



Tuomas Tuovinen

Laserkeilauksen hyödyntäminen putkistosuunnittelun apuvälineenä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

10.5.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Tuomas Tuovinen
Otsikko:	Laserkeilauksen hyödyntäminen putkistosuunnittelun apuvälineenä
Sivumäärä:	28 sivua
Aika:	9.5.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine:	Kemiantekniikka
Ohjaajat:	Business Unit Manager, Arto Näkki, Rejlers Finland Oy Lehtori Timo Seuranen

Insinööriyön tarkoituksena oli tuottaa yleisohjelmainen teksti jonka avulla siihen perehtynyt henkilö osaa käyttää vähintäänkin laserkeilaukseen käytettävää kenttälaitteistoa sekä huomioida yleisimmät olosuhteet ja käytännön asiat. Teksti pyrki ohjeistamaan laserkeilausdatan jälkikäsitteilyyn sekä suunnittelukäyttöön.

Ohjeistus tuotettiin hyödyntämällä noin 35 kenttätuntia laserkeilaimen käytössä, haastatteluja ja keskusteluja Petteri Luokkalan, Rejlers Kemin laserkeilausvastaavan kanssa, sekä omaa suunnittelukokemusta syys-talvelta 2021 – 2022.

Ohjeistus käsittää Rejlers Finlandin käytössä olevien laserkeilainten Leica RTC360 ja Leica BLK360 ominaisuuksia ja eroja, mukaan lukien laitteiston ja muun välineistön. Ohjeistus Leican Cyclone Field ohjelmiston käyttöön sekä yleiset käytännön huomiot käytettäessä BLK360-keilainta muodostavat suurimman osan tekstistä. Lisäksi teksti sisältää ohjeet jälkikäsitteilyyn Leica Register 360 -ohjelmalla pääpiirteittäin sekä esimerkkejä keilausmateriaalin käytöstä putkistosuunnittelussa sisältyvät tekstiin.

Avainsanat: laserkeilaus, putkistosuunnittelu

Abstract

Author: Tuomas Tuovinen
Title: Utilization of laser scanning as an assistive tool in piping design
Number of Pages: 28 pages
Date: 9 May 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major: Chemical Engineering
Supervisors: Arto Näkki, Business Unit Manager, Rejlers Finland Oy
Timo Seuranen, Senior Lecturer

The purpose of this thesis was to produce an instructional document, with the help of which a person could at minimum operate laser scanning equipment and be made aware of the common and practical points in field conditions. In addition, instructions for the post-processing of laser scanning data and uses in design work are included.

Instructions were produced by utilizing approximately 35 field hours of laser scanning work, interviews and discussions with Petteri Luokkala, who oversees laser scanning at Rejlers Kemi, and the author's own design experiences during fall-winter of 2021 to 2022.

The instructional document contains information on and comparisons between Leica RTC360 and Leica BLK360, the two types of laser scanners utilized at Rejlers Finland, including equipment. A major part of the thesis is devoted to instructions on the use of the Leica Cyclone Field program as well as on the practical use of the BLK360 scanner. In addition, post-processing with Leica Register 360 program is explained and examples about the utilization of laser scanning data in piping design are presented.

Keywords: laser scanning, piping design

Sisällys

Käsitteet

1	Johdanto	1
2	Laserkeilaus	2
2.1	Keilaus ja välineistö	2
2.2	Välineistö	4
2.3	Kuvasolosuhteet ja käytännön huomiot	6
2.3.1	BLK360 – käytäntö ja kenttäolosuhteet	6
2.3.2	BLK360-keilaimen ohjaus	9
3	Keilausmateriaalin käsittely	16
4	Keilausmateriaalin hyödyntäminen putkistosuunnittelussa	23
4.1	Yleiset hyödyt	23
4.2	Layout	24
5	Tulevaisuuden näkymät	26
6	Yhteenveto	26
	Lähteet	28

Käsitteet

Setup(s): laserkeilaspiste

Bundle: laserkeilaspisteiden joukko, joka on yhdistetty linkkien avulla

1 Johdanto

Insinööriyön tarkoituksena on antaa tietoa laserkeilauksen hyödyntämisestä putkisto- ja laitossuunnittelun apuvälineenä sekä keilausmateriaalin kuten piste-pilvien keräämisestä, käsittelystä ja käyttämisestä. Tavoitteena on tuottaa dokumentti, joka valaisee laserkeilauksen toimintaperiaatetta ja hyötyjä, sekä siitä, miten nämä hyödyt voidaan saavuttaa. Insinööriyö pyrkii ohjeistamaan laserkeilauksesta käytännöllisesti kentältä valmiiseen malliin asti, sekä valaisemaan kerätyn aineiston käyttöä putkistosuunnittelussa. Lisäksi tutkitaan tulevaisuuden näkymiä sekä tekniikan että ohjelmistojen kannalta, ja miten nämä kehityssuunnat voivat tehostaa suunnittelua. Insinööriyön tilaaja on Rejlers Finland Oy.

Rejlers on Pohjoismaissa toimiva monialainen insinööritoimisto, jonka toimialoja ovat teollisuus, rakentaminen, infra sekä energia. Yhtiö perustettiin vuonna 1942 Ruotsissa. Rejlers on yksi Pohjoismaiden suurimmista insinööritoimistoista ja työllistää yli 2400 työntekijää neljässä eri maassa. Yhtiön toimistoja on Ruotsissa, Suomessa, Norjassa ja Yhdistyneissä Arabiemiirikunnissa. Rejlers Finland toimii yli 20 paikkakunnalla ympäri Suomea ja työllistää yli 1000 henkilöä. Teollisuuden parissa työskentelee noin 550 henkilöä. Suomen yhtiöiden liikevaihto oli vuonna 2021 noin 102 miljoonaa euroa. [1.]

Rejlers Finland käyttää laserkeilausdataa suunnittelun apuvälineenä esimerkiksi muutostöissä. Vaihtoehtoisesti käsitelty materiaali, jota asiakas voi itse hyödyntää haluamaansa käyttökohteeseen luovutetaan tilaajalle. Rejlers Finland tarjoaa laserkeilauspalveluita kolmelta paikkakunnalta käsin: Kemi (vastuualueena Pohjois-Suomi), Mikkeli (vastuualueena Itä- ja Keski-Suomi) ja Vantaa (vastuualueena Etelä- ja Länsi-Suomi). Keilausmateriaalin käsittely on keskitetty Kemiin.

2 Laserkeilaus

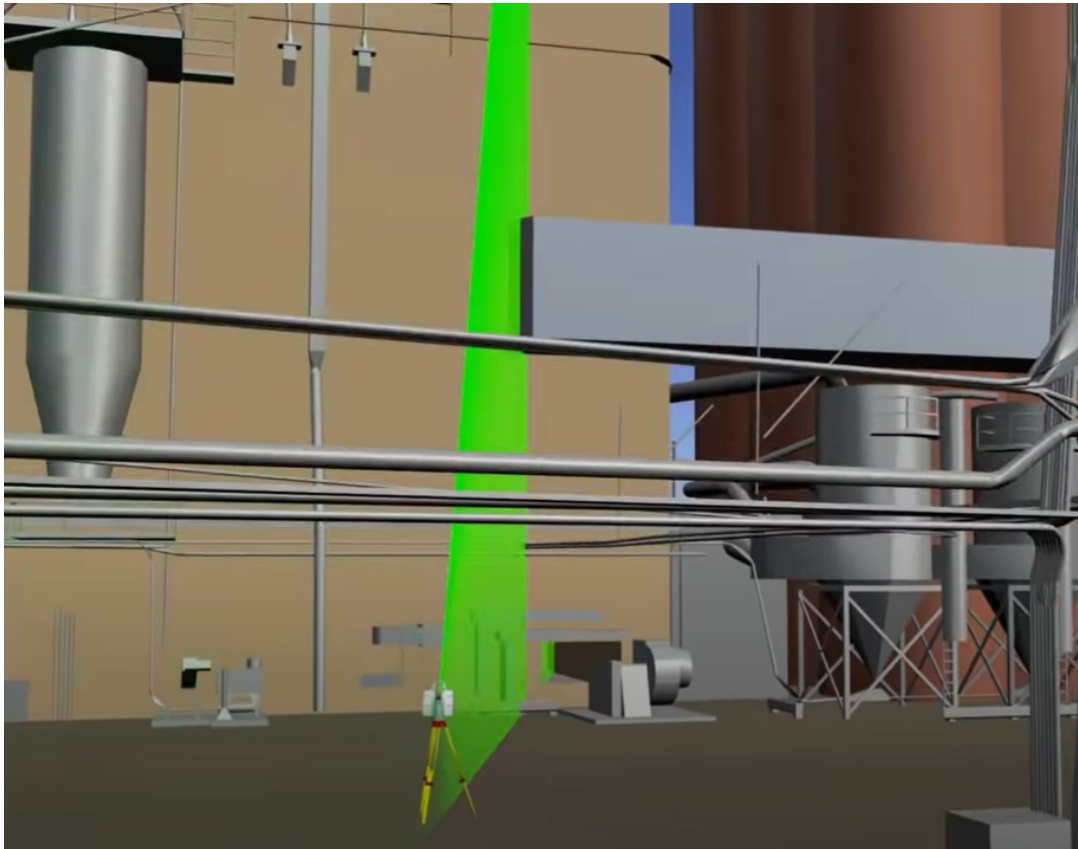
2.1 Keilaus ja välineistö

Laserkeilaus eli laserskannaus on menetelmä, jonka avulla voidaan kerätä tietoa ympäristöstä tarkasti ja nopeasti, koskematta kohteeseen. Maalaserkeilauksella tarkoitetaan maanpäällistä, paikallaan pysyvää laserkeilausta (vrt. ilmakartoitus, mobiilikartoitus). Maalaserkeilauksessa käytetään yleisesti jalustalla olevaa pyörivää keilainta. Teollisuuskohteissa käytetyt keilaimet ovat tyypillisesti keilausaltaan pieniä, mutta suuren tarkkuuden omaavia. Tämä mahdollistaa esimerkiksi monimutkaisten prosessialueiden mallintamisen tarkkuudella, joka ei perinteisillä menetelmillä olisi mahdollista. Kohteet skannataan monesta eri kulmasta. Näin vältetään katvealueilta. Näistä eri pisteistä kerätyt pistepilvet yhdistetään eli rekisteröidään yhteen malliin, jolloin syntyy koko alueen kattava malli. Yhdistäminen voidaan tehdä tähysten, yhteisten pisteiden tai yhteisten pintojen avulla. Tämä voidaan tehdä joko kentällä tai jälkikäsitteilyvaiheessa. [2; 3.]

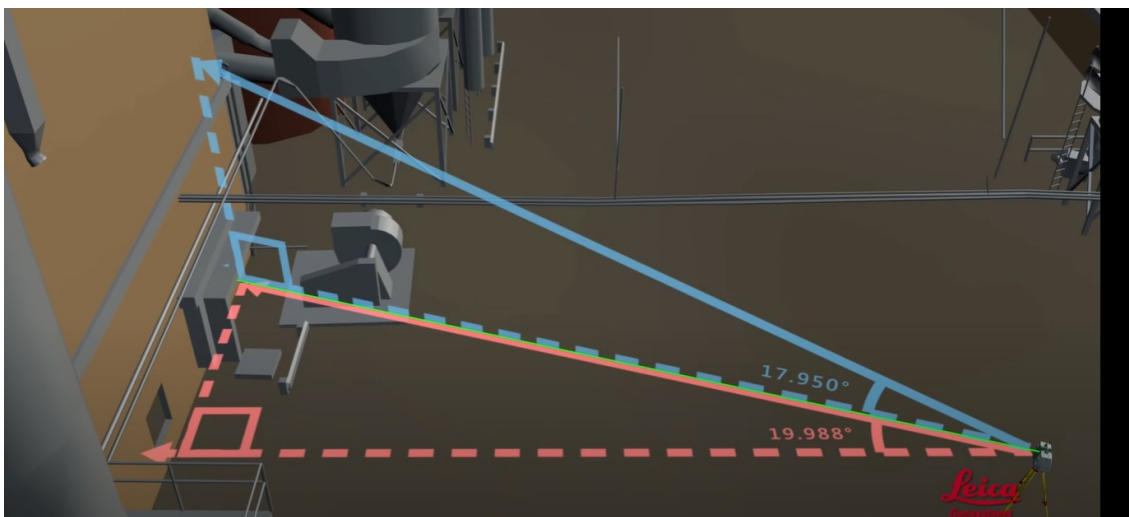
Korkeusjärjestelmän avulla määritetään pisteen korkeusero määriteltyyn nollatasoon nähden. Suomessa on yleisessä käytössä korkeusjärjestelmä N2000, joka on yhdenmukainen eurooppalaisen korkeusjärjestelmän kanssa. Tehdaskoordinaatisto on paikallinen koordinaattijärjestelmä, joka muodostuu tasokoordinaatistosta ja korkeusjärjestelmästä. Keilaimesta riippuen todelliset koordinaatit voidaan tallentaa ja myöhemmin keilausdataa käsiteltäessä siirtää tehdaskoordinaatistoon. [4.]

Laserkeilauksen toimintaperiaate valon kulkuajaa hyödyntävillä keilaimilla perustuu horisontaalisesti ympäri pyörivään skanneriin, jossa pyörivä peili lähettää heijastettuja lasersäteitä pysty akselin suuntaisesti kuten kuvassa 1. Kun keilaimen lähettämä lasersäde osuu kohteeseen, se heijastuu takaisin keilaimeen. Laserin edestakaisen matka-ajan avulla saadaan selville tämän pisteen etäisyys keilaimesta. Pyörivän peilin asennon, horisontaalisen kulman ja laserin matka-

ajan avulla keilain laskee pisteen x-, y- ja z-koordinaatit kuten esitetty kuvassa 2. Näiden yksittäisten pisteiden avulla keilain muodostaa pistepilven.



Kuva 1. Havainnollistava kuva keilaimen peilin yhden pyörähdyksen aikana mitaamista pisteistä. [5.]



Kuva 2. Matka-aikaan perustuvan keilaimen toimintaperiaate. Punainen kuvaa horisontaalista kulmaa, sininen peilin asentoa. [5.]

Pistepilvi on mittauspisteistä koostuva 3D-malli. Mallien laatu vaihtelee keilaimen tyypistä ja asetuksista johtuen. Pisteväli eli pistepilven tiheys määrittää mallin yksityiskohtaisuuden. Laserkeilain myös kuvaa HD-laatuiseen valokuvamallin kohteesta. Tämän avulla pistepilven dataan tuodaan realistiset värit. Näistä valokuvista voidaan rakentaa myös valokuvamalli, joka muistuttaa kartta-palvelujen toimintaa. Valokuvamallista voidaan ottaa mittoja. [3;5.]

2.2 Välineistö

Rejlersin käyttämät laserkeilaimet ovat Leica BLK360 (2 kpl) ja Leica RTC360 (1 kpl). BLK360-keilaimet ovat käytössä Mikkelissä ja Vantaalla, RTC360-keilain Kemissä. RTC360 voi skannata 2 000 000 pistettä / sekunti. RTC360 on huomattavasti suurempi ja painavampi, mutta ominaisuuksiltaan kattavampi keilain verrattuna BLK360-keilaimen. Suurimpina etuina ovat nopea keilausaika, suuri mittaustarkkuus ja mittausalue sekä satelliittipaikannus (GNSS). Keilausaika on parhaimmillaan noin kaksi minuuttia. Keilaimen tarkkuus on 1,9 mm kymmenen metrin matkalla ja 2,9 mm kahdenkymmenen metrin matkalla. Mahdollinen mittausalue on noin 0,5–130 m keilaimesta.

RTC360 käyttää kahta 5,56 Ah:n litiumakkua, joita on yhteensä neljä. Keilaimen sisäinen tallennustila sijaitsee irrotettavalla USB-muistitikulla (256 GB). Keilainta voidaan ohjata tabletin lisäksi sisäänrakennetulta kosketusnäytöltä, joka nähdään kuvassa 3. Näytöltä voidaan muuttaa esimerkiksi laatuasetuksia. Satelliitti-paikannuksen ja korkeusmittarin avulla keilauspisteiden todelliset koordinaatit voidaan tallentaa. Kaksoiskuvauksen avulla liikkuvat kohteet eivät tallennu. Tämä helpottaa erityisesti suuriliikenteisellä alueella skannaamista.



Kuva 3. RTC360-keilain kolmijalalla.

BLK360:n etuina ovat keveys, pieni koko sekä halvempi hinta. BLK 360 voi skannata 360 000 pistettä / sekunti. Keilausaika on noin kolme minuuttia. BLK360 käyttää yhtä 2200 mAh:n litiumakkua. BLK360-keilaimen vahvuutena on sen pieni koko ja keveys kuten kuvasta 4 nähdään. Keilain on halkaisijaltaan 100 mm ja korkeudeltaan 165 mm ja painaa kilon. Parhaimmillaan keilain on paikoissa, joihin suuremmat keilaimet eivät mahdu. Keilaimen tarkkuus on 6 mm kymmenen metrin matkalla ja 8 mm kahdenkymmenen metrin matkalla. Mittausalue on noin 0,6–60 m keilaimesta. [6;7.]

Molempia keilaimia ohjataan tabletilla käyttämällä Leican Cyclone FIELD -ohjelmistoa. Varavirtalähdettä voidaan käyttää pidentämään tabletin käyttöaika. Riittävän valon varmistamiseksi voidaan käyttää joko akkukäyttöisiä tai verkkovirralla toimivia valaisimia. Erityisesti BLK360:ta käyttäessä on huomioitava valon määrä. Valon käytöllä varmistetaan valokuvamallien käyttökelpoisuus. Molempien keilainmallien laturit toimivat verkkovirralla, ja molemmissa on paikat neljälle akulle.

2.3 Kuvausolosuhteet ja käytännön huomiot

2.3.1 BLK360 – käytäntö ja kenttäolosuhteet

BLK 360-keilaimella yhden pisteen keilaamiseen kuluu käytännössä noin viisi minuuttia, sisältäen keilaimen ja mahdollisen valaistuksen siirtämisen paikoilleen. Hyvänä nyrkkisääntönä voidaan pitää noin kymmenen keilausta/tunti. Sisäisen muistin kapasiteetti on noin 100 keilauspistettä laadusta riippuen. Suurin keilauspisteitten määrää rajoittava tekijä on sisäinen muisti. Ottaen huomioon keilaamiseen ja laitteen siirtoon kuluva ajan, mahdolliset ongelmatilanteet sekä tiedonsiirtoon kuluva ajan, tyypillinen keilauspisteiden määrä on noin 60 pistettä/päivä. Koska keilaimien sisäinen muisti on rajallinen, materiaali on siirrettävä joko tietokoneelle, ulkoiselle kovalevylle tai Kemiin käsiteltäväksi ennen kuin keilausta voidaan jatkaa.



Kuva 4. BLK360-keilain jalustalla. Vihreä merkkivalo kertoo, että keilain on käyttövalmis.

Keilauspisteiden etäisyys toisistaan olisi hyvä olla noin 4–5 metriä. Kun pisteet ovat siksak-kuviossa, minimoidaan linssivääristymät ja katvealueet. Yleinen käytäntö on skannata pisteitä ylimäärin ja huomioida mahdolliset ongelmakohdat. Käsittelyssä pistepilven yhdistys onnistuu vaivattomammin, mitä enemmän yhteisiä pisteitä mallista löytyy. Lisäksi vältytään paikkauskeilauksilta, kun yksityiskohdat ja ongelmakohteet on keilattu huolellisesti. Tämä säästää aikaa, vaivaa ja rahaa. Tähyksiä voidaan käyttää tarkkuuden parantamiseksi. Tarkkuusero on kuitenkin suunnittelun näkökulmasta niin pieni, että tähysten käyttö ei yleensä ole tarkoituksenmukaista. [8.]

Akun kesto lämpimällä säällä on noin neljä tuntia. Käytössä on neljä akkua. Mikäli kohteessa on käytettävissä verkkovirtaa, akkujen varaus voidaan pitää tasolla, jossa se ei estä keilausta. Suositeltu käyttölämpötila on välillä +5 ja +40 °C. Tätä kylmemmissä olosuhteissa on huomioitava vähentynyt akun kesto sekä keilaimessa että tabletissa. Erityisesti suuria, pitkän keilausajan vaativia alueita keilattaessa on huomioitava sään sekä vuodenaikojen vaikutukset. Lumihangan aiheuttama korkeusero tulee huomioida mallia käsiteltäessä. Suuria

alueita keilatessa voidaan käyttää useaa eri keilainta. Tällöin tulee käyttää yhteisiä keilauspisteitä, jotta mallit voidaan helposti yhdistää. Hyväksi todettu tapa on aloittaa samasta keilauspisteestä.

Keilainta ohjataan langattoman yhteyden avulla tabletilta käsin. Etäisyys ja esteet keilaimen ja tabletin välillä vaikuttavat yhteyden laatuun. Verkkoyhteyden katketessa tai epäonnistuessa kokonaan voidaan keilausta jatkaa tietyin rajoittein. Painamalla virtapainiketta noin sekunnin ajan keilain aloittaa skannauksen viimeisimmillä asetuksilla. Tällöin data tallentuu keilaimen sisäiseen muistiin, mutta keilauspisteet eivät linkity, vaan ne täytyy yhdistää toisiinsa manuaalisesti yhteyden palatessa. Keilaimen asetuksia ei pystytä tässä tilanteessa muuttamaan, eikä skannauksen onnistumisesta ole takeita. [9.]

Keilaimia käyttäessä on huomioitava vertikaaliskannauksen olevan vain 300 astetta. Koska laser ei läpäise keilainta itsessään, alle muodostuu sokea piste, joka ei sisällä keilauspisteitä. Sokeat pisteet ovat läsnä myös valokuvamallissa. Tästä syystä on keilaimen asemointi pidettävä mielessä keilausta suoritettaessa. Tärkeät kohteet eivät saa olla keilaimen alla, vaan optimaalinen etäisyys niistä on noin 0,6–1 m. Tällä etäisyydeltä tyypillisesti vältetään sokeilta pisteiltä sekä etäisyyden aiheuttamilta vääristymiltä: liian lähellä olevissa sokeilta pisteiltä ja liian kaukana olevissa mittavirheiltä. Huomioitavaa on, että mitä korkeammalla keilain on, sitä suurempi sokeasta pisteestä muodostuu.

Pinnat jotka aiheuttavat virheitä pistepilveen ovat niitä, jotka vaikuttavat laseriin esimerkiksi taittamalla, heijastamalla tai absorboimalla säteen.

Yleisiä ongelmia ovat ”varjokuvat”, jotka syntyvät heijastavista pinnoista. Yleinen esimerkki on ikkunoista heijastuva huoneen peilikuva. Nämä poistetaan jälkikäsittelyn aikana. [8.]

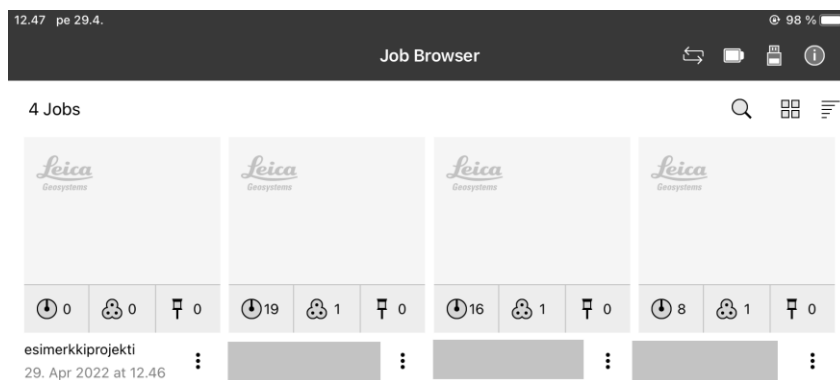
Oviaukot päästävät vain pienen määrän säteitä toiseen huoneeseen. Huoneesta toiseen siirryessä on suositeltavaa skannata yksi keilauspiste ennen ovea, yksi oven kohdalta ja yksi seuraavassa huoneessa. Näin varmistetaan linkittyminen edelliseen keilauspisteeseen.

Keilatessa kohteita on huomioitava keilausmateriaalin tarkoituksenmukaisuus. Putkistosuunnittelun kannalta tyypillinen kohde on teollisuuden muutostyöt, eli tärkeimmät skannausalueet ovat muutettavat prosessit sekä putkilinjat. Myös muiden disipliinien tarpeet on huomioitava keilausmateriaalia kerätessä. Keilaimen käyttäjän tulee olla mahdollisimman tietoinen projektin yksityiskohdista, laajuudesta ja käyttötarkoituksesta. Käytännössä tämä tarkoittaa usein suunnittelijaa.

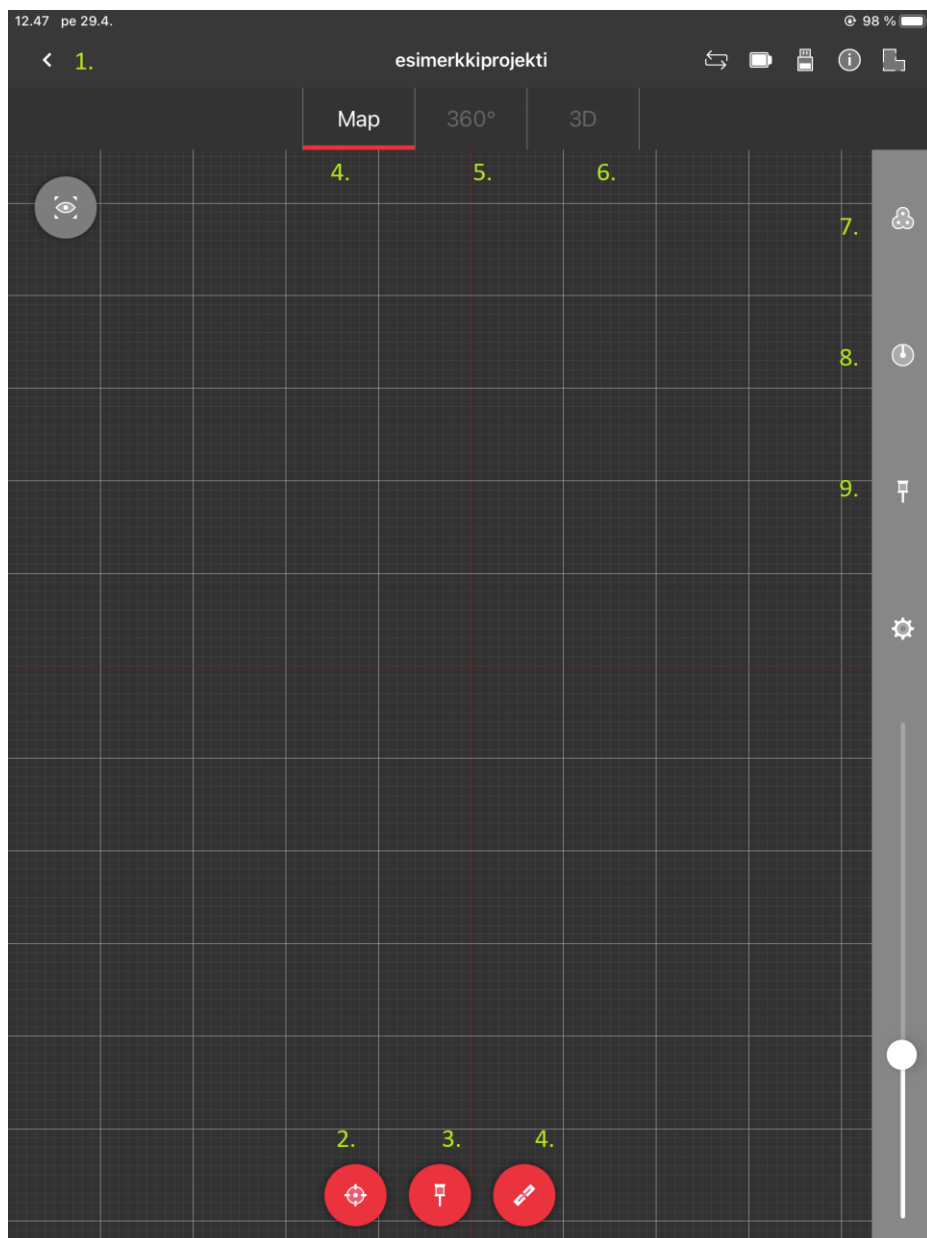
2.3.2 BLK360-keilaimen ohjaus

BLK 360-keilain käynnistetään painamalla virtanäppäintä pitkään. Tällöin merkkivalo sykkii keltaisena. Kun merkkivalo muuttuu vihreäksi, keilain on käyttövalmis. Mikäli keilaimen merkkivalo ei syty, on avattava taustanpuoleinen luukku ja tarkistettava akku. Todennäköistä on, että keilaimessa ei ole akkua tai se on tyhjä, jolloin akku on korvattava ladatulla. Tämän voi tarkistaa laittamalla akku laturiin, jossa merkkivalo ilmoittaa lataustason. Keilaimen toiminta ja akkujen varaustaso on hyvä tarkistaa ennen skannauskohteeseen siirtymistä. Samalla tulee tarkastaa tabletin varaustaso. BLK360-keilainta ohjataan langattoman verkkoyhteyden välityksellä Leican Cyclone Field -ohjelmistolla. Tabletti yhdistetään langattomasti kuten mihin tahansa langattomaan verkkoon. Keilaimen nimi on BLK360-xxxxxxx, jossa x on numerosarja.

Kun Cyclone käynnistetään, näkymä on luultavasti kuvan 5 tai kuvan 6 kaltainen. Kuvan 5 mukaiseen Job Browser -näkymään pääsee vasemman yläkulman back-nuolesta (1.). Alareunan punaisesta plus-painikkeesta voidaan luoda uusi job. Tätä voidaan pitää projektitiedostona. Mikäli yhdessä kohteessa on monta erillistä keilattavaa aluetta, näille voidaan luoda erilliset jobit. Nimeämisessä on suositeltavaa sisällyttää paikka tai yritys ja päivämäärä. Kun job on luotu, päästään kuvan 6 mukaiseen perusnäkymään valitsemalla luotu job. Perusnäkymä koostuu ruudukosta, johon keilausdatan top-projektio muodostuu, kun sitä kerätään, sekä käyttöliittymän painikkeista (2.–9.).

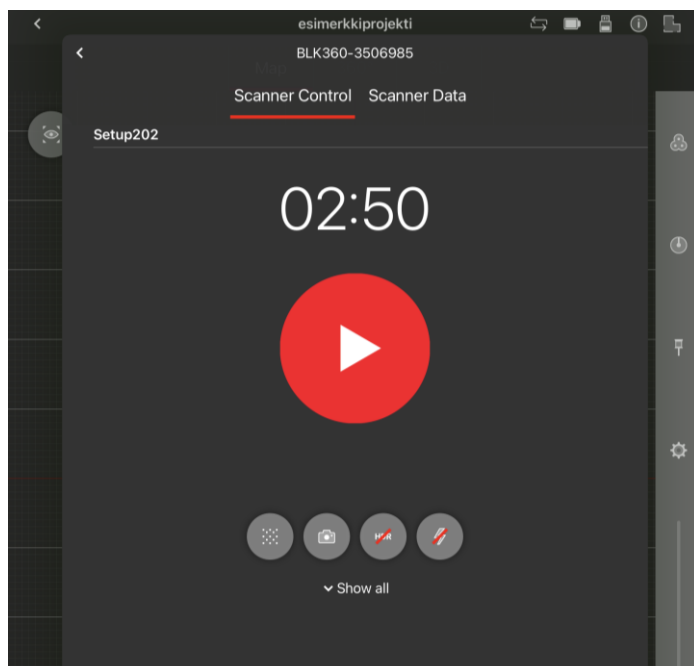


Kuva 5. Job Browser -näkyvä.



Kuva 6. Perusnäky. Vihreällä merkitty tärkeät toiminnot.

Tärkeimmät toiminnot ovat keilaimen ohjaus eli Scanner Control (2.) kuten kuvassa 7 ja keilauspisteet eli Setups (8.). Lisäksi yleisesti käytettävät ominaisuudet ovat keilausdatan eri näkymät (4.–6.) Keilausdatan kerääminen voidaan ideaalitulanteessa suorittaa näillä toiminnoilla.



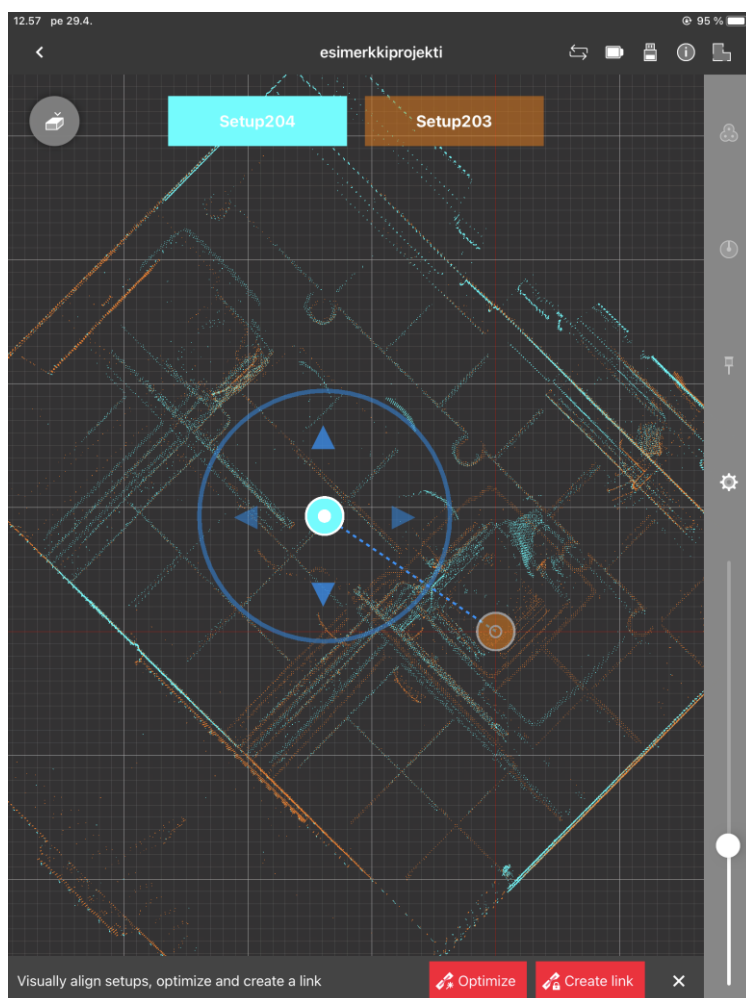
Kuva 7. Scanner Control -näkyvä.

Keilaimen perusohjaus eli asetusten muutos ja keilauksen käynnistys tapahtuu Scanner Control -näkyvästä (2.). Mikäli jokin kohde vaatii erityistä tarkkuutta, ensimmäisestä harmaasta painikkeesta voidaan muuttaa pistepilven tiheyttä. Valokuvamallien kuvaus, HDR-kuvaus ja LED-salama voidaan kytkeä päälle ja pois kolmesta seuraavasta painikkeesta. Keski-laatuinen pistepilvi ja valokuvamallit päällä ovat tyypilliset asetukset, ja näitä ei yleensä tarvitse kentällä muuttaa. Yläosassa on skannauksen suoritus-aika nykyisillä asetuksilla, ja se käynnistetään punaisesta painikkeesta. Keilauksen valmistumista voidaan seurata näytön alaosassa olevasta valkoisesta palkista. Keilaus voidaan peruuttaa Cancel-painikkeesta keilauksen aikana. Setup complete -viesti ruudun alaosassa kertoo keilauksen olevan valmis kuten kuvassa 8. Kun pisteitä on kaksi tai enemmän ja ne ovat riittävässä läheisyydessä, ne voidaan rekisteröidä suoraan tabletilla. Helpoin tapa on yhdistää keilauspiste aina edelliseen (Pre-Align).



Kuva 8. Keilauksen valmistettua ruudun alaosassa näkyy viesti.

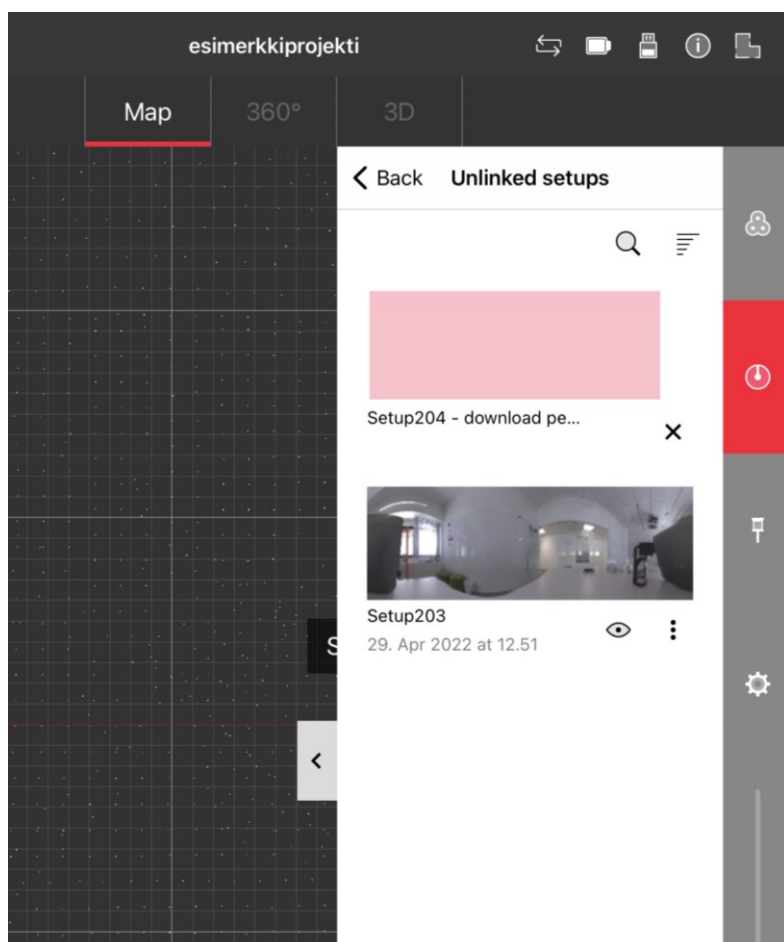
Tämän jälkeen on tarkistettava, että piste on oikealla paikalla. Kuvassa 9 uuden keilauspisteen data esitetty vaaleansinisellä, edellisen pisteen oranssilla. Yhteisen geometrian, kuten huoneitten muodon avulla, keilausdatan yhtenäisyys on helppo tarkastaa visuaalisesti. Mikäli keilauspiste ei ole oikealla paikalla, sen sijaintia, kiertoa ja kokoa voidaan muuttaa manuaalisesti tekemällä toimintojen kosketuseleet tummansinisen ympyrän alueella. Tämän jälkeen painamalla Optimize -> Create Link, keilauspisteet yhdistyvät linkin avulla yhteen Bundleen eli linkitettyjen keilauspisteiden joukkoon.



Kuva 9. Align-näkymä, jossa eri keilauspisteiden data esitetty eri värein.

Setups-valikossa (8.) voidaan tarkastella tai poistaa yksittäisiä keilauspisteitä. Skannauksen aikana voidaan seurata keilauksen vaiheita ja etenemistä vaaleanpunaisesta palkista. Avaamalla keilauspiste Setups-valikossa voidaan

tarkistella kyseisen pisteen sijaintia kartalla valitsemalla Map (4.), valokuvamallia valitsemalla 360° (5.) ja pistepilveä valitsemalla 3D (6.). Tarkastamalla valokuvat ja pistepilvi voidaan tarkistaa keilauksen onnistuneisuus. Kuvassa 10 Setups-valikko laserkeilauksen aikana, jossa työn edistymistä voidaan seurata vaaleanpunaisesta palkista.

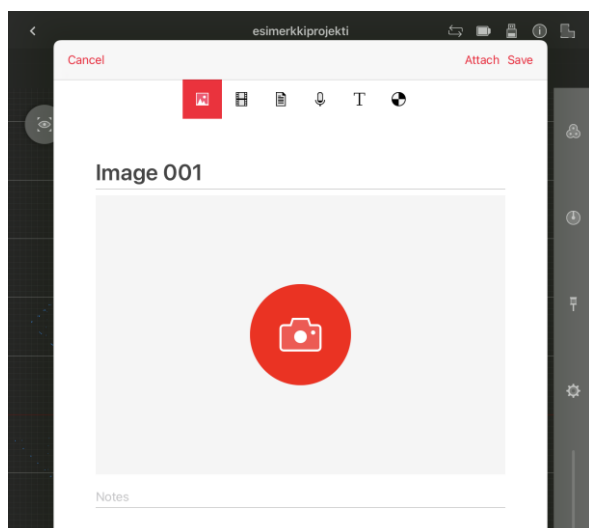


Kuva 10. Setups-valikko

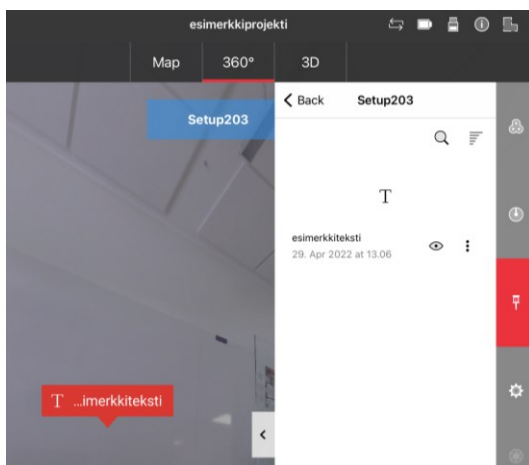
Bundlet (7.) ovat linkein yhdistettyjen keilauspisteiden kokonaisuus. Bundleja voidaan tarkastella ja poistaa kuten yksittäisiä keilauspisteitäkin. Bundlen poistaminen poistaa linkit, ei keilauspisteitä. Linkityksen avulla varmistetaan keilauspisteiden olevan suhteessa toisiinsa siten, että pistepilvestä muodostuu yhtenäinen malli. Suurimman osan ajasta keilauspisteet yhdistyvät helposti. Esimerkiksi verkkoyhteyden katketessa

voidaan kuitenkin joutua käyttämään manuaalista linkkityökalua (4.). Siirtämällä keilauspiste jotakuinkin oikeaan paikkaan ja valitsemalla linkkityökalu ja kaksi pistettä (yleensä kaksi lähintä) voidaan luoda linkki manuaalisesti samalla tavalla kuin automaattilinkitys. Kaksoispainalluksella linkistä voidaan linkkiä muokata tai linkki voidaan tuhota, jolloin sitä voidaan vapaasti liikutella.

Keilausaineistoon voidaan liittää tageja (3.). Kuvissa 11 ja 12 esitetty, miten tagien avulla voidaan malliin tuoda lisätietoja, kuten kuvia, videota, asiakirjoja, äänitteitä ja tekstiä. Save-toiminnolla tag liittyy Setupiin. Attach-toiminnolla se voidaan liittää keilausaineiston koordinaatistoon. Tagien avulla voidaan esimerkiksi selventää huonosti luettavissa olevia tekstejä, liittää kaavioita tai esittää laitteen toimintaa videokuvan avulla ja liittää ne suoraan malliin (kuva 12). Tageja voidaan tarkastella samalla tavoin kuin Setupeja ja Bundleja (9.).



Kuva 11. Tagien lisäämisikkuna.

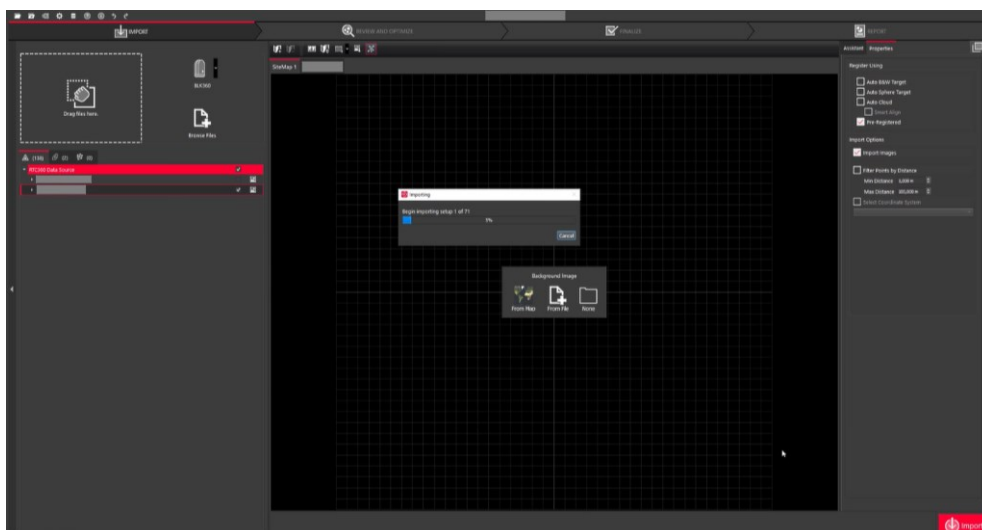


Kuva 12. Tekstitagi lisätty Attach-toiminnolla

Keilauksen loppuksi on hyvä hoitaa kalusto seuraavaa keilauskertaa varten valmiiksi. Tärkeimmät toimet ovat tabletin, keilaimen akkujen ja valaisimien lataus sekä keilausdatan siirto eteenpäin.

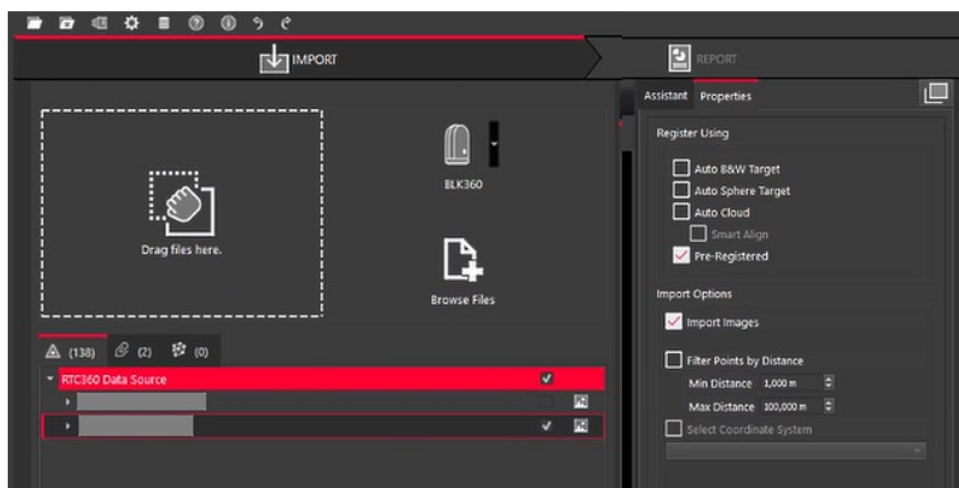
3 Keilausmateriaalin käsittely

Rejlersillä keilausmateriaalin käsittely on keskitetty Kemiin. Kerätty aineisto käsitellään Leican Cyclone REGISTER 360-ohjelmistolla. Ohjelmisto muistuttaa Field 360-ohjelmistoa käyttöliittymältään ja useilta ominaisuuksiltaan, joka helpottaa ohjelman käyttöä Fieldiä käyttäneille. Register 360-ohjelmiston avulla osaprojektit voidaan rekisteröidä lopulliseksi malliksi, jonka tärkeys korostuu sitä enemmän, mitä isompaa kokonaisuutta keilataan. Registerillä tehtävät vaiheet ovat Import, Review and optimize, Finalize ja Report. Käyttöliittymän yläreunasta voidaan seurata käynnissä olevaa vaihetta ja siirtyä vaiheitten välillä. Kuvassa 13 nähdään Import-vaiheen käyttöliittymä.



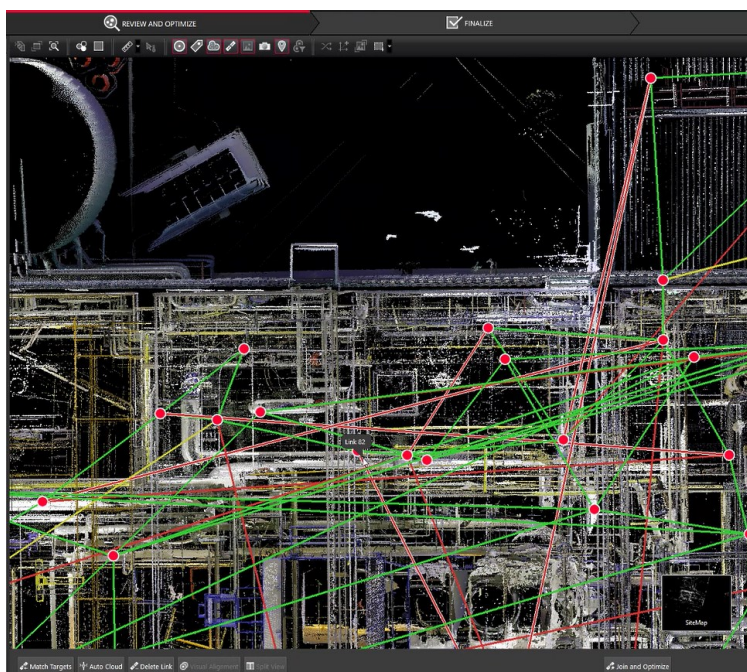
Kuva 13. Kuva Import-vaiheen käyttöliittymästä

Ennen käsittelyn alkua luodaan uusi projekti. Nimeämiseen suositellaan yritys/paikka- ja päivämäärämenetelmää. Tässä tapauksessa on käytetty RTC360-keilainta, joten liitetään muistitikku tietokoneeseen. Koska on käytetty Field-ohjelmistoa keilauspisteiden rekisteröintiin, tulee oikeassa paneelissa ”Pre-Registered” olla valittuna. Tämän jälkeen voidaan raahata keilaustiedostot vasempaan paneeliin, joka nähdään kuvassa 14. Vaihtoehtoisesti data voidaan tuoda tiedostoselaimen kautta (Browse Files). Koska kysessä on RTC360, muistitikun keilausdatan juurikansio raahataan ohjelmaan. Vasemmasta paneelista valitaan haluttu job. Tässä vaiheessa varmistettava, että valintamerkki on vain halutussa jobissa. Tämän jälkeen oikeasta alakulmasta Import. Tiedostojen tuomisessa kuluu melko paljon aikaa. [8.]



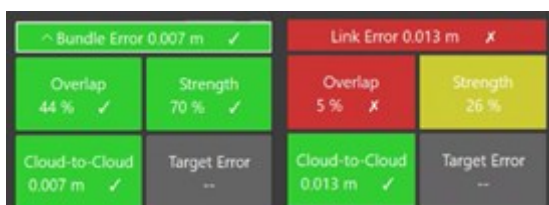
Kuva 14. Lähikuvat vasemmalla ja oikealla olevista paneeleista

Review and optimize -vaiheessa nimensä mukaan tarkastetaan, korjataan ja optimoidaan mallia. Avautuva näkymä todennäköisesti muistuttaa kuvaa 15. Kyseessä on Top-projektio (SiteMap) keilausalueesta, jossa linkit ovat värikoodattu vihreällä, keltaisella ja punaisella. Värit indikoivat linkin laatua, punaisen ollessa huonoin ja vihreän parhain. Näkymän avautuessa oikeassa paneelissa on tietoa Bundlen mittavirheistä kuten kuvassa 16. Vasemmassa paneelissa on lista tuoduista Bundleista. Avaamalla Bundlen alavalikko voidaan tarkastella yksittäisiä keilauspisteitä.



Kuva 15. Kaikki yhden jobin linkit

Valitsemalla yksittäinen linkki, saadaan oikeassa paneelissa tietoa yksittäisen linkin virheestä. Kuvassa 16 nähdään, että valittu linkki on punainen eli huonolaatuinen, sillä "Link error" -tekstin tausta on punainen.



Kuva 16. Vasemmalla bundlen kokonaismittavirhe. Valitsemalla yksi linkki saadaan tietoa yksittäisen linkin virheistä (oikealla)

Review and optimize -vaiheessa voidaan tuhota ja muokata linkkejä. Huonoissa linkeissä (punainen) voi mittausvirheen suuruus helposti ylittää keilaimen aiheuttaman virheen. Tämä voi kumulatiivisesti johtaa suureen virheeseen mallin tasolla. Huonojen linkkien poistaminen on helppo tapa parantaa pistepilven tarkkuuta. [8.]

Heijastuksista aiheutuvat ”varjokuvat” (tuplahuoneet yms.) voidaan poistaa käyttämällä Fence toolia (neliömäinen valinta). Työkalun avulla voidaan myös siistiä mallin ulkoreunat. Fence toolin valinnan avulla voidaan joko poistaa pisteet mallista, tai poistaa niiden vaikutus mallin tarkkuuteen. Voidaan myös valita, vaikuttaako toiminto valinnan ulko- vai sisäpuolisiin pisteisiin.

Mallin tarkkuutta voidaan parantaa manuaalisesti esimerkiksi Visual Align -työkalun avulla. Työkalu mahdollistaa keilauspisteiden siirtämisen ja linkittämisen 2D-näkymässä. Yhdistäminen voidaan tehdä Top- tai side-projektiossa. Toiminto muistuttaa Field 360-manuaalilinkitystä kuten nähdään kuvista 9 ja 17. Mallin käsittely hiirellä tarjoaa huomattavasti enemmän kontrollia mallin suhteen. Hyviä yhteisiä muotoja Setupeissa ovat seinät ja säiliöiden pinnat. [8.]



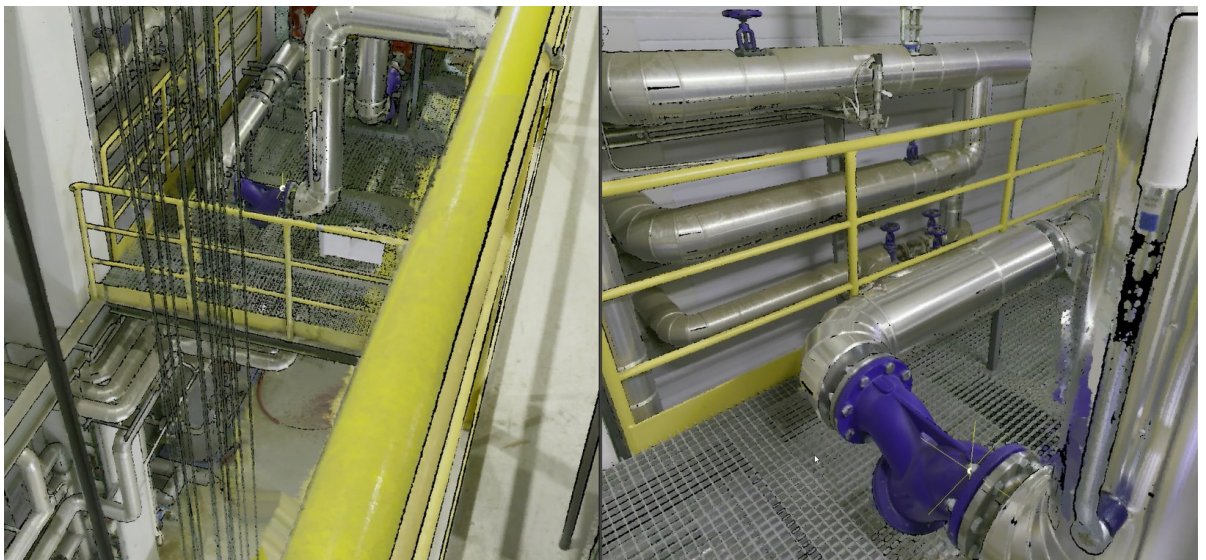
Kuva 17. Visual Align muistuttaa Field-ohjelmiston toimintoa.

Mikäli yhdistyminen ei onnistu tällä menetelmällä, pistepilvet voidaan yhdistää myös yhteisten pintojen tai pisteiden avulla. Kuvan 18 esimerkkitapauksessa pistepilvien automaattinen yhdistäminen ei onnistunut. Epäonnistuminen johtuu todennäköisesti siitä, että ovensuussa ei ole keilauspistettä. Siitä johtuen yhteistä geometriaa on niin vähän, että ohjelmisto ei tunnista pistepilvien yhteisiä pisteitä automaattisesti. Split view'n avulla voidaan pistepilvet yhdistää yhteisten pisteitten avulla. [8.]



Kuva 18. Split view -toiminnon avulla yhteiset pisteet voidaan hakea pistepilvestä manuaalisesti ja niiden välinen linkki voidaan luoda.

Tässä tapauksessa yhteiset pisteet olivat oikea alanurkka ovesta olevassa kyltissä sekä oikea alanurkka pylväässä olevassa kyltissä. Kaksi-kolme pistettä ovat yleensä riittäviä. Hyviä yhteisiä pisteitä ovat kulmat, ruuvit, kaiteiden risteyskohdat ja muut yksityiskohdat, jotka voidaan löytää helposti. Kuvassa 19 on kahdessa eri kerroksessa olevat bundlet yhdistetty yhteisen pultin avulla [8.]



Kuva 19. Split view -toiminnon avulla yhdistetyt pisteet.

Projects & Storage -valikossa voidaan käsitelty bundle yhdistää suurempaan malliin kuten laitosmalliin tai tehdasalueen malliin. Avaamalla valikko ja valitsemalla haluttu projekti ja käyttämällä ikkunan alalaidassa sijaitsevaa Merge-näppäintä avautuu uusi Merge Project -pudotusvalikko. Pudotusvalikosta voidaan valita haluttu yhdistämiskohde.

Mallin optimoinnin jälkeen voidaan siirtyä Finalize-vaiheeseen. Vaiheen aikana voidaan tehdä viimeiset muutokset malliin ennen julkistamista. Esimerkiksi linkkien tai pisteiden nimien näkyvyys voidaan muuttaa tässä vaiheessa.

Report-vaiheessa luodaan lopullinen malli. Oikeassa paneelissa voidaan muuttaa asetuksia kahdella eri välilehdellä, Report Options ja Publish Options. Report Options vaikuttaa siihen, mitä tietoja rekisteröintiraporttiin tulostuu. Tiedot kuten Setup- ja linkkimäärä ja mallin tason virhe ovat tyypillisiä. Publish Options -välilehdellä voidaan valita mallista julkaistavat tiedostomuodot. [8.]

Yleisesti mallista luodaan .lgs-valokuvamalli, .rcp-tiedosto sekä .e57-tiedosto. .rcp-tiedosto voidaan avata useimmilla Autodeskin ohjelmistoilla kuten AutoCAD ja ReCap. Tiedosto on projektitiedosto, joka ryhmittää yhteen useat .rcs-tiedostot eli pistepilvitiedostot. ASTM-standardoitu .e57 on geneerinen tiedostomuoto 3D-datalle joka voidaan avata helposti, koska se ei ole valmistajakohtainen tiedosto. Näitä tiedostoja käytetään yleensä suunnitteluun. LGS-valokuvamalli (.lgs-tiedostot) voidaan avata Leican TruView-ohjelmistolla. Toiminnoltaan ohjelmisto muistuttaa karttapalveluita, joissa keilauspisteistä otettujen valokuvien välillä voidaan siirtyä helposti. Lisäksi voidaan suorittaa mittauksia. Tyypillisesti tätä mallia käytetään, kun halutaan esittää mallista jotain. LGS-malli on kevyt ja lähempänä todellista maailmaa kuin pistepilvimalli.

Publish-painikkeesta ohjelma aloittaa mallin renderöinnin. Käsittelyyn kuluva ajasta suurin osa kuluu tässä työvaiheessa. Mallin on syytä siis olla tässä vaiheessa kunnossa. Renderöinti kannattaa jättää päivän viimeiseksi tehtäväksi ja jättää suorittamaan yön aikana. Puolikkaan laitospallin, jossa on noin 300 keilauspistettä, renderöintiin kului noin 12 tuntia. Suuret mallit vievät melko paljon tilaa. Yli 300 pisteen mallissa tiedoston koko oli yli 170 GB. [8.]

4 Keilausmateriaalin hyödyntäminen putkistosuunnittelussa

4.1 Yleiset hyödyt

Kun suunnittelu toteutetaan suoraan pistepilveen, vältetään monilta perinteisten 2D- ja 3D-suunnittelun ongelmilta. Tyypillinen esimerkki on puutteelliset, epäselvät tai vanhat lähtötiedot. Käyttämällä keilausmateriaalia saadaan ajankohtaiset ja todenmukaiset sijainti-, tilanvaraus- ja mittatiedot helposti käyttöön heti suunnittelun alkuvaiheessa. Tämän avulla voidaan myös vähentää työmaakäyntien tarvetta ennen rakentamisen aloittamista ja vähentää huomattavasti kohteessa tarvittavien käsin tehtävien mittausten määrää. Suunnittelu on mielekkäämpää, kun lähtötietoja on paljon ja ne ovat ajantasaisia. [10;11.]

Suunnitteluvaiheen lisäksi hyödyt ulottuvat myös kommentointivaiheeseen. Kommentointivaiheen työn laajuus ja olosuhteet on helpompi hahmottaa pistepilveen suunnittelusta mallista. Tämä helpottaa huomattavasti huomioiden tekemistä verrattuna perinteiseen 3D-malliin, sillä epäkohdat on helpompi huomata. Tällä tavalla rakennettu malli helpottaa myös projektiin perehdyttämistä. Kyselyitä ja tarjouksia tehdessä on helpompi antaa tietoa laajuudesta, olosuhteista ja haasteista havainnollistamalla haluttuja ominaisuuksia pistepilvestä.

Koska keilattu malli koostuu monesta erillisestä keilauspisteestä, mallia voidaan päivittää esimerkiksi piste tai alue kerrallaan. As-built-tyylinen tieto on aina käytävissä, kun malli pidetään ajantasaisena. Ajantasaisella mallilla voidaan myös havaita vaarantavia virheitä ja seurata tehdasalueen muutoksia. Reaali maailman esimerkkinä on uusi polttoainekattila, joka laserkeilattiin asennuksen yhteydessä. Kun kattila oli ollut puoli vuotta käytössä, se keilattiin uudelleen. Kun kerätyt mallit asetetaan päällekkäin, sen muutoksista saadaan tietoa. [8.] Kattilan seinämien paksuuden muutos voidaan tällöin havaita ja voidaan arvioida, johtuvatko muutokset esimerkiksi materiaalin kerääntymisestä seinämille tai ovatko kattilan seinät ohentuneet korroosion vuoksi. Mahdolliset vaaratilanteet voidaan havaita tällaisen seurannan ansiosta.

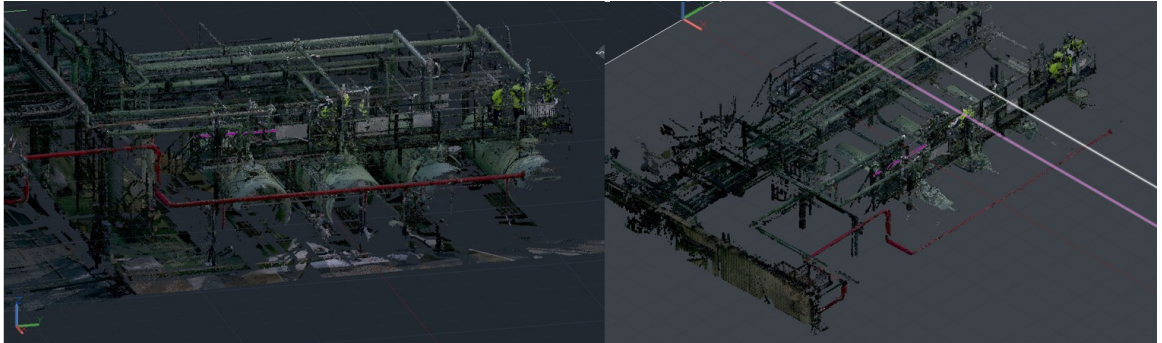
4.2 Layout

Käsittelystä pistepilvestä voidaan saada monenlaista tietoa. Esimerkiksi alueen layout voidaan hakea pistepilvestä tekemällä tasoleikkaus. AutoCAD Plant 3D:ssä tasoleikkauksen tekeminen voidaan tehdä Section Plane-komennon avulla.

.rcp-tiedosto tuodaan ulkoisena viittauksena (external reference) piirustukseen. Tällöin käytetään xref-komentoa. Valitsemalla pistepilvi työkalupalkkiin avautuu Point Cloud -välilehti, jossa voidaan suorittaa pistepilviin liittyviä toimintoja. Layoutin kannalta tärkeimmät komennot ovat Cropping-, Section- ja Extract-paneelissa. Cropping-toiminnon (pointcloudcrop) avulla pistepilvestä voidaan piilottaa osuuksia poistamatta niitä. Tämän avulla pistepilven käsittely on helpompaa. Valinta voidaan tehdä neliskulmaisella, monikulmaisella tai ovaalimaisella valintatyökalulla. Alueen valinta on helpointa tehdä Top- tai side -projektioidissa. Kun valinta on tehty, voidaan valita, pidetäänkö valinnan sisäpuoleiset vai ulkopuoliset pisteet. Cropilla piilotetut pisteet voidaan hetkellisesti palauttaa näkyviin Show/Hide -toiminnolla. Mikäli pisteet halutaan palauttaa pysyvästi näkyviin, voidaan käyttää Uncrop All/Uncrop Last-painiketta.

Section-paneelissa voidaan valita Section Plane, ja pudotusvalikosta suunta. Koska kyseessä on layoutkuva, valitaan Top. Valitaan luotu section plane (kuvasessa 20 violetti viiva), jolloin työkalupalkkiin avautuu Section Plane -välilehti. Varmistetaan, että vasemmassa reunassa on päällä vaihtoehto Live Section. Tällöin tehty slice näkyy, ja painamalla painiketta uudelleen saadaan alkuperäinen pistepilvi näkyviin. Live Sectionin ollessa päällä muutokset asetuksiin näkyvät mallissa reaaliaikaisesti. Modify-paneelista voidaan muuttaa Sectionin tyyppiä. Muuttamalla tyyppi Section Planesta Section Sliceksi saadaan kahden tason välinen alue (kuva 20). Adjust-paneelista voidaan säätää Slicen asetuksia. Ensimmäinen Offset-arvo säätää etäisyyttä origosta kohtisuorassa suunnassa tason suhteen. Koska kyseessä on Top-näkymästä tehty Slice, siirtyy slice z-akselin suuntaisesti. Slice Thickness -arvoa muuttamalla voidaan valita Slicen kahden leikkauspinnan välimatka eli leikkauksen paksuus. Näitä kahta arvoa

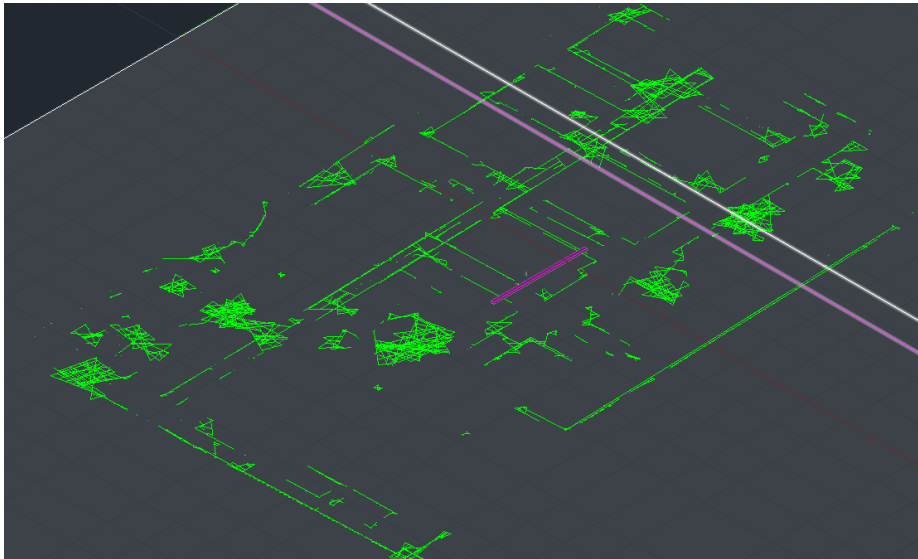
muuttamalla saadaan eristettyä halutun korkuinen alue, tässä tapauksessa huoltotasot. Rajattu alue nähdään kuvassa 20 oikealla. Yleisesti ottaen, mitä pienempi Slice Thickness, sitä parempi. Leikkaustasojen väliä on muutettava siten, että halutut yksityiskohdat näkyvät.



Kuva 20. Vasemmalla malliin tuotu pistepilvi. Oikealla Section Slice (valkoisen ja violetin viivan välinen alue)

Kun Section Slicen asetukset ovat hyvät, voidaan ajaa Section Lines -komento. Valitsemalla pistepilvi voidaan Extract-paneelistä valita Section Lines -komento, joka avaa Extract Section Lines -ikkunan. Komentorivin avulla komento pextractsection avaa myös ikkunan. Koska halutaan mallintaa poikkileikkaus koko alueesta, eikä vain ulkoreunoista, valitaan Entire Cross Section. Output Geometryn alta voidaan valita väri ja mille tasolle Section Lines tulostuu. Ikkunan oikealla puolella voidaan valita määritettävien pisteiden määrä. Käytännössä liukusäädintä siirtämällä voidaan määrittää nopeuden ja tarkkuuden välinen suhde: mitä tarkempi layoutista halutaan, sitä kauemmin sen generoimisessa kestää. Minimum line length määrittää, kuinka pienet muodot otetaan huomioon. Connect line tolerance määrittää pisteiden välimatkaa. Mikäli pisteiden välimatka on pienempi kuin annettu arvo, pisteet yhdistyvät yhtenäiseksi linjaksi.

Suuri arvo johtaa yleensä ei-haluttuihin geometrisiin muotoihin kuten kuvassa 21.



Kuva 21. Huoltotasojen muodot voidaan erottaa. Korkea Connect line tolerance luo kuvaan kolmiomaisia muotoja.

5 Tulevaisuuden näkymät

Rejlers Finlandin kannalta kehityssuunnat ovat luultavasti uusien keilainten hankkiminen. Useampi keilain mahdollistaa laajempaa laserkeilaustoimintaa, oli kyseessä sitten keilaimien hankinta uudelle paikkakunnalle tai useamman keilaimen käyttämisestä samalla toimistolla. Tehokkaammat keilaimet parantavat mallien tarkkuutta, mutta johtavat suuriin tiedostokokoihin. Keilausdatan käsittely keskitetään todennäköisesti edelleen Kemiin, ellei keilausprojektien määrä kasva huomattavasti. Tällä hetkellä pistepilviaineiston säilytyspaikka Kemissä on saavutettavissa vain Rejlersin sisäverkkoon yhdistetyillä koneilla. Tulevaisuudessa keilausdata olisi tarkoitus olla käytettävissä VPN-yhteyden avulla. [8.]

6 Yhteenveto

Insinööriyössä tavoitteena oli tuottaa teksti, joka antaa tietoa laserkeilauksen hyödyntämisestä putkistosuunnittelun apuvälineenä, ja tuottaa yleisohjelmäinen

dokumentti laserkeilauksesta kentältä valmiiseen malliin asti sekä valaisemaan keilausaineiston käyttökohteita putkistosuunnittelun kannalta.

Kentältä malliksi -ohjeiden avulla ainakin kenttäohjelmiston käyttö sekä huomioidtavat olosuhteet keilausta tehtäessä ovat käyttökelpoista asiaa, jonka avulla voidaan tuottaa onnistunutta keilausmateriaalia. Keilausmateriaalin käyttökohteet jäivät lyhyemmäksi osuudeksi kuin työn aloituksessa oli ajateltu. Tekstiä voidaan kuitenkin hyödyntää pikakurssimaisena dokumenttina itse laserkeilauksen tekemiseen ja aineiston käsittelyyn, ei niinkään käyttökohteisiin.

Lähteet

- 1 Rejlers. Rejlers Industry, Plant Engineering 2021 V3. Esittelykalvot.
- 2 Joala, Vahur. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Leica Oy. Verkkoaineisto. <<https://drive.google.com/file/d/0B3MfAq-wXowIN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGMylTlkOWUt-NTQzMdIwZTI3NDVm/view?resourcekey=0-oQ0IKbagU1tAsVfnZXWibg>>. Luettu 4.2.2022.
- 3 PSK Standardointiyhdistys. 2021. PSK 3402. Pistepilven ja mallinnuksen hankinta teollisuudessa.
- 4 Maanmittauslaitos. N2000 Valtakunnallinen korkeusjärjestelmä. Verkkoaineisto. <https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/old/N2000_Valtakunnallinen_korkeusjarjestelma.pdf> Luettu 5.4.2022.
- 5 Laser scanning: Chapter 2 of 3 - How It All Works. Leica Geosystems. Verkkoaineisto. <<https://www.youtube.com/watch?v=1IDO1UevAJI>>. Katsottu 12.2.2022.
- 6 Leica RTC360 3D reality capture solution. Leica Geosystems. Verkkoaineisto. <<https://leica-geosystems.com/-/media/files/leicageosystems/products/datasheets/leica-rtc360-ds-872750-0821-en.ashx?la=da&hash=30083BF63CCCE6919BD7964EEC5ADC77>>. Luettu 26.1.2022.
- 7 Leica BLK360 Imaging scanner. Leica Geosystems. Verkkoaineisto. <https://shop.leica-geosystems.com/sites/default/files/2019-04/blk360_spec_sheet_2_0.pdf>. Luettu 26.1.2022.
- 8 Luokkala, Petteri. Business Unit Manager, Rejlers Kemi. Suullinen tiedonanto. 2022.
- 9 Näkki, Arto. Business Unit Manager, Rejlers Vantaa. Suullinen tiedonanto. 2022.
- 10 Luokkala, Petteri. 2022. Rejlers Finland Laserscanning Services. Esittelykalvot.
- 11 Rejlers. 2020. 3D-laserskannaus. Esittelykalvot.