



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

AKSELIN MITTAUKSEN KEHITTÄMINEN

Alexi Väisänen

Opinnäytetyö
Helmikuu 2018
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät

VÄISÄNEN, ALEKSI:
Akselin mittauksen kehittäminen

Opinnäytetyö 42 sivua, joista liitteitä 5 sivua
Helmikuu 2018

Opinnäytetyön tarkoituksena oli saada levitystelojen akselien mittaaminen modernimmaksi. Mittaamista pyrittiin parantamaan monella osa-alueella, joista merkittävimmät olivat nopeus, luotettavuus ja tarkkuus.

Työskentely aloitettiin perehtymällä yleisesti levitystelojen kokoonpanoon ja huoltoon, jonka jälkeen siirryttiin tarkemmin tarkastelemaan akselien taivutusta ja mittaamista. Taivuttaminen ja mittaaminen ovat työvaiheina toisistaan niin riippuvaisia, että piti ymmärtää mistä taivutuksessa on kyse, jotta mittaamista voitiin kehittää. Kuukauden perehtymisen ja tutkimisen jälkeen päästiin etsimään sopivia vaihtoehtoja.

Mittaamiseen löydettiin monia eri ratkaisuja, mutta lopulta mittalaite päätettiin suunnitella itse. Alun tutustuminen ja tiedonhankinta ohjasivat mittalaitteen valintaa ja lopulta suunnittelua. Suunnittelu koostui ideoinnista, laitteen mallintamisesta ja sopivien osien valinnasta.

Lopputuloksena on mittalaite, joka koostuu alumiiniprofiilista, johdekiskosta, laseretäisyysanturista ja muista pienemmistä komponenteista. Mittalaitteen toiminnasta käytännössä ei ole tietoa, mutta suunnitelman tasolla mittaamista saatiin modernisoitua. Opinnäytetyössä on luottamuksellista materiaalia, joka on poistettu julkisesta raportista.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Modern Production Systems

VÄISÄNEN, ALEKSI:
Development of Axle Measurement

Bachelor's thesis 42 pages, appendices 5 pages
February 2018

The purpose of this thesis was to modernize measurement of the axles of spreader rolls. The objective was to improve many different aspects of the measuring process which the most significant were speed, reliability and accuracy.

To develop the measuring of the axle the work begun by getting a general idea how the spreader rolls are assembled. After that the focus changed to the bending and measuring of the axle. It was important to understand how the axles are bent because bending and measuring are so intertwined. The data collection and orientation lasted for a month and was followed by the search for plausible solutions.

There were many possible ways to measure the axle but in the end, it was decided that the best solution would be to design a completely new measuring device. The study at the beginning guided many of the decisions made during the project.

The final result was a measuring device made of aluminium profile, linear guidance system, laser distance sensor and other smaller components. There is no data how the measuring device would work in practice but the objectives were met on a design level.

Key words: measuring device, design engineering, spreader roll

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	LOGISTIC TKT SYSTEMS OY	7
3	TYÖN KULKU	8
	3.1 Työn taustaa.....	8
	3.2 Lähtötilanne	8
	3.3 Kokoonpanon kehittäminen.....	9
4	FINBOW TELAT.....	11
	4.1 Telan rakenne.....	11
	4.2 Levitystela.....	12
5	TIEDON KERÄÄMINEN JA ANALYSOINTI.....	13
6	LASER	15
	6.1 Laserin teoriaa.....	15
	6.2 Laserluokat.....	16
7	LASERMITTAUS.....	17
	7.1 Periaate.....	17
	7.2 Kolmiomittaus	17
	7.3 Srukturoitu valo	19
	7.4 Koskettavat skannerit.....	20
	7.5 Valonnopeuteen perustuva skannaus	21
8	MITTALAITE VAIHTOEHDOT	23
	8.1 Yleistä	23
	8.2 Metronor Solo	23
9	OMAT SUUNNITELMAT MITTAUKSEEN.....	25
	9.1 Ideointi	25
	9.2 Rajoittavat tekijät.....	25
	9.3 Nykyisen tavan parantaminen.....	26
10	UUSI MITTALAITE	28
	10.1 Mittaustelineen runko ja muut osat.....	28
	10.2 Lujuuslaskelmat	29
	10.3 Laseretäisyysanturi	31
	10.4 Mallinnus	32
11	POHDINTA.....	33
	LÄHTEET.....	34
	LIITTEET	36
	Liite 1. Levitystelojen mitat	Error! Bookmark not defined.
	Liite 2. Taivutusohje.....	Error! Bookmark not defined.

- Liite 3. Taivutuskone..... **Error! Bookmark not defined.**
- Liite 4. Rungon taipuman vaikutus mittaustulokseen **Error! Bookmark not defined.**
- Liite 5. Kuvankaappaukset 3d-malleista **Error! Bookmark not defined.**

1 JOHDANTO

Opinnäytetyöni tarkoituksena on kehittää paperikoneen telojen tuotantoa tehokkaammaksi. Työvaihe, johon tässä opinnäytetyössä paneudutaan on levitystelan akselin taivutus ja erityisesti taipuman mittaaminen. Tavoitteena on saada mittaaminen nopeammaksi, mittaustulokset tarkemmiksi ja luotettavimmiksi sekä työergonomia paremmaksi.

Työ alkoi tutustumalla levitystelojen kokoonpanoon ja huoltoon. Sopivaksi opinnäytetyöksi osoittautui akselin mittaaminen, jossa on aikaisemmin käytetty asentajalta paljon taitoa ja kärsivällisyyttä vaativaa menetelmää. Uudella mittausmenetelmällä saataisiin parannettua työvaihetta ja vähennettyä inhimillisen virheen mahdollisuutta.

Opinnäytetyöhön kuului paljon selvitystyötä ja sopivan laitteen etsimistä. Mahdollisuutena oli myös oman laitteen suunnittelu, jos mittavälinevalmistajilta ei löytyisi sopivaa ratkaisua. Sopivien mittalaittevaihtoehtojen kartoittamisen jälkeen yrityksessä päädyttiinkin ratkaisuun, jossa mittalaitte suunnitellaan itse.

Opinnäytetyön tavoitteena on parantaa mittaamista monella osa-alueella. Mittauksesta haluttiin nopeampi, tarkempi ja luotettavampi. Asentajat toivoivat parannusta myös työergonomiaan.

Nopeuttamisella pystytään perustelemaan taloudellinen näkökulma uudelle laitteelle. Laitteen kustannukset on helppo oikeuttaa, jos jokaisen akselin kohdalla säästetään useita kymmeniä minutteja tai tunteja. Tarkkuus ja luotettavuus takavaat parempaa laatua ja kestävyyttä asiakkaalle.

Mittalaitteen suunnittelussa kaikki alkoi ideoinnista. Ideoinnin lähtökohtana pidettiin helppokäyttöisyyttä, nopeutta ja tarkkuutta. Mallintaminen ja sopivien komponenttien valinta seurasi parhaan idean hyväksymisen jälkeen. Lopputuloksena on uusi laite, jolla mittaus saatiin päivitettyä helpommaksi ja modernimmaksi. Käytännön toteutus ja käyttöönotto rajattiin opinnäytetyön ulkopuolelle.

2 LOGISTIC TKT SYSTEMS OY

Opinnäytetyön toimeksiantajana oli Logistic TKT Systems Oy (tunnetaan myös nimellä Logistic Oy), joka on Pirkanmaalla Pirkkalassa sijaitseva yritys. Logistic TKT Systems Oy on tunnettu alihankintakonepajana ja vaativien koneenosien ja komponenttien valmistajana (Logistic 2017). Yritys on perustettu vuonna 1992 ja vuonna 2007 sukupolvenvaihdon jälkeen se siirtyi alihankinnasta kokonaisvaltaiseksi konepajaksi (Logistic Oy. 2016. sisäinen tietokanta). Logistic TKT Systems Oy on erikoistunut pitkälle automatisoituun valmistustekniikkaan ja tuotekehitykseen (Kiviniemi, A. 2013).

Logistic TKT Systems Oy osti vuonna 2016 liiketoiminnan nimeltä Finbow, joka valmisti paperikoineiden levitys- ja ulosottoteloja. Finbown historia alkaa vuodesta 1985. Vuonna 1999 Valmet osti osakkuuden Finbowsta. Myöhemmin Valmetista ja Rauma-Repolasta syntyi Metso, joka osti vuonna 2000 Finbown koko osakekannan. Vuonna 2008 Finbow erkani Metsosta jatkaen omana itsenäisenä yhtiönä. Finbow tuli osaksi Logistic Oy:tä 10.3.2016. (Finbow 2017.)

3 TYÖN KULKU

3.1 Työn taustaa

Opinnäytetyö alkoi perehtymällä telojen kokoonpanoon. Yrityksessä pidettiin tärkeänä, että ymmärtäisin telojen koko rakenteen ja tuotantoprosessin. Pääsin näkemään ja kokeilemaan jokaista työvaihetta alusta loppuun. Alun toiminnallisesta tiedonkeruujaksosta oli paljon hyötyä kokonaisuuden hahmottamisessa.

Oli myös erittäin tärkeää tietää ja ymmärtää, kuinka akseleiden taivutus tapahtuu mittauslaitetta suunniteltaessa, jotta ratkaisevat yksityiskohdat eivät jää huomioimatta. Esimerkiksi taivutuslaitteiden geometriset mitat tuli ottaa tarkasti huomioon, jotta ne eivät tulisi mittalaitteen tielle.

3.2 Lähtötilanne

Akselia taivutetaan hydraulilla useasta kohdasta samaan suuntaan. Monesta pienestä taivutuksesta muodostuu haluttu kokonaiskaari. Näin kahden taivutuskohdan väliin jää mahdollisimman suora alue, jolle vaippaholkki voidaan asentaa. Akselin taivutukseen käytetään siihen suunniteltua laitetta, jossa akseli tuetaan kahdesta kohtaa ja niiden keskeltä painetaan hydraulisylinterillä. Kuva taivutuskoneesta on liitteessä 3.

Akselia taivutetaan jokaisesta tarvittavasta kohdasta kerran, jonka jälkeen se mitataan. Aikaisemmassa mittausmenetelmässä akselien taipuma mitattiin työntömitan ja siiman avulla. Akselin päiden väliin kiristetään siima, jota käytetään nollapisteenä työntömitalle. Kaikkien taivutuskohdienten kohdalta mitataan niiden etäisyys siimasta akselin pintaan. Työntömitta pitää olla vaakatasossa ja kohtisuorassa siimaan nähden. Mittaustuloksia vertailemalla saadaan tietää, mistä kohdasta täytyy taivuttaa lisää.

Menetelmä vaatii suurta huolellisuutta ja tarkkuutta sen suorittajalta ja mittaajasta johtuvan virheen mahdollisuus on suuri. Mittaaminen edellyttää riittävää koulutusta ja pitkällistä kokemusta, joten työntekijän ammattitaidon merkitystä ei voi yliarvioida. (Andersson 1997, 144). Yksi ongelmista oli, että siima antaa periksi, joten kontaktin

huomaaminen työntömitan kanssa on vaikeaa. Siiman virittäminen vie myös aikaa, joten samassa ajassa voisi ottaa käyttöön paremman menetelmän. Mittaaminen tapahtuu lähellä lattiaa, noin polven alapuolella, mikä tekee mittausasennosta hankalan ja rasittaa mittaajan selkää. Mittaus voidaan tehdä istualteen, mutta asento ei siltikään ole kovin ergonominen.

Akseleita on paljon eri kokoisia ja niiden tarkempia mittoja on esitetty liitteessä 1 (Versta 2017). Akselin halkaisijat yleensä kasvavat pituuden lisääntyessä. Kolmea erikokoista laitetta käytetään akselien taivutukseen ja halkaisija määrittää, mitä taivutuskonetta käytetään.

Kokonaistaipuma mitataan akselin puolivälistä. Tärkeitä seikkoja ovat symmetrisyys ja kokonaistaipuman pitäisi vastata ympyrän kaarta.

3.3 Kokoonpanon kehittäminen

Kokoonpano tarkoittaa omassa tehtaassa valmistettujen ja muualta ostettujen osien sekä standardikomponenttien kokoamista yhdeksi tuotteeksi tai sen osaksi. Lopputuloksena voi olla kokonaan valmis tuote tai osakomponentti. Omassa tehtaassa tehtyä työtä kutsutaan kokoonpanoksi ja jos se tehdään asiakkaan tiloissa kyse on asennuksesta. Kokoonpanotyön osuus on monesti 20 – 40 % koko tuotteen valmistusajasta, koska se on suurimmalta osin käsityötä. (Kauppinen 1997, 111.)

Telat kootaan manuaalisella menetelmällä. Asentaja kokoaa vaippaholkin, laakerin ja akseliholkin yhdeksi kokonaisuudeksi työvaiheelle tarkoitettussa puhdastilassa. Holkkikokonaisuus asennetaan akselille tasapainotuksen jälkeen. Akseli lepää pukeilla asennuksen ajan ja akselin käsittelyssä on pakko käyttää apuna nosturia.

Kokoonpanotyössä on paljon vaiheita, jotka eivät lisää tuotteen arvoa. Kappaleiden siirtäminen, käsittely, varastointi, ja tarkastaminen ovat kuitenkin pakollisia työvaiheita, joita ilman kokoonpano ei onnistuisi. Oikeastaan vain liittäminen lisää tuotteen jalostusarvoa ja muut vaiheet pyritään pitämään mahdollisimman vähäisinä. (Kauppinen 1997. 111.)

Kokoonpanon kehittäminen voidaan jakaa kahteen osaan: tarpeettoman työn poistamiseen ja tarpeellisen työn kehittämiseen. Tarpeettomalla työllä tarkoitetaan sellaista työtä, joka ei jalosta tuotetta. Kaikki työ, joka tehdään olosuhteisiin nähdenärkevimmillä tavoilla tuotteen kokoonpanemiseksi, on tarpeellista työtä. Tarpeellista työtä on pystytään kehittämään hyvien työkalujen, apuvälineiden ja parempien työmenetelmien avulla. (Kauppinen 1997. 123.) Uudessa mittausmenetelmässä pyrittiin saavuttamaan ajallista hyötyä, jotta mahdolliselta pullonkaulalta vältyttäisiin telatuotannon kasvaessa.

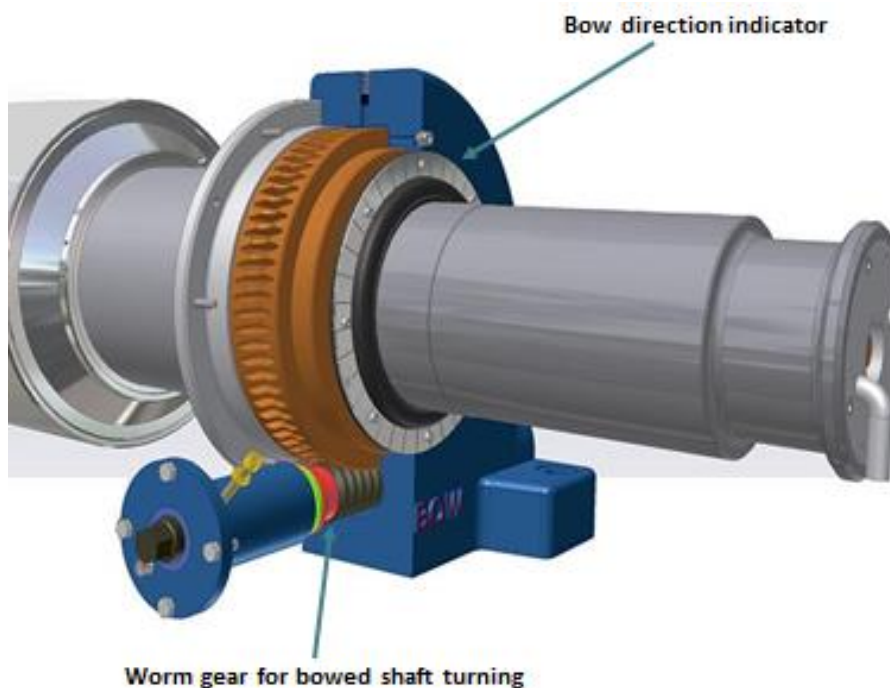
On harvoin mahdollista lähteä kehittämään työvaihetta nollatilanteesta. Tavallisesti tuote, tuotantotilat ja -järjestelmä ovat jo vakiintuneet, jolloin on vaarana juuttua vanhaan ratkaisuun. Parempi tapa aloittaa on ideoida erilaisia menetelmiä ja ottaa niistä parhaimmat jatkokäsittelyyn. (Kauppinen 1997. 122.) Mittausmenetelmän kehittäminen aloitettiin pelkästään ideoimalla erilaisia ratkaisuja.

Lyhyt läpäisy aika on merkki hyvästä ja tehokkaasta tuotantojärjestelmästä, koska läpäisy aika ei voi olla lyhyt, jos toimitaan huonosti. Raskaassa koneenrakennuksessa läpäisy aika voidaan nopeuttaa kehittämällä menetelmää, jolla työvaihe tehdään, jotta vaihe aika saadaan pienemmäksi. Valmistuksen läpäisy aika kevyessä ja keskiraskaassa tuotannossa pystytään tehostamaan vaiheketjuja lyhentämällä. Tämä tarkoittaa työvaiheiden karsimista esimerkiksi materiaalin vaihtamisella hiiletysteräksestä valmiiksi nuorutettuun, hankkimalla monitoimisia työstökoneita ja yhdistämällä vaiheita soluun, jossa vaiheet valmistuvat yhdellä impulssilla. Kokoonpanon läpäisy aikaan voidaan vaikuttaa tekemällä kokoonpanotyö rinnakkain osakokoonpanojen avulla sekä kehittämällä osien valmistus ja ohjaus häiriöttömäksi. Materiaalihankinnat vaikuttavat myös koko tuotannon läpäisy aikaan oman toiminnan lisäksi. (Lapinleimu 1997. 55–58.)

4 FINBOW TELAT

4.1 Telan rakenne

Telat koostuvat akselista, jonka päälle on asennettu teräksisiä holkkeja. Holkit koostuvat akseliholkista ja vaippaholkista, joiden väliin asennetaan laakeri. Jokainen holkki on tasapainotettu, jotta tela ei värise käytössä. Akseleiden päihin tulee kannakkeet, joilla tela voidaan kiinnittää paperikoneeseen. Kannakkeiden avulla telan kulmaa voidaan säätää.

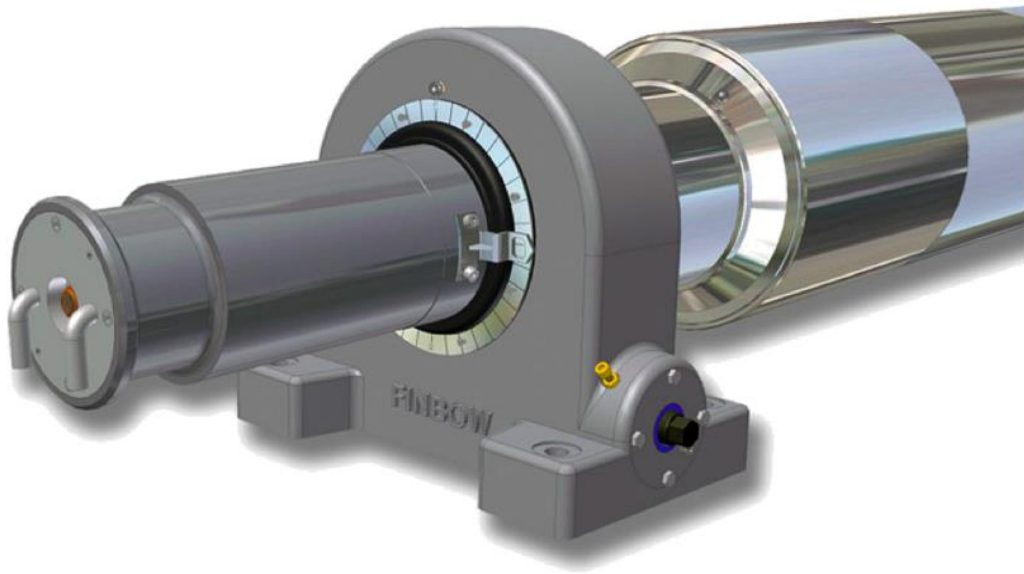


KUVA 1. Kannake (Logistic TKT Systems Oy sisäinen tietokanta 2017)

Holkit ovat kytketty toisiinsa kumista ja metallista valmistetuista kytkimistä. Kytkimen tehtävänä on välittää voima holkilta toiselle ja pitää epäpuhtaudet ja kosteus poissa telan sisältä. (Finbow 2017.) Finbow huoltaa vanhoja teloja ja valmistaa kokonaan uusia teloja.

4.2 Levitystela

Levitystelan tehtävänä on levittää viiraa tai huopaa ja näin estää ryppyjen syntymistä. TELA levittää paperirataa poikittaissuunnassa sen kulkusuuntaan nähden. Akselin kaarevuus, kaarevuuden suunta ja paperiradan nopeus määrittelevät levitysvaikutuksen suuruuden. (Versta 2017.)



KUVA 2. Levitystela (Finbow 2016)

Vaippaholkki on kosketuksissa paperirataan, joten paperikoneen positiosta riippuen, holkit voidaan valmistaa hiili- tai haponkestävästä teräksestä. TELA voidaan myös pinnoittaa, jotta telan pinta ei kuluisi käytössä ja kitka olisi pienempi. (Finbow 2016.)

5 TIEDON KERÄÄMINEN JA ANALYSOINTI

Tiedonkeruussa käytettiin apuna tutkimista käsittelevää kirjallisuutta. Vaikka varsinaista tieteellistä tutkimusta ei tehty, kirjoista löytyi hyödyllistä tietoa, joka auttoi tiedonkeruussa ja kirjoitusprosessin ymmärtämisessä. Kuten Hanna Vilkka (2015, 30) mainitsee, jokaiseen ammatilliseen tekoon kuuluu ammatillinen asenne, joka sisältää luonnostaan taustatietojen selvittämistä, tiedonhankintaa ja järjestelyä, sekä näiden hyödyntämistä kirjallisena tuotoksena, esineenä tai molempina. Tietoa kerättiin haastattelemalla, havainnoimalla ja elektronisella tiedonhaualla.

Tutkimalla asiaa pyritään ratkaisemaan monivaiheinen ketju, jossa on erilaisia ongelmia (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 1997, 15). Uuden mittalaitteen hankinnassa oli paljon haasteita, joihin piti keksiä ratkaisu. Sitä ennen piti ymmärtää mistä akselin taivutuksessa oli pohjimmillaan kyse, minkä jälkeen vasta voitiin etsiä uutta ratkaisua.

Opinäytetyön ensimmäinen kuukausi käytettiin perehtymällä Finbow:n tuotantoon. Rooliani asentajien keskuudessa voisi parhaiten kuvailla osallistuvana havainnoijana. Osallistuva havainnoija osallistuu ryhmän toimintaan, mutta hän tekee myös kysymyksiä. (Hirsjärvi ym. 1997, 217). Pääsin kokeilemaan jokaista työvaihetta, mikä auttoi minua ymmärtämään, kuinka levitysteloja valmistetaan ja mitkä asiat ovat tärkeitä niiden rakenteessa. Näin, että akselin mittaamisessa voisi olla hyvä opinäytetyön aihe ja Logisticilla oltiin samaa mieltä. Yksi ensimmäisistä toimenpiteistä oli taivutuksen työohjeen (liite 2.) tekeminen, jotta varmasti tietäisin taivutuksen jokaisen vaiheen ja saisin selville hiljaistietoa.

Haastattelu oli hyvä tapa hyödyntää muiden työntekijöiden laajaa kokemusta ja saada kattava yleiskäsitys levitystelojen käytöstä ja rakenteesta. Senior Advisor Urpo Verstalla on vuosikymmenien kokemus paperikoneen teloista, joten pidän lähdettä erittäin luotettavana. Haastattelijana toimimiseen on oma koulutuksensa, joten haastatteluista olisi ehkä voinut saada enemmänkin tietoa hyödynnettäväksi.

Haastattelun etuja ja haittoja opinäytetyöni suhteen oli muutama. Haastattelun suurena etuna tiedonkeräysmenetelmänä on, että sillä voidaan kerätä aineistoa joustavasti tilanteen mukaan ja vastaajia myötäillen. Vastauksia voidaan myös selventää ja

syventää. Esimerkiksi voidaan kysyä perusteluja mielipiteille ja kysyä lisäkysymyksiä tarpeen mukaan. Toisaalta haastatteluun sisältyy monia virhelähteitä, jotka johtuvat haastattelijasta ja haastateltavasta sekä tilanteesta kokonaisuutena. Haastattelu voidaan esimerkiksi kokea itseään uhkaavaksi tai pelottavaksi tilanteeksi. Luotettavuutta voi heikentää myös se, että haastateltavat antavat yleensä sosiaalisesti hyväksyttäviä vastauksia ja tulkitsevat omia asemiaan turvatakseen itseään toisia vastaan. Ratkaisevaa on haastattelijan kyky tulkitä vastauksia edelliset seikat huomioiden. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 1997, 205-207.)

Elektroninen tiedonhaku tehtiin pääsääntöisesti vapaasanahauulla Googella, mutta myös Google Scholaria kokeiltiin. Internetsivuilta löytyi tiedon lisäksi myös sähköpostiosoitteita ja puhelinnumeroita, joiden avulla oltiin yhteydessä mittauksen asiantuntijoihin mahdollisen ratkaisun löytämiseksi.

Lähteinä käytettiin myös opinnäytetöitä, jotka käsittelevät samaa aihepiiriä. Sanna Ruohosen opinnäytetyön lähteissä mainitaan Vahur Joala Leica geosystemsiltä, jota toinen mittalaiteasiantuntija Jari Manninen AMS:ltä suositteli sähköpostissa. Sanna Ruohosen oppinnäytetyötä oli käytetty lähteenä muissakin opinnäytetöissä ja alkuperäisen lähteen käyttäminen on suotavaa niin kuin Hirsjärvi ym, (1997, 113) kertovat.

Haastattelun ja havainnoinin avulla saatiin selville akselin taivutuksen periaate sekä rajoittavia tekijöitä - kuten taivutuslaitteiden koko ja tarve liikuteltavuuteen - joita voitiin hyödyntää kaupallisen vaihtoehdon valinnassa ja uuden laitteen suunnittelussa. Vapaasanahauulla löydettiin teoriaa opinnäytetyötä varten ja mahdollisia valmiita mittalaite ratkaisuja.

6 LASER

6.1 Laserin teoriaa

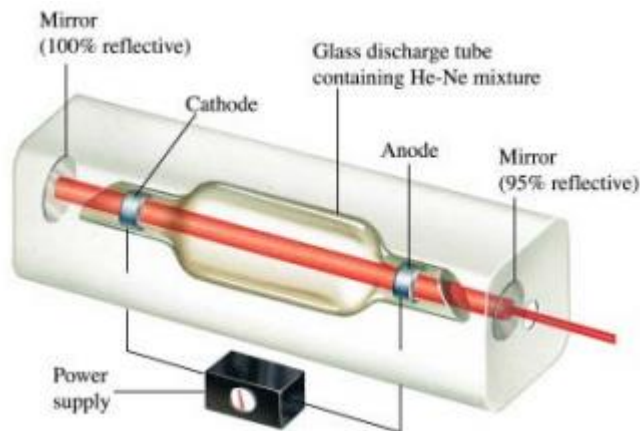
Laser on akronyyymi sanoista light amplification by stimulated emission of radiation eli valon vahvistaminen säteilyn stimuloitun emission avulla. Laser on siis optinen valon vahvistin. Stimuloitun emission edellytyksenä on, että aluksi viritetyllä tasolla olevat atomit sijaitsevat ulkoisessa fotonikentässä. Atomit pääsevät viritetylle energiatasolle absorboimalla fotonin, jolloin fotonin häviää ja atomi vastaanottaa sen energian. Ennen fotonin absorboimista atomin energia on perustasolla. (Oulun yliopiston luonnontieteellinen tiedekunta n.d.)

Ulkoinen fotonin, jonka energiataso vastaa absorboitun fotonin energiaa stimuloi (liipaisee) viritetyn atomin siirtymään perustasolle, kun fotonin ohittaa atomin. Kun viritetty atomi siirtyy perustasolle, prosessissa vapautuu fotonin, jonka energia, suunta, vaihe ja polarisaatio ovat samat kuin liipaisevalla fotonilla. Seurauksena on siis kaksi identtistä fotonin, eikä vain yksi eli säteen intensiteetti kasvaa. Kaksi fotonin ovat koherentteja keskenään, koska niillä on sama vaihe, joten laserin on koherenttia. Stimuloitun emission ansiosta valon vahvistaminen on laserissa mahdollista. (Oulun yliopiston luonnontieteellinen tiedekunta n.d.)

Kohdistamalla atomeihin säteilyä saadaan aikaan paljon absorptiota. Laserin toiminnan käynnistymisen kynnysehtona on, että viritettyjä atomeita on enemmän, kuin perustasolla olevia atomeita. Tällaista tilannetta kutsutaan miehitysinversioksi. Esimerkiksi miehitysinversiosta voidaan ottaa helium-neon-laser. Laserissa helium- ja neonkaasun seos on kaasuputken sisällä (kuva 3.). Katodin ja anodin (elektrodi) väliin asetetaan korkea jännite, jolloin kaasuissa tapahtuu osittaista ionisoitumista. Varatut hiukkaset (ionit ja elektronit) alkavat kiihtyvään liikkeeseen elektrodien väliin syntyneessä sähkökentässä. Varatut hiukkaset virität törmäysten välityksellä eri tavoin kaasuatomeja. (Oulun yliopiston luonnontieteellinen tiedekunta n.d.)

Tuloksena on miehitysinversio ja yksikin fotonin voi käynnistää stimuloitun emission, jolloin tuloksena on laser-valoa. Lasersäde kulkee neon-kaasussa edestakaisin niin, että vahvistuu voimakkaammaksi. Käytännössä tämä toteutetaan peilien avulla, kuten

kuvassa 3 voidaan nähdä. Toinen peileistä päästää valon osittain läpi, jotta laseria voidaan käyttää. (Oulun yliopiston luonnontieteellinen tiedekunta n.d.)



KUVA 3. Helium-neon-laser (Oulun yliopiston luonnontieteellinen tiedekunta n.d)

6.2 Laserluokat

Lasersäteellä voidaan kohdistaa suuria säteilyenergioita todella pieneen pisteeseen ja sen teho vaimenee hyvin vähän etäisyyden lisääntyessä. Tämä tekee lasersäteilyä vaarallista. Lasersäteily ei myöskään tunkeudu syvälle kudokseen, minkä vuoksi lasersäde fokusoituu äärimmäisen pienelle alueelle. Suuri määrä lämpöä pienellä alueella tarkoittaa, että soluihin kohdistuva vahinko voi olla pysyvää, jos solut eivät pysty toipumaan. Tärkeintä lasereiden turvallisuudessa on, ettei niitä saa suunnata itseään tai muita kohti. (Miksi laserit voivat olla vaarallisia n.d.)

Lasereiden vaarallisuuden takia niille on luotu laserluokat. Laserlaitteet jaetaan eri turvallisuusluokkiin siten, että mitä suurempi järjestysnumero, sitä vaarallisempi laite. Turvallisuusluokat ovat: 1, 1M, 1C, 2, 2M, 3R, 3B ja 4. Luokat 1 ja 1M ovat käytännössä vaarattomia ja vastakohtana luokkaan 4 kuuluvat laserlaitteet voivat aiheuttaa merkittäviä silmä- ja ihovammoja. Luokkaan 2 kuuluvat laserit voivat vahingoittaa silmää, jos katsomista säteeseen pitkitetään tietoisesti. Luokan 2 lasereita ovat esimerkiksi viivakoodinlukijat ja Suomessa hyväksyttävät laserosoittimet. (Laserluokat n.d.)

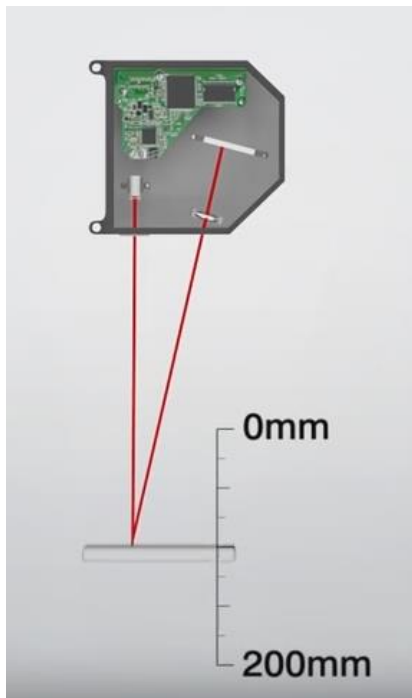
7 LASERMITTAUS

7.1 Periaate

Sana skannaus on peräisin englannin kielen scan-verbistä, joka tarkoittaa keilausta tai luotausta. Kyseessä on siis kolmiulotteinen luotaus. (Mitaten Finland 2015.) 3d-skanneri on laite, jonka tarkoitus on kohteen analysointi ja datan tuottaminen sen muodoista ja mitoista. Dataa kerätään, jotta kohteesta voitaisiin muodostaa kolmiulotteinen malli. Mallin tekemiseen tarvitaan yleensä siihen suunniteltu ohjelma. (Kekkinen, M. 2016.) Ajallisesti laserkeilaus on usein lyhyen työvaihe. Enemmän aikaa kuluu toimistotyöskentelyyn ja jatkokäsittelyyn. (Ruohonen, S. 2007.) Riippuu laitteesta ja ohjelmasta, kuinka hyvin malli vastaa skannattua kohdetta. 3d-skannausta hyödynnetään monella alalla mm. teollisuudessa, lääketieteessä ja arkeologiassa (Breuckmann n.d). 3d-skannerit voidaan luokitella seuraaviin ryhmiin eri teknologioiden perusteella: kolmiomittaus, strukturoitu valo, fotogrammetria, koskettavat skannerit ja valonnopeuteen perustuva skannaus. (Aniwaa 2016).

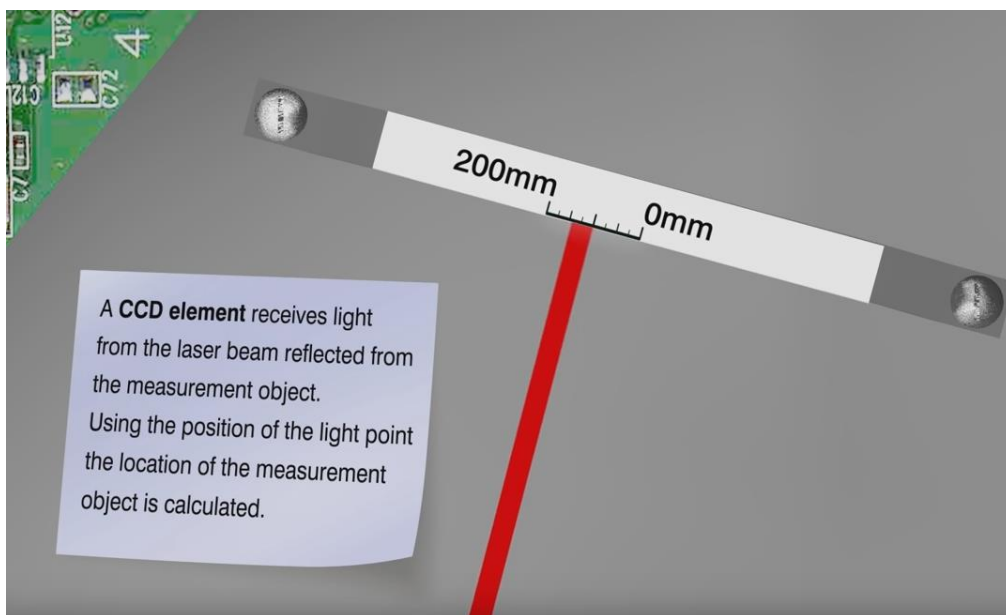
7.2 Kolmiomittaus

Laite lähettää lasersäteen skannattaavaan kohteeseen, josta se heijastuu takaisin pienessä kulmassa laitteen sensoriin. Palaavan lasersäteen kulman avulla voidaan trigonometrialla laskea etäisyys. Kolmiomittauksen vahvuuksia ovat laitteiden toistotarkkuus ja resoluutio (kuinka pieniä eroja laite pystyy havaitsemaan). Mitattavan pinnan ominaisuudet vaikuttavat mittauksen tuloksiin - erityisesti kiiltävät ja läpinäkyvät pinnat ovat haastavia - mitä voidaan pitää kolmiomittauksen heikkoutena. (Aniwaa 2016).



KUVA 4. Kuvankaappaus kolmiomittauksesta (Laser triangulation – operating principle, YouTube 2014)

Kulma muuttuu etäisyyden muuttuessa. Mitä lähempänä mitattavaa kohdetta sensori on, sitä suurempi on lasersäteen kulma. Kolmiomittauslasereilla on jokin mittausalue esimerkiksi 50 mm – 100 mm, jonka yli tai alle laite ei pysty mittaamaan.



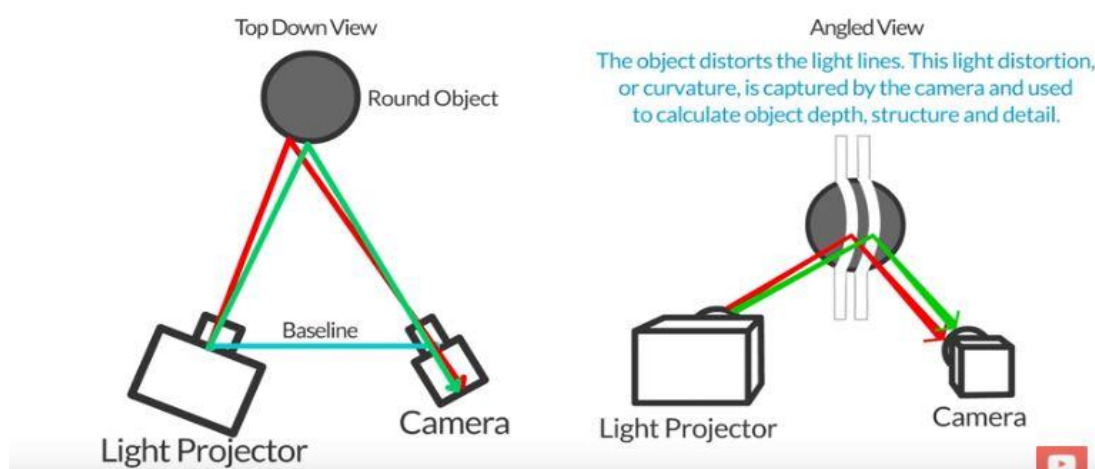
KUVA 5. Kuvankaappaus laseretäisyysanturin sensorista (Laser triangulation – operating principle, YouTube 2014)

Kolmiomittauslasereita käytetään paljon muuhunkin kuin varsinaiseen 3D-skannaamiseen. Niillä voidaan esimerkiksi mitata pelkästään etäisyyttä, tarkistaa, että valmistettu kappale on oikean kokoinen ja tarkistaa paljonko tietty koneenosa on kulunut käytössä.

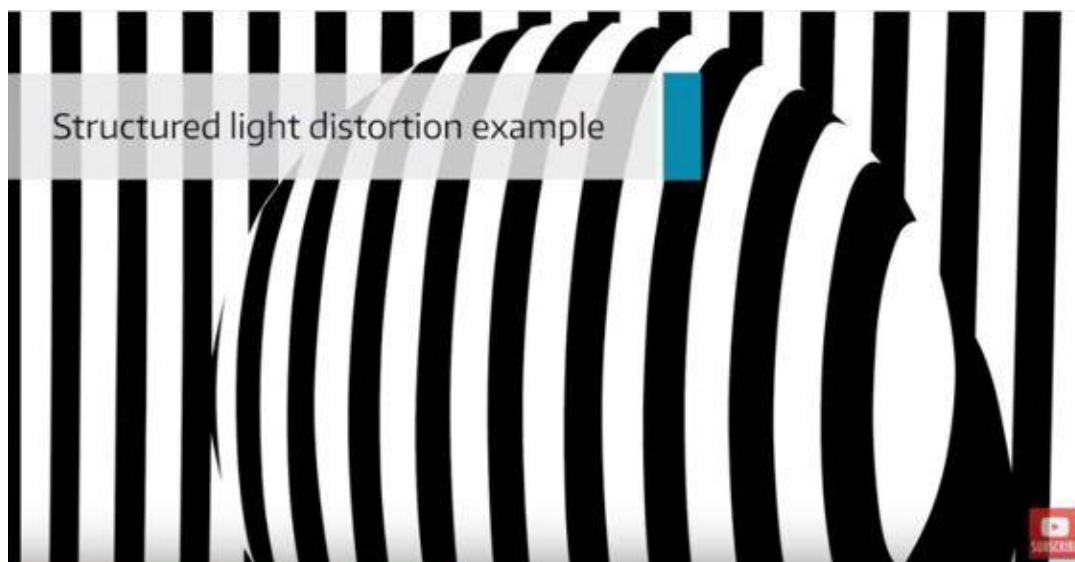
Yleensä lasereille annetaan arvot resoluutiolle, toistettavuudelle ja lineaarisuudelle. Resoluutio tarkoittaa, kuinka pienen etäisyyden muutoksen anturi pystyy havaitsemaan. Toistettavuus ilmaisee, kuinka paljon identtisissä mittaolosuhteissa samasta kohtaa otetut mittaustulokset voivat erota toisistaan. (Karhuniemi 2017). Lineaarisuus kertoo, kuinka paljon mittaustulos voi poiketa todellisesta etäisyydestä mitattavaan kohteeseen. (Keyence 2017). On suositeltavaa skaalata mittaustulokset referenssimittauksen avulla. (Karhuniemi 2017).

7.3 Srukturoitu valo

Scannerit, jotka käyttävät stukturoitua valoa toimivat samalla periaatteella, kuin kolmiomittaus. Erona on laserin sijasta käytetty lineaarinen kuvio, joka heijastetaan skannattavan kappaleen pintaan. Skanneri pystyy jokaisen viivan reunan avulla laskemaan kappaleen etäisyyden skanneriin nähden. Stukturoidun valon vahvuuksia ovat nopeus, resoluutio ja kyky skannata ihmisiä. Heikkouksia ovat valaistusolosuhteiden vaikutus skannaukseen ja kyky työskennellä ulkona. (Aniwa 2016.) Laitteet ovat myös melko edullisia verrattuna muihin skannereihin.



KUVA 6. Kuvankaappaus stukturoidusta valosta (Structured Light 3D Scanning with machine vision cameras, YouTube 2016)



KUVA 7. Kuvankaappaus esimerkki kuviosta (Structured Light 3D Scanning with machine vision cameras, YouTube 2016)

7.4 Koskettavat skannerit

Koskettavat skannerit keräävät dataa mitattavasta kappaleesta mittapään avulla. Nimensä mukaisesti mittapää on kontaktissa mitattavaan kappaleeseen, joten kappaleen täytyy pysyä varmasti paikoillaan. Mittapäällä kerätään pisteitä halutuista kohdista ja pisteiden avulla kappaleelle saadaan kolmiulotteinen muoto. Mittapää voi olla vapaasti liikuteltava, kiinnitettynä nivelvarsi- tai koordinaattimittalaitteeseen. (Aniwaa 2016.)



KUVA 9. Nivelvarsimittalaite (Hexagon AB 2017)

Koordinaattimittakone soveltuu pääsääntöisesti pienille kappaleille ja on tarkin, kun taas vapaasti liikuteltavalla mittapäällä voidaan mitata suuria kappaleita ja vaikeapääsyisistä paikoista saadaan mitat. Koskettavilla skannereilla, varsinkin koordinaattimittakoneilla, päästään tarkimpiin mittatarkkuuksiin.

Koskettavat skannerit pystyvät skannaamaan läpinäkyviä ja heijastavia pintoja, mikä on yksi niiden vahvuuksista. Koskettavat skannerit eivät ole kovin nopeita ja niillä on haastavaa saada tuloksia satunnaisista orgaanisista muodoista. (Aniwaa 2016.)

7.5 Valonnopeuteen perustuva skannaus

Valonnopeuteen perustuvat skannerit mittaavat kauanko lasersäteellä kestää osua kohteeseen ja heijastua takaisin. Valonnopeus tiedetään tarkalleen, joten aika, mikä kuluu lasersäteen edestakaiseen matkaan määrittää etäisyyden, jonka lasersäde kulkee. Jotta skanneri voi määrittää etäisyyden tarkasti, on sen laskettava miljoonia lasersykyä pikosekunnin tarkkuudella. (Aniwaa 2016.)

Valonnopeuteen perustuvissa skannereissa voi olla peili, jolla voidaan muuttaa lasersäteen suuntaa. Peilin avulla skannerin koko ympäristö (360°) pystytään skannamaan. Tämä mahdollistaa suurien kohteiden ja ympäristöjen skannaamisen, mutta skannaus on melko hidasta. (Aniwaa 2016.)

8 MITTALAITE VAIHTOEHDOT

8.1 Yleistä

Akselin mittaukseen etsittiin myös kaupallisia mittalaitteita, mutta useiden kohdalla ongelmaksi muodostui liian korkea alkuinvestointi. Mittaus ei ollut tarpeeksi nopeaa verrattuna nykyiseen menetelmään, joten laite ei tulisi maksamaan itseään takaisin tarpeeksi nopeasti. Toisena yleisesti karsivana kriteerinä oli, ettei laite ollut tarpeeksi tarkka tai sillä ei pystytä mittaamaan suuria kappaleita. Lopulta valmiista ratkaisusta luovuttiin ja kaikki työpanos laitettiin oman laitteen suunnitteluun. Tässä kappaleessa esitellään varteenotettavin esimerkki vaihtoehto.

8.2 Metronor Solo

Metronorin valmistama langaton 3D-kameramittauslaitteisto Solo, oli yksi vaihtoehtoista. Vuodesta 1989 alkaen norjalainen Metronor on kehittänyt ja valmistanut elektro-optisia koordinaattimittausjärjestelmiä, joita on helppo kuljettaa. (Vossi Group n.d.) Laitteen maahantuojana toimii Vossi Group Oy, jonka edustajat kävivät esittelemässä laitetta Finbown tuotantotiloissa.



KUVA 10. Metronor Solo (Metronor 2017)

Solo-järjestelmässä koostuu kädessä pidettävästä mittapäästä, kamerasta ja tietokoneesta. Mittaus tapahtuu painamalla mittauspäässä olevaa nappia ja tieto pisteen koordinaateista tallentuu tietokoneelle. Jokaisen taivutuskohdan koordinaattien avulla saatiin akselin profiili, jota mittausohjelman avulla voitiin verrata akselin ihanteelliseen 3D-malliin.

Laite oli nopeasti mittausvalmiudessa ja mittaaminen oli myös sujuvaa. Mittauksessa piti vain ottaa huomioon, että mittapään sensorit ovat kameraan päin ja ettei pyöreä mittakärki luista sileällä pinnalla. Jos järjestelmä oltaisiin otettu käyttöön, lisätyötä olisi teettänyt erikokoisten akselien mallintaminen ja mittausohjelman koulutus työntekijöille. Kuten monet muutkin laitteet, Metronor karsittiin liian pitkän kuolletusajan takia. Laitteen olisi pitänyt maksaa itsensä takaisin noin kahdessa vuodessa, mutta siihen ei hinnan takia päästy.

9 OMAT SUUNNITELMAT MITTAUKSEEN

9.1 Ideointi

Oman mittalaitteen suunnittelu alkoi ideoinnista. Kun ongelmaa alettiin ratkaisemaan, paljon erilaisia vaihtoehtoja tuli esille. Laitteiden rakenteiden ja toimintaperiaatteiden luonnosteluun käytettiin perinteistä kynää ja paperia. Sain myös hyviä vinkkejä ja ideoita muilta työntekijöiltä, kuten Urpo Verstalta ja erityisesti Jesse Laaksolta. Pysin laitteeseen, joka olisi vähintään yhtä tarkka, kuin työntömitta, kompakti sekä helppo ja nopea käyttää. Tavoitteena oli myös tietty yksinkertaisuus käytettävyyden, omien taitojeni ja kustannusten takia.

Vaihtoehtoja oli pääpiirtettäin kaksi: kehittää nykyistä tapaa paremmaksi tai keksiä kokonaan uusi. Molemmissa laseretäisyysanturit olivat vahvasti mukana jo alkuvaiheessa.

9.2 Rajoittavat tekijät

Oman laitteen ideoinnissa pystyttiin helposti rajaamaan tietyt vaihtoehdot rajoittavien tekijöiden avulla. Esimerkiksi, vaikka laite olisi muuten miten hyvä tahansa on mittauksen oltava tarpeeksi nopeaa. Osa rajoittavista kriteereistä olivat samoja, kuin ostettavissa mittalaitteissa esimerkiksi mittaussnopeus ja tarkkuus.

Akselin taivutus ja mittaaminen tehdään yleensä suurinpiirtein samassa paikassa, mutta sillä ei ole kiinteää työpistettä. Taivutus ja mittaus suoritetaan joustavasti siellä missä on tilaa. Mittalaitteen oli siis oltava liikuteltava, eikä sitä voinut pultata lattiaan tai seinään kiinni. Lattia oli myös epätasainen eikä vaakatasossa, joten sitä ei voinut käyttää referenssinä.

Mittalaitteen tarkkuus karsi paljon vaihtoehtoja, kuten aluksi lupaavilta vaikuttaneet käsikäyttöiset laseretäisyysmittarit, joita käytetään rakennustyömailla. Kiiltävä ja kaareva pinta oli myös haastava mittauskohde lasereille. Jotta mittaustulos olisi oikea,

on laserin oltava samassa linjassa akselin keskipisteen kanssa. Kiiltävällä pinnalla laserin mittatarkkuus on yleensä huonompi.

9.3 Nykyisen tavan parantaminen

Vanhalla siimaan perustuvalla mittaustavalla on myös hyvät puolensa: se on nopea asettaa ja vaikka mittausta on manuaalista, osaavalta työntekijältä ei kulu siihen keskimäärin puolta tuntia kauemmin. Mittaus vaatii kuitenkin suurta huolellisuutta ja on hyvin paljon riippuvainen työntekijän tarkkaavaisuudesta. Yksi vaihtoehtoista oli, että poistettaisiin vanhan mittaustavan huonoja puolia eli parannettaisiin nykyistä menetelmää.

Siiman korvaaminen rautalangalla helppottaisi mittausta, mutta ei poistaisi ongelmaa kokonaan. Mittaajan olisi silti mahdollista painaa työntömitalla rautalankaa liikaa ja siten vääristää mittaustulosta.

Haastavaa mittauksessa on saada työntömitta asetetuksi vaakatasossa ja kohtisuorassa siimaan nähden. Mittaamisen helpottamiseksi tuli idea aputyökalusta, jossa olisi taso työntömitalle ja jonka voisi kiinnittää akseliin kiinni. Työkalu liikkuisi akselia pitkin pienillä pyörillä. Tässäkään ratkaisussa siiman koskettamiseen liittyvät ongelmat eivät poistu.

Yhtenä mahdollisuutena oli vaihtaa työntömitta toiseen mittavälineeseen. Pyörillä liikkuva teline, jossa laseretäisyysanturi tekisi mittauksen ja siima kulkisi telineen alla, josta sen paikan voisi katsomalla tarkistaa, poistaisi siiman koskettamiseen liittyvät ongelmat. Siiman tarkastaminen pienestä raosta ei vaikuta kovin käytännölliseltä ja lasersäteen pitää osua akselin keskilinjaan. Mittaus saattaisi olla myös vaikeaa akselin päissä, joissa siiman ja akselin etäisyys on hyvin pieni.

Ylhäällä on mainittu kaikista pisimmälle viedyt ideat, vaikka muitakin oli. On vaikea kuvata omia ajatusketjuja ja ideointiprosessia, mutta huonostakin ideasta voi ottaa toimivan osan ja jalostaa sitä tai lisätä se toiseen ideaan.

Kaikissa vaihtoehdoissa oli kuitenkin jotain, joka ei vaikuttanut toimivalta ja käytännölliseltä tai ne eivät saaneet tarpeeksi muiden kannatusta. Oman idean myyminen ja esitleminen oli tärkeä taito, jossa minulla oli parantamisen varaa työn alkaessa. Nykyisen tavan parantamisesta siirryttiin melko nopeasti kokonaan uuden tavan kehittämiseen.

10 UUSI MITTALAITE

10.1 Mittaustelineen runko ja muut osat

Yksi ensimmäisistä ideoista oli jonkinlainen mittausteline, johon saisi laseretäisyysanturin kiinni. Teline valittiin parhaimmaksi vaihtoehdoksi ja sitä lähdettiin kehittämään pidemmälle.

Mittaustelineen runko tehtäisiin teräksisestä suorakaideputkipalkista ja rungon päällä olisi liikuteltava kelkka ja laseretäisyysanturi. Idean kehittyessä rungon päälle lisättiin lineaarijohde ja johteeseen liikuteltava taso tietokoneelle ja laseretäisyysanturille (liite 5. kohta A). Teräksinen suorakaideputkipalkki vaihtui yksinkertaisten lujuuslaskelmien jälkeen kevyempään alumiiniprofiiliin, johon lineaarikiskon saa helpommin kiinni. Alumiiniprofiili ei taipunut merkittävästi enempää, kuin suorakaideputkipalkki.

Rungon molempiin päihin suunniteltiin helposti irroitettavat kannakkeet, joilla teline saataisiin kiinnitettyä akseliin (liite 5. kohta B). Kannakkeet myös nimensä mukaisesti kannattelisivat alumiiniprofiilia sopivalla korkeudella. Kiinnitys hoidettaisiin tavallisilla nostomagneeteilla, jotka ovat liitettynä kannakkeisiin (liite 5. kohta C). Kannakkeiden jalkoihin lisättiin pyörät, jotta mittausteline voisi liikkua akselin mukana ja korkeussäätö, jotta sama teline toimisi erikokoisille akseleille (liite 5. kohta D). Kannakkeissa olisi myös korkeuden hienosäätö, jos lasersädettä pitäisi hieman nostaa tai laskea (liite 5. kohta E).

Mittaustelineen runko ei saisi taipua liikaa, jotta lasersäde ei poikkeaisi akselin keskilinjasta. Taipuman estämiseksi runkoon voisi kiinnittää samantyyppisiä tukijalkoja, kuin aikaisemmin mainitut kannakkeet. Tukijaloissa - kuten myös kannakkeissa - täytyisi olla korkeudensäätö ja mitta-asteikko, jotta kaikki jalat saataisiin samalle tasolle ja lattian epätasaisuuksien varalta. Rungon taipuman voisi myös halutessaan tarkistaa siiman avulla, mikä on hieman ironista.

Halkaisijaltaan pienemmillä akseleilla mittaustelineen rungon taipuman vaikutus mittaustuloksiin on suurempi, kuin suurilla akseleilla. Akselit joilla on pieni halkaisia ovat kuitenkin lyhyempiä, joten mittaustelineen runko ei taivu niin paljon. Akselit

taipuvat myös omasta painostaan, joten lasersäde pysyy kaikissa tapauksissa riittävät lähellä akselin keskilinjaa.

10.2 Lujuuslaskelmat

Sallittu taipuma saatiin selville kokeellisesti mallinnusohjelman avulla. Ohjelmalla piirrettiin ympyrä, jonka keskeltä vedettiin viiva. Viivan alapuolelle piirrettiin toinen samansuuntainen viiva halutulle etäisyydelle ja viivojen pituusero kertoi paljonko tietty taipuma vaikuttaa mittaustulokseen. Sallituksi taipumaksi valittiin 3 mm:ä, jolloin taipuman vaikutus mittaustuloksiin oli alle 0,1 mm:ä, kaikista pienimpiä ja harvinaisempia akseleita lukuunottamatta. Taulukko saaduista arvoista on liitteessä 4.

Kuten aikaisemmin mainittiin, oli tärkeää saada tietää kuinka paljon runko taipuu, jotta saataisiin tietää montako tukijalkaa mittausteline vaatii. Taipuman laskemiseksi ensin tarvittiin alumiiniprofiilin kuormitustiheys. Kuormitustiheys laskettiin yhtälöllä:

$$q = \rho A g \quad (1)$$

jossa ρ on alumiinin tiheys, A on poikkileikkauksen pinta-ala ja g on putoamiskiihtyvyys. (Salmi). Sijoittamalla yhtälöön (1) arvot $\rho = 2750 \text{ kg/m}^3$, $A = 1,374 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ ja $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ saadaan tulokseksi 37,07 N/m.

Kahden tukipisteen maksimi etäisyys sallitulla taipumalla saadaan yhtälöllä:

$$l = \sqrt[4]{\frac{v \cdot 384 \cdot I E}{5q}} \quad (2)$$

jossa l on pituus, v on taipuma, I on jäyhyysmomentti, E on kimmokerroin ja q on kuormitustiheys. Sijoittamalla yhtälöön (2) arvot $v = 3 \text{ mm}$, $I = 113,205 \times 10^4 \text{ mm}^4$, $E = 70\,000 \text{ N/mm}^2$ ja $q = 0,03707 \text{ N/mm}$, tulokseksi saadaan 4 711 mm.

Tulos on suuntaa-antava tukijalkojen etäisyyksien suhteen. Jos pisin akseli jaetaan kolmeen osaan, tulokseksi saadaan 4,2 m. Maksimitaipuma saadaan yhtälöllä (3) (Salmi):

$$v = \frac{5ql^4}{384EI} \quad (3)$$

ja sijoittamalla samat arvot, kuin yhtälössä kaksi (paitsi $l = 4200$ mm) saadaan tulokseksi 1,90 mm.

Rakenteessa pitää myös ottaa huomioon tietokonetason painon vaikutus tukipisteiden puolivälissä, joka saadaan yhtälöllä:

$$v = \frac{Fl^3}{48EI} \quad (4)$$

jossa v on taipuma, F on alaspain kohdistuva voima, l on kahden tukipisteen välinen etäisyys, E on kimmokerroin ja I on jäyhyysmomentti. (Salmi). Tietokone, taso, anturi ja muut pienet osat painavat noin 4,12 kg, joten sijoittamalla yhtälöön (4) arvot $F = 41,2$ N, $L = 4\,300$ mm, $E = 70\,000$ N/mm² ja $I = 113,205 \times 10^4$ mm⁴, saadaan tulokseksi 0,802 mm.

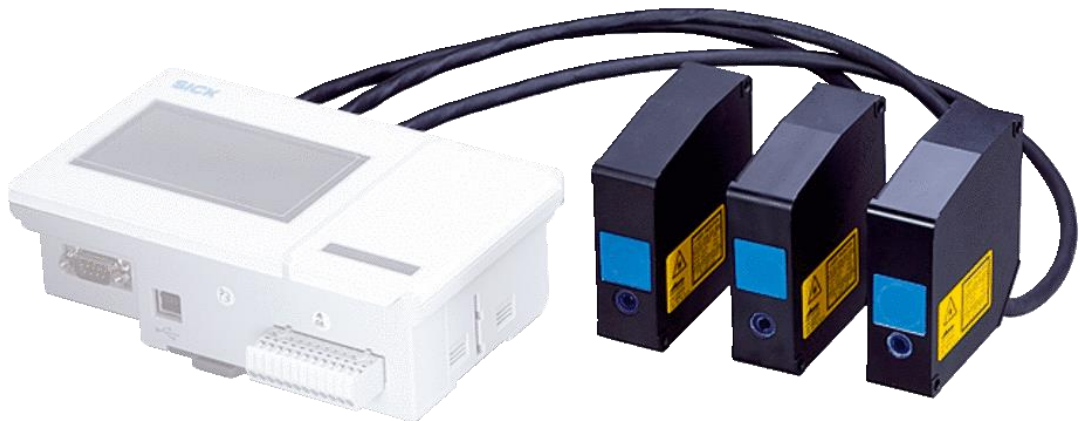
Yhteenlaskettuna rungon omasta ja tietokonetason painosta aiheutuva taipuma on 2,702 mm, joka on sallitun taipuman rajoissa. Mittaustelineen jalkojen etäisyys olisi siis 4200 mm, mutta rungon pituuteen olisi eri vaihtoehtoja. Yhdellä 13 m rungolla voisi mitata kaiken kokoiset akselit, jos kuluissa halutaan säästää, mutta ainakin yksi pienempi runko helpottaisi työskentelyä. Alumiiniprofiilin valmistajan mukaan palojen yhteenliittäminen tarkasti on hankalaa, joten idea paloista kasattavasta rungosta ei kannata.

10.3 Laseretäisyysanturi

Sopiva laseretäisyysanturi mittaamiseen löytyi SICK:ltä. Etäisyysanturin valinnassa vaihtoehtoja karsivat kriteerit olivat mittausalue ja tarkkuus. Hyvä lisä oli pieni laserluokka, jotta suojalaseja ei tarvita. Mittausalue piti valita niin, että suurin taivutuskone mahtuisi liikkumaan akselilla. Tietokonetason ja akselin välille piti siis jättää riittävästi tilaa. Mittausalueen oli myös tietysti oltava suurempi, kuin akselin kokonaistaipuman, jotta se voitaisiin mitata.

Laseretäisyysanturiksi valittiin OD Precision (tyyppi OD5-350W100), joka täytti kaikki kriteerit, mutta oli hinnaltaan muita SICK:n vaihtoehtoja korkeampi. OD Precisionin suorituskyky:

- mittausalue 250 - 450 mm
- resoluutio 0,005 mm
- toistettavuus 0,015 mm
- lineaarisuus $\pm 0,16$ mm
- laserluokka 2 (SICK 2017)



KUVA 11. OD Precision (SICK 2017)

Mittaamisen avuksi tehtiin excel-taivutuskartta, johon tulokset voisi kirjata. Laseranturissa oli RS422 väylä, jolla erään muuntimen ja ohjelman kautta mittaustulokset saisi suoraan exceliin ilman manuaalista näppäilyä. (Karhuniemi 2017). Mittaaminen ei olisi ainoastaan nopeampaa vaan samalla mittaustuloksia olisi helpompi hallinnoida ja mahdollinen mittaajasta johtuva näppäilyvirhe poistuisi.

10.4 Mallinnus

Mallinnus tehtiin SolidWorks-ohjelman avulla. Kuvia 3d-mallista on liitessä 5. Kaikkia osia ei tarvinnut mallintaa vaan kokoonpanossa hyödynnettiin internetistä ladattuja 3d-malleja ja komponentit täytyi vain liittää yhteen. Mallinnuksen yhteydessä laskettiin myös tärkeimpiä mittoja esim. mittaustelineen rungon etäisyys akseliin oli ratkaiseva mitta, joten kannakkeen pituus voitiin valita. Komponentteja ei myöskään valittu sattumanvaraisesti vaan mittojen tuli olla sopivia, kuten pyörien valinnassa huomattiin, että liian suuri pyörä tekisi mittaamisesta mahdotonta pienimmällä taivutuskoneella.

3d-mallin tarkastelu auttoi huomaamaan ongelmia ja ratkaisemaan niitä. Esimerkiksi 3d-mallin avulla pystyttiin kokeilemaan, kuinka paljon laseretäisyysanturin ja akselin välille jäisi tilaa, jos magneetit siirretään akselin päihin. Joskus akselin vaippaosuus on lähellä kokonaispituutta ja pukit joilla akseli lepää vievät oman tilansa, joten magneetti täytyy kiinnittää akselin poikkipintaan.

3d-mallista oli myös hyötyä, kun ideaa selitettiin asentajille ja kysyttiin heidän mielipiteitä sekä parannusehdotuksia. On tärkeää saada tulevat käyttäjät osallistumaan ja innostumaan uudesta laitteesta, jotta muutosvastarinta jää mahdollisimman pieneksi. Käsiniirretyt luonnokset jättävät paljon enemmän mielikuvituksen varaan, kuin 3d-malli.

Mittalaitteesta ei tehty teknisiä piirustuksia, vaikka lähes kaikki mitat mietittiin mallinnusvaiheessa. Mittausteline jäi suunnitelman tasolle, joten sen toiminnasta käytännössä ei ole tietoa.

11 POHDINTA

Päivittäinen työskentely sujui hyvin, vaikka istumapaikka kokeneen suunnittelijan silmien alla tuntui välillä hiostavalta. Lähietäisyydestä oli myös hyötyä, kun eteen tuli ongelmia tai kysymyksiä, joista kokemuksella selviää hetkessä.

Alun tutustumisjakso tuotannossa oli hyödyllinen, mutta sitä olisi voinut tiivistää, jotta aikaa olisi jäänyt enemmän varsinaisen opinnäytetyön tekemiseen. Aikataulussa olisi pysytty paremmin, jos oltaisiin keskitytty aikaisemmin mittauksen kehittämiseen.

Opinnäytetyössä käytettiin paljon aikaa erilaisten mittausvaihtoehtojen etsimiseen ja mittausjärjestelmä yritettiin toteuttaa monella eri tapaa. Helpot ratkaisut olivat vain liian kalliita saavutettavaan hyötyyn nähden.

Ideointi oli mielenkiintoista, eikä koulussa oltu opetettu mitään vastaavaa. Haastavaa ideoinnista teki sen, että siinä oltiin oman luovuuden ja kekseliäisyyden varassa. En myöskään ole varsinaisesti suuntautunut opinnoissani suunnitteluun vaan omat vahvuuteni ovat valmistuksen puolella.

Huomasin, kuinka helppoa on eksyä väärille teille. Aloin liian aikaisessa vaiheessa suunnittelemaan joidenkin ratkaisujen yksityiskohtia, ennen kuin opinnäytetyönvalvoja ja suunnitteluinsinööri olivat hyväksyneet idean. Toisaalta kaikkien saaminen saman pöydän ääreen vei aina aikaa, joten käytin aikani idean työstämiseen, vaikka se joskus oli jälkeenpäin katsottuna turhaa.

Mittatelineellä on omat heikkoutensa, mutta verrattuna aikaisempaan se on ainakin askel oikeaan suuntaan. Parannusehdotuksena telineen voisi kiinnittää akseliin päistä samalla tavalla, mutta ilman jalkoja. Telineen rungon voisi tukea nk. Besellin pisteistä, jotka sijaitsevat 22% päistä, jotta rungon taipuma ja jalkojen lukumäärä olisi mahdollisimman pieni. (Andersson 1997, 134)

Kyseessä oli monipuolinen tehtävä, jossa sai tutkia, ideoida ja suunnitella. Työ oli mielenkiintoista ja miellekäästä. Päivät Logisticilla menivätkin nopeasti.

LÄHTEET

Andersson, P, H. Tikka H. 1997. Mittaus- ja laatutekniikka. Porvoo: WSOY.

Aniwaa. 2016. 3D scanning technologies. Luettu 1.9.2017. <http://www.aniwaa.com/3d-scanning-technologies-and-the-3d-scanning-process/>

Breuckmann, B. N.d. 25 Years of High Definition 3D Scanning: History, State of the Art, Outlook. Luettu 1.6.2017.
http://www.bcs.org/upload/pdf/ewic_ev14_s19paper3.pdf

Finbow. 2016. Finbown historia. Luettu 24.5.2017. <http://finbow.fi/finbow/>

Hexagon AB. 2017. ROMER Absolute Arm. <http://www.hexagonmi.com/fi-FI/products/portable-measuring-arms/romer-absolute-arm>

Hirsjärvi, S. Remes, P. Sajavaara, P. 1997. Tutki ja kirjoita. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi

Karhuniemi, H. Area Sales Manager. 2017. Laseretäisyysanturi. Sähköpostiviesti. heikki.karhuniemi@sick.fi. Luettu 20.5.2017.

Kekkinen, M. 2016. DIY 3D-skannausratkaisujen vertailu. Tietojenkäsittelyn koulutusohjelma. Haaga-Helia ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Keyence. 2017. Important Terminology for Measurement System Selection. Luettu 9.9.2017.
http://www.keyence.com/ss/products/measure/measurement_library/basic/term/

Kiviniemi, A. 2013. Operations management in a project-based business area. Master's Degree Programme in Mechanical Engineering. Tampere University of Technology. Master of Science Thesis

Lapinleimu, I. Kauppinen, V. & Torvinen, S. 1997. Kone- ja metallituoteteollisuuden tuotantojärjestelmät. Porvoo: WSOY

Laser. Oulun yliopiston luonnontieteellinen tiedekunta. N.d. Tulostettu 24.5.2017.
<http://web.archive.org/web/20070328152818/http://physics.oulu.fi/fysiikka/oj/761104P/2006/38.pdf>

Laser triangulation – operating principle. Kuvankaappaus kolmiomittauksesta. YouTube 2014. Katsottu 1.9.2017. <https://www.youtube.com/watch?v=9DyWLidkIYA>

Logistic. 2017. Luettu 24.5.2017. <http://logistic.fi/>

Metronor. 2017. Metronor Solo. <http://www.metronor.com/industrial/products/solo/>

Mitaten Finland. 2015. Luettu 29.5.2017. <http://mitaten.fi/3d-skannerit.html>

Outinen, H. Salmi, T. Vulli, P. 2007. Lujuusopin perusteet. Tampere: Klingendahl Paino Oy.

Ruuhonen, S. 2007. Faro LS 880 -laserkeilain vapaan keilainasetelman menetelmässä. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

SICK Sensor Intelligence. 2017. OD Precision.

<https://www.sick.com/fi/fi/etaisyysanturit/etaisyysanturit/od-precision/od5-500w200/p/p185955>

Structured Light 3D Scanning with machine vision cameras. Kuvankaappaus stukturoidusta valosta. YouTube 2016. Katsottu 2.9.2017.
<https://www.youtube.com/watch?v=U0Q9QnYRsoU>

STUK. N.d. Laserluokat. Luettu 26.5.2017. <http://www.stuk.fi/aiheet/laserit/laserluokat>

STUK. N.d. Miksi laserit voivat olla vaarallisia. Luettu 26.5.2017.

<http://www.stuk.fi/aiheet/laserit/miksi-laserit-voivat-olla-vaarallisia>

Versta, U. Tekninen asiantuntija. Haastattelu 27.3.2017. Haastattelija Väisänen, A.

Vilkkä H. 2015. Tutki ja kehitä. Jyväskylä: PS-kustannus.

Vossi Group Oy. N.d. Mittauslaitteet. Luettu 3.9.2017

<http://www.vossi.fi/tuotteet/mittaus.html?avaa=3>

LIITTEET