämiin tietokoneohjelmiin.

Pistepilviaineistoja käsitellessä olisi lisäksi syytä muistaa, ettei aineiston tarkkuus perustu yksittäisiin pisteisiin vaan niistä mallinnettuihin pintoihin. Tästä syystä yksittäisiä pisteitä käyttävät mallinnusmenetelmät eivät hyödynnä aineiston koko potentiaalia eivätkä yllä tarkkuudeltaan huimiin lopputuloksiin. Tarkkuutta voi parantaa esimerkiksi käyttämällä mallinnuksen apuna valokuvia. Kuvien avulla reunat, kulmat ja monet yksityiskohdat voidaan määrittää tarkemmin kuin pelkästä pistepilvestä.



Esimerkki laserkeilausprojektin eri vaiheista.

Laitevalinnasta käytännön projekteihin

Laserkeilausopetus Suomessa vielä vähäistä ja tämänhetkiset tekijät lienevät perehtyneet työhön laitevalmistajien koulutuksella sekä käytännön tekemisellä. Koulutusta kaivataan luonnollisesti

”Kokonaisuuden onnistumisen kannalta laserkeilauksen suunnitteluun ja esityöhön pitää panostaa paljon. Suunnittelu pitää myös aloittaa myös perinteistä mittausprojektia aikaisemmin.”

ammattitaidon saavuttamiseksi, mutta samalla myös koko menetelmän tunnettavuuden levittämiseksi. Ei auta, että meillä on osaavia tekijöitä, jos päättäjä- ja tilauspuolella ei tunneta menetelmän hyötyjä ja rajoituksia. Epärealistisilla ja huonosti tehdyillä tarjouspyynnöillä saadaan loppujen lopuksi aikaan vain tyytymättömiä aineiston tuottajia ja loppukäyttäjiä. Kirjoittaja on kuullut kommentteja tarjouspyyntöjen epärealistisuudesta muun muassa Suomesta, Norjasta, Iso-Britanniasta ja Saksasta ja monet skannausfirmat esittävät sen erääksi toimintansa suurimmaksi haasteeksi. Meilläkin tarvittaisiin siis

avointa keskustelua ja käyttäjäfoorumia, sillä kyseessä ei ole salatiiede.

Kokonaisuuden onnistumisen kannalta laserkeilauksen suunnitteluun ja esityöhön pitää panostaa paljon. Suunnittelu pitää myös aloittaa myös perinteistä mittausprojektia aikaisemmin. Tarpeiden määrittelyn lisäksi mittaajan on syytä perehtyä mitattavaan kohteeseen ja suunnitella mittauspaikat huolellisesti katveiden välttämiseksi. Siis mitä vähemmän kalusteita ja irtotavaraa kohteessa on, sen parempi se on keilauksen lopputuloksen kannalta. Paikan päällä olisi myös hyvä päästä käymään etukäteen. Esityönä voidaan myös joutua tekemään laserkeilauksen tueksi tai aineiston koordinaatioon saamiseksi mittauspaikalle takymetrillä runkoverkko. Lisäksi on hyvä selvittää, miten mittauskalusto saadaan paikalle ja miten niitä voidaan liikutella paikan päällä. Jos kohteessa tehdään samanaikaisesti muita töitä, on myös hyvä sopia pelisäännöistä eri työryhmien välillä ja selvittää työympäristöön liittyvät muut häiriötekijät. Tyypilliseen projektiin liittyy siis yleensä oheisen kaavion mukaisia vaiheita.

Laserkeilaustekniikalla on paljon sovellusmahdollisuuksia eri aloilla. Käyttä-

jien määrä lisääntyy samaan aikaan tiedon lisääntymisen myötä kun loppukäyttäjille myös luodaan tarve saada aineistoja. Näinhän on tapahtunut paikkatietopuolella esimerkiksi Googlen ja Microsoftin myötä ja kasvava tarve saada erilaisia tiheitä kolmiulotteisia mittausaineistoja tuo saman mahdollisuuden myös laserkeilausaineistojen tuottajille

Kirjoittaja esittää kiitoksensa käydyistä epävirallisista ja virallisista keskusteluista sekä mahdollisuudesta tutustua laitetekniikkaan kaikille tapaamilleen laitevalmistajien, myyjäorganisaatioiden, mittausfirmojen, tilaajaosapuolten sekä tutkimus- ja opetusorganisaatioiden edustajille.



Kirjoittaja on tutkija (FM) ja jatko-opiskelija Teknisessä korkeakoulussa. Sähköposti nina.heiska@tkk.fi.

Tärkeintä on
pisteiden välillä
säästetty aika

SOKKIA SRX robottitakymetri

Paras prismaton mittaus. Laaja ohjelmisto. Varma kauko-ohjaus. Uusi kohdistustapa nopeuttaa työtä ja säästää virtaa. Automaattinen kohdistus prismoihin ja tarratähyksiin. Bluetooth-tiedonsiirto yli 300 m. Teollisuusstandardien mukaiset tiedonsiirtovälineet (USB, CF jne.).

Geostar Oy

Tulppatie 16-18B | 00881 Helsinki | Puh. 09-2532 5000 | www.geostar.fi

