

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotanto ja kunnossapito

Jani Oksanen

3D-laserskannauksen käyttö NDT-tarkastuksessa

Opinnäytetyö 2014

Tiivistelmä

Jani Oksanen

3D-laserskannauksen käyttö NDT-tarkastuksessa, 35 sivua, 1 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotanto ja kunnossapito

Opinnäytetyö 2015

Ohjaajat: lehtori Veli-Pekka Jurvanen, Saimaan ammattikorkeakoulu, Itä-Suomen aluepäällikkö, Kari Paananen, Dekra Industrial Oy

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutustua 3D-laserskannukseen ja tutkia sen käyttömahdollisuuksia osana NDT-tarkastusta. Työ tehtiin Dekra Industrial Oy:lle, joka on kolmanneksi suurin tarkastus- ja testausyhtiö koko maailmassa.

Materiaali tähän opinnäytetyöhän on koottu pääosin internetistä. Laserskannuksesta ei ole kovinkaan paljoa kirjallisuutta saatavilla. Työssä käytiin aluksi läpi yleisimmät NDT-tarkastusmenetelmät sekä laserin teoriaa ja turvallisuutta. Tutustuttiin erilaisten laserskannerien toimintaan ja ominaisuuksiin sekä skannauksessa käytettäviin ohjelmistoihin. Samalla etsittiin myös käyttökohteita ja esimerkkejä laserskannerin käyttämiseen NDT-tarkastuksessa. Iso osa työtä oli tutustua Creaformin HandySCAN 700 –laserskanneriin, joka saatiin pariiksi viikoksi lainaan. Laitteella oli myös tarkoitus tehdä pienimuotoinen työ Dekran asiakkaan luona. Työtä ei kuitenkaan puutteellisten ohjelmistojen takia pystytty suorittamaan halutulla tavalla. Laitetta päästiin kuitenkin kokeilemaan konepajaolosuhteissa, joissa se pärjäsi loistavasti.

Laserskannaus tarjoaa hyvät työkalut erilaisten rakenteiden ja laitteiden tarkastukseen. Skannaamalla saadaan selville muodonmuutokset, kulumat eri pinnoilla sekä korroosiovaurioiden laajuus. Skannerit ovat yksinkertaisia käyttää - lähes kuka tahansa osaa laserskannata, pienen harjoittelun jälkeen. Skannattujen kuvien jälkikäsittelyohjelmistot vaativat sen sijaan hieman enemmän perehtymistä.

Avainsanat: 3D-laserskannaus, HandySCAN 700, NDT-tarkastus

Abstract

Jani Oksanen

Using 3D-laserscanning as a part of NDT-inspection, Number of Pages 35,
Number of Appendices 1

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Degree Programme in Mechanical Engineering

Maintenance and Production Technology

Bachelor's Thesis 2015

Instructor's: Mr. Veli-Pekka Jurvanen, Saimaa University of Applied Sciences.

Mr. Kari Paananen, Area Manager of Eastern Finland. Dekra Industrial Oy.

The objective of the research was to examine how to use 3D-laserscanner as a part of NDT-inspection. The work was commissioned by Dekra Industrial Oy. Dekra Industrial is one of the biggest inspection and testing companies in the world.

The data for this work was mainly collected from the internet. There is not much literature about laser scanning available. This thesis includes theory of the most basic NDT-inspection methods, theory and work safety of laser light and different kind of laserscanning equipment and software available. There was also research of how to use laser scanning as a part of NDT-inspection. Major part of the work was using Creaform's HandySCAN 700 laser scanner which was on loan for two weeks. The purpose was to make a small work for Dekra's client, but because of limited software, the work could not done.

Laser scanning offers good tools for inspecting different kind of structures and machines. Laser scanning can be used inspect deformations, mechanical and corrosion damage. Laser scanners are simple to use and almost everyone can use them, after a little practice. Post treatment softwares for scanned images need a bit more skill to use.

Keywords: 3D laser scanner, NDT, HandySCAN 700

Sisällys

1	Johdanto	5
2	Dekra Industrial Oy	5
3	NDT	5
3.1	Silmämääräinen tarkastus	6
3.2	Tunkeumanestetarkastus.....	6
3.3	Magneettijauhetarkastus.....	7
3.4	Radiografinen tarkastus	8
3.5	Ultraäänitarkastus	9
3.6	Pyörrevirtatarkastus	10
4	Laser.....	10
4.1	Laserin teoriaa	10
4.2	Laserluokat	11
4.2.1	Luokka 1.....	11
4.2.2	Luokka 1M.....	11
4.2.3	Luokka 2.....	12
4.2.4	Luokka 2M.....	12
4.2.5	Luokka 3R	12
4.2.6	Luokka 3B	12
4.2.7	Luokka 4.....	13
4.3	Laserin käyttökohteita	13
5	3D-laserskannaus.....	13
5.1	Eri laserlaitteet	14
5.1.1	3D-laserkeilain.....	15
5.1.2	Käsi­käyttöiset laserskannerit	18
5.2	Ohjelmistot.....	20
5.2.1	Creaform VXelements, VXmodel ja PipeCheck	20
5.2.2	Polyworks Inspector	22
5.2.3	Trimble RealWorks.....	22
5.3	Käyttökohteet NDT-tarkastuksessa	23
6	HandySCAN 700 ja työ asiakkaan luona	25
6.1	HandySCAN 700:aan tutustuminen	26
6.2	Työ asiakkaan luona	28
6.3	IP-ohje	31
7	Päätelmät.....	31
	Lähteet.....	33

Liitteet

Liite 1 IP-Ohje Creaform HandySCAN 700

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan 3D-laserskannauksen käyttöä osana NDT-tarkastusta. Työ tehdään Dekra Industrial Oy:lle. Tarkoituksena on tutustua 3D-skannaukseen, siinä käytettäviin laitteisiin sekä mahdollisiin käyttökohteisiin NDT-tarkastuksessa. Tällä hetkellä Dekralla on laserskannauslaitteita käytössä Ranskassa ja Ruotsissa. Suomeen laitteita ollaan mahdollisesti hankkimassa tulevaisuudessa.

2 Dekra Industrial Oy

Dekra Industrial Oy aloitti toimintansa vuonna 1974 nimellä Polartest Oy. Dekra Industrial Oy:n omistaa kansainvälinen tarkastus- ja testausyhtiö Dekra AG, jonka pääkonttori sijaitsee Stuttgartissa, Saksassa. Dekralla on kolme erillistä liiketoiminta-aluetta, joihin kuuluvat ajoneuvojen testaus, teollisuuden laitteiden tarkastus ja testaus sekä henkilöasioihin liittyvät palvelut, kuten koulutus. Koko maailman mittakaavalla Dekra on kolmanneksi suurin tarkastus- ja testausyhtiö. Työntekijöitä Dekralla on Suomessa yli 200 ja kaiken kaikkiaan noin 32 000, yli 50 maassa eri puolilla maailmaa. (1.)

Dekra Industrial Oy on viranomaishyväksytty riippumaton tarkastusyhtiö, jonka palveluihin kuuluvat tarkastukset ja testaukset teollisuuden eri sektoreilla. Arviointeja tehdään teräsrakenteille, painelaitteille, sähkölaitteistoille sekä palonilmaisuu- ja sammutuslaitteistoille. Lisäksi Dekra Industrial Oy tekee ainetta rikkovaa testausta (DT) sekä ainetta rikkomatonta testausta (NDT). (1.)

3 NDT

NDT tulee englanninkielisistä sanoista Non Destructive Testing eli rikkomaton aineenkoetus. Ainetta rikkomattomalla koetuksella etsitään virheitä tarkastettavan kappaleen pinnasta tai sisäisiä virheitä, jotka voivat rasituksen alaisena aiheuttaa toimintahäiriöitä tai kohteen rikkoutumisen. Eri NDT-menetelmillä varmistetaan

tuotteen laatu aina valmistuksesta sen elinkaaren loppuun saakka. Tarkastusmenetelmät jaetaan kahteen ryhmään volymetrisiin- ja pintatarkastusmenetelmiin. Pintatarkastukseen kuuluvat magneettijauhe-, tunkeumaneste- ja pyörrevirtatarkastus. Volymetrisiin menetelmiin, joilla tutkitaan pinnan alla olevia vikoja, kuuluvat ultraäänitarkastus sekä radiografia. (2.)

3.1 Silmämääräinen tarkastus

Yleisin NDT-tarkastus menetelmä on silmämääräinen tarkastus. Se on perustarkastusmenetelmä, joka liittyy useaan vaiheeseen tuotteen valmistuksen aikana. Huolellisesti suoritettuna silmämääräinen tarkastus on käyttökelpoinen ja riittävä menetelmä monessa eri tapauksessa. Riittävässä valaistuksessa ihmissilmä pystyy havaitsemaan viivamaisen virheen, jonka leveys on noin 0,05 mm ja pyöreän virheen, jonka halkaisija on noin 0,10 mm. Optisilla apuvälineillä, kuten suurenuslasilla tai mikroskoopilla, virheiden havaittavuus paranee huomattavasti. Magneettijauhetarkastus sekä tunkeumanestetarkastus ovat silmämääräisen tarkastuksen erikoissovellutuksia, koska lopullinen tulosten arviointi tapahtuu yleensä silmämääräisesti. (3, s. 27–30.)

3.2 Tunkeumanestetarkastus

Tunkeumanestetarkastus on NDT-menetelmä, jolla voidaan havaita pintaan asti ulottuvat virheet kappaleissa, jotka eivät luonnostaan ole huokoisia. Tunkeumanestetarkastuksessa joko värillinen tai fluoresoiva tunkeumaneste levitetään kappaleen pinnalle, josta se tunkeutuu kapillaarivoiman avulla virheisiin. Kun vaadittava tunkeuma-aika on kulunut, pestään ylimääräinen neste pois ja pinnalle levitetään kehite. Kehitteeseen imeytyy ja leviää osa virheisiin jääneestä tunkeumanesteestä, kuten kuvassa 1 näkyy. Näyttämän koon, muodon ja sijainnin perusteella voidaan virheestä tehdä johtopäätöksiä. Epäpuhtaudet ja esimerkiksi kappaleen karkea pinta aiheuttavat helposti virhenäyttämiä tunkeumanestetarkastuksessa. (3, s. 30.)



Kuva 1. Tunkeumanestetarkastuksen näyttämä.

3.3 Magneettijauhetarkastus

Magneettijauhetarkastuksessa voidaan havaita ferromagneettisten aineiden pintaan asti avoimien tai pinnan läheisyydessä olevia virheitä. Menetelmä perustuu epäjatkuvuuskohtien synnyttämien magneettisten vuotokenttien toteamiseen. Epäjatkuvuuskohdan vuotokenttä kerää ympärilleen magneettijauhetta, jonka sijainnin, koon ja muodon perusteella voidaan virheestä tehdä johtopäätöksiä. Parhaiten saadaan erotettua halkeamat, jotka ovat kohtisuorassa magneetikentän voimaviivojen suuntaa vastaan. Jos halkeama on täysin voimaviivojen suuntainen, ei sen reunaviivoihin ohjaudu yhdistäviä voimaviivoja, eikä se tällöin anna näyttämää. Tarkastuksessa käytetään joko värillistä menetelmää tai fluoresoivaa menetelmää. Värimenetelmässä tarkastettavalle pinnalle levitettävien rautajauhehiukkasten ja taustan välisen kontrastin parantamiseksi käytetään ohutta kerrosta vaaleaa kontrastiväriä. Fluoresoivassa menetelmässä rautajauhehiukkaset ovat ilman kontrastiväripohjaa ja virheet saadaan näkyviin UV-valolla. (3, s. 32–34.)

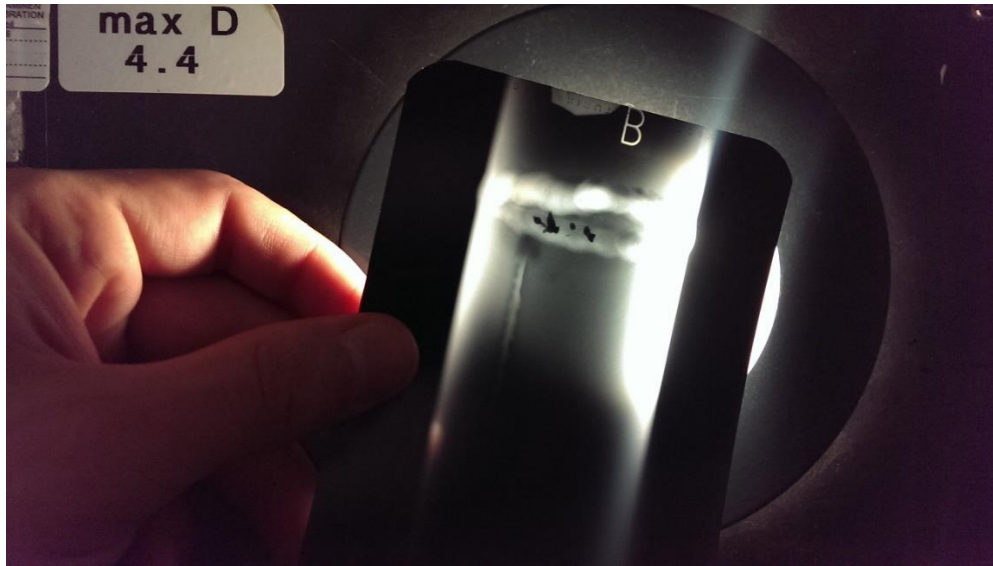
3.4 Radiografinen tarkastus

Radiografisella tarkastuksella tarkoitetaan kaikkea ionisoivalla säteilyllä tapahtuvaa kuvausta. Tutkittavaan kappaleeseen kohdistetaan säteilyä ja kohteen takana olevalla filmillä (kuva 2) tai muulla mittalaitteella tallennetaan läpäisseen säteilyn voimakkuus.



Kuva 2. Röntgenfilmi valmiina kuvaukseen.

Radiografinen tarkastus perustuu aineen paksuus- ja tiheyseroihin, joten ohuet ja enemmän säteilyä läpäisevät kohdat näkyvät filmillä tummempina kohtina. Radiografisia kuvausmenetelmiä ovat röntgenkuvaus, gammakuvaus erilaisilla isotoopeilla ja kiihdytinkuvaus. Radiografia sopii hyvin kaikkien kolmiulotteisten virheiden havaitsemiseen, kuten esimerkiksi huokosiin, kuonasulkeumiin ja erilaisiin muotovirheisiin. Kuvassa 3 näkyy esimerkki valtavasta huokosrykelmästä hitsaussaumassa. (3, s. 35–36.)

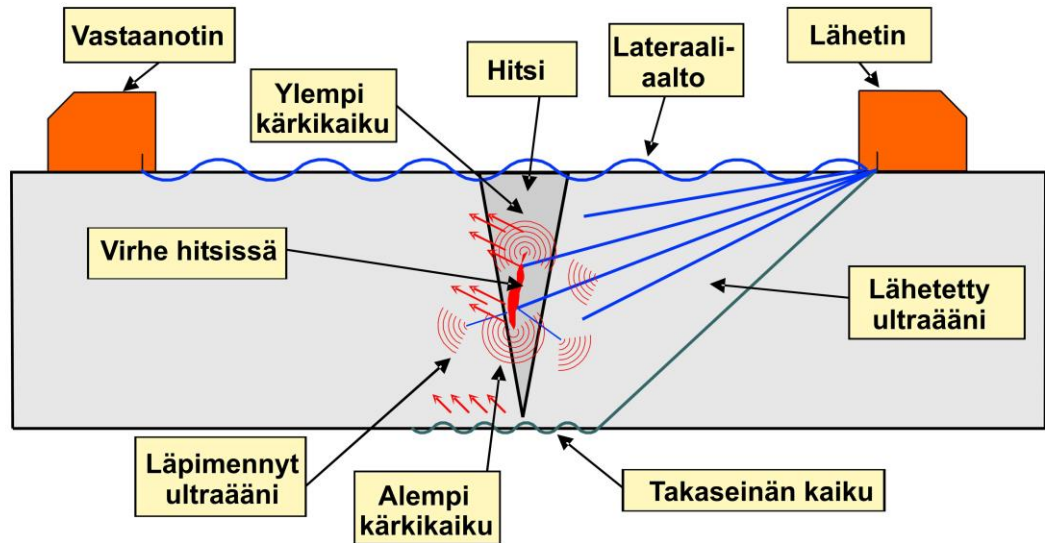


Kuva 3. Kehitetty filmi jossa näkyy huokosia.

3.5 Ultraäänitarkastus

Ultraäänitarkastusta käytetään tutkittaessa ja määrittäessä kappaleen mittoja, sen sisäisiä epäjatkuvuuskohtia ja eräitä aineominaisuuksia, kuten kimmovaikiota. Ultraäänitarkastus perustuu tutkittavaan kohteeseen suunnatun ja siinä etenevän äänisäteen heijastumiseen sisäisistä epäjatkuvuuskohdista tai kohteen takaseinästä. Heijastumien perustella voidaan päätellä epäjatkuvuuskohdan sijainti, laatu ja koko. (4, s. 37.)

Ultraääntä on ääni, jonka taajuus on yli 25kHz. Yleisimmin käytetään taajuuksia 0,5–25 MHz. Käyttämällä suurempaa taajuutta voidaan havaita pienempiä virheitä. Samalla kuitenkin ääni vaimenee voimakkaammin ja tunkeutumiskyky pienenee. Usein päädytäänkin kompromissiin erotuskyvyn ja tunkeutumissyvyyden välillä. Yleisin ultraäänimenetelmä on kaikumenetelmä, jossa sama luotain toimii sekä lähettimenä että vastaanottimena, jolloin tarkastus voidaan tehdä yhdeltä puolelta kappaletta. Ultraäänitarkastuksella havaitaan hyvin halkeamatyyppiset virheet, virheiden sijainti pystytään määrittämään tarkasti ja virheen korkeus saadaan selville. Kuvassa 4 on esitetty ultraäänitarkastuksen toimintaperiaate. (3, s. 37–38.)



Kuva 4. Ultraäänitarkastus. (4.)

3.6 Pyörrevirtatarkastus

Pyörrevirtatarkastus perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Tarkastettavan sähköä johtavan kappaleen viereen tuodaan tarkastuskela, jossa kulkee vaihtovirta. Tarkastuskelan ympärille syntyy vaihtovirran ansiosta vaihteleva primäärinen sähkömagneettinen kenttä, joka aiheuttaa kappaleeseen pyörrevirtoja. Pyörrevirrat puolestaan synnyttävät primäärkenttää vastustavan sekundäärisen sähkömagneettisen kentän. Vastustavan kentän voimakkuus riippuu mm. tarkastettavan kappaleen sähkönjohtavuudesta, koosta, tarkastustajuudesta ja mahdollisista virheistä. Mittaamalla ja seuraamalla kelassa tapahtuvia muutoksia saadaan tietoja tarkastettavasta kohteesta. (3, s. 38-39.)

4 Laser

Laser tulee sanoista Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation. Laser tarkoittaa valon vahvistamista stimuloitun säteilyemission avulla. Laser on laite, joka tuottaa koherenttia valoa eli kaikki valoallot ovat samaa aallonpituutta ja värähtelevät samassa suunnassa samalla taajuudella. (5.)

4.1 Laserin teoriaa

Kaikkien lasereiden ideana on hyödyntää atomien kykyä varastoida energiaa elektronikuoreensa. Ulkoinen energia virittää atomin elektronin ylemmälle ener-

giatasolle. Jos atomi on oikeaa tyyppiä, säilyy viritys lyhyen ajan. Kun viritys purkautuu, lähettää se energian fotonina eteenpäin. Jos fotoni osuu virittyneeseen atomiin, laukeaa se purkaen kaksi identtistä fotonia, joilla on sama taajuus ja niiden värähtely on koherenttia. (6.)

4.2 Laserluokat

Laserlaitteet jaetaan eri turvallisuusluokkiin niin, että laserlaitteen vaarallisuus kasvaa yhdessä luokan numeron kanssa: 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B ja 4. Luokan 1 laserlaitteet ovat käytännössä vaarattomia, kun taas luokan 4 laitteet voivat aiheuttaa vakavia silmä- ja ihovammoja. Laserilla pystytään kohdistamaan suuri määrä energiaa pieneen pisteeseen, mikä tekee siitä vaarallisen. Altistumisrajat lasersäteille on asetettu niin, että ne suojaavat silmää pysyvältä vaurioitumiselta. Rajoja pienemmillä altistuksilla voidaan saada aikaan tilapäisiä häiriöitä näkökyvyssä, kuten häikäistymistä, välähdyssokeutta tai jälkikuvia. Tärkein turvallisuusvaatimus on se, että lasersädettä ei saa suunnata itseään tai muita ihmisiä kohti. (7.)

4.2.1 Luokka 1

Luokkaan 1 kuuluvat laserit ovat heikkotehoisia ja vaarattomia, eikä erillisiä suojaustoimenpiteitä tarvita edes pitkällä altistusajoilla. Luokan 1 laserit toimivat UV-säteilyn, näkyvän valon ja infrapunasäteilyn aallonpituuksilla. Aallonpituusalueen ollessa 500–700 nm jatkuvatoimisen luokan 1 laserin suurin sallittu säteilyteho on 0,39 milliwattia. Luokkaan 1 kuuluu myös laserlaitteita, joissa lasersäde kulkee laitteen sisällä pääsemättä ulos. Nämä suljetut laitteet voivat sisältää korkeamman turvallisuusluokkaan kuuluvan laserin ja siksi niiden käyttöohjeissa on oltava varoitus, ettei suojakotelo saa avata. (8.)

4.2.2 Luokka 1M

Luokan 1M laserit toimivat luokan 1 tavoin UV-säteilyn, näkyvän valon ja infrapunasäteilyn aallonpituuksilla. Yleensä luokan 1M laserin kokonaisteho tai pulssienergia on suurempi kuin mitä sallitaan luokan 1 laserille. Lasersäde kuitenkin hajoaa voimakkaasti tai se on optisesti levitetty, jolloin pienempi osa säteestä voi kohdistua silmään. Luokkamerkinnän M-kirjain tulee englanninkielisestä sanasta

magnification (suurennus, suurennuskyky), joka tarkoittaa, että säteilyvaara on olemassa jos lasersädettä katsotaan optisen apuvälineen kautta. Suurin sallittu säteilyteho luokan 1M laserille on 500 mW. (8.)

4.2.3 Luokka 2

Luokan 2 laserit ovat pienitehoisia ja toimivat näkyvän valon aallonpituusalueella 400 – 700 nm. Silmän automaattisen sulkeutumisrefleksin katsotaan suojaavan silmää vaurioitumiselta. Säde voi aiheuttaa vaurion vain, jos se suunnataan suoraan silmään ja katsomista säteeseen pitkitetään keinotekoisesti. Luokan 2 laserin suurin sallittu teho on 1 mW. (8.)

4.2.4 Luokka 2M

Luokan 2M laserit toimivat luokan 2 tavoin näkyvän valon aallonpituusalueella. Luokkaan 2M kuuluvien laserien kokonaisteho tai pulssienergia ylittää luokan 2 sallitut arvot, säde ei kuitenkaan ole kapea vaan luokan 1M tavoin se leviää. Luokan 2M lasersäde voi aiheuttaa silmävaurion vain optisen apuvälineen läpi katsottuna tai, jos sädettä katsotaan tietoisesti. Luokan 2M laserin suurin sallittu teho on 500 mW. (8.)

4.2.5 Luokka 3R

Luokka 3R käsittää laserit, joiden säteily voi ylittää viisinkertaisesti luokan 1 ja luokan 2 laserien emissiorajat. 3R luokan laserit ylittävät suojaamattoman silmän altistuksen enimmäisarvot, mutta ne sisältävät kuitenkin tarpeeksi suuret turvamarginaalit, ettei vahinkoa käytännössä esiinny. Suoran silmään osuva tai siveltävä pinnasta heijastuva säde voi aiheuttaa pysyvän vaurion silmässä. Luokan 3R suurin sallittu teho on 5 mW. (8.)

4.2.6 Luokka 3B

Luokka 3B käsittää laserit joiden säteilyarvot ylittävät luokan 3R emissiorajat. Luokkaan 3B kuuluvan laserin suora ja peiliheijastunut säde on aina vaarallinen silmälle. Luokan 3B laser voi aiheuttaa myös pieniä ihovaurioita. Luokan 3B suurin sallittu teho on 500 mW. (8.)

4.2.7 Luokka 4

Luokkaan 4 kuuluvat laserit ylittävät muiden luokkien emissiorajat eikä niiden voimakkuudelle ole ylärajaa. Luokan 4 laser on niin voimakas, että se voi polttaa iholle palovamman hetkessä ja silmä voi vaurioitua jopa hajaheijastuksesta. (8.)

4.3 Laserin käyttökohteita

Nykyään laseria käytetään CD- ja DVD-levyjen sekä viivakoodien lukemiseen, valokuitukaapeleissa tiedonsiirtoon, teollisuudessa niin hitsaukseen, leikkaukseen kuin pintakäsittelyynkin. Sotilaskäytössä laseria käytetään etäisyysmittauksessa ja kohteen valaisussa. Lääketieteessä laseria käytetään kirurgian yhteydessä. Rakennustöissä käytetään taso- ja suuntauslasereita. (9.)

5 3D-laserskannaus

Mikä tahansa laite, joka mittaa käyttäen joko laseria, valoa tai röntgensäteitä ja luo tiheän pistepilven voidaan laskea 3d-skanneriksi. Yhteistä eri laitteille on se, että ne tallentavat tietoa ympäristöstä ja eri objekteista sadoillatuhansilla, jopa miljoonilla, eri mittauksilla. (10.)

3D-laserskannauksessa mittalaite lähettää lasersäteen, joka heijastuu tarkastettavasta kohteesta takaisin. Palaava lasersäde tallentuu pisteeksi, jolla on omat z-, y- ja z-koordinaatit sekä intensiteetti-arvo. Intensiteetti-arvolla tarkoitetaan kohteeseen lähetetyn lasersäteen takaisinheijastuvuusarvoa. Vaaleammasta pinnasta valo heijastuu paremmin takaisin. Takaisinheijastuvuusarvon avulla saadaan eriväriset pinnat eroteltua yksityiskohtaisesti pistepilvestä (11, 12). Lopulta mitatuista pisteistä syntyy pistepilvi, joka on kolmiulotteinen malli mitattavasta kohteesta. Pistepilvi sisältää tarkat geometriset tiedot kappaleesta, kuten pituuden, leveyden, korkeuden ja tilavuuden. (13.)

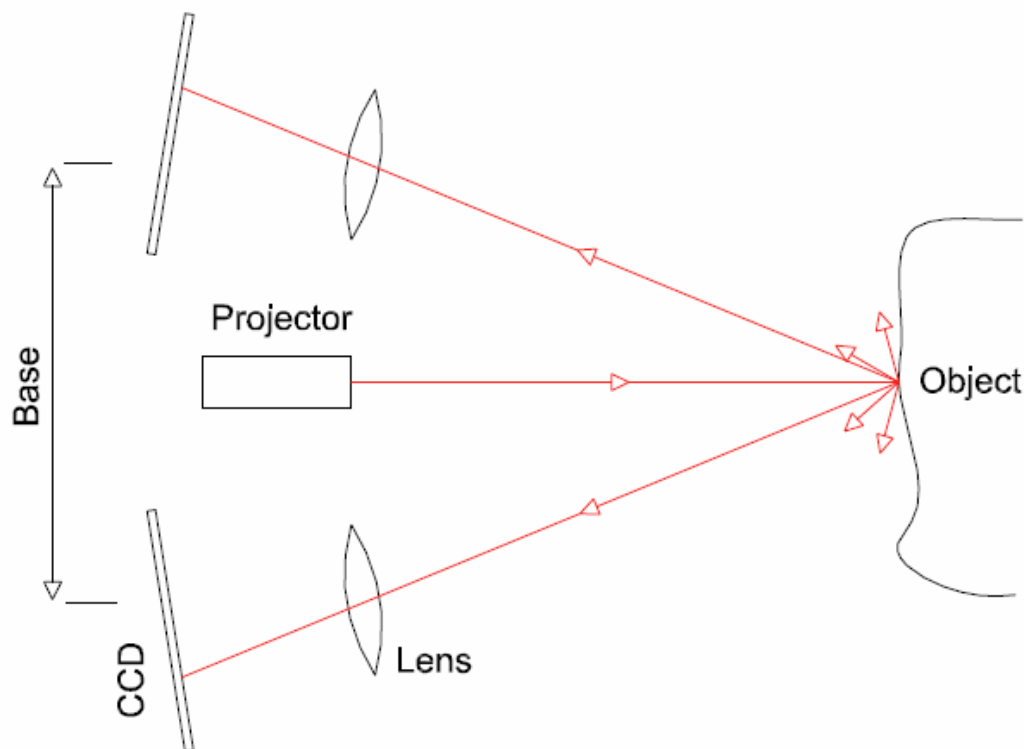
Tänä päivänä 3D-skannausta käytetään apuna tuotekehityksessä, suunnittelussa, valmistettujen tuotteiden laadunvalvonnassa, valumuottien, jigien ja tuotantolinjojen valmistuksessa ja tarkastuksessa. Myös kunnossapidossa 3D-skannaus

nausta käytetään laitteiden osien huollossa ja korjauksessa, kulumien ja muodonmuutosten tarkastuksessa, säiliöiden ja putkilinjojen tarkastuksessa sekä voimalaitosten turbiinien osien tarkastuksessa.

5.1 Eri laserlaitteet

3D-laserskannerit voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään - kolmiomittauksiin, valon kulkunopeuteen sekä valon vaihe-eroon perustuviin laitteisiin (14, s. 6, 14).

Kolmiomittauksessa laserskanneri lähettää laserpisteen kohteeseen, josta se heijastuu takaisin laserskannerin sensoriin. Sensori laskee palaavan säteen kulman perusteella etäisyyden. Kuvassa 5 on kaksikameraisen skannerin periaate kolmiomittauksessa. Laite lähettää lasersäteen kohteeseen, jolloin CCD-kamerat tallentavat palaavan säteen. (15, s. 2.)



Kuva 5. Kolmiomittaus. (15, s.2.)

Valon kulkunopeuteen perustuvassa mittauksessa laserskanneri lähettää lasersäteen, joka heijastuu kohteesta takaisin. Laite havaitsee takaisin heijastuvan säteen ja laskee valonnopeuden perusteella etäisyyden (kaava 1). Kuvassa 6 on

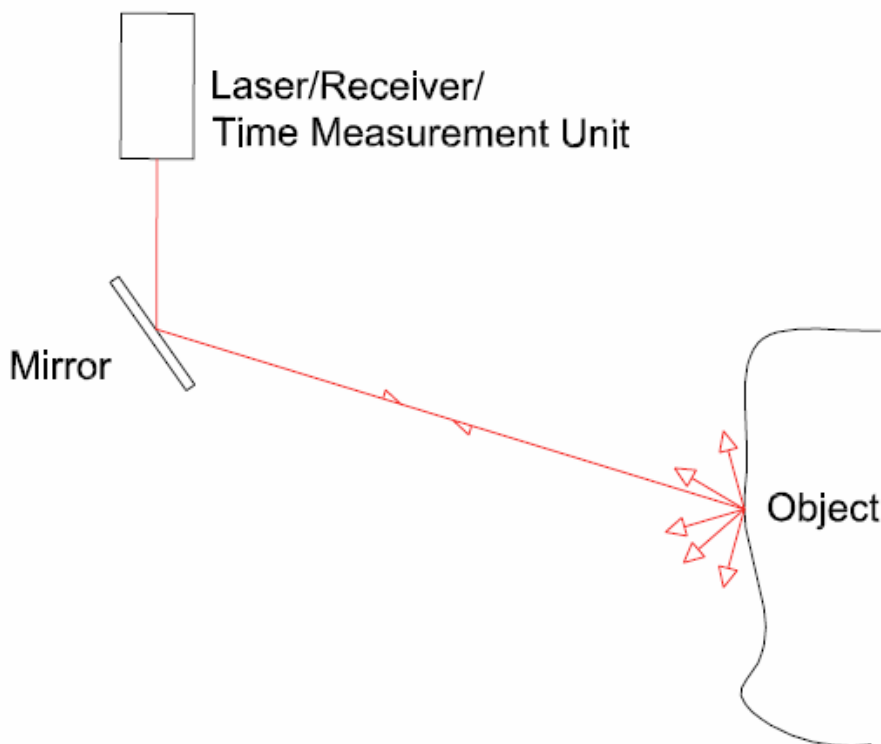
periaate valon kulkunopeuteen perustuvasta mittauksesta. Itse laite koostuu laserista, vastaanottimesta, ajan mittausyksiköstä sekä peilistä. (14, s. 6-7.)

$$r = \frac{\delta t \times c}{2} \quad (1)$$

r on skannerin ja kohteen välinen etäisyys

δt on lasersäteen kulkuaika

c on valonnopeus



Kuva 6. Valon kulkunopeuteen perustuva mittaus. (15, s.2.)

Vaihe-erolaser lähettää jatkuvaa signaalia, jonka intensiteettiä moduloidaan joko siniaallolla tai jollakin monimutkaisemmalla aaltomuodolla. Signaali heijastuu kohteesta takaisin, jolloin lähetetyn ja saapuneen signaalin vaihe-ero mitataan ja saadaan laskettua etäisyys. (14, s. 7-8.)

5.1.1 3D-laserkeilain

3D-laserkeilaimille on monia eri valmistajia. Pelkästään laitteiden teknisiä tietoja vertailemalla ei saada suuria eroja eri laitteiden välille. Koska eri laserkeilaimet

ovat ominaisuuksiltaan hyvin samankaltaisia, käydään seuraavaksi laserkeilaimien ominaisuudet ja toiminta yleisesti läpi.

Yleisimmin 3D-laserkeilaimien toiminta perustuu joko valon kulkunopeuteen tai vaihe-erolaseriin. Valon kulkunopeuteen perustuva laser soveltuu pidemmille matkoille, maksimikantama voi olla jopa kilometrejä, kun taas vaihe-erolaser soveltuu paremmin lyhemmille etäisyyksille, jolloin maksimikantama on väliltä 100–300 metriä. (10.)

Taulukossa 1 (s.18) on vertailtu eri valmistajien laserkeilaimia keskenään teknisten tietojen osalta. Mittausnopeus vaihtelee hieman eri laitteiden välillä, lähes jokainen laite pystyy mittaamaan hieman yli tai alle miljoona pistettä sekunnissa. Maksimikantaman puolesta tarkasteltavat laitteet rajattiin hieman yli sataan metriin, joka on täysin riittävä kantama NDT-tarkastuksen kohteille. Kuten taulukosta käy ilmi, ei laserkeilaimien välillä ole suuria eroja. Alin käyttölämpötila on selvästi paras Leican laserkeilaimilla, mutta Ruotsin Dekralla on käytössä Trimble TX5 (kuvassa 7) ja he ovat käyttäneet laitetta -15 °C lämpötilassa, eikä laitteen suorituskyvyssä ollut ongelmia. Osassa laserkeilaimia on mukana integroitu kamera ja osaan kameran saa lisäosana. Kameralla voidaan esimerkiksi tallentaa skannattavan kohteen värit. Skannauksesta aiheutuva kohina ja häiriö tiedetyllä etäisyydellä ovat tärkeä osa laadukkaita kuvia. Taulukossa ei ole kuitenkaan omaa saraketta kohinalle, koska eri valmistajat ilmoittavat kohinan eri tavalla, mikä tekee arvojen vertailemisesta vaikeaa.



Kuva 7. Trimble TX5 laserskanneri. (16.)

Laite	Kan- tama m	Keilausno- peus pist/s	Virhe +/- mm	Ka- mera Mpix	Laser- luokka	Paino Kg	Käyttöläm- pötila °C	Näkö- kenttä°
Trimble TX5	120	976000	2	70	3R	5	5 - 40	360/300
Faro Fo- cusX130	130	976000	2	70	1	5,2	5 - 40	360/300
Leica ScanS- tation P15	40	1000000	1	5	1	11,9	-20 - 50	360/270
Leica ScanS- tation P20	120	1000000	1	5	1	11,9	-20 - 50	360/270
Surphaser® 50HSX	100	1200000		150	3R	11	5 - 45	360/270
Surphaser® 100HSX	100	1200000		150	3R	11	5 - 45	360/270
Z+F IMAGER® 5006h	79	1016027	1	5	3R	14	-10 - 45	360/310

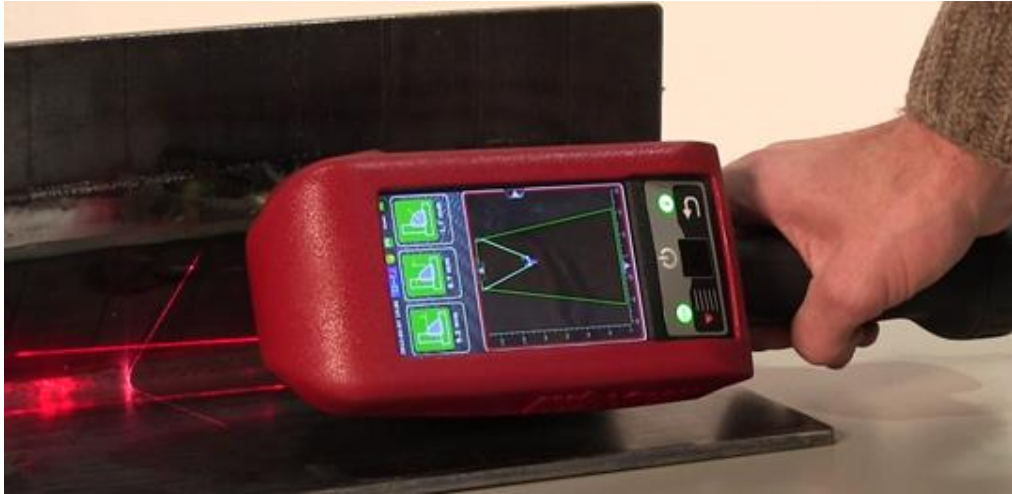
Taulukko 1. Eri valmistajien laserkeilaimia.

5.1.2 Käsikäyttöiset laserskannerit

Käsikäyttöiset laserskannerit ovat nimensä mukaisesti kädessä pidettäviä. Käsikäyttöiset skannerit sopivat hyvin hieman pienempien kohteiden skannaamiseen ja niillä päästään myös laserkeilaimia tarkempiin tuloksiin. Esimerkiksi Creaformin HandySCAN 700 tarkkuus on 0,03 millimetriä, kun laserkeilaimilla tarkkuus on parhaimmillaan 1–2 millimetriä.

5.1.2.1 Servo-Robot Wiki-Scan

Wiki-Scan on Servo-Robot:in valmistama käsikäyttöinen langaton tarkastuslaite (kuva 8), jolla 3D-skannaamalla varmistetaan hitsausprosessin luotettavuus. 3D-skannauksesta saadaan tarkat mitat ennen hitsaamista railokulmasta ja kappa-leiden asettelusta. Hitsauksen jälkeen voidaan mitata a-mitta, reunahaavat, hitsikuvun korkeus ja leveys sekä pintaan asti ulottuvat huokokset. Wiki-Scanniin voidaan määrittää sallituiden virheiden määrä ja koko ja verrata niitä käytettävään hitsaus standartiin, jolloin laite ilmoittaa heti, jos sauma ei saavuta vaadittua tasoa. (17; 18.)



Kuva 8. WikiSCAN. (19.)

5.1.2.2 Creaform HandySCAN 700

HandySCAN 700 (kuva 9) on Creaformin valmistama käsikäyttöinen laserskanneri, jonka toiminta perustuu kolmiomittaukseen. Toisin kuin perinteiset laserkeilaimet, HandySCAN 700 ei luo kolmiulotteista pistepilveä, vaan skannattavasta kohteesta tulee suoraan kolmiulotteinen mesh-verkko. Mittausnopeus laitteella on 480 000 mittausta sekunnissa ja tarkkuus on parhaimmillaan 0,03 millimetriä. HandySCAN koostuu kahdesta kamerasta, punaisesta led-valosta sekä laserista. Kohteeseen heijastettu laservalo vääristyy osuessaan kohteen pintaan, jolloin kamerat tallentavat kappaleen muodon. (20.)



Kuva 9. HandySCAN 700

5.1.2.3 Faro Scanner Freestyle 3D

Faro Scanner Freestyle 3D (kuva 10) on Faron kehittämä käsikäyttöinen 3D-skanneri, joka luo skannattavasta kappaleesta pistepilven. Skannausetäisyys laitteella on puolesta metristä jopa kolmeen metriin asti. Laitteen tarkkuus on parhaimmillaan 1,5 millimetriä. Yhdellä skannauksella voidaan skannata tilavuudeltaan 8m³ alue. Skanneria ohjataan Microsoft Surface Pro 2 tai 3 tabletilla, eikä se tarvitse muuta ulkoista virtalähdettä. (21.)



Kuva 10 Faro Scanner Freestyle 3D. (22.)

5.2 Ohjelmistot

Tärkeä osa 3D-skannausta on ohjelmistot, joilla saatuja pistepilviä ja mesh-verkkoja voidaan käsitellä. Koska eri ohjelmia on todella monta eikä tämän opinnäytetyön puitteissa ehdi tutustumaan jokaiseen mahdolliseen ohjelmaan, käydään seuraavaksi yleisesti läpi Creafordin VXelements, VXmodel ja PipeCheck, Polyworks Inspector sekä Trimble RealWorks.

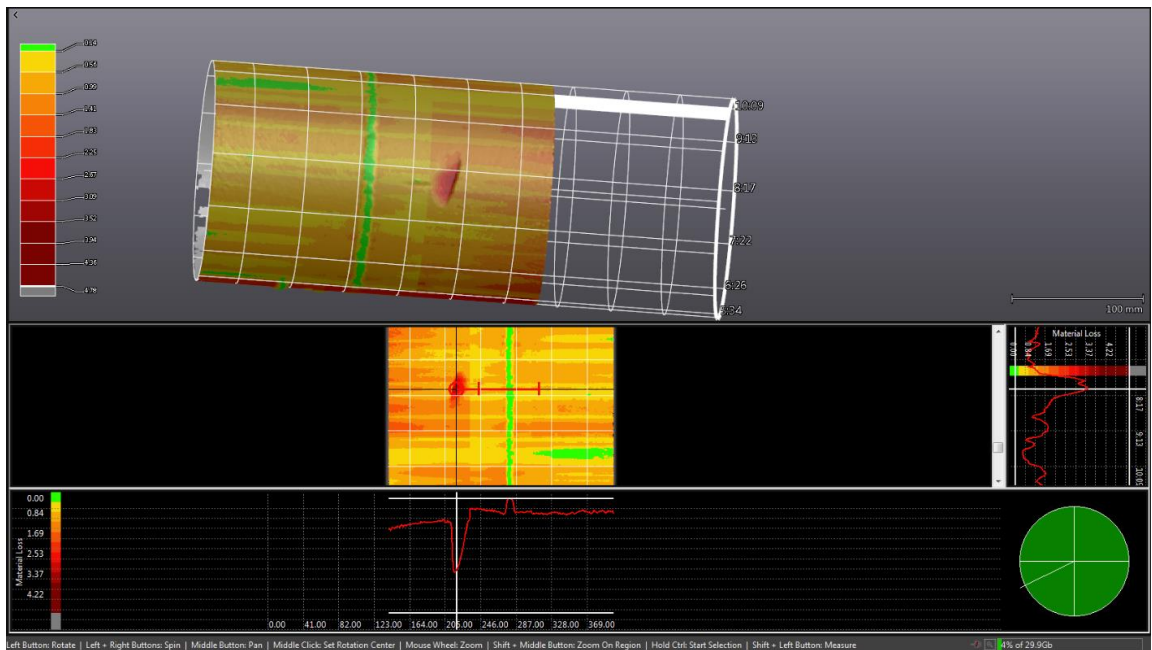
5.2.1 Creafordin VXelements, VXmodel ja PipeCheck

Creafordin VXelementsin avulla hoidetaan itse skannaaminen Creafordin laitteilla. Skannauksesta syntyy komiulotteinen mesh-verkko, joka voidaan tallentaa

STL-tiedostomuotoon jatkokäsittelyä varten. VXelementsissä perusominaisuuksilla onnistuu skannauksesta saadun 3D-datan siistiminen sekä automaattinen reikien täyttö. Myös useampien skannausten yhdistäminen on mahdollista, eikä näin ollen suurempia kohteita tarvitse skannata kerralla, vaan skannauksen voi hoitaa osissa ja jälkeenpäin yhdistää skannaukset VXelementsissä avulla. (23.)

VXmodel on jälkikäsittelyohjelma, joka löytyy integroituna VXelementsistä, se kuitenkin tarvitsee oman lisenssin toimiakseen. VXmodelin avulla skannattu 3D-malli voidaan viimeistellä siirrettäväksi 3D-CAD ohjelmistoon tai 3D-tulostettavaksi. (24.)

PipeCheck on suunniteltu putkistojen korroosio- ja mekaanisen vahingon tarkistukseen. PipeCheck toimii omana erillisenä ohjelmana, eikä se kuulu VXelementsisiin. Ohjelma vertaa putkessa olevia kuoppia ja kulumia putken geometriaan ja automaattisesti havaitsee syvimät kuopat (kuva 11). Näyttämistä luodaan myös kaksiulotteiset poikkileikkauskuvat. Lopuksi voidaan luoda raportti, johon sisältyy mitatut tulokset sekä ennuste vahinkojen etenemiselle. (25.)



Kuva 11. PipeCheck korroosiovaurio

5.2.2 Polyworks Inspector

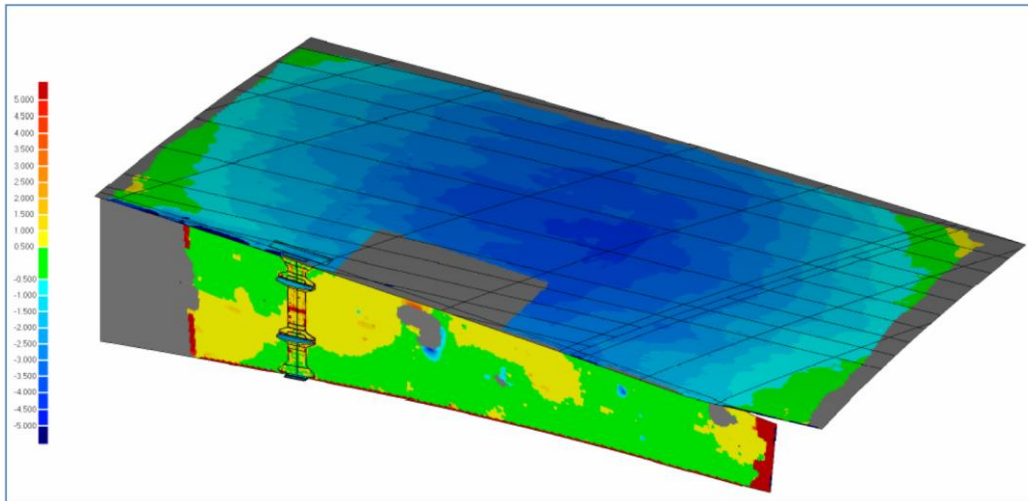
Polyworks Inspector on teollisuuden 3D metrologian ohjelmistoratkaisu, jolla voidaan kontrolloida työkalujen ja osien mittoja, diagnosoida ja ennaltaehkäistä valmistus- ja asennusvaiheen ongelmia, ohjata kokoonpanoa reaaliaikaisilla mittauksilla ja valvoa valmistuksen laatua. Polyworks Inspectorin toiminta perustuu siihen, että verrataan mitattuja tuloksia kappaleen nimellismittoihin. Ohjelmasta löytyy työkalut, joilla voidaan analysoida kappaleen pintaa, reunaviivoja sekä verrata poikkileikkauksen poikkeamia nimellismittoihin. Myös tarkempia mittauksia voidaan tehdä erilaisista kohteista, kuten tasoista, raoista, profiilin säteistä, asennusvälyksistä ja paksuuksista. Ohjelmalla voidaan luoda tarkastellusta kohteesta raportti, johon tulee mitatut tiedot ja kuvakaappaus skannatusta kohteesta. Raportti päivittyy automaattisesti, jos projektiin tehdään muutoksia. Tulokset voidaan myös jakaa asiakkaille tarkasteltavaksi ilmaisen Polyworks Viewer -ohjelman avulla, jolla voidaan tarkastella skannattuja kohteita 3D-muodossa. (26.)

5.2.3 Trimble RealWorks

Trimble RealWorks on ohjelma, jolla tuodaan 3D-laserkeilauslaitteiden tuottamat tiedot ja työstetään ne valmiiksi 3D-lopputuotteiksi. Trimble RealWorks-ohjelman avulla voi visualisoida, rekisteröidä, tutkia ja muokata 3D-keilauksella kerättyjä pistepilvitietoja. Ohjelmalla onnistuu valmiin rakenteen ja suunnitelman tietojen vertaaminen, halkeamien ja muodonmuutosten visualisointi analyysia varten sekä profiilien ja geometrinen peruselementtien tuonti CAD-tiedostomuodoista. Trimble RealWorksista löytyy myös varastosäiliösovellus, jolla voidaan laskea pystysuorien sylinterimäisten varastosäiliöiden tilavuuspotentiaali ja luoda teollisuusstandarteihin perustuvia täyttötäulukoita. Ohjelmaan kuuluu myös Publisher-työkalu, jolla voidaan jakaa projekteja internetin kautta tarkasteltavaksi. Projektia voidaan tarkastella 2,5-ulotteisena ja siitä voi ottaa mittoja ja lisätä muistiinpanoja. Julkaisuun voi myös lisätä kuvamateriaalia, videoita sekä linkkejä asiakirjoihin ja verkkovisuille. (27.)

5.3 Käyttökohteet NDT-tarkastuksessa

Pääasiassa laserskannaus soveltuu parhaiten rakenteiden muodonmuutosten sekä korroosio- ja mekaanisten vahinkojen tarkastukseen. Esimerkkejä suorite-
tuista tarkastuksista löytyy internetistä lukuisia, kuten 3D-laserskannauksella tarkastettu lentokoneen runkovaurio (28). Kuvassa 12 näkyy vaurioituneen ja skannatun siiven paikalliset muodonmuutokset.



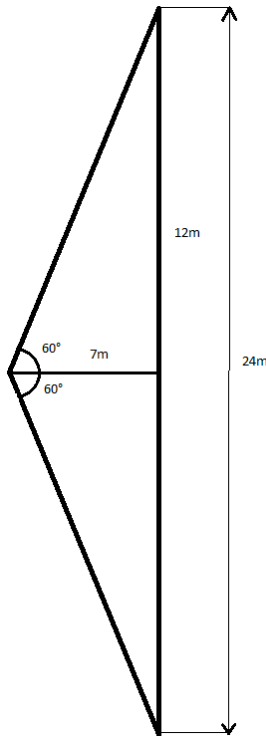
Kuva 12. Lentokoneen siipi. (28.)

Erilaisten ja kokoisten säiliöiden valmistuksessa laserskannauksella voidaan tarkistaa esimerkiksi säiliön muodot sekä yhteiden paikat. Isompiin säiliöihin sopii laserkeilain, kun taas pienemmät säiliöt voidaan tarkastaa käsiskannerilla, jolloin saadaan vielä tarkempia tuloksia. WikiScan yhdistettynä tunkeumanestetarkastukseen, säiliön tai jonkin muun kohteen hitsausaumoja tarkastaessa, saadaan saumoista selville pintavirheet sekä sauman muoto. Kokonaan skannattu säiliö voi olla myös eduksi mahdollisissa reklamaatiotilanteissa. Jos esimerkiksi kolmas osapuoli on asennusvaiheessa tehnyt virheen ja syyttää tästä säiliön valmistajaa, voidaan skannatun datan perusteella todistaa säiliön olleen valmistettu aivan oikein.

Laserskannauksella voidaan tarkistaa putkistojen, paineastioiden sekä säiliöiden korroosiovaurioita. Laserskannauksella saadaan katettua säiliön pinta kokonaan 3D-muodossa, jolloin mitä tahansa mittauksia voidaan suorittaa ulkopinnalla. Skannauksesta saatu raakadata on esimerkiksi VXelementsillä STL-tiedostomuotoon tallennettu mesh-verkko, joka sitten avataan jälkikäsitteilyohjelmistossa,

kuten Polyworksissa. Jotta voidaan mitata korroosioaurioiden syvyyksiä mesh-verkosta, täytyy luoda referenssipinta, joka vastaa tutkittavaa pintaa ilman korroosiota. Referenssipinta voidaan luoda kolmella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on verrata skannausta kohteen alkuperäiseen 3D-CAD malliin. CAD-mallia ei kuitenkaan ole aina saatavilla huollon alla olevista kohteista ja se voi näyttää eriävyyksiä kohteen oikeasta muodosta. Toinen tyyli on luoda jälkikäsitteilyohjelmalla teoreettinen geometria, joka jäljittelee kohteen omaa geometriaa. Kolmas ja kaikkein tarkin vaihtoehto on luoda vapaapintamalli skannattavan kappaleen geometriasta. Samaa tekniikka voidaan käyttää monien erilaisten rakenteiden tutkimiseen, kuten lieriömäisiin-, kartiomaisiin- tai pallomaisiin paineastioihin, rakenteiden tukipalkkeihin sekä putkistoihin (29). Putkistojen tarkastukseen tarkoitusta PipeCheck -ohjelmasta on kerrottu tarkemmin luvussa 5.2.1.

Säiliöiden laserskannaus on yksinkertaista. Säiliö skannataan sisäpuolelta muutamasta eri kohdasta, jonka jälkeen jälkikäsitteilyohjelmistolla, kuten Trimble RealWorksilla kootaan skannauksista säiliön malli. Opinnäytetyötä aloittaessa tuli esille, miten onnistuisi voimalaitosten kattiloiden skannaaminen. Kattila poikkeaa rakenteeltaan normaalista varastosäiliöstä paljon, koska kattilat ovat yleensä erittäin korkeita ja kapeita. Säiliöiden halkaisija on puolestaan usein lähes suoraan verrannollinen niiden korkeuteen. Kattilan voisi periaatteessa skannata pelkästään kattilan pohjalta, tällöin kuitenkin kattilan seinämän yläosan skannauksen tarkkuus voi kärsiä, koska lasersäteet osuvat siihen todella jyrkässä kulmassa. Tarkkuus on aina tarkimmillaan säteen osuessa kohtisuoraan mitattavaan kohteeseen. Eri laserkeilainten valmistajien sivuilta ei löydy suoraa tietoa, kuinka paljon lasersäteen heijastumiskulma vaikuttaa mittauksen tarkkuuteen. Jos kuitenkin ajatellaan skannauksessa käytettävän Trimble TX5 -laserkeilainta, jonka näkökenttä on 360 astetta horisontaalisesti ja 300 astetta vertikaalisesti sekä kuvitteellisen kattilan mittojen olevan 7x10x50 metriä. Näin ollen, jos oletetaan että 60 asteen heijastumiskulmalla saadaan vielä luotettavia tuloksia, voidaan yhdellä keilauksella mitata noin 24 metrin mittainen alue. Kuvassa 13 sekä kaavassa 1 on esitetty malli keilaukselle. Tällöin kattilan kokonaan keilaamiseen tarvittaisiin ainakin neljästä kuuteen erillistä mittauspistettä.



Kuva 13. Malli kattilan laserkeilaukselle.

$$(\tan 60 \times 7m) \times 2 = 24m \quad (1)$$

Reaktorit ja turbiinit ovat kalliita ja teollisuuden kannalta olennaisia laitteita, jotka tarvitsevat säännöllistä kunnossapitoa. Koska laitteisiin on sidottu paljon rahaa, on ne myös pidettävä kunnossa ja ajoittain voidaan törmätä monimutkaisiinkin ongelmiin. Jotta voidaan määrittää tarvittavat korjaustoimenpiteet, on ensin mitattava tarkasti vääntymiset ja materiaalihäviöt. Laserskannauksella osat voidaan tarkastaa paikan päällä eikä niitä tarvitse erikseen purkaa ja lähettää muualle mitattavaksi. (30.)

6 HandySCAN 700 ja työ asiakkaan luona

Opinnäytetyötä varten saatiin Ranskan Dekralta pari viikoksi lainaan HandyScan 700-laserskanneri, johon oli tarkoitus tutustua paremmin ja kokeilla mahdollisia kohteita NDT-tarkastukseen. Laitetta oli myös tarkoitus käydä kokeilemassa jonkin Dekran asiakkaan luona.

6.1 HandySCAN 700:aan tutustuminen

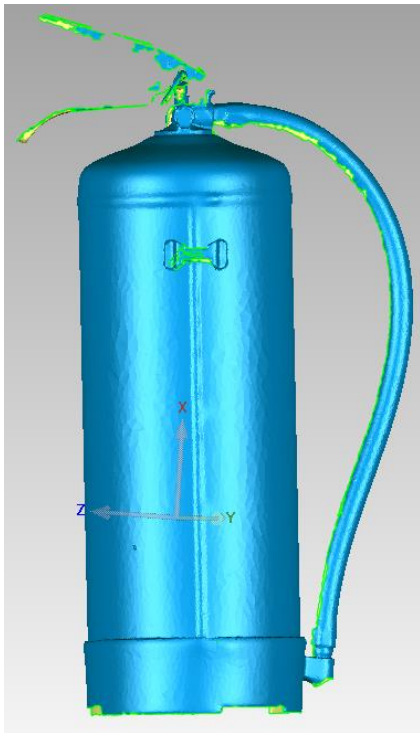
HandyScaniin tutustuminen aloitettiin skannaamalla yksinkertaisia kappaleita, joita löytyi Dekran Lappeenrannan konttorilta, kuten pari erilaista hitsauskoetta ja käsisammutin. Skannaaminen tapahtuu Creaformin VXelements -ohjelman avulla. Ennen itse skannaamisen aloittamista kannattaa skanneri kalibroida valitsemalla Scanner Calibration VXelementsin työkaluriviltä, erillinen kalibroitilevy tulee itse laitteen mukana. Skannattavaan kappaleeseen on kiinnitettävä optisia heijastimia, joiden avulla kohde lukitaan ja kappaletta voi liikuttaa ja siirrellä skannauksen aikana (kuva 14).



Kuva 14. Sammutin ennen skannausta

Itse skannaus tapahtuu liikuttelemalla skanneria kohtisuoraan, noin 30 cm:n päässä kohteesta. Skanneri on kytkettynä tietokoneeseen ja VXelements piirtää reaaliaikaisesti kuvaa skannattavasta kohteesta. Skannauksen voi keskeyttää ja jatkaa milloin tahansa, kunhan optisiin heijastimiin ei kosketa. Kun kappale on skannattu (kuva 15), voidaan saatua 3D-mallia vielä hieman käsitellä VXelementsin avulla. Jälkikäsitelyssä onnistuu kuvan siistiminen erilaisista häiriöistä, joita

saattaa tulla skannauksen aikana, sekä kuvasta voi poistaa ei-haluttuja kohtia skannauksesta.



Kuva 15. Skannattu sammutin

Laitetta testattaessa huomattiin, ettei käytössä olevalla laitteistolla pysty mitoittamaan skannattavia kappaleita. VXelements -ohjelmasta puuttui lisenssi VXmodel -sovellukselle, jolla pystyisi mitoittamaan skannauksen ja valmistella sen siirrettäväksi 3D-CAD-ohjelmaan. Yksi skannattu kappale siirrettiin Solidworks-ohjelmaan ja kuva aukesi ohjelmassa, mutta sille ei voinut tehdä mitään, ei muokata millään tavalla tai luoda piirustuksia.

Skannatun 3D-kuvan käsittely vaatii tietokoneelta paljon tehoja. Jo nyt tuli käytössä olleen tietokoneen suorituskyky vastaan, kun skannauksen resoluutio nostettiin tarkimpaan mahdolliseen tarkkuuteen. Pienillä kappaleilla ei ole ongelmia, mutta suurempien kohteiden kanssa joudutaan laskemaan skannauksen resoluutiota.

6.2 Työ asiakkaan luona

Alun perin HandyScan 700:n avulla oli tarkoitus tehdä pieni työ jonkin Dekran asiakkaan luona. Koska laitteistolla ei pystynyt mitoittamaan skannattuja kappa-leita, niin mihinkään varsinaiseen työhön ei pystytty. Laitetta päästiin kuitenkin kokeilemaan parille konepajalle.

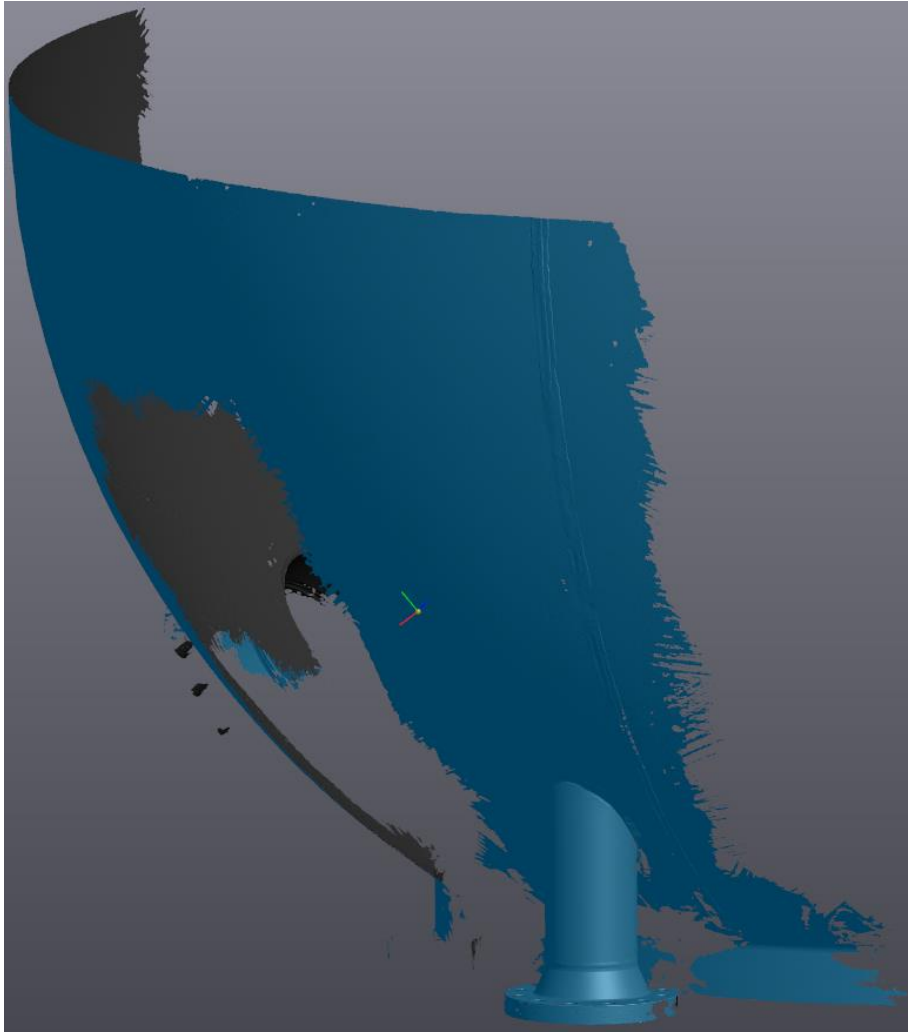
Ensimmäiseksi käytiin Viafin Terästornin pajalla Joutsenossa. Viafin Terästorni Oy on erikoistunut sellu- ja paperiteollisuuden säiliöiden kokonaistoimituksiin kotimaahan ja vientiin. Päätuotteina ovat sellu- ja paperiteollisuuden suuret varas-tosäiliöt ja painelaitteet, kuten keittimet ja reaktorit. (31.)

Skannattavaksi valikoitui rakenteilla olevan säiliön kartio-osa. Koska aikaa oli vain pari tuntia työn tekemiseen, niin koko kohdetta ei voitu skannata kerralla, joten päädyttiin skannaamaan noin neljännes säiliöstä. Säiliö oli dublex-terästä, johon otti magneetti kiinni. Tämä helpotti skannaustyötä, koska voitiin käyttää magneetilla kiinnittyviä optisia heijastimia. Aluksi viriteltiin laitteisto käyttökuntoon ja kiinnitettiin optiset heijastimet noin 100 mm:n päähän toisistaan säiliön kylkeen (kuva 16). Koska optiset heijastimet eivät riittäneet koko skannattavalle alalle, oli niitä siirrettävä aina, kun oli saatu yksi alue skannattua.



Kuva 16. Säiliö valmiina skannausta varten.

Säiliössä oli muutamia kohtia, joissa oli pieniä ongelmia skannauksen kanssa. Yhteiden laipat olivat lähes peilipintaisia sekä säiliötä oli hiottu muutamasta kohdasta. Kirkas, hyvin heijastava pinta on laserskannerille ongelmallinen, mutta HandyScan selvisi niistä kohdista suhteellisen hyvin, skannaus on vai hieman hitaampaa lähestulkoon peilimäisillä pinnoilla. Kuvassa 17 näkyy skannattu säiliö.



Kuva 17. Skannattu säiliö.

Toinen kokeilu suoritettiin Refinecin luona Lappeenrannassa. Refinec Oy on konepajaosakeyhtiö, joka tuottaa insinööripalveluja ja laitevalmistusta monille eri teollisuuden aloille. Valmistettavina tuotteina ovat putki- ja ripalämmönsiirtimet kaasulle ja nesteille, painesäiliöt, suodattimet, kemikaalisäiliöt, palavien nesteiden säiliöt ja muut varastosäiliöt. (32.)

Skannattavaksi kohteeksi löytyi hiiliteräksestä tehty säiliön pohja, samalla oli myös tarkoitus kokeilla skannerin PipeCheck-ohjelmaa, joka on suunniteltu putkien korroosio- ja mekaanisen vahingon tarkastukseen. Säiliön skannaus meni lähestulkoon samalla tavalla kuin aiemmin Viafinillä. Hiiliteräksen tumma pinta skannautui todella hyvin ja nopeasti. Toinen kohde, joka löytyi pajalta, oli noin kaksi metriä pitkä DN200 halkaisijan putki. Putki skannattiin samalla tavalla kuin

aikaisemmatkin kohteet. Tässä vaiheessa kävin vain yksi virhe, koska putki skannattiin kerralla kokonaan, tuli tiedostosta niin suuri ja raskas, ettei käytössä ollut kannettava tietokone jaksanut sitä enää pyörittää. Koska aikaa oli vähän jäljellä, ei putkea alettu skannaamaan uudestaan. HandyScanin mukana tuleen kannettavan tietokoneen muistista löytyi joitakin vanhoja PipeCheck-skannauksia, joihin päästiin hieman tutustumaan.

6.3 IP-ohje

Osana opinnäytetyötä oli tehdä Dekralle sisäinen IP-ohje HandySCAN 700 -laserskannerista. Ohje tehtiin hyvin pitkälti VXelementsistä löytyvien käyttöohjeiden pohjalta. Ohjeessa käydään läpi skannerin käyttöönotto, skannattavan kappaleen valmistelu sekä miten itse skannaaminen tapahtuu. Ohje löytyy myös tämän työn liitteistä.

7 Päätelmät

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin ja tutustuttiin laserskannaukseen yleisesti sekä mietittiin sen käyttöä osana NDT-tarkastusta. Yleisesti ottaen työ sujui ilman suurempia ongelmia. Suurimmat haasteet olivat lähinnä lähdemateriaalin löytymisen kanssa. Laserskannauksesta ei ole paljoa kirjallisuutta, joten lähestulkoon kaikki tieto tähän työhön on löytynyt internetistä. Myös suomenkielistä materiaalia on huonosti saatavilla ja eri sivustoilla käytetään useasti samoista asioista eri termejä.

Erilaisia laserskannereita ja laserkeilaimia on niin monia erilaisia, että työtä tehdessä jouduttiin laitteiden määrä rajaamaan muutama erilaiseen. Laserkeilaimet käytiin läpi vain yleisesti ja taulukkomuodossa vertailtiin eri keilainten ominaisuuksia. Käsikäyttöisten laserskannerien kohdalla valittiin muutamien eri valmistajan laite, joiden ominaisuuksia käytiin tarkemmin läpi.

Osana opinnäytetyötä oli myös tutustua Creaformin HandySCAN 700 -laserskanneriin, joka saatiin Dekralle pariaksi viikoksi lainaan. Laitetta ehdittiin kokeilla viikon verran ennen kuin se jouduttiin lähettämään takaisin. Viikon aikana ehdittiin hyvin tutustua laitteen toimintaan ja skannaamisen oppi käytännössä yhdessä

illassa. Valitettavasti laitteen mukana tulleella ohjelmistolla VXelements ei kyennyt mitoittamaan skannattuja kappaleita, joten todellista mittaustarkkuutta sekä skannausresoluution vaikutusta mittauksen tarkkuuteen, ei pystytty kokeilemaan. Jotta laserskannattuja kappaleita voisi mitoittaa, tarvitaan siihen omanlaisensa ohjelmisto kuten Polyworks Inspector vai vastaava sovellus.

NDT-tarkastuksessa laserskannaus tarjoaa hyvät työkalut etenkin eri laitteiden, säiliöiden tai putkistojen kunnon kartoittamiseen. Skannaaminen on nopeaa ja skannausvälineiden virittämisessä työkuuntoon menee noin 10 minuuttia, HandySCAN 700 vaatii tosin optiset heijastimet, jotka on kiinnitettävä skannattavaan kohteeseen. Perinteiseen käsin mittaamiseen, jossa mitataan kohta kerrallaan, verrattuna laserskannauksella kappale saadaan mitoitettua kerralla. Samalla minimoidaan riski, että jokin kohta jäisi tarkastamatta. Nykyään käsikäyttöisten laserskannerien tarkkuuskin alkaa olemaan todella hyvää luokkaa, kuten HandySCAN 700 0,03 mm osoittaa.

Yleisesti ottaen 3D-laserskannauksesta jäi todella positiivinen kuva. Nykyään suunnittelussa uudet laitteet, säiliöt ja muut piirretään 3D-CAD muodossa, jolloin on saatavilla vertailukuva, johon verrata skannattua dataa. Myös tulevaisuudessa, jos 3D-tulostus lyö itsensä kunnolla läpi, voi laserskannaukselle avautua uusia markkinoita, kun voidaan skannattujen kuvien pohjalta luoda mallit tulostettaville varaosille.

Kuvat

- Kuva 18. Tunkeumanestetarkastuksen näyttämä, s.7
- Kuva 19. Röntgenfilmi valmiina kuvaukseen, s.8
- Kuva 20. Kehitetty filmi jossa näkyy huokosia, s.9
- Kuva 21. Ultraäänitarkastus, s.10
- Kuva 22. Kolmiomittaus, s.14
- Kuva 23. Valon kulkunopeuteen perustuva mittaus, s.15
- Kuva 24. Trimble TX5 laserskanneri, s.17
- Kuva 25. WikiSCAN, s.19
- Kuva 26. HandySCAN 700, s.19
- Kuva 27 Faro Scanner Freestyle 3D, s.20
- Kuva 28. PipeCheck korroosioaurio, s.21
- Kuva 29. Lentokoneen siipi, s.23
- Kuva 30. Malli kattilan laserkeilaukselle, s.25
- Kuva 31. Sammutin ennen skannausta, s.26
- Kuva 32. Skannattu sammutin, s.27
- Kuva 33. Säiliö valmiina skannausta varten, s.29
- Kuva 34. Skannattu säiliö, s.30

Taulukot

Taulukko 1. Eri valmistajien laserskannereita

Lähteet

1. Dekra 2015. Yritysesittely. <http://www.dekra.fi/palvelut/dekra-industrial-oy>. Luettu 30.1.2015
2. Dekra 2014. Rikkomaton aineenkoetus NDT. <http://www.dekra.fi/fi/palvelut/rikkomaton-aineenkoetus-ndt>. Luettu 19.12.2014
3. Martikainen, J & Niemi, E. 1993. NDT-Tarkastus Käsikirja. Helsinki: Suomen Hitsaustieto Oy.
4. Tiedetoimittaja 2015. Ultraäänitarkastus. <http://www.tiedetoimittaja.com/sivut/hires/hitsaus2.html>
5. Hamilo, M. 2010. Laser viime vuosisadan loistavin keksintö. http://www.tiede.fi/artikkeli/jutut/artikkelit/laser_viime_vuosisadan_loistavin_keksinto. Luettu 26.12.2014

6. Pilvive.com. 2009. Laserin toimintaperiaate. <http://www.pilvive.com/matsku/index.php/fysiikka/fy8-aine-ja-saeteily/485-2-5-laserin-toimintaperiaate-appletti>. Luettu 26.12.2014
7. STUK 2014. Miksi laserit voivat olla vaarallisia. http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/laser/fi_FI/laser/. Luettu 27.12.2014
8. STUK 2014. Laserluokat. http://www.stuk.fi/sateilyn-hyodyntaminen/laser/fi_FI/laserluokat_print/. Luettu 18.12.2014
9. Visuri, R. Hietanen, M & Ylianttila, L. 2013. Lasersäteilylle altistuminen. http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/kirjasarja/fi_FI/kirjasarja7_fi-les/82446510511424076/default/STUK_7_luku_4.pdf. Luettu 18.12.2014
10. Rapidform. 2014. 3D Scanners. <http://www.rapidform.com/3d-scanners/>. Luettu 5.1.2015
11. Neopoint 2014. Laserkeilaus <http://www.neopoint.fi/fi/laserkeilaus>. Luettu 5.1.2015
12. Sakshat Virtual Labs. 2015. 3D Scanning. <http://coep.vlab.co.in/?sub=34&brch=106&sim=661&cnt=1>. Luettu 5.1.2015
13. 3dscanco. 2015. 3D scanning <http://www.3dscanco.com/about/3d-scanning/>. Luettu 5.1.2015
14. Kukko, A. 2005. Lasekeilaimen valinta lähifotogrametriin mittaustehtäviin. http://foto.hut.fi/opetus/290/julkaisut/Antero_Kukko/Laserkeilaimen_valinta_lahifotogrametriin_mittauksiin.pdf. Luettu 6.1.2015
15. Boehler, W & Marbs, A. 2002. 3D scanning instruments. https://i3mainz.hs-mainz.de/sites/default/files/public/data/p05_Boehler.pdf. Luettu 6.1.2015
16. Cansel 2015. Trimble TX5 kuva. http://www.cansel.ca/images/About-us/news/December_Newsletter/trimble_tx5_3d_laser_scanner_lr.jpg
17. Servo-Robot. 2015. Portable inspection, WikiSCAN. <http://servorobot.com/manufacturing-solutions/portable-inspection/>. Luettu 13.1.2015
18. Servo-Robot. 2014. What is the wikiSCAN. <http://wikiscan.servorobot.com/what-is-the-wiki-scan/>. Luettu 13.1.2015
19. Servorobot. 2015. WikiSCAN kuva. <http://servorobot.com/manufacturing-solutions/portable-inspection/>
20. Mitaten. 2015. Creaform HandySCAN3D, 3d-skanneri. <http://www.mitaten.fi/3d-skannerit/creaform-3d/17-suomi/tuoteartikkelit/78-creaform-handyscan-3d.html>. Luettu 12.1.2015
21. Faro. 2015. Faro Scanner Freestyle 3D. <http://www.faro.com/products/3d-documentation/handheld-3d-freestyle-3d/features#main>. Luettu 4.2.2015

22. Faro. 2015. Faro Freestyle 3D kuva <http://www.faro.com/products/3d-documentation/handheld-3d-freestyle-3d/features#main>
23. Creafom. 2010. Press release Creafom launches VXelements. <http://www.creaform3d.com/en/corporate/news-room/press-releases/creaform-launches-vxelements-its-all-one-3d-data-acquisition>. Luettu 5.2.2015
24. Creafom. 2015. VXModel scan to cad software module. <http://www.creaform3d.com/en/metrology-solutions/3d-applications-software-platforms/vxmodel-scan-cad-software-module>. Luettu 5.2.2015
25. Creafom. 2015. Pipecheck pipeline integrity assessment software. <http://www.creaform3d.com/en/ndt-solutions/pipecheck-damage-assessment-software>. Luettu 5.2.2015
26. Innovmetric. 2015. Polyworks inspector. <http://www.innovmetric.com/en/products/polyworks-inspector>. Luettu 17.2.2015
27. Trimble. 2015. Tekninen kuvaus Trimble Realworks – ohjelmisto. http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-379477/022543-123H-FIN_TrimRealWorks_TN_0114_LR.pdf. Luettu 17.2.2015
28. Allard, P-H. Lavoie, J-A & Fraser, J-S. 2010. Improvement of aircraft mechanical damage inspection with advanced 3D imaging technologies. http://www.creaform3d.com/sites/default/files/assets/ndt/documents/wp_improvement_of_hail_damage_inspection_with_advanced_3d_imaging_technologies_19112013.pdf. Luettu 17.2.2015
29. Allard, P-H & Fraser, J-S 2013. Application of 3D laser method for corrosion assessment on a spherical pressure vessel. http://www.creaform3d.com/sites/default/files/assets/ndt/documents/wp_application_of_3d_laser_method_for_corrosion_assessment_on_a_spherical_pressure_vessel_19112013.pdf. Luettu 13.2.2015
30. Creafom. 2015. Aerospace maintenance. <http://www.creaform3d.com/en/applications/aerospace/maintenance-metrascan>. Luettu 18.2.2015
31. Viafin. 2015. Yritysesittely. <http://www.viafin.fi/index.php?k=218870>. Luettu 30.1.2015
32. Refinec. 2015. <http://www.refinec.fi/>. Luettu 30.1.2015

Liitteet

Liite 1 IP-Ohje Creafom HandySCAN 700

IP-ohje

Jani Oksanen

Creaform HandyScan 700

Sisällys

1	Laitteen kytkentä.....	2
2	HandyScan 700 kalibrointi	2
3	Skannausasetukset	3
4	Skannattavan kohteen valmistelu	3
5	Skannaus.....	4

1 Laitteen kytkentä

HandyScan 700 on kytkettävä oikeassa järjestyksessä jotta vältetään mahdollisilta vauriolta

1. Virtalähde kytketään pistorasiaan
2. Virtajohto kytketään USB-kaapeliin
3. USB-kaapeli kiinnitetään tietokoneen USB 3 porttiin
4. USB-kaapeli kytketään skanneriin
5. Virtajohto kiinnitetään skanneriin

2 HandyScan 700 kalibrointi

Kalibrointi on suositeltavaa suorittaa aina ennen skannerin käyttöä. Kalibrointiin käytetään laitteen mukana tulevaa kalibrointilevyä. VXELEMENTSistä löytyy kalibrointi työkalu joko valitsemalla Configure / Scanner / Calibration tai valitsemalla työkaluriviltä Scanner Calibration.

1. Kalibrointilevy tulee olla tasaisella alustalla kaukana heijastavista esineistä
2. Valitse Scanner Calibration
3. Aloita skannaus
4. Liikuta skanneria kalibrointiohjelman ohjeiden mukaan. Kalibroinnissa otetaan 10 mittauskohtisuoraan kalibrointilevyyn nähden sekä 4 mittauskohtaa vinosti.
5. Lopuksi paina OK kalibroinnin lopettamiseksi

3 Skannausasetukset

Erilaiset pinnat heijastavat valoa eri tavalla, siksi on tärkeää säätää skannausasetukset, jotta skanneri havaitsee lasersäteet parhaalla mahdollisella tavalla. Skannausasetukset voidaan säätää joko valitsemalla Configure / Scanner / Configuration tai valitsemalla työkaluriviltä Scanner Config.

Pidä skanneria noin 30cm päässä kohteesta ja käynnistä skanneri. Tietokoneen ruudulle tulee näkyviin ristikko jossa on keltaisia, punaisia ja harmaita viivoja.

- Alivalottunut (harmaa): skannerin kamera havaitsee laserin heijastuksen heikosti tai ei ollenkaan.
- Kyllästynyt (punainen): laserin heijastus on niin voimakas että skannerin kamerat sokaistuvat.
- Luotettava (keltainen): laser heijastuu puhtaana ja selvänä viivana.

Asetuksia voidaan säätää muuttamalla sulkimen (shutter) arvoja Scanner Parameters:in alta, tai valitsemalla Auto Adjust, jolloin ohjelma säätää itse arvot kohdilleen. Paras skannaus tulos saavutetaan, kun keltaista viivaa on näkyvillä mahdollisimman paljon.

4 Skannattavan kohteen valmistelu

Jokainen skannattava kappale täytyy valmistella ennen skannausta. Kappaleeseen liimataan optisia heijastimia satunnaiseen järjestykseen, noin 20 – 100 mm päähän toisistaan, sekä 12mm päähän reunoista. Heijastimien avulla skanneri paikoittaa itsensä, sekä kappaletta voidaan tarvittaessa liikutella skannauksen aikana.

Parempien tulosten saamiseksi kiiltävät, mustat, läpinäkyvät, tai heijastavat (kuten peilit ja metalliset pinnat) kappaleet voidaan peittää vaalealla jauheella, jotta saadaan aikaan mattapinta.

Pieniä kappaleita voi olla hankala skannata, koska niihin ei saa liimattua heijastimia sopivasti. On suositeltavaa liimata optiset heijastimet tummalle pinnalle, jolle

skannattava kappale laitetaan. Kappaletta tai heijastimia ei saa tällöin liikuttaa skannauksen aikana.

5 Skannaus

Kun skannauksen aloittaa alkaa VXelements ohjelma piirtämään skannattavan kappaleen kuvaa tietokoneen näytölle. Skannaus voidaan keskeyttää ja jatkaa, kunhan optisiin heijastimiin ei kosketa. Ohjelma myös ilmoittaa, mikäli skanneri kadottaa paikkansa skannauksen aikana. Tällöin kannattaa siirtää skanneri jo ennestään skannatulle alueelle ja jatkaa skannaamista eteenpäin.

Skannauksen aikana, skanneri on pidettävä mahdollisimman kohtisuorassa kappaleeseen nähden, parhaimman tarkkuuden saavuttamiseksi. Optimaalinen skannausetäisyys on noin 30cm päässä kohteesta. Tietokoneen näytön vasemmalla puolella on mittari etäisyydelle joka vaihtaa väriä etäisyyden mukaan. Myös skannerin yläosassa on 3 LED-valoa jotka kertovat onko skannausetäisyys kohdillaan.

- Punainen valo/väri tarkoittaa että skanneri on liian lähellä kohdetta
- Vihreä valo/väri tarkoittaa sopivaa etäisyyttä kohteeseen
- Sininen valo/väri tarkoittaa että skanneri on liian kaukana kohteesta