



Turvallinen ja luotettava telan pintanopeuden mittaaminen

Otto Uusinoka

OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2024

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Automaatiotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Automaatiotekniikka

UUSINOKA, OTTO:

Turvallinen ja luotettava telan pintanopeuden mittaaminen
Valmet Automation Oy

Opinnäytetyö 30 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Huhtikuu 2024

Tässä opinnäytetyössä kehitettiin aiemmin käytössä ollutta, vaaralliseksi todettua pintanopeuden mittausmenetelmää, eli käsitakometriä turvallisemmaksi Valmet Automation Oy:n käyttöjenohjaustiimille. Työturvallisuuden ollessa jatkuvasti entistäkin tärkeämpi osa työskentelyä on myös mittausmenetelmiä alettu tarkastella ja kehittämään työympäristön turvallistamiseksi.

Tässä opinnäytetyössä esitellään tiimillä aiemmin käytössä olevan mittausmenetelmän toimintaperiaate, käyttökohteita, käytössä olleen menetelmän mahdollisia korvaajia, sekä mahdollisten korvaajien toimintaperiaatteita ja ominaisuuksia. Lisäksi käydään läpi aiemman mittausmenetelmän riskejä ja käyttäjäkokemuksia. Lopuksi työssä esitellään turvallisemman mittaustavan suunnittelu- ja rakennusprosessi sekä valmis tuote.

Valmis tuote jää tiimille testikäyttöön keräämään sekä palautetta, että käyttäjäkokemuksia. Palautteen ja kokemusten avulla tuotetta kehitetään eteenpäin, ja kehitetyn version perusteella rakennetaan tiimin käyttöön tarvittava määrä vastavia tuotteita mittauksia turvallistamaan.

Asiasanat: nopeuden mittaus, takometri, pintanopeus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Automation Engineering

UUSINOKA, OTTO:
Safe and Reliable Roll Speed Measurement
Valmet Automation Oy

Bachelor's thesis 30 pages, appendices 2 pages
April 2024

The purpose of this thesis was to develop a previously used measurement method into a safer one for Valmet Automation Oy's drive controls team. The need for development arose from the dangers associated with the previous method, which involved using a handheld tachometer. As workplace safety has become increasingly important, measurement methods must also be scrutinized and developed to enhance safety.

This thesis begins by examination of the previously used method, including its uses and working principles. Following this, various surface speed measurement methods and their working principles are investigated. From among these different candidates, the best one will be selected as the final product.

Following the decision to develop the previously used measuring method into a safer alternative, the development and construction of the product commenced. The final product of this thesis is a telescopic shaft attached to the tachometer, which mitigates many of the identified dangers. This final product will remain in use by the team to gather feedback, which will be used to further refine the method and extend it to all tachometers used by the drive controls team.

Key words: speed measurement, tachometer, surface speed

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TAUSTATIETOJA	6
	2.1 Valmet Oyj	6
	2.2 Valmet Automation Oy	6
	2.3 Paperikone	6
	2.4 Nopeudenmittauksen tarve	9
	2.5 Projektin syy	10
3	RISKEISTÄ	11
	3.1 Käyttäjien haastattelua	11
	3.2 Läheltä piti -tilanne	12
	3.3 Riskienarviointi	12
4	PINTANOPEUDEN MITTAUS	13
	4.1 Nykyinen käsitakometri	13
	4.2 Muita kosketuksellisia mittauksia	15
	4.3 Mittaus Doppler-ilmiön avulla	16
	4.4 Muita optisia mittauksia	18
5	TYÖVAIHEET	20
	5.1 Tutkimustyö	20
	5.2 Lopullisen tuotteen valinta	20
	5.3 Rakentaminen ja muokkaus	21
	5.4 Testaus ja käyttöönotto	25
6	POHDINTA	26
	LÄHTEET	27
	LIITTEET	29
	Liite 1. Riskimatriisi, Valmet	29
	Liite 2. Lyhyt käyttö- ja turvallisuusohje takometrille	30

1 JOHDANTO

Nopeuden mittaaminen on yksi olennaisia osia automatisoitujen koneiden toiminnan testauksessa ja käyttöönotossa. Ilman nopeuden varmistamista ei voida olla varmoja siitä, ovatko käyttöliittymässä näkyvät arvot oikeita. Erityisesti paperikoneita käyttöönottaessa on varmistettava telojen ja sylinterien pyörimisnopeuksia, tai ennemminkin pintanopeuksia, jotta tiedetään sovelluksessa ja käyttöliittymässä näkyvien arvojen paikkansapitävyys. Väärät nopeudet sotkevat helposti koko tuotantoprosessin ja voivat aiheuttaa laatuvirheitä tai katkoja. Valmetin käyttöjenohjaustiimissä käytetty mittaustapa varmistaa koneen telojen pintanopeus on käsitakometri.

Opinnäytetyön teettäjänä toimi Valmet Automation Oy, ja työn aiheena on käsitakometriä kehittäminen turvallisempaan vaihtoehtoon. Valmis tuote jää yrityksen käyttöön, ja toivottavasti auttaa käyttöönotoissa kiertävien työntekijöiden turvallisempaa työskentelyä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia olemassa olevia pintanopeuden mittauksia, ja löytää käytössä olevaan mittaustapaan turvallisempi sekä parempi mittaustapa. Työssä tutkitaan erilaisia menetelmiä mahdolliseen lopputulokseen, sekä menetelmän löydyttyä rakennetaan lopullinen, turvallisempi tuote mittausten suorittamiseksi. Tuotteen tulee olla käyttötarkoituksen takia liikuteltava, kompakti, kestävä ja tarkka.

2 TAUSTATIETOJA

2.1 Valmet Oyj

Valmet on maailman johtava prosessiteknologian, automaattioratkaisujen ja palvelujen toimittaja ja kehittäjä sellu-, paperi- ja energiateollisuudelle. Automaatiojärjestelmillä ja virtauksensäättöratkaisuilla Valmet palvelee vielä laajempaa prosessiteollisuuden asiakaskuntaa. Yhtiöllä on yli 220 vuoden teollinen historia sekä yli 19 000 työntekijää ympäri maailmaa. Valmetin liiketoiminta on jaettu viiteen liiketoimintalinjaan. Liiketoimintalinjat ovat Palvelut, Virtauksensäättö, Automaatiojärjestelmät, Sellu ja energia sekä Paperit. (Valmet 2024)

2.2 Valmet Automation Oy

Valmet Automation Oy on osa Valmet-konsernia, joka keskittyy automaattioratkaisuihin. Toimipiste, jossa työ tehtiin, oli Tampereen Lentokentänkadun toimipiste. Valmet Automation Oy toimittaa automaattioratkaisuja sellu-, kartonki-, paperi-, pehmopaperi-, energia-, laiva- ja prosessiteollisuuteen. Valmet Automation tarjoaa myös ylläpitopalveluita sellu- ja paperiteollisuuteen, sekä muihin prosessiteollisuuden aloille, kuten LNG-sovelluksiin, eli nesteytetyn maakaasun tekniikkaan, biokaasuun, energian tuotantoon, laivoihin sekä öljy ja kaasuteollisuuteen. (Valmet Automation Systems Business Line 2023)

2.3 Paperikone

Valmet on Suomessa ja maailmalla tunnettu paperikoneiden valmistaja ja toimittaja. Koska pyörivä liike paperikoneissa on usein toteutettu sähkökäyttöillä, tekee Valmetin käyttöjenohjaustiimi projekteissaan koneisiin ohjaukset isolle osalle koneen pyörivästä liikkeestä. Mittaustapa, jota tässä työssä kehitetään, liittyykin siis vahvasti paperi- ja kartonkikoneisiin telojen ja sylinterien nopeuden mittausten kautta.

Paperikone on suuri kone, jonka pääpiirteisenä toimintaperiaatteena on kuivata märkää paperimassaa. Paperi- ja kartonkikoneiden toimintaperiaate on yleensä melko samanlainen, riippuen hiukan lopullisen tuotteen ominaisuuksista. Paperin tuotanto alkaa perälaatikolta, josta märkä paperimassa, eli raina levitetään koneen viiraosalle ruiskuttamalla. Viiraosalla paperia kuivatetaan enimmäkseen suodattamalla sihtinä toimivan viirakudoksen läpi, sekä alipainetekniikalla. Viiraosalla paperista poistuu suhteessa suurin määrä vettä koko prosessin aikana. (KnowPap Yleistä rainanmuodostuksesta 2024)

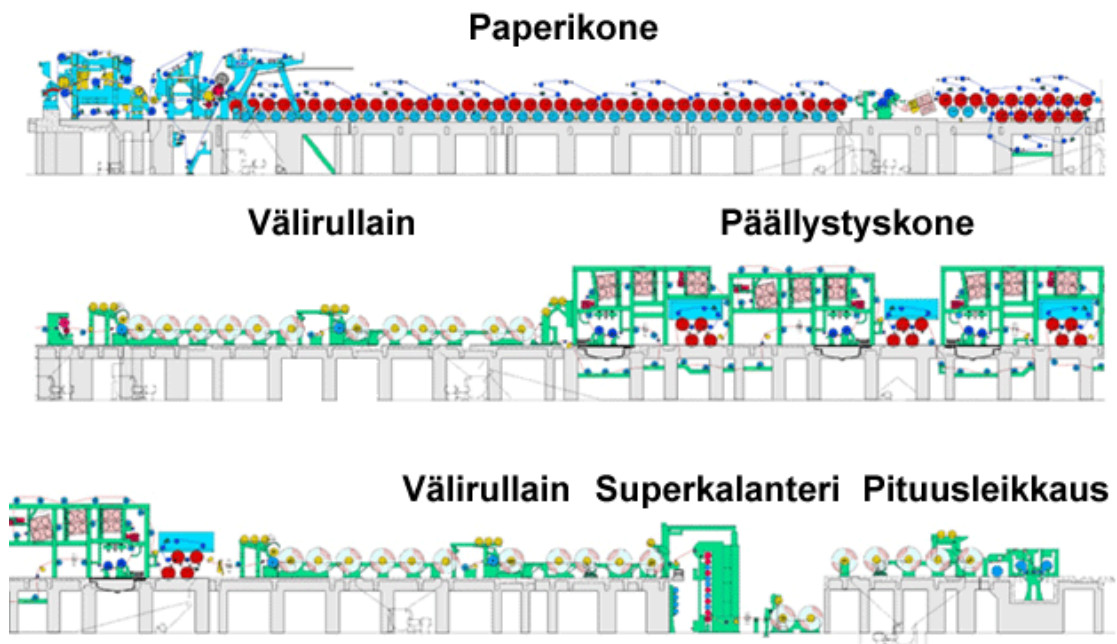
Viiraosalta paperi etenee puristusosaan, jossa nimensä mukaisesti paperia kuivataan puristamalla märkää rainaa telojen muodostamissa puristusnipeissä. Puristus vaikuttaa myös huomattavasti paperin pintaominaisuuksiin kuten karheuteen. Tässä kohtaa paperista koitetaan puristaa mahdollisimman paljon vettä pois puristusteloilla mankeloimalla ennen kuivatusosalle siirtymistä, jossa kuivatukseseen kuluu enemmän energiaa. (KnowPap Paperikoneen puristinosa – yleistä 2024)

Kuivatusosa on paperikoneen energiaa kuluttavin osa, koska siinä pyritään saamaan loput paperissa olevasta kosteudesta pois ennen mahdollista kalanterointia tai rullaamista. Perinteinen kuivatusosa koostuu höyryllä kuumennetuista sylintereistä, mutta käytössä on myös ilmakeivaimia ja infrapunakeivaimia. Kuivatusosassa on usein osan peittävä kotelo nimeltään huuva, jolla otetaan lämpö talteen, parannetaan konesalin olosuhteita äänenvaimennuksen ja lämmön eristyksen avulla sekä tarjotaan vakaat olosuhteet kuivatusprosessille. Tasaisilla olosuhteilla parannetaan koneen ajettavuutta, eli katkojen määrä vähenee. (KnowPap Paperikoneen kuivatusosa – yleistä 2024)

Kuivatustyhmän jälkeen paperi etenee jälkikäsittelyyn, jossa paperiin tehdään erilaisia toimenpiteitä halutun lopputuloksen saamiseksi. Tuote voidaan vaatimuksista riippuen esimerkiksi pintaliimata, päällystää tai kalanteroida. Pintaliimauksen tavoitteena on parantaa paperin lujuusominaisuuksia. Päällystyksen tarkoitus on parantaa tuotteen ulkonäköä ja painettavuutta, päällystys voidaan tehdä myös alumiinilla tai muovilla, joka tehdään esimerkiksi juomapakkausten valmistuksessa. Kalanteroinnissa paperin pintaominaisuuksia pyritään parantamaan

esimerkiksi sileämmäksi ja kiiltävämmäksi, paperin paksuutta voidaan säädellä, sekä paperin paksuusprofiilia voidaan säädellä, jotta saadaan pituusleikkurilla tassaaisia rullia. Koneesta raina tulee ulos täysilevyisenä tampusuurirullan ympärille rullattuna ja voi olla lähes 100 kilometriä pitkä, joten rulla leikataan asiakkaalle sopivan pituisiksi ja levyisiksi rulliksi leikkausosassa. Leikkauksessa syntynyt hylky ajetaan pulppiin, jossa se muutetaan raaka-aineeksi uutta paperia varten. Pituusleikkurin jälkeen rullat pakataan lähetystä varten. (KnowPap Jälkikäsitteily – tiivistelmä 2024)

Kuvassa 1 on esitettyä esimerkki perinteisestä hienopaperin tuotantolinjasta. Hienopaperi on sellupohjaista paperia, joka sisältää tavallisesti korkeintaan kymmenesosan mekaanista massaa, eli massaa, jota valmistetaan pilkkomalla tukkeja ja haketta kuitukomponenteiksi mekaanisen energian avulla, kuten hiomalla tai hiertämällä. Esimerkkinä hyvälaatuinen paino- ja kirjoituspaperi sekä kopiopaperi ovat hienopaperia. (Valmet Sanasto 2024; Forest LWC-paperi n.d.) Kuvassa 1 on ylimmällä rivillä paperikone, joka alkaa viiraosasta. Viiraosan jälkeen on puristusosa, josta alkaa pitkä kuivatusosa. Kuivatusosan välissä koneessa on kalanteri, jonka jälkeen kuivatusosa jatkuu. Paperikoneen jälkeen paperi viedään välirullaimelle, jonka tehtävä on poistaa paperista huonot osat ennen päällystystä. Välirullaimella paikataan mahdolliset reiät, poistetaan viallinen paperi ja leikataan reunanauhat. Päällystysten jälkeen on uusi välirullain, joka poistaa paperin huonot osat ennen kalanterointia. Lopuksi tuotantolinjalla on pituusleikkaus, jossa koneraina leikataan osarainoiksi asiakkaalle toimitettavaan kokoon.



KUVA 1. Esimerkki hienopaperin tuotantolinjasta (KnowPap 2024)

2.4 Nopeudenmittauksen tarve

Liikuteltavaa pintanopeuden mittausta Valmetin käyttöjenohjaustiimissä tarvitaan tehtailla paperikoneiden sähkökäyttöjen käyttöönotoissa. Sähkökäytöt ovat järjestelmiä, joissa sähkömoottoreita tai -generaattoreita ohjataan tehoelektronikkalaitteiden kuten esimerkiksi vaihtosuuntaajien tai taajuusmuuttajien avulla. Usein tavoitteena on ohjata mekaanista liikettä ripeästi, tarkasti ja energiatehokkaasti. (Aalto 2023) Valmetin käyttöjenohjaustiimin työt keskittyvät pääosin paperikoneiden pyörivän liikkeen ohjaukseen.

Käyttöönottaessa uutta ohjausjärjestelmää ei voida olla täysin varmoja siitä saako sovellus oikean nopeustiedon käytöltä. Mittauksella varmistetaan käyttöjen ohjaamien moottoreiden pyörittämien telojen ja sylinterien oikea pyörimisnopeus, joka tarvitaan koneen oikean toiminnan varmistamiseksi. Paperin valmistuksessa tärkeä mitattava arvo on pyörivien osien pintanopeus. Paperin tuotannossa koko linjan on pyörittävä oikeaa vauhtia, jotta paperirata pysyy ehjänä. Radan nopeus voi vaihdella radan edetessä koneessa johtuen esimerkiksi venymisestä. Jos nopeuksissa on virheitä, syntyy paperiin vetoa, löysästä johtuvaa lepatusta, lipsumisesta aiheutuvia jälkiä tai paperi repeytyy rikki, eli syntyy katko. Jos tulee katko,

on tuotanto ajettava alas, kone siivottava ja radan pää kuljetettava koneen läpi rullaimelle manuaalisesti. Katkennut rata saattaa myös vikatilanteessa aiheuttaa ongelmia keräytyessään väriin paikkoihin aiheuttaen tukoksia tai tulipaloja kuumien osien läheisyydessä. Katkoista aiheutuu myös taloudellista tappiota tuotannon keskeytyessä.

2.5 Projektin syy

Tarve kehittää mittaustapaa syntyi käsitakometrin vaarallisuudesta. Käsitakometri on pieni, kädessä pidettävä laite, kun taas mitattavat paperikoneen pyörivät osat ovat suuria, ahtaita ja nopeasti pyöriviä. Paperi- ja kartonkikoneiden nopeuksissa on paljon vaihtelua. Nopeimmat paperikoneet lähentelevät 2000 m/min vauhtia, mutta useimmiten nopeudet ovat 1000–1500 m/min luokkaa. Havainnollistuksena paperikoneen vauhti 2000 m/min vastaa 120 km/h, eli nopeudet ovat siis melko vaikuttavia. Käsitakometrillä mitattaessa paperikoneen osien nopeutta käsi joudutaan työntämään pyörivän koneen väliin, välillä syvällekin ahtaisiin paikkoihin.

Tiimin sisällä on jo pidemmän aikaa keskusteltu mittaustavan kehittämisestä sen luomien riskien vuoksi, mutta tilanteeseen tuli lisäpaino äskettäin tapahtuneen läheltä piti -tilanteen takia. Tilanne herätti syvempää huolta ja korosti tarvetta paremmalle ja turvallisemmalle mittausten menetelmälle. Tilanteesta lisää seuraavassa kappaleessa.

3 RISKEISTÄ

3.1 Käyttäjien haastattelua

Seuraavaksi käydään hiukan läpi käyttäjien haastattelujen perusteella saatua kuvaa riskeistä, joita käsitakometrin käyttöön liittyy. Käyttäjät ovat kokeneita koneiden käyttöönotoissa kiertäneitä sovellussuunnittelijoita.

Suurin käyttäjien kokema riski mittauksessa on pyörivän koneen väliin käden laittaminen. Paperikoneen pyörivät osat ovat suuria, sekä pyörivät kovaa vauhtia mittaustilanteessa, joten käden koneen väliin tunkeminen aiheuttaa suurta riskiä. Lisäksi työmailla vaaditut löysät työvaatteet tuovat oman riskinsä pyörivien osien välittömässä läheisyydessä.

Paperikoneet ovat usein tiiviisti suunniteltuja tilan vähentämisen vuoksi, joten väliä, joista mittauksia tehdään ovat usein ahtaita. Paperirata myös kulkee puristavien elementtien läpi. Tällöin riski takometrin osumisesta väärään paikkaan suurenee. Pyörivä osa voi napata laitteeseen tai vaatteeseen kiinni, jolloin seuraukset voivat olla vakavia.

Koneiden suuren koon takia mitattavat paikat sijaitsevat usein vaikeissakin paikoissa, jolloin mittauksen tehdäkseen joutuu kurkottelemaan riskialttiisti. Kone on iso myös korkeussuunnassa ja koneen kyljessä olevat tasot voivat olla öljyisiä, märkiä tai sotkuisia esimerkiksi kartongin päällysteaineesta pastasta, jos koneen ympäristön siisteydestä ei ole pidetty hyvää huolta, harvoin teollisuusympäristössä tämä on edes täysin mahdollista. Liukastumisen tai horjahtamisen vaara kasvaa näissä tilanteissa suuresti.

Turvakaiteet ovat käyttöönotoissa viimeisiä asioita, jota koneeseen asennetaan koska ne vaikeuttavat tarkoituksella koneen kanssa kosketuksiin joutumista. Ennen kaiteiden asennusta vaarana on juuri esteettömyys koneen kanssa kosketuksiin joutumiseen, mutta kaiteiden asennuksen jälkeen kaiteet taas luovat ylimääräistä vaaraa niiden ylitse mittailussa ja kurkottelussa.

3.2 Läheltä piti -tilanne

Projektin liikkeelle laittanut läheltä piti -tilanne syntyi mittaustilanteessa, jossa takometrillä oli mitattu kohdasta, jossa paperiraina kulkee telojen muodostaman nielun eli nipin läpi. Tässä telat pyörivät sisäänpäin puristaen paperirainasta vettä pois. Takometri oli mitattaessa osunut ylempään telaan ja jäänyt koneen väliin aiheuttaen takometrille pientä vahinkoa. Tilanteessa vältyttiin henkilövahingoilta. Tämä tapaus nosti esiin selkeästi nykyisen mittausmenetelmän riskit ja tarpeen harkita turvallisempia vaihtoehtoja.

Mittapaikat voivat joskus olla todella ahtaita, mutta samalla on tärkeää arvioida huolellisesti, voiko mittauksen suorittaa turvallisemmin mistä tahansa muualta kuin nielun puolelta. Tämän tapahtuman seurauksena aihe oli perusteellisemmin käsittelyssä riskienarvioinnissa. Projekti käynnistettiin uuden, turvallisemman tuotteen kehittämiseksi.

Uuden tuotteen kehittäminen on askel kohti parempaa ja turvallisempaa työympäristöä ja mahdollisuus vähentää riskiä vastaavien tilanteiden toistumiselle tulevaisuudessa. Tiedossa ei ole muita läheltä piti -tilanteita tiimin sisällä, ainakaan niistä ei ole kerrottu.

3.3 Riskienarviointi

Mittaus on ollut yhtenä aiheena syksyllä 2023 tehdyssä riskienarvioinnissa. Riskienarvioinnissa käytetty riskimatriisi löytyy työn lopusta liitteestä 1. Arvioinnissa mittauksen vahinkojen todennäköisyys ja vahinkojen vakavuus olivat molemmat todella korkeat, jolloin loppuarviona oli sietämätön riski. Sietämättömän riskin korjaustoimet on aloitettava välittömästi, sekä toiminta on keskeytettävä, jotta vaaratilanteilta vältytään.

Riskienarvioinnissa arvioitiin myös, ettei työtehtävään ole myöskään toteutettu tarpeeksi hyvää koulutusta tai ohjeistusta, joka on arvioinnissa arvioitu merkittäväksi riskiksi. Merkittävä riski on sietämättömästä seuraava aste alaspäin, eli korjaustoimet on aloitettava myös mahdollisimman pian.

4 PINTANOPEUDEN MITTAUS

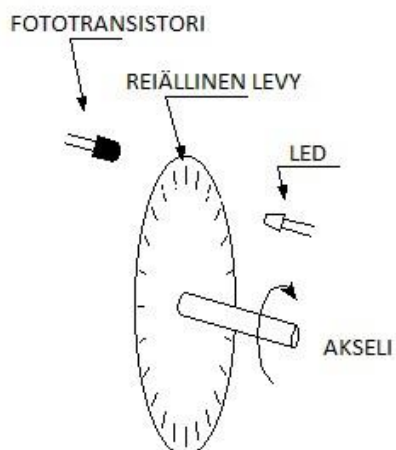
4.1 Nykyinen käsitakometri

Kuvassa 2 esiintyy kehityksen alle joutunut mittalaite, eli käsitakometri. Kuten aiemmin mainittu, käsitakometri on pieni kädessä pidettävä laite, jolla mitataan pintanopeutta liikkuvalla pinnalta. Käsitakometrillä voidaan mitata myös kierrosnopeutta pyörivästä akselista vaihtamalla mittapyörä pienempään mittapähän.



KUVA 2. Käsitakometri (Kuva: Otto Uusinoka)

Käytetty käsitakometri toimii asettamalla takometrin mittapyörä pyörimään mitattavalle pinnalle, jolloin akseliin kiinnitetty reiällinen levy alkaa pyöriä takometrin sisällä, ja siinä olevien reikien läpi pääsee valopulsseja, kuten esitetty kuvassa 3. Levyn toisella puolella on LED valosignaalin luomiseksi, ja toisella puolella fototransistori lukemassa valopulsseja, jonka luoma sähköinen signaali kulkeutuu eteenpäin mikroprosessorille. Mikroprosessori toimii laitteessa sisällä älynä ja laskentatehona. Valopulssien jaksonpituudesta laite laskee akselin pyörimisnopeuden. Kuvassa 4 näkyy oikeat mittauskomponentit takometrin sisällä.



KUVA 3. Takometrin mittauksen toimintaperiaate (Ovidiu Neamtu 2009, muokattu)



KUVA 4. Käsitakometrin nopeuden mittauksen komponentit (Kuva: Otto Uusinko)

Etuna tässä valolla toimivassa ratkaisussa on kalibrointitarpeen vähentäminen, sekä tarkkuus. Laitteessa ei ole kuluvia osia, jotka aiheuttaisivat signaalin muu-
tosta ajan myötä, ja tätä kautta mittatuloksen vääristymistä. Joissain mittaustek-
niikoissa tämä voi muodostua ongelmaksi, mutta näistä lisää myöhemmin.

Nykyisen takometrin ongelmana on sen vaarallisuus kädessä pidettäessä, sekä hankaluus pitää se suorassa mittaustilanteessa. Vinossa tehty mittaus saattaa antaa väärän arvon, koska mittapyörä ei pyöri suorassa, ja laite laskee nopeutta juuri tietyllä mittapyörän ympärysmittalla. Liikkuva pinta myös vaikeuttaa paikallaan pitämistä, varsinkin jos vauhti on kova, ja mittaajan asento huono.

4.2 Muita kosketuksellisia mittauksia

Pääsin tutustumaan Valmet Fabricsilla, eli Valmet Technologies Oy:n osastolla Tampereen Yrittäjänkadun toimipisteellä käytössä oleviin itse rakennettuihin takometreihin. Näissä toimintaperiaatteena ja mittasignaalin luojana on mittapyörään kiinnitetyt magneetit, joita on kaksi kappaletta vastapuolilla pyörää. Pyörän kiinnityskohdassa on sensori, joka tunnistaa magneetin magneettikentän, josta kulkeutuu signaali laitteen ohjausyksikölle, tässä tapauksessa Arduino-piiriin. Ohjausyksikkö varren toisessa päässä sisältää Arduino-mikroprosessorin, näytön sekä ohjausnapit. Jokaisesta pyörän pyörähtämästä kierroksesta mikroprosessori saa kaksi signaalia sensorilta, ja tästä on helppo laskea pyörän nopeus. Ohjelma laskee keskinopeuden 2 sekunnin ajalta, ja päivittää arvon näytölle 2–3 sekunnin välein. Laitetta on mahdollista kalibroida korjauskertoimen avulla esimerkiksi mittapyörän kumipinnoitteen kuluman korjaamiseksi. Laitteita esitelleen työntekijän mukaan itse rakennetut mittalaitteet ovat olleet Tamfeltin, eli nykyisen Valmet Fabricsin pienimuotoinen erikoisuus. Magneetit voivat kuitenkin olla ongelma paperikoneiden mittaamisessa, sillä mitattavat osat ovat siellä usein metallia, josta saattaisi aiheutua häiriötä magneettisiin mittasignaaleihin. Myös tarkkuus saattaa muodostua ongelmaksi itse valmistetussa mittaustavassa. Käyttöotoissa vaadittu mittalaitteen tarkkuus on oltava noin 1 m/min, johon itserakennetulla laitteella on vaikea yltää.

Toinen mainittavan arvoinen toimintaperiaate on generaattoritakometri. Generaattoritakometri toimii pienen sähkögeneraattorin pyöriessä mitattavan pinnan mukana, jolloin generaattori tuottaa jännitettä. Jännitteen suuruudesta voidaan määrittää akselin pyörimisnopeus, joka skaalataan akseliin kiinnitetyn pyörän suhteen ja saadaan pintanopeus. Tämänlainen laite olisi ollut kohtuullisen helppo

rakentaa itsekin pienen sähkömoottorin ja mikroprosessorin avulla, mutta ongelmaksi muodostuu laitteelle asetetut vaatimukset erityisesti tarkkuuden ja virheen vuoksi. Tässä laitteessa on myös generaattorin takia kuluvia osia, jotka aiheuttavat tiheimmän kalibroinnin tarpeen.

Kolmantena kulma-anturi. Myös tässä tavassa voidaan käyttää mikroprosessoria mittaussignaalin lukemiseen ja käsittelyyn. Kulma-anturi on sähkömekaaninen laite, joka muuntaa laitteen asennon tai liikkeen analogiseksi tai digitaaliseksi signaaliksi. Signaali voidaan mikroprosessorilla muuntaa kierrosnopeudeksi. Huonot puolet tässä ovat komponenttien suurehko hinta, sekä osien herkkyys. Nykyinen käytössä oleva takometri pyörii samoissa hinnoissa tähän tarvittavien komponenttien kanssa eikä tässä tavassa saavuteta suuria etuja nykyiseen mittaus-tapaan verrattuna. Kulma-anturi sisältää myös melko herkkiä osia, jotka eivät sovi kuormittavaan teollisuusympäristöön.

Vanhan hyväksi todetun takometrin käyttö on siis kosketuksellisista mittauksista järkevin vaihtoehto ammattilaisen tekemän kehityksen, testauksen ja kalibroinnin takia. Väärin mitatut nopeudet voivat teollisuusympäristössä aiheuttaa helposti suuriakin vahinkoja.

4.3 Mittaus Doppler-ilmiön avulla

Vaihtoehtoja etsiessä löytyi mielenkiintoinen mittaus tapa pintanopeuden mittaamiseen, jossa hyödynnetään Doppler-ilmiötä. Doppler ilmiö tarkoittaa valon aaltosignaalin vääristymistä liikkeen voimasta. Valon kanssa Doppler-ilmiö aiheuttaa valoon puna- tai sinisiirtymää. Tämä aiheutuu, kun valon aaltopituus tiivistyy tai laajenee liikkeen voimasta. Tämä tarkoittaa siis vain sitä, että valosignaali muuttuu pienesti joko punaisemmaksi liikkeessaan kohti, tai sinisemmäksi loitontuessaan havaitsijasta. Esimerkki Doppler-ilmiötä hyödyntävästä mittalaitteesta näkyy kuvassa 5.



KUVA 5. Doppler-pintanopeusmittari (MSE Surface Length Velocimeter 2024)

Mittauksessa laser jaetaan laitteessa kahteen osaan, ja nämä kaksi laseria kohtaavat mitattavalla pinnalla. Laserien kohdatessa mitattavalle pinnalle syntyy raitallinen valokuvio aaltosignaalien häiritessä toisiaan, koska laserien aallonpituuudet ovat täsmälleen samat. Laserien on oltava täysin samanlaiset, joten kahden erillisen laserin käyttö ei toimi, vaan yksi laser on jaettava kahteen osaan. Kun pinta, tai tarkemmin pinnassa olevat pienet epätasaisuudet liikkuvat tämän raitakuvion läpi, ne heijastavat valoa sensoriin tietyllä tavalla. Yksityiskohdat voivat olla todella pieniä mittauksen vielä toimiessa. Pintanopeus voidaan lukea kahdesta laserista heijastuvien valosignaalien aaltopituuden eroavaisuudella mittarissa olevien sensorien ja älyn avulla. (MSE How an LDV/LDA works 2024)

Ongelmina tässä mittaustavassa on tuotteiden erittäin kallis hinta, häiriöherkkyys ja suuri koko. Erityisesti paperitehtailla olosuhteet koneen lähetyvillä voivat aiheuttaa pahaa häiriötä optisiin mittauksiin. Pöly, höyry, värinä ja vesi mitattavalla pinnalla vääristävät mittaustulosta ratkaisevasti tämän vaihtoehdon poissulkemiseksi. Hinnaltaan nämä laitteet liikkuvat 15 000–25 000 € luokissa, joten muutamien satasen takometri on huomattavasti kannattavampi vaihtoehto. Ehkä ajan kuluessa ja tekniikan kehittyessä vastaavien laitteiden hinnat halpenevat, jolloin kyseinen mittaustapa voi olla vaihtoehtona toimiva.

Tämän hintainen laite voisi olla kannattava, jos laitetta tarvittaisiin koneen joka-päiväisessä käytössä ja laitteen voisi vaikka myydä osana projektia, jolloin laite pysyisi asiakkaan omistuksessa. Tässä satunnaisessa käytössä, eli pelkästään käyttöönottaessa paperikoneen kymmenien vuosien elinkaaren aikana kulut ovat turhan suuret.

Myös laitteen ominaisuudet estävät laitteen sujuvan käytön liikuteltavassa käytössä. Kooltaan laite itsessään on melko pieni, mutta laitteella ei voi mitata sitä kädessä pitäen, jolloin laitteen käyttöön tarvitaan esimerkiksi jokin kolmijalkavirtelmä sekä akku. Laitteessa ei myöskään ole integroitua näyttöä, vaan tulosten lukemiseksi laite kytketään tietokoneeseen tai vastaavaan laitteeseen. Tämänlaisen laitekokonaisuuden kantaminen koneen läheisyydessä aiheuttaa jo niin paljon lisätyötä ja erilaisia riskejä, että ne kumoavat laitteen hankintasyyn, eli turvallisuuden parantamisen.

4.4 Muita optisia mittauksia

Myös halvempia ja liikuteltavampia optisia mittaustapoja löytyy markkinoilta, muun muassa kädessä pidettäviä stroboskooppeja tai optisia takometrejä. Stroboskoopit toimivat tiheätaajuisen valon välkkeen analysoinnilla. Valon taajuutta säädetään siten, että optinen merkki näyttää pysyvän paikallaan, jolloin stroboskooppi kertoo valon taajuuden, ja näin myös mitattavan kohteen kierrosnopeuden. Optiset takometrit toimivat vain yhden laserin avulla, ja saavat mitattavaan pintaan kiinnitettävästä heijastavasta teipistä takaisin heijastuvan signaalin pyöritystä kierroksesta. Laitteessa oleva sensori lähettää tiedon signaalista prosessorille, joka laskee saadut signaalit ajan suhteen ja muuntaa tämän nopeudeksi. Toiminta on siis tavallaan yksinkertaistettu muoto ylempänä mainitusta Dopplermittauksesta. Esimerkki optisesta takometristä on esitetty kuvassa 6, jossa näkyy Valmet Fabricsilla käytössä oleva itse rakennettu optinen takometri. Tämä on rakennettu samalla tyylillä heidän aiemmin mainitun kosketuksellisen versionsa kanssa, eli käyttäen Arduino-mikroprosessoria mittaussignaalin prosessointiin. Tähän versioon on vaihdettu vain mittauksen tekevä tekniikka optiseen.



KUVA 6. Valmet Fabricilla käytössä oleva optinen takometri (Kuva: Juha Tapio Nieminen, muokattu)

Ongelmana sekä optisten takometrien, että stroboskooppien kanssa on heijastavan teipin tai muun optisen merkin tarve mitattavassa pinnassa. Tämän merkin asettaminen voi joissakin tilanteissa olla mahdotonta esimerkiksi kuuman tai kostean pinnan takia. Kone pitäisi myös pysäyttää aina merkin asettamista varten turvallisuuden takaamiseksi, joka aiheuttaisi käyttöönotoissa turhia viivästyksiä muutenkin kiireellisessä ympäristössä. Näitä mittaustapoja koskee myös samat vaativiin tehdasolosuhteisiin liittyvät ongelmat kuin aiemmin mainittua Dopplermittausta. Mitattava arvo on myös väärä, sillä nämä mittalaitteet mittaavat kierrosnopeutta pintanopeuden sijasta.

Kierrosnopeuden avulla voidaan kyllä laskea pintanopeus telan halkaisijan avulla, mutta harmittavan usein tehtailla tämän halkaisijan selvittely on syystä tai toisesta kovin hankalaa. Telan ympärysmitta voitaisiin myös mitata mittanauhalla, mutta tämäkin on useissa tilanteissa mahdoton toteuttaa. Tässä tulisi myös kiinnittää erityistä huomiota mittanauhan suoruuteen, jotta saadaan mittauksesta tarpeeksi tarkka. Joissakin osissa halkaisija voi myös vaihdella hieman eri kohdissa, jolloin juuri helpoimmasta kohdasta ympärysmittan mittausta ei edes toimisi.

5 TYÖVAIHEET

5.1 Tutkimustyö

Projektin tutkimustyö aloitettiin perehtymällä käytössä olleeseen takometriin, sekä sen käyttökohteisiin, puutteisiin ja käyttötarkoitukseen. Perehtymiseen käytettiin itse takometrin lisäksi internet-lähteitä ja käyttäjien haastatteluja. Sain myös vapaaseen käyttöön edellä mainitussa läheltä piti -tilanteessa vaurioituneen takometrin, jonka sisuksia pääsin tutkimaan toimintaperiaatteeseen tutustuakseni, sekä rakentamaan uutta prototyyppiä samaan runkoon.

Kun käytössä ollut takometri oli tullut tutuksi, alkoi muihin olemassa oleviin pintanopeuden mittaukseen soveltuviin laitteisiin tutustuminen. Erilaisia laitteita löytyi jonkin verran, mutta loppujen lopuksi vaatimukset täyttäviä ja olosuhteisiin sopivia tuotteita oli tarjolla melko niukasti. Vaatimuksista ja ominaisuuksista käytiin keskustelua myös asiantuntijan kanssa. Kuten aiemmin mainittu, joissakin paikoissa, esimerkiksi Valmetin Yrittäjänkadun toimipisteessä viirankutojilla on käytössään itse rakennettuja takometreja heidän käyttötarkoituksiinsa turvallisuuden parantamiseksi. Pääsin myös näihin tutustumaan. Takometrin käyttäjät kertoivat myös nähneensä tehtailla käyttöönotoissa eri yritysten työntekijöillä erilaisia itse rakennettuja jatkovarsivirityksiä käsitaakometreihin, esimerkiksi roskankerääjästä.

5.2 Lopullisen tuotteen valinta

Pitkän pohdinnan ja selvittelyn jälkeen päädyttiin muokkaamaan nykyistä mitta-laitetta turvallisemmaksi sen korvaamisen sijaan. Tähän päätökseen vaikuttivat asiantuntijan haastattelu, käyttäjäkokemukset, laitteen tarkat vaatimukset, koko sekä hinta. Lopulliseksi tuotteeksi päätettiin rakentaa nykyiseen takometriin so-piva jatkovarsi. Tämä ratkaisu sai inspiraatiota tehtailla nähdyistä itse rakennetuista virityksistä, sekä Valmet Fabricilla käytössä olleista itse rakennetuista mit-talaitteista. Jatkovarsi turvallistaa mittausta antamalla mittaajalle etäisyyttä ko-neeseen, sekä poistamalla tarpeen työntää kättä koneen väliin, tai kurkotella mit-

tauksen suorittamiseksi. Varrellinen takometri on myös vakaampi ja helpompi pitää suorassa kaksin käsin kiinni pitämällä ja mittaajan asentoa helpottamalla. Tämän lisäksi takometri on vuosien saatossa todettu luotettavaksi ja tarkaksi mittaustavaksi tehtaiden vaihtuvissa ja vaativissa olosuhteissa. Tarkkuuden osalta virheen on pysyttävä noin 1 m/min sisällä, joka karsi varsinkin optisia ja itse rakennettuja mittareita pois.

Päädyimme tulokseen, että työtä varten rakennetaan prototyyppi, jonka käytöstä kerätään käyttäjäkokemuksia sekä palautetta, ja näiden avulla kehitetään prototyyppiä myöhemmin paremmaksi. Lopulta tiimin kaikkiin takometreihin olisi tarkoitus saada jatkovarsi turvallistamaan työskentelyä ja mittauksia tehtailla.

5.3 Rakentaminen ja muokkaus

Päädyttyäni jatkovarsiratkaisuun alkoi itse jatkovarren suunnittelu, kehitys ja rakentaminen. Täysin valmista työn suunnitelmaa ei rakentamisen alussa ollut, vaan suunnitelmat muuttuivat ja kehittyivät työn edetessä ja uusien osien löytyessä ja erilaisten kokeilujen seurauksena. Projektiin oli myös annettu varsin vapaat kädet, joka oli sekä hyvä, että huono asia. Hyvä asia sinänsä, että projektissa pääsi vapaasti valitsemaan oman parhaan näkemyksensä asioista, mutta huono siksi, koska projektiin ei ollut mitään valmista mallia ja kaikki suunnittelu ja osien etsintä hoidettiin työn tekijän puolesta, joka osaltaan venytti projektia.

Varren vaatimukset olivat seuraavanlaiset:

- Tarpeeksi vankka rakenne, jotta mittauksia voidaan tehdä teollisuusympäristössä kovissakin nopeuksissa, eikä varsi aiheuta lisävaaraa epävakaudellaan.
- Sähköinen mittaussnappi varren toisessa päässä, jolloin saadaan pidettyä takometrin toiminta täysin ennallaan.
- Pienehkö ja kevyt pakkauskoko, jotta varsi voidaan kuljettaa helposti tehtaalle myös ulkomaille esimerkiksi matkalaukussa.
- Tarpeeksi pituutta, jotta varresta saadaan hyöty irti.
- Säädettävä kulma takometriin, jotta mittauksia voidaan tehdä korkealta tai sivusta.

Päädyin vartta valitessa teleskooppisäätöön sen helpon säädön takia, sekä varren päähän sijoitettavaan kulman säätöön, jolloin takometriä voidaan käyttää entistä monipuolisemmin mittaamaan esimerkiksi korkeista paikoista. Kuvissa 7 ja 8 on esitelty lopullisen varren säätöominaisuuksia. Molemmat säädöt toimivat nappia painamalla. Teleskooppisäädössä nappi painetaan alas, jolloin voidaan vetää vartta pidemmäksi. Kulman säädössä nappi painetaan alas, jolloin voidaan säätää takometrin kulmaa oikealle tai vasemmalle 90 astetta.



KUVA 7. Varren teleskooppisäätö (Kuva: Otto Uusinoka)



KUVA 8. Takometrin mittauskulman säätö (Kuva: Otto Uusinoka)

Jatkovarren löydyttyä alkoi napin mallintaminen varren päähän. Nappi vaihtui takometrin vanhasta ja heiveröisestä napista parempaan ja suurempaan nappiin, jolloin mittauksen suorittaminen on helpompaa ja varmempaa. Napin ohjaussignaali johdettiin varren päästä takometriin joustavalla, eli kierrettyllä kaapelilla. Näin kaapeli saatiin asennettua varren sisään, jolloin se ei aiheuta vaaraa varren ulkopuolella esimerkiksi tarttumalla kiinni erilaisiin osiin tehdasympäristössä.

Vanhalle napin paikalle takometriin asennettiin liitin, jolloin varsi ja sen sisällä oleva johto on mahdollista irrottaa takometristä erilleen kuljetusta varten tehden kuljetettavuudesta helpompaa. Muutos on esitetty kuvassa 9. Liittimen koskettimet juotettiin johdinten kautta samoihin piirilevyn reikiin, jossa vanhassa kokonpanossa mikrokytkin sijaitsi, ja piirilevystä yhteys johdettiin varren päähän mikrokytkimelle uuteen sijaintiin liittinten ja kaapelin avulla. Käytännössä siis nappi ja piirilevyn väliin lisättiin vain etäisyyttä, jolloin takometrin toiminnot pysyivät täysin ennallaan. Liitin kiinnitettiin takometrin runkoon ruuveilla vankan kiinnityksen takaamiseksi. Komponenttien juotokset sekä rungon ja varren muutokset tehtiin käsin opinnäytetyön tekijän toimesta.



KUVA 9. Liitin sijoitettuna vanhan kytkimen paikalle piirilevyn (Kuva: Otto Uusio)

Kytкин kiinnitettiin varren toiseen päähän napin rungossa valmiiksi olevalla kiinnityksellä varren päässä olevaan tulppaan sekä vedonpoisto tehtiin kaapelille varren sisään molempiin päihin, jotta juotoksiin ei synny vetoa ja rasiutusta vartta säädettäessä. Varren päähän asennettiin myös kahva mukavampaa työskentelyä, ja

helpompaa mittauksen suoritusta varten. Laitteella mittaus toimii varren päässä olevaa mittanappia painamalla. Takometriä ei tarvitse erikseen laittaa päälle, vaan se käynnistyy suoraan napista. Nappia painetaan pohjassa mittauksen ajan. Kun ollaan tyytyväisiä mittaustulokseen, päästetään napista irti, jolloin viimeisin mittaustulos jää näytölle näkyviin. Näytöllä näkyvä mittaustulos päivittyy noin sekunnin välein.

Kun takometrin tekniikka ja varren ominaisuudet olivat muokattu valmiiksi, takometri kiinnitettiin varren päähän tarpeeksi tukevasti ruuvikiinnityksellä takometrin peräpäässä oleviin ruuvireikiin. Valmis turvallistettu mittalaite on esitettynä kuvassa 10. Kuvassa varsi ei ole täydessä mitassaan, eli teleskooppisäädöllä varren saa entistäkin pidemmäksi, jotta turvallinen mittaus on mahdollista.



KUVA 10. Valmis turvallistettu mittalaite (Kuva: Otto Uusinoka)

Varrelle tehtiin myös lyhyt käyttöohje, joka kulkee takometrin mukana sen kuljetuslaatikossa. Ohjeessa ohjeistetaan käyttäjät turvalliseen mittaukseen. Käyttöohje on hyvä lisä uusille kokemattomille käyttäjille, sekä hyvää kertausta kokeneemmille käyttäjille. Se myös tutustuttaa käyttäjän uuteen varteen ja sen ominaisuuksiin, jotta niistä saadaan kaikki hyöty irti. Varren ohje löytyy työn lopusta liitteestä 2.

5.4 Testaus ja käyttöönotto

Varren sekä kytkentöjen testausta tehtiin koko projektin ajan varmistaen laitteen toiminta joka vaiheessa. Testaus oli myös osa kehitystyötä, sillä suunnittelu- ja kehitysprosessi oli enemmän kokeellinen, eli uudet ominaisuudet kehitettiin kokeilemalla eri asioita. Kuvassa 11 näkyy takometrin toiminnan testausta liittimen takometrin piirilevyyn juottamisen jälkeen. Tässä vaiheessa testauksella pyrittiin testaamaan takometrin oikea toiminta juotostöiden jälkeen. Laite oli siis käynnissä onnistuneesti ensimmäisen kerran juotostöiden jälkeen.

Pienenhkö säikähdys tapahtui kyseisessä tilanteessa, kun testauksen jälkeen laitteessa ollut paristo kuumentui tulikuumaksi testin aikana, mutta syyksi todettiin vain viallinen paristo, sillä uusilla paristoilla tätä ei enää tapahtunut.



KUVA 11. Takometrin testausta väliaikaisella kytkimellä (Kuva: Otto Uusinoka)

Valmiin varren testausta tehtiin erilaisilla kestävyyskokeilla ja toiminnallisuuskokeilla, joiden perusteella tuote todettiin toimivaksi. Tuotetta ei päästy testaamaan vielä tositoimissa tehtaalla käyttöönotossa, koska sopivaa käyttöönottoa ei osunut tämän opinnäytetyön aikaikkunaan. Käyttäjiltä uusi mittalaite sai kuitenkin positiivisen vastaanoton.

6 POHDINTA

Työn tavoitteena oli siis turvallistaa Valmetin käyttöjenohjaustiimin käyttämää pintanopeuden mittaustapaa. Valmis menetelmä jää tiimin käyttöön keräämään käytännön kokemuksia, joiden pohjalta rakennetaan tiimin kaikkiin takometreihin vastaava laite työskentelyn turvaamiseksi.

Mittausta turvallistettiin rakentamalla jatkovarsi, jolla saadaan mittauksen suorittaja kauemmaksi vaaratekijöistä, parannettua mittaajan asentoa mittauksia tehdessä sekä vakautettua mittalaitetta mittauksen aikana. Lisäksi varren ja takometrin käytöstä tehtiin ohje kertomaan varren ominaisuuksista sekä ohjaamaan käyttäjää turvalliseen työskentelyyn, jolloin riskiarviossa huomioidut puutteet ja riskit ovat korjattu.

Turvallisemman mittaustavan kehityksessä päästiin tutustumaan perinpohjaisesti pintanopeuden mittalaitteisiin, kuulemaan käyttäjien ja asiantuntijoiden mielipiteitä laitteen vaatimuksista, tutustumaan uuden tuotteen suunnitteluprosessiin sekä luomaan uusi prototyyppi turvallisempaan työskentelyyn.

Työn jatkokehityksenä takometriin voitaisiin kehittää nappi jo valmiiksi asennettuun liittimeen yhdistettäväksi, jolloin takometriä voidaan käyttää tarvittaessa entisessä muodossaan. Liitintä voisi myös kehittää hieman pienemmäksi, sen ollessa nyt melko suurikokoinen. Takometrin kulman säätöä voisi kehittää vakaammaksi, sillä siinä on tällä hetkellä hiukan ylimääräistä liikettä sen ollessa lukittuna. Varren päässä sijaitseva kahva kaipaa myös pientä viilausta.

Osia voisi valmistaa esimerkiksi 3D-tulostimella, jota tähän projektiin ei käyttöön löytynyt. Lisäksi jatkovarren valmistusprosessin ja osat voisi dokumentoida helpoon ohjeeseen, jonka perusteella vastaavanlainen varren valmistus onnistuisi keneltä tahansa. Varsia voidaan näin valmistaa helposti suurempia määriä tiimin muita takometrejä varten.

LÄHTEET

Valmet Oy. 2024. Valmet lyhyesti. Verkkosivu. Viitattu 30.01.2024.

<https://www.valmet.com/fi/valmet-yrityksena/valmet-lyhyesti/>

Valmet. Automation Systems Business Line. 2023. Yrityksen intranet. Viitattu 27.03.2024. Vaatii käyttöoikeuden.

Aalto. 2023. Sähkökäytöt. Verkkosivu. Viitattu 07.02.2024.

<https://www.aalto.fi/fi/sahkotekniikan-ja-automaation-laitos/sahkokaytot>

KnowPap. 2024. Yleistä rainanmuodostuksesta. Verkkosivu. Viitattu 03.04.2024.

https://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_technology/paper_machine/forming/1_forming/frame.htm

KnowPap. 2024. Paperikoneen puristusosa - yleistä. Verkkosivu. Viitattu 03.04.2024.

https://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_technology/paper_machine/press_section/0_pmps_general/frame.htm

KnowPap. 2024. Paperikoneen kuivatusosa - yleistä. Verkkosivu. Viitattu 03.04.2024.

https://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_technology/paper_machine/drying_section/1_introduction/frame.htm

KnowPap. 2024. Jälkikäsitteily – tiivistelmä. Verkkosivu. Viitattu 03.04.2024.

https://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_technology/00_general_finishing/frame.htm

Valmet. 2024. Sanasto. Verkkosivu. Viitattu 08.04.2024.

<https://www.valmet.com/fi/sijoittajat/valmet-sijoituskohteena/ukk-ja-sanasto/sanasto/>

Forest. n.d. LWC-paperi (Light weight coated paper) Verkkosivu. Viitattu 04.04.2024.

<https://forest.fi/fi/sanasto/lwc-paperi-light-weight-coated-paper/>

KnowPap. 2024. Päälystetyn hienopaperin tuotantolinja. Verkkosivu. Viitattu 04.04.2024.

https://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_technology/paper_machine/4_fine/hienopaperikone_35753_img.htm

Ovidiu Neamtu. 2009. Digital Signal Processor System for AC Power Drivers. Journal of Electrical and Electronics Engineering. Viitattu 04.04.2024.

https://www.researchgate.net/publication/40422586_Digital_Signal_Processor_System_for_AC_Power_Drivers

MSE. 2024. Surface Length Velocimeter. Verkkosivu. Viitattu 09.04.2024.

<https://measurementsci.com/products/slv-surface-length-velocimeter/>

MSE. 2024. How an LDV/LDA works. Verkkosivu. Viitattu 07.03.2024.

<https://measurementsci.com/how-an-ldv-lda-works/>

LIITTEET

Liite 1. Riskimatriisi, Valmet

Riskimatriisi					
Ei-toivotun tapahtuman	Seurausten vakavuus, V				
Todennäköisyys, T	1. Vähäinen	2. Lievä	3. Huomattava	4. Vakava	5. Erittäin vakava
1. Hyvin epätodennäköinen	1 Mitätön riski	2 Mitätön riski	3 Vähäinen riski	4 Vähäinen riski	5 Vähäinen riski
2. Epätodennäköinen	2 Mitätön riski	4 Vähäinen riski	6 Kohtalainen riski	8 Kohtalainen riski	10 Kohtalainen riski
3. Lievästi todennäköinen	3 Vähäinen riski	6 Kohtalainen riski	9 Kohtalainen riski	12 Merkittävä riski	15 Merkittävä riski
4. Melko todennäköinen	4 Vähäinen riski	8 Kohtalainen riski	12 Merkittävä riski	16 Merkittävä riski	20 Sietämätön riski
5. Hyvin todennäköinen	5 Vähäinen riski	10 Kohtalainen riski	15 Merkittävä riski	20 Sietämätön riski	25 Sietämätön riski
Riskin suuruuden arviointi					
	Määritelmä				
Tapahtuman todennäköisyys, T					
1. Hyvin epätodennäköinen	Vaaralle tai vaaratekijälle altistutaan harvemmin kuin kerran vuodessa.				
2. Epätodennäköinen	Vaaralle tai vaaratekijälle altistutaan muutamia kertoja vuodessa.				
3. Lievästi todennäköinen	Vaaralle tai vaaratekijälle altistutaan viikottain, vaaratilanteita on sattunut.				
4. Melko todennäköinen	Vaaralle tai vaaratekijälle altistutaan päivittäin, yksittäisiä tapaturmia on sattunut.				
5. Hyvin todennäköinen	Vaaralle tai vaaratekijälle altistutaan jatkuvasti, useita tapaturmia on sattunut.				
Seurausten vakavuus, V					
1. Vähäinen	FA, Ensiapu - lievä ja tilapäinen vaikutus terveyteen tai ympäristöön.				
2. Lievä	MT, Lääkinnällinen toimenpide - tilapäinen vaikutus terveyteen tai ympäristöön.				
3. Huomattava	LT1, 1 - 3 päivän sairauspoissaolo - lievä pitkäaikainen vaikutus terveyteen tai ympäristöön.				
4. Vakava	LT4, yli 3 päivän sairauspoissaolo - vakava pitkäaikainen vaikutus terveyteen tai ympäristöön, pysyvä vaikutus terveyteen tai ympäristöön.				
5. Erittäin vakava	Yli 30 päivän sairauspoissaolo, ammatitauti, vakava pysyvä vaikutus terveyteen tai ympäristöön, työkyvyttömyys, kuolema.				
Riskin merkittävyyden arviointi					
Riskiluokka	Toimenpiteet				
1 - 2 Mitätön riski	Toimenpiteitä ei tarvita.				
3 - 5 Vähäinen riski	Erityisiä toimenpiteitä ei välttämättä tarvita. Tilannetta on seurattava, jotta riski pysyy hallinnassa.				
6 - 10 Kohtalainen riski	Riskiä on pienennettävä niin pieneksi kuin käytännössä mahdollista (ALARP = as low as reasonable practicable). Toimenpiteet on mitoitettava ja aikataulutettava. Tilannetta on seurattava, jotta riski pysyy hallinnassa. Mikäli riskiin liittyy erittäin haitallisia seurauksia, tarkempi lisäarviointi on tarpeen.				
11 - 19 Merkittävä riski	Riskin pienentäminen on välttämätöntä. Toimenpiteet on mitoitettava ja aikataulutettava mahdollisimman nopeasti, riskialtis toiminta on lopetettava hallitusti ja viivyttämättä eikä sitä saa jatkaa tai aloittaa, ennen kuin riskiä on pienennetty hyväksyttävälle tasolle.				
20 - 25 Sietämätön riski	Riskin pienentäminen on välttämätöntä. Toimenpiteet tulee aloittaa välittömästi. Riskialtis toiminta tulee keskeyttää eikä sitä saa aloittaa, ennen kuin riski on poistettu tai riskiä on pienennetty hyväksyttävälle tasolle.				

Liite 2. Lyhyt käyttö- ja turvallisuusohje takometrille

1 (2)

Pakkaaminen

Takometrin pakkaaminen tapahtuu irrottamalla liitin takometrin kyljestä painamalla nappia sekä vetämällä. Takometri irrotetaan varresta avaamalla varren alapuolella oleva ruuvi takometrin kiinnityskappaleesta sekä vetämällä kappale irti varresta. Mittapyörä vielä irti akselista ja näin laite mahtuu laatikkoon

Turvallisuus

Takometrilla mitatessa on hyvä mieltä tarkkaan mittauspaikat. Vältä mittausksia esim. nielun puolelta, jossa telat pyörivät sisänäpäin. Välin ollessa ahdas ole erityisen tarkkaavainen. Jos mittaat varren kanssa, varmista että varren säadöt ovat kunnolla lukittuna, ja pidä varresta tukevasti kaksin käsin kiinni. Älä ota turhia riskejä, ja huomioi ympäristön riskitekijät, esim. liukkaat tasot.

Lyhyt käyttö- ja turvallisuusohje takometrille



Valmet 

2 (2)

Varren pituuden säätö

Varren pituutta säadötän painamalla varren alapuolella olevaa painiketta, sekä vetämällä teleskooppivartta pidemmäksi. Varmista että varsi lukittuu kunnolla, eli painike palaa takaisin ylläasentoon →

**Mittanappi**

Laite käynnistyy suoraan mittanappia painamalla. Mittauksessa nappi painetaan pohjaan, kunnes haluttu mittaustulos on saavutettu, jolloin nappi voidaan vapauttaa. Viimeisin mittaustulos jäe näkyviin näytölle →

**Kulman säätö**

Mittauskulman säadötän tapahtuu painamalla nivelessä sijaitseva nappi pohjaan, ja väntämällä takometriä joko vasemmalle, tai oikealle. Varmista myös täsä kulman lukittuminen ←

**Nappien toiminta**

Takometrin naamataulussa olevalla valitsimella voidaan valita mitattava arvo. Valitsimen alapuolella olevalla napilla voidaan tarkastella edellisen mittauksen eri mittaustuloksia kuten mittauksen suurin ja pienin arvo, sekä viimeisin arvo ←