



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Marko Kauppi

Konenäön hyödyntäminen paperikonelinjalla

Opinnäytetyö

Syksy 2023

Insinööri (ylempi AMK), Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (ylempi AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto:

Tekijä: Marko Kauppi

Työn nimi: Konenäön hyödyntäminen paperikonelinjalla

Ohjaaja: Niko Ristimäki

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 68

Liitteiden lukumäärä: 0

Tutkimuksen tavoitteena oli löytää ja kehittää kohdeyritykselle kohteita, joissa konenäkötekniikkaa voitaisiin hyödyntää tuotannon tehostamiseen, ja laadun parantamiseen. Työ toteutettiin Billerudin Pietarsaaren paperitehtaalle ja tutkimus piti sisällään paperikoneen lisäksi myös paperin jälkikäsitteilyn. Työssä tutkittiin paperikoneen lisäksi myös pituusleikkuriin ja pakkauslinjastoon liittyviä mahdollisia konenäön käyttökohteita.

Työssä käytiin läpi 2D- ja 3D-konenäköjärjestelmien teoriaa ja toimintaperiaatteita. Pääasiallisesti tutkimuskohteeksi työssä muodostui tehtaalle juuri hankittuun konerullan vesivaihtojärjestelmään liittyvä vaihdon onnistumisen valvonta. Tämän lisäksi työssä tutkittiin useita muita järjestelmiä, joissa konenäkötekniikkaa voitaisiin hyödyntää. Tutkimukset suoritettiin käyttäen SICKin valmistamaa 2D-älykameraa, ja niissä hyödynnettiin laajasti erilaisia konenäön mahdollistamia tarkastusominaisuuksia.

Tutkimuksen tuloksena saatiin kehitettyä luotettava tunnistusmenetelmä epäonnistuneiden konerullan vaihtotilanteiden tunnistamiseen. Vaihtotilanteiden varmistukseen liittyen suunniteltiin myös ohjausjärjestelmän vaatimia toimintamuutoksia epäonnistuneessa vaihtotilanteessa. Tämän lisäksi löydettiin myös muita kohteita, joissa paperikonelinjalla voitaisiin hyödyntää konenäkötekniikkaa. Tutkimuksessa tutkittiin konenäön hyödyntämistä pakkaamolinjalla, valmistuvan konerullan mittauksessa, pituusleikkurin hylsyn tunnistuksessa sekä paperikoneen katkovalvonnassa.

¹ Asiasanat: konenäkö, laadunvarmistus, paperikone

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Master of Engineering, Automation Engineering

Specialisation:

Author: Marko Kauppi

Title of thesis: Utilization of machine vision in paper production

Supervisor: Niko Ristimäki

Year: 2023

Number of pages: 68

Number of appendices: 0

The subject of the thesis was to study the utilization of machine vision systems in paper production at the Pietarsaari paper mill. The focus of the thesis was to find and develop areas where machine vision technology could be used to enhance production and to improve quality. The study also included examining possible applications for machine vision monitoring in paper finishing, winding, roll handling and roll wrapping.

The thesis covered the theory and operating principles of 2D and 3D machine vision systems. The main research object in the work was developing a reliable monitoring system for the Valmet WaterJet Turn-up reel change system that had just been acquired for the factory.

Several other positions were also investigated where machine vision technology could be used. The studies were carried out using a 2D smart camera manufactured by SICK.

As a result of the research several positions were found where machine vision technology could be utilized. A reliable inspection method was developed and implemented for the Valmet WaterJet Turn-up reel change system. The development of the reel change control sequence for the process control system was also included in the thesis.

¹ Keywords: machine vision, quality control, paper machine

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	2
Thesis abstract	3
SISÄLTÖ	4
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo	7
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	9
1 JOHDANTO	10
1.1 Työn tausta	10
1.2 Työn tavoite ja tutkimuskysymykset	10
1.3 Työn rakenne	11
1.4 Yritysesittely	11
2 KONENÄKÖ.....	13
2.1 Konenäön hyödyntäminen.....	13
2.2 Erilaisia kamerajärjestelmiä.....	14
2.2.1 PC-pohjainen järjestelmä.....	14
2.2.2 Älykamera.....	15
2.2.3 Sulautettu järjestelmä	15
2.3 Konenäkökameran toimintaperiaate.....	15
2.3.1 Optiikka.....	16
2.3.2 Kuvakenno.....	16
2.4 Tekniikan haasteet	17
3 KONENÄKÖTEKNIIKAT.....	18
3.1 2D- ja 3D-tekniikoiden eroavaisuudet.....	18
3.2 3D-Kamerat.....	18
3.3 3D-kuvausteknologiat.....	18
3.3.1 Stereokuvaus.....	19
3.3.2 Rakenteelliseen valaisuun perustuva 3D-kuvaus.....	19
3.3.3 Fringe.....	19
3.3.4 Kinect.....	20

3.3.5	Time of Flight	20
3.3.6	Depth from focus.....	20
3.4	Valaistus.....	21
3.4.1	Suora valaistus	21
3.4.2	Kupolivalaisin	21
3.4.3	Taustavalo (siluetti).....	22
3.5	Kalibrointi	22
4	PAPERIKONELINJA	23
4.1	Paperikone	23
4.1.1	Viiraosa	23
4.1.2	Puristinosa	23
4.1.3	Kuivatusosa	24
4.1.4	Rullain.....	25
4.2	Pituusleikkuri	25
4.3	Pakkaamo	26
5	TUTKIMUS.....	27
5.1	Käytettävän tekniikan valinta.....	27
5.2	Testilaitteisto	28
5.3	Testijärjestelyt	28
6	KONERULLAN VAIHDON ONNISTUMISEN VARMISTUS.....	29
6.1	Pope-rullain	29
6.2	Rullan vaihto.....	29
6.3	WaterJet Turn-up vaihtolaitteen toimintaperiaate	29
6.4	Vaihdon mahdolliset ongelmat	32
6.5	Kameran asennus	32
6.5.1	Kameran määrittely.....	33
6.5.2	Kameran testaus.....	35
6.6	Toiminta vaihdon epäonnistuessa	35
7	MUUT TUTKIMUSKOHTEET	38
7.1	Rullapakkaamo.....	38
7.1.1	Testausjärjestelyt.....	40

7.1.2	Kameran määrittely.....	41
7.1.3	Tulokset	42
7.2	Konerullan halkaisijan mittaus.....	45
7.2.1	Testausjärjestelyt.....	45
7.2.2	Kameran kalibrointi ja määrittely	46
7.2.3	Tulokset	48
7.2.4	Tiedonsiirto	51
7.3	Hylsykoodin tunnistus pituusleikkurilla	52
7.3.1	Testausjärjestelyt.....	53
7.3.2	Kameran määrittely.....	54
7.3.3	Tulokset	55
7.4	Ratakatkovalvonta.....	57
7.4.1	Testausjärjestely	58
7.4.2	Kameran määrittely.....	59
7.4.3	Tulokset	60
7.4.4	Käyttöolosuhteet	62
8	YHTEENVETO JA TULOKSET	63
8.1	Vaihdon onnistumisen valvonta.....	63
8.2	Muut tutkimuskohteet	63
8.3	Jatkokehitys.....	64
9	POHDINTA.....	65
	LÄHTEET	66

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. Pietarsaaren tehdasalue.....	12
Kuva 2. Leikatun kiilan pää tarttuneena tyhjän tampuuritelan pintaan.....	31
Kuva 3. Onnistunut levitys uuden tampuuritelan pinnalla.....	31
Kuva 4. Kameran asennuspaikka.....	33
Kuva 5. Tilanne ennen vaihtoa.....	34
Kuva 6. Tilanne onnistuneen vaihdon jälkeen.....	35
Kuva 7. Kuvakaappaus prosessinohjausjärjestelmästä.....	36
Kuva 8. Rullapakkaamon käärintäasema.....	39
Kuva 9. Rulla käärinnän jälkeen.....	39
Kuva 10. Testaus ruskealla rullalla.....	41
Kuva 11. Valkoinen rulla ilman päätylappua.....	43
Kuva 12. Valkoinen rulla päätylapun kanssa.....	43
Kuva 13. Ruskea rulla ilman päätylappua.....	44
Kuva 14. Ruskea rulla päätylapun kanssa.....	44
Kuva 15. Valmistuva konerulla.....	45
Kuva 16. Hylkyyn menevä konerulla aukirullaimella.....	46
Kuva 17. Kalibrointi mittausta varten.....	47
Kuva 18. Mittaus kohtisuoraan konerullan sivusta.....	48
Kuva 19. Konerullan halkaisija alkutilanteessa.....	49
Kuva 20. Mittaus viistosti konerullan sivusta.....	50

Kuva 21. Mittaus viistosti konerullan sivusta.....	51
Kuva 22. Ethernet output määrittelyt.....	52
Kuva 23. Leikkurin hylsynsyöttöjärjestelmä.	53
Kuva 24. Hylsykoodin tarkastuksen testausjärjestely.	54
Kuva 25. Onnistunut hylsykoodin tulkinta.	56
Kuva 26. Epäonnistunut hylsykoodin tulkinta.....	57
Kuva 27. Ruskea ja valkoinen paperinäyte viiraa vasten.....	58
Kuva 28. Paperin tunnistus viiraa vasten.....	59
Kuva 29. Pelkkä viira ilman paperia, joka vastaa katkotilannetta.....	60
Kuva 30. Valkoisen paperin tunnistus viiraa vasten.....	61
Kuva 31. Ruskean paperin tunnistus viiraa vasten.....	61
Kuvio 1. WaterJet Turn-up vaihtosekvenssi.....	30
Kuvio 2. Ohjelman toiminnan vuokaavio.....	37

Käytetyt termit ja lyhenteet

WIS	Web Inspection System. Paperiradan vikojen tarkkailuun käytettävä kamerapohjainen järjestelmä.
FTP	File Transfer Protocol. Tiedostojen siirtoon käytettävä protokolla.
I/O	Input/Output. Sisääntulon ja lähdön lyhenne.
Kaavari	Terä, jonka tehtävä on estää paperiradan kiertyminen telan ympärille ja puhdistaa telan pintaa.
Pulpperi	Laite, jossa kiinteässä muodossa oleva paperi hajotetaan ja lietetään pumpattavaan muotoon.
WaterJet Turn-up Device	Valmetin valmistama konerullan vaihtoon käytettävä laite. Tässä työssä laitteesta käytetään myös nimitystä vesivaihtolaite.
PLC	Ohjelmoitava logiikka.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta

Kohdeyrityksessä on meneillään hanke, jonka tarkoitus on tutkia digitalisaation mahdollistamia hyötyjä ja ottaa niitä käyttöön. Nykyisissä järjestelmissä on paljon mahdollisuuksia, joita ei yrityksessä ole vielä täysin hyödynnetty. Olemassa olevilta järjestelmiltä kerätään valtavat määrät dataa, jota ei tällä hetkellä hyödynnetä riittävän laajasti. Tavoitteena on lisäksi helpottaa koneen käyttöhenkilöstön työskentelyä automatisoimalla joitain työtehtäviä.

Tähän hankkeeseen liittyy vahvasti myös erilaiset konenäköjärjestelmät ja niiden mahdollistamat hyödyt. Ainoa järjestelmä, jossa konenäköä tällä hetkellä hyödynnetään, on paperiradan puhtauden ja vikojen valvonnassa käytettävä WIS-järjestelmä. Tämä järjestelmä koostuu 19 kamerasta, joilla valvotaan reaaliajassa koneelta valmistuvaa paperirataa. Järjestelmä tunnistaa pienetkin epäpuhtaudet, reiät tai muut vauriot ja luo niiden pohjalta automaattisesti kartan pituusleikkauksen jälkeen hylättävistä asiakasrullista.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on löytää ja tutkia uusia kohteita, joissa konenäköä voisi hyödyntää. Yrityksessä on ollut suunnitteilla yksi konenäkösovellus rullanvaihdon onnistumisen valvontaan. Tämän järjestelmän käyttöönotto ja testaus sisältyy tähän tutkimukseen. Lisäksi erilaisten testausjärjestelyiden avulla on tarkoitus tutkia muita mahdollisia käyttökohteita.

1.2 Työn tavoite ja tutkimuskysymykset

Tämän työn tavoitteena on tutkia, voidaanko konenäköjärjestelmillä suorittaa erilaisia valvontatehtäviä, jotka ovat tällä hetkellä pelkästään koneen käyttöhenkilöstön valvonnassa tai joita ei valvota tällä hetkellä ollenkaan. Lisäksi tutkitaan, voidaanko sillä korvata joitakin nykyisiä antureihin perustuvia toimintoja.

Työn tarkoitus on löytää vastaus seuraaviin tutkimuskysymyksiin.

- Mitkä ovat kohteet, joissa konenäköä voidaan hyödyntää ja millä tavoin?
- Voidaanko konenäköä hyödyntämällä parantaa konelinjan käyntivarmuutta?
- Saavutetaanko konenäön avulla parannusta laatuun ja tuotannon tehokkuuteen?

1.3 Työn rakenne

Johdannossa kerrotaan työn taustoista ja yrityksessä meneillään olevasta digitalisointihankkeesta. Johdannossa esitellään myös tutkimuskysymykset, joihin tämän työn on tarkoitus vastata.

Teoriaosuudessa kerrotaan yleisesti konenäkötekniikasta ja sen käyttömahdollisuuksista. Siinä kerrotaan myös konenäön perusteita liittyen kameran rakenteeseen, valaistukseen ja toimintaperiaatteeseen. Luvussa kerrotaan myös 2D- ja 3D-tekniikoiden eroavaisuuksista ja esitellään yleisimpiä 3D-tekniikoita. Teoriaosuudessa käsitellään myös paperikoneen ja paperikonelinjan eri osia ja rakennetta siinä laajuudessa, kuin se tämän työn ymmärtämisen kannalta on tarpeellista.

Tutkimusosiossa esitellään testilaitteisto ja kerrotaan tutkimukseen liittyvien testien suorittamisesta. Tämän jälkeen esitellään pääasiallinen tutkimuskohde, sekä muut työhön liittyvät tutkimuskohteet.

Viimeisessä luvussa on yhteenveto ja pohdinta työn tuloksista. Tässä pohditaan myös mahdollisia jatkokehityksiä.

1.4 Yritysesittely

Billerud on ruotsalainen metsäteollisuusyhtiö, joka on yksi maailman suurimpia pakkausmateriaalien, sellun ja erilaisten pakkausratkaisujen valmistajia (Billerud, 2022). Yrityksellä on yhteensä kahdeksan sellu- ja paperitehdasta Ruotsissa, Suomessa ja Yhdysvalloissa.

Ruotsin tehtaat sijaitsevat Gruvönissä, Frövissä, Gävlessä, Karlsborgissa ja Skärblackassa. Yhdysvalloissa tehtaat sijaitsevat Michiganin osavaltiossa Quinnesecissä ja Escabanassa. Suomen tehdas sijaitsee Pietarsaareissa (kuva 1). Konsernin liikevaihto on noin 3 miljardia euroa (2021) ja henkilöstöä on yhteensä noin 5800 henkeä. Pietarsaaren yksikössä työskentelee n. 120 henkilöä ja sen liikevaihto on noin 176 miljoonaa euroa (2021).

Pietarsaaren tehdas Suomessa on maailman johtava säkki- ja voimapaperin valmistaja (Billerud, 2022). Paperia käytetään muun muassa jauho- ja sokeripakkauksiin, paperikasseihin ja teknisiin sovelluksiin, kuten hiomapaperiin sekä paperi- ja riisikääreisiin. Tuotantokapasiteetti on n. 200 000 t / vuosi. Pietarsaaren tehtaalla valmistetaan kymmeniä eri paperilaatua neliömassa-alueella 55 g/m²–160 g/m².



Kuva 1. Pietarsaaren tehdasalue (Billerud, 2022).

2 KONENÄKÖ

2.1 Konenäön hyödyntäminen

Konenäön tavoitteena on saada kone näkemään ja ymmärtämään kameran kuvaamaa näkymää ja käyttää saatua tietoa hyväksi erilaisissa sovelluksissa (Pietikäinen & Silvén, 2021, s. 130).

Konenäkö voidaan jakaa perinteiseen sääntöpohjaiseen konenäköön ja koneoppimista hyödyntävään konenäköön (Hirvonen, 2020, s. 3). Perinteisessä konenäössä ihminen itse määrittää kameralle halutut säännöt kuvan tulkinnalle. Koneoppimista hyödyntävä järjestelmä taas oppii itse säännöt esimerkkinä syötetyistä kuvista. Perinteinen järjestelmä soveltuu tilanteisiin, joissa ihmisen on helppo määrittää säännöt tarkastukselle ja tarkastustehtävä on hyvin toistuvaa, kuten esimerkiksi kappaletavaravalmistuksessa yleensä on. Koneoppimiseen perustuva järjestelmä taas soveltuu kohteisiin, joissa ihmisen olisi hyvin vaikea määrittää vaadittavia sääntöjä kohteen tunnistamiseen. Koneoppimiseen perustuvan konenäön eräs käyttökohde on nykyään itsestään ajavat autot. Konenäköjärjestelmä voidaan tällöin opettaa tunnistamaan tiettyjä kohteita näyttämällä sille useita erilaisia kuvia niistä.

Eräs yleisimmistä sovelluskohteista perinteiselle konenäölle on ollut visuaalinen tarkastusteollisessa tuotannossa. Sen avulla saadaan sekä parannettua laatua että pienennettyä tuotantokustannuksia (Pietikäinen & Silvén, 2021, s. 156). Konenäköä hyödynnetään teollisuudessa laajalti myös robottien ohjauksessa. Nykyään konenäköä hyödynnetään hyvin laajalti muuallakin, kuin pelkästään teollisuudessa.

Visuaalisessa tarkastelussa konenäön avulla suoritettavat tehtävät voidaan jakaa neljään luokkaan ja usein on tarpeen yhdistellä eri tehtäviä (Nilsson & Murhed, 2015 s. 1):

- **Kappaleen paikoitus.** Paikoituksen avulla voidaan tunnistaa ja paikantaa kohteita, sekä mitata niiden koordinaatit.

- **Tarkastus.** Tarkastusta voidaan käyttää kappaleen laadun tarkastukseen. Sen avulla voidaan esimerkiksi tarkastaa kappaleen kaikkien osien paikoillaan olo, tai mahdolliset eroavaisuudet.
- **Mittaus.** Mittauksen avulla voidaan tarkastaa kappaleen mittoja, kuten leveyttä, pituutta ja korkeutta. Lisäksi sen avulla voidaan mitata kappaleen pinta-alaa ja tilavuutta.
- **Luku.** Lukemisen avulla voidaan kappaleesta tunnistaa tekstiä tai erityyppisiä viiva-koodeja.

2.2 Erilaisia kamerajärjestelmiä

Kaikissa käytettävissä kamerajärjestelmissä on sama perusperiaate, saada kuva kuvakennolta laskentayksikölle käsiteltäväksi (Hornberg, 2006, s. 427). Sama toimintaperiaate toistuu sekä PC-pohjaisessa järjestelmässä, älykamerassa sekä sulautetuissa kamerajärjestelmissä, ainoastaan niiden rakenne eroaa toisistaan.

Myös perinteisiin valvontakameroihin voidaan lisätä automaattisia älykkäitä tunnistustoimintoja, joiden avulla kuvasta voidaan tunnistaa haluttuja kohteita. Tästä tekniikasta käytetään nimitystä videoanalytiikka tai kuva-analytiikka (Bosch, 2021).

2.2.1 PC-pohjainen järjestelmä

PC-pohjaisessa järjestelmässä käytetään ulkoista kameraa kuvan ottamiseen, ja sen jälkeen kuva siirretään tietokoneelle käsiteltäväksi. Kamera liitetään yleensä käyttämällä erillistä liityntäkorttia ja nopeudeltaan riittävää kameraliitännäväylää. Käytettäviä väyliä voivat olla esimerkiksi Ethernet, USB, CoaxPress, FireWire tai CameraLink (Association for Advancing Automation (A3), i.a.). Kuvan tarkastusrutiinien ohjelmoinnissa käytetään yleensä konenäkökirjastoa (SuperAnnotate AI, 2023). Eri kirjastoja on saatavana sekä kaupallisenä että avoimeen lähdekoodiin perustuvana.

2.2.2 Älykamera

Älykamera eroaa PC-pohjaisesta järjestelmästä siten, että laskenta on integroituna kameraan, eikä erillistä tietokonetta tarvita (Hornberg, 2006, s. 703). Älykamerassa tietokonetta käytetään vain kameran ohjelmoinnissa. Kamerassa on valmiina yleisimmät käytettävät menetelmät, joita voidaan ohjelmoida graafisen käyttöliittymän avulla. Kameroissa on yleensä valmiina liittynät, joilla se voidaan liittää eri oheislaitteisiin tai automaatiojärjestelmiin. Kameraan voidaan ohjelmoida tarkastusrutiini ja liittää se suoraan ohjausjärjestelmään, esimerkiksi PLC:n I/O-tulokorttiin. Älykameran tulo- ja lähtökanaviin voidaan ohjelmoida eri toimintoja tarpeen mukaan.

Älykameroita on lisäksi saatavana perinteisten tuotantosovellusten lisäksi myös erikoisempiin sovelluksiin. Haastaviin tarkastustehtäviin voidaan valita esimerkiksi ultravioletti-valoon tai infrapunavaloon perustuva kamera, jolla saadaan tuotua kuvasta silmälle näkymättömiä asioita esiin.

2.2.3 Sulautettu järjestelmä

Sulautetussa järjestelmässä kamerana käytetään yleensä mikrokontrolleria ja siihen liitettyä kameramoduulia (Vision components, i.a.). Sillä saavutetaan pieni fyysinen koko ja hyvä muokattavuus tarpeiden mukaan. Ohjelmointi on joustavampaa kuin valmiita älykameroita käyttämällä, mutta se vaatii myös enemmän osaamista. Sulautetulla järjestelmällä voidaan saavuttaa myös pieni virrankulutus (Allied Vision, i.a.). Lisäksi sulautettu järjestelmä on mahdollista toteuttaa hyvin kustannustehokkaasti.

2.3 Konenäkökameran toimintaperiaate

Konenäkökameran toimintaperiaate eroaa tavallisesta kamerasta lähinnä kuvan käsittelyn kannalta. Kuvan ottaminen tapahtuu konenäkökamerassa samalla tavalla kuin perinteisessä digikamerassa. Kuvan ottamisen jälkeen kuva siirretään analysoitavaksi (Davies, 2005, s. 9). Analysoinnissa kuvasta etsitään määritettyjen sääntöjen mukaisesti haluttuja piirteitä ja ominaisuuksia. Ennen kuvan analysointia kuvalle voidaan tehdä vielä esikäsitteilyä, jossa siitä korjataan mahdollisia optiikan aiheuttamia virheitä.

2.3.1 Optiikka

Optiikka kerää kohteesta heijastuvan valon ja kohdistaa sen kameran kuvakennolle. Kameran optiikassa käytetään yleensä useita peräkkäisiä linssejä (Digifaq, 2011). Kuvakennon ja optiikan välissä on suljin, jonka aukon kokoa ja avautumisaikaa säätämällä voidaan päästää haluttu määrä valoa kuvakennolle. Aukon koon muuttaminen vaikuttaa myös kuvan syväterävyyteen (Kamerakoulu, i.a.). Suurella aukon koolla syväterävyysalue jää pieneksi, eli kuvan etualalla ja terävyysalueen takana olevat kohteet näkyvät sumeana. Myös polttoväli vaikuttaa syväterävyysalueeseen. Pitkällä suljimen avautumisajalla taas saadaan enemmän valoa kuvakennolle, mutta liikkuvista kohteista tulee sumeita.

Objektiivin polttoväliä muuttamalla voidaan vaikuttaa sekä kameran asennusetäisyyteen, että perspektiivieroon (Nasse, 2010). Pienellä polttovälillä, eli lyhyttä kuvausetäisyyttä käyttämällä kohteen perspektiiviero kasvaa ja pitkää polttoväliä ja etäisyyttä käyttäessä perspektiiviero pienenee. Optiikka aiheuttavaa kuvaan aina jonkin verran vääristymää. Korkealaatuista optiikkaa käyttämällä voidaan linssien aiheuttamia virheitä ja vääristymiä vähentää. Vääristymiä voidaan korjata kuvankäsittelyllä ja konenäköjärjestelmissä ne yleensä korjataan erilaisia kalibrointikuvia käyttäen (Pietikäinen & Silvén, 2021, s. 169).

2.3.2 Kuvakenno

Kuvakenno muodostaa optiikan kautta kuvasensorin pinnalle tulevasta valosta pikseleiden avulla sähköisen signaalin, joka muunnetaan A/D-muunnoksen avulla digitaaliseksi signaaliksi (LUCID Vision Labs, i.a.). Näitä piikennoista muodostuvia pikseleitä voi olla kuvakennossa miljoonia. Harmaatasokuvassa yksittäisellä pikselillä voi olla arvoja 255 (8 bittiä). Arvot vaihtelevat kirkkauden mukaan mustan ja valkoisen välillä. Värikuvassa täytyy jokaisella pikselillä olla arvot myös väreille. Yleisimmin käytetään RGB:tä, eli punaista, vihreää ja sinistä, joita yhdistelemällä saadaan muodostettua kaikki tarvittavat värisävyt. Pikseleiden määrää lisäämällä saadaan kuvan resoluutiota, eli erottelutarkkuutta kasvatettua. Resoluutio kertoo myös pikseleiden suhteen x- ja y-akseleilla.

2.4 Tekniikan haasteet

Monissa sovelluksissa hyödynnetään oppivaa konenäköä. Tämän tekniikan käyttöön liittyy myös riskejä (Pietikäinen & Silvén, 2021, s. 13). Mikäli järjestelmää opetetaan tarpeeksi oikeata muistuttavalla, mutta väärennetyllä datalla, voidaan järjestelmä saada tuottamaan vääriä tuloksia. Kriittisissä sovelluksissa, kuten lääketieteessä tai asejärjestelmissä tämä voi olla erittäin suuri ongelma. Myös itseohjautuvissa ajoneuvoissa riski väärinkäytölle on huomioitava.

Konenäköjärjestelmiä sovellettaessa on myös huomioitava yksityisyyden suojan tuomat vaatimukset. Mikäli kuvan käsittely tapahtuu vain itse laitteessa, tämä ei yleensä ole ongelma. Joissain tapauksissa, esimerkiksi kasvotunnistusta hyödyntävissä järjestelmissä tämäkin on syytä huomioida (Pietikäinen & Silvén, 2021, s. 14). Tencent Keen Security Labin maaliskuussa 2019 suorittamassa tutkimuksessa tutkittiin Teslan autopilotin luotettavuutta (Tencent Keen Security Lab, 2019). Testissä ajoneuvo saatiin kääntymään vastaan-tulijan kaistalle liimaamalla tiehen huomaamattomia kaistamerkintöjä muistuttavia tarroja. Tämän lisäksi olosuhteet, kuten häikäisevä valo, sade tai lumipyry voivat häiritä järjestelmän toimintaa.

3 KONENÄKÖTEKNIIKAT

3.1 2D- ja 3D-tekniikoiden eroavaisuudet

Useimmiten saman konenäkötehtävän voi suorittaa käyttämällä useita erilaisia tekniikoita (Nilsson & Murhed, 2015, s. 2). Erilaisia tekniikoita käyttämällä saavutetaan eri hyödyt. Tästä syystä eri tekniikoiden edut ja haitat on hyvä tuntea luotettavasti toimivaa konenäköjärjestelmää suunniteltaessa.

Kaikki aiemmassa kappaleessa mainitut neljä eri tehtävää pystyy pääsääntöisesti suorittamaan 2D-tekniikkaa käyttäen (Nilsson & Murhed, 2015 s. 2). Tästä syystä suurin osa järjestelmistä toteutetaan yleensä 2D-tekniikkaa hyödyntäen. 2D-tekniikka soveltuu paremmin kappaleen pinnan tekstuuriin lukemiseen ja se soveltuu tästä syystä paremmin kappaleen pinnan laaduntarkastukseen.

3D-tekniikalla pystytään paremmin tunnistamaan kappaleen muoto. Sen avulla voidaan tarkastella myös kappaleita, joissa on heikko kontrasti, mutta joiden pinnassa on tunnistettavia korkeuseroja. 3D-tekniikka soveltuu myös kappaleen tilavuuden mittaamiseen.

3.2 3D-Kamerat

3D-kuvausta voidaan käyttää esimerkiksi kappaleen tilavuuden ja sen piirteiden analysointiin, mikä olisi vaikea toteuttaa tavallisella 2D-kuvauksella (Leino ym., 2014, s. 39). 3D-kuvaukseen käytettävät laitteet ja ohjelmistot ovat kehittyneet paljon, eikä haastavienkaan analyysien tekeminen vaadi välttämättä enää ohjelmoinnin osaamista.

3.3 3D-kuvausteknologiat

3D-kuvausta voidaan tehdä useilla erilaisilla tekniikoilla (Leino ym., 2014, s. 39). Eri tekniikat eroavat toisistaan suuresti ja soveltuvat hyvin erilaisten kohteiden kuvaamiseen. Käytettävä tekniikka tulisi siis aina valita kuvattavan kohteen mukaan.

3.3.1 Stereokuvaus

Stereokuvaus perustuu samaan ajatukseen, kuin ihmisen silmien toiminta (Leino ym., 2014, s. 39–40). Kolmiulotteisen kuvan muodostamiseksi samaa kohdetta katsotaan hieman eri suunnista vähintään kahdella kameralla. Mikäli kohde on liikkumaton, voidaan käyttää myös yhtä kameraa, jonka paikkaa muutetaan. Kuvien yhdistämiseen käytetään tietokonetta, joka etsii kuvan hahmoista yhteisiä pisteitä ja niiden avulla yhdistää kuvat. Tämän tekniikan haasteena on kuvien saaminen eri suunnalta ja sopivien vastinpisteiden löytäminen niistä. Erityisesti toistuvia muotoja sisältävät pinnat ovat haastavia, koska niiden vastinpisteet voivat mennä sekaisin. Myös täysin tasaiset pinnat ovat haastavia, koska niistä ei välttämättä löydy sopivia vastinpisteitä.

3.3.2 Rakenteelliseen valaisuun perustuva 3D-kuvaus

Rakenteelliseen valaisuun perustuvassa 3D-kuvauksessa käytetään apuna geometrialtaan tunnettua valoa, joka on useimmiten laservalo (Leino ym., 2014, s. 40). Kuvauksessa valolla muodostetaan viiva, joka pysyy paikoillaan ja kohdetta liikutetaan sen alla. Vaihtoehtoisesti kohde voi pysyä paikoillaan, jolloin valaisinta tai kameraa liikutetaan. Valolla muodostetun viivan muoto muuttuu kohteen muotojen mukaan, ja näistä muutoksista pystytään analysointiohjelman avulla muodostamaan 3D-kuva. Valaisukuvio voi myös olla monimuotoisempi, jolloin kohdetta tai kameraa ei välttämättä tarvitse liikuttaa. Menetelmä on hyvin tarkka, mutta kuvattavan kappaleen pinnan ominaisuudet vaikuttavat sen onnistumiseen.

3.3.3 Fringe

Fringe-projektio perustuu rakenteelliseen valaisuun, jossa tietokoneen luoma fringe-kuvio heijastetaan projektorilla kappaleen pintaan (Leino ym., 2014, s. 41). Projisoitava kuvio koostuu esimerkiksi valkoisista ja mustista pystysuorista viivoista, jotka taittuvat kohteen muotojen mukaisesti. Vastinpisteiden kolmiomittausta hyödyntämällä saadaan tästä vääristyneestä fringe -kuvioista analysoitua kohteen 3D-kuva.

3.3.4 Kinect

Kinect on alun perin Microsoftin 360 pelikonsolille kehittämä teknologia, josta on nykyään saatavana myös Windowsille tarkoitettu versio (Leino ym., 2014, s. 41). Laite koostuu perinteisestä kamerasta ja mikrofonista, sekä 3D-kuvausteknologian mahdollistavasta infrapunavalonlähteestä ja infrapunavaloa kuvaavasta kamerasta. Infrapunavalonlähteellä muodostetaan tarkasti määritetty pisteikkö, josta kamera kuvaa pisteiden muodon ja sijainnin. Näiden avulla järjestelmä osaa analysoida, miten kaukana kohteen eri osat ovat kamerasta. Kineticin teknologiaan pohjautuvia laitteita on tullut monilta valmistajilta sen jälkeen, kun Microsoft luovutti sen kehitysoikeudet kehittäjien käyttöön.

3.3.5 Time of Flight

Time of Flight -kuvaustekniikka edustaa uusimpia kuvaustekniikoita (Leino ym., 2014, s. 41). Se perustuu valon kulkuajan laskentaan valonlähteeltä kohteelle ja siitä takaisin kameranalle. Periaate on siis sama kuin ultraääneen perustuvassa etäisyyden mittauksessa. Valon nopeus on erittäin suuri, joten kuvaustekniikka soveltuu hyvin nopeasti liikkuvien kohteiden kuvaamiseen. Markkinoiden parhaimmat järjestelmät kykenevät noin 2 % tarkkuuteen. Haittapuolena on järjestelmän korkea hinta.

3.3.6 Depth from focus

Depth from focus -tekniikka hyödyntää kameran tarkennusta etäisyyden arviointiin (Leino ym., 2014, s. 41). Kamera ottaa kohteesta useita peräkkäisiä kuvia eri tarkennusetäisyyksillä. Kohteen näkyessä tarkkana saadaan sen etäisyys tarkennusetäisyyden tiedosta. Tarkennuksen sijaan voidaan myös liikuttaa kameraa kohteen suuntaisesti. Tekniikka vaatii kohteen pinnasta jonkinlaisen tekstuurin, jonka perusteella voidaan tunnistaa, onko kuva tarkentunut. Lisäksi kohteen pitää olla liikkumatta koko kuvauksen ajan. Tekniikan heikkoutena on huono tarkkuus, mutta hyvänä puolena on sen yksinkertaisuus.

3.4 Valaistus

Erityisesti 2D-kuvausta käytettäessä sopivan valaistuksen käyttö on tärkeää. Sopivalla valaistuksella pyritään saamaan kuvaan hyvä kontrasti (Vision Doctor, i.a.). Oikean valaisimen ja valaistustekniikan valinta riippuu monista seikoista, kuten halutusta mittaustehtävästä, kappaleen pinnan heijastavuudesta ja ympäristön valaistuksesta. Monesti juuri ympäristön valaistus voi tuottaa haasteita. Erityisesti vaihtelevasta ympäristön valaistuksesta pitäisi päästä eroon. Tarvittaessa kuvattava kohde pitää peittää tai koteloida, jotta valaistuksesta saadaan riittävän muuttumaton.

Valaistuksessa voidaan hyödyntää myös infrapuna- tai ultraviolettivalaistusta (Vision Doctor, i.a.). Niiden avulla saadaan kappaleen pinnasta paremmin erottumaan tiettyjä normaali valossa huonosti erottuvia vikoja. Ultraviolettivaloa voidaan käyttää myös tiettyjen turvaominaisuuksien tarkastamiseen esimerkiksi seteleistä tai luottokorteista.

Valaistuksessa voidaan käyttää myös polarisoivaa suodatinta. Valon polarisoinnilla saadaan tehokkaasti ehkäistyä kappaleen pinnasta aiheutuvia heijastumia (Edmund Optics Knowledge Center, i.a.).

3.4.1 Suora valaistus

Suora valaistus voi olla joko kameran linssin ympärille asennettu rengasvalo tai ulkoinen valaisin, joka antaa kohtisuoraa valoa kohteeseen (Leino ym., 2014, s. 3). Se soveltuu hyvin kohteen pinnan kuvaukseen silloin, kun pinta ei ole valoa heijastava.

3.4.2 Kupolivalaisin

Linssin ympärille asennetun heijastuspinnan kautta kohteeseen heijastettava kupolivalaisin antaa kohteeseen epäsuoraa valoa (Leino ym., 2014, s. 3). Tämä tekniikka soveltuu hyvin kiiltävien kappaleiden kuvaamiseen silloin, kun pinnasta halutaan lukea jotain tekstuuria. Se soveltuu hyvin esimerkiksi pakkauksen päivämäärämerkinnän lukemiseen kiiltävältä pinnalta.

3.4.3 Taustavalo (siluetti)

Taustavaloa käyttämällä kappale valaistetaan sen takapuolelta suoraan kameraa kohti. (Nilsson & Murhed, 2015 s. 3). Tällöin saadaan muodostettua kappaleesta siluetti. Tämä tekniikka on erittäin hyödyllinen kappaleen paikoitusta ja mittauksia käytettäessä silloin, kun kappaleen kontrasti ei ole muuten riittävä.

3.5 Kalibrointi

Kalibroinnilla pyritään poistamaan linssivääristymää, joka muodostuu kolmiulotteisen ympäristön kuvautuessa kaksiulotteiselle kuvakennolle. Kalibrointi on edellytys tarkkojen kuva-analyyysien tekemiselle (Pietikäinen & Silvén, 2021, s. 169).

Kalibrointi suoritetaan yleensä kuvaamalla testikuviota, jonka kuvioiden sijainnit tunnetaan tarkasti. Kalibroinnin avulla saadaan myös määritettyä kuvasta pikseliä vastaava mitta millimetreinä, jolloin kuvasta voidaan tehdä kohteiden välisiä mittauksia millimetreinä (SICK, 2018 s. 43).

4 PAPERIKONELINJA

4.1 Paperikone

Paperikone koostuu yleensä perälaatikosta, viiraosasta, puristinosasta, kuivatusosasta, sekä rullaimesta (KnowPap, sisäinen tietolähde, 2023c). Yksinkertaistettuna paperinvalmistusprosessissa raaka-aineet, eli yleensä puukuidut levitetään perälaatikon avulla viiraosalle tasaiseksi massarainaksi. Tämän jälkeen massarainasta poistetaan vettä suotauttamalla, puristamalla, sekä haihuttamalla. Paperi pysyy koossa kuitujen muodostamien vetysidosten avulla. Näiden sidosten syntyminen vaatii noin 70 % - 80 %:n kuiva-ainepitoisuuden saavuttamista. Paperille voidaan tehdä käyttötarkoituksesta riippuen myös erilaisia lisäkäsittelyitä, kuten pintaliimausta, erilaisia pinnoituksia tai kalanterointia. Näiden avulla saadaan parannettua paperin ominaisuuksia paremmin loppukäyttöön sopivaksi.

4.1.1 Viiraosa

Viiraosan alussa sijaitsee perälaatikko, jonka tehtävä on levittää massasuihku poikkisuunnassa tasaisesti viiralle (Biermann, 1996, s. 211). Perälaatikolle tuleva massasuspensio on laimennettu tyypillisesti alle 1 %:n sakeuteen. Viiraosalla massasuspensiosta poistetaan vettä suotauttamalla sitä viirakudoksen lävitse (Biermann, 1996, s. 214). Viiraosia on olemassa erilaisella rakenteella. Vanhin ja tyypillisin rakenne on tasoviira, jossa massaraina kulkee tasoviiran päällä ja vettä poistetaan viiran läpi. Veden poisto tapahtuu sekä painovoimaisesti että alipaineella. Parempaa formaatiota ja viiraosan stabiilisuutta tavoittaessa voidaan käyttää kaksoisviirarainaimia, joissa massaraina kulkee kahden viiran välissä ja vesi poistetaan molempien viirojen läpi (KnowPap, sisäinen tietolähde, 2023c). Viiraosalta poistuessaan massarainan kuiva-ainepitoisuus on noin 17–20 %.

4.1.2 Puristinososa

Puristinosan tehtävänä on poistaa rainasta mahdollisimman paljon vettä ja tiivistää sitä (Biermann, 1996, s. 242). Katkojen välttämiseksi pitää rainan puristinosalta kuivatusosalle siirtyessään saavuttaa riittävä märkälujuus. Puristimien rakenne vaihtelee suuresti eri paperikoneiden välillä, mutta tyypillisesti puristinosan jälkeen rainan kuiva-ainepitoisuus on

noin 35–50 %. Puristinosalla rainaa puristetaan sileäpintaisen telan ja puristinhuovan tai huopien välissä (Adanur, 1997, s. 24). Rainaa puristettaessa vesi poistuu puristinhuopaan. Liian voimakas puristus saattaa rikkoa rainan, joten puristuksen pitää olla aluksi varovaista. Liian suuri puristus saattaa myös tehdä paperista liian ohutta, sekä aiheuttaa paperin pintaan kuvioitumaa huopien pinnasta (KnowPap, sisäinen tietolähde, 2023d). Usein puristinosalla on useampi peräkkäinen puristusnippi, jolloin puristusvoimaa voidaan kasvattaa vaiheittain.

Puristinosalla voidaan vaikuttaa suuresti koneen energiankulutukseen. Jokaista puristinosalla saavutettua 1 %:n kuiva-ainetasoa nousua kohtaan säästetään 3–4 % höyryn kulutusta kuivatusosalla.

4.1.3 Kuivatusosa

Kuivatusosalla paperirainasta poistetaan vettä haihduttamalla (Adanur, 1997, s. 24). Kuivatus voidaan toteuttaa pelkästään sylinterikuivatuksena, jossa raina kulkee kuumaa sylinterin pintaa vasten, sekä tämän lisäksi puhalluskuivatuksena tai säteilykuivatuksena. Kaikissa menetelmissä on sama periaate. Rataan kohdistetulla energialla saadaan vettä haihtumaan pois rainasta. Ilmaan siirtynyt kosteus siirretään tämän jälkeen pois radan läheisyydestä.

Yleisimmin kuivatus tapahtuu monisylinterikuivatuksella, jossa kuivatusosa koostuu noin 4–10 kuivatussylinteriryhmästä (KnowPap, sisäinen tietolähde, 2023e). Jokaisella ryhmällä on omat käyttömoottorinsa, joten ryhmien välillä voidaan muodostaa nopeuseroja. Niiden avulla rata saadaan pidettyä kireänä, mikä on tärkeää hyvän ajettavuuden saavuttamiseksi. Kuivatusosalla voidaan vaikuttaa paperin kosteusprofiiliin, sekä pintaominaisuuksiin ja lujuuteen. Kuivatusosalla voi myös sijaita erillisiä päällystys- ja pintaliimauslaitteita.

Kuivatusosa on yleensä rakennettu kotelon, eli huuvan sisään (KnowPap, sisäinen tietolähde, 2023e). Tällä saavutetaan hallittu ja vakaa ympäristö kuivatusprosessille, sekä parempi energiatehokkuuden hallinta. Huuva mahdollistaa myös energian talteenoton poistoilmasta. Se tarjoaa lisäksi konesaliin paremman työympäristön äänen- ja

lämmöneristyksen ansiosta. Talteen otettua energiaa on mahdollista hyödyntää esimerkiksi konosalin, tai kuivatusosan tuloilman lämmityksessä, sekä prosessiveden lämmityksessä.

Kuivatusosan jälkeen paperin kosteus on noin 5 %, eli kuiva-ainepitoisuus on noussut noin 95 %:iin.

4.1.4 Rullain

Rullauksen tarkoituksena on mahdollistaa tasomaisena valmistetun paperin muuntaminen helpommin käsiteltävään muotoon, jossa se voidaan siirtää koneelta jälkikäsitelyyn (KnowPap, sisäinen tietolähde, 2023b). Paperin kiinnirullaus tapahtuu rullaimella, joista yleisin käytössä oleva malli on pope-rullain. Nykyään sen tilalle on kehitetty myös uuden sukupolven rullaimia, joilla voidaan saavuttaa parempi rullan rakenne ja pienempi hylyn määrä.

Rullauksessa paperirata katkaistaan rullaimella aina konerullan vaihtuessa (KnowPap, sisäinen tietolähde, 2023b). Konerullan vaihdossa voidaan käyttää erilaisia tekniikoita. Perinteisin vaihtotekniikka pope-rullaimella on pussivaihto, jossa paperirata nostetaan uuden tampuuriraudan päälle ilmapuhalluksen avulla. Pussivaihdon tilalle on myös kehitetty uudempiä vaihtotekniikoita.

4.2 Pituusleikkuri

Pituusleikkauksessa paperikoneelta valmistunut tampuuriraudan ympärille rullattu konerulla leikataan asiakkaan haluamiin mittoihin (KnowPap, sisäinen tietolähde, 2023f) Pituusleikkauksessa konerulla aukirullataan aukirullauspukeilla, jossa tampuurirautaa pyöritetään sähkökäytön avulla. Aukirullauksen sähkökäytöllä ylläpidetään myös rainan kireyttä leikkauksen aikana jarruttamalla rullaustelojen vetävää voimaa.

Paperin leikkaus suoritetaan leikkausosalla, jossa raina ajetaan pyörivien leikkausterien läpi (KnowPap, sisäinen tietolähde, 2023f). Leikkausterät asetellaan automaattisesti haluttujen asiakasrullien mittojen mukaisesti. Leikkauksen jälkeen osarainoiksi leikattu

paperiraina ohjataan ohjaustelojen kautta kiinnirullaimelle. Ennen kiinnirullausta rataa suoritetaan ja sen kireyttä tasataan. Kiinnirullaimella osarainat rullataan haluttujen rullan mittojen mukaisesti leikattujen hylsyjen päälle.

Yleisin leikkurityyppi on kantotelaleikkuri, jossa valmistuvaa rullaa painetaan sähkökäytöllä pyöritettävää telaa vasten (KnowPap, sisäinen tietolähde, 2023f). Tämä tekniikka perustuu siis rullan pintavetoon. Nykyään asiakasrullakokojen kasvaessa tämän tekniikan tilalle on kehitetty uusia leikkurityyppejä, joissa rullaa kannatellaan telan pinnan lisäksi myös rullan keskiöstä. Tällä tekniikalla voidaan rullien kokoa kasvattaa, ilman rullan painosta aiheutuvan suuren nippipaineen aiheuttamia ongelmia. Erityyppiset pituusleikkurit on kehitetty vastaamaan tiettyjen paperi- tai kartonkilajien tarpeisiin.

4.3 Pakkaamo

Rullapakkaamossa pituusleikkauksesta valmistuneet rullat kääritään pakkaukseen, joka suojaa niitä kuljetuksen aikana (KnowPap, sisäinen tietolähde, 2023g). Pakkauksen tehtävänä on suojata paperirullaa sekä kuljetuskäsittelystä aiheutuville vaurioille että mahdolliselta kastumiselta. Kosteudenkestävänä kääremateriaalina voidaan käyttää esimerkiksi päällystettyä käärepaperia tai laminoitua paperia, jossa kahden paperikerroksen väliin on laminoitu ohut muovikalvo. Kosteussuojana voidaan käyttää myös pelkällä ohuella muovikääreellä tehtyä muovikäärintää.

Rullat siirretään rullapakkaamoon yleensä automaattisesti kuljettimia pitkin (KnowPap, sisäinen tietolähde, 2023g). Pakkauslinjasto tunnistaa jokaisen rullan siihen pituusleikkauksen jälkeen liimatun tunnisteiden perusteella. Tunnisteena voidaan käyttää esimerkiksi viivakoodia tai RFID-tarraa.

Pakkauskoneiden rakenne vaihtelee suuresti lopputuotteiden mukaan (KnowPap, sisäinen tietolähde, 2023g). Yleensä pakkausprosessi on jaettu erillisiin osiin, joissa pakkauslinjan jokainen asema tekee oman tehtävänsä. Pakkausprosessi on jatkuvatoiminen, ja jokaisen vaiheen valmistuttua rulla siirtyy automaattisesti seuraavaan asemaan. Linjan hitain asema siis määrittää pakkauslinjan kapasiteetin. Tästä syystä yhteen asemaan on saatettu yhdistää useampia pakkausvaiheita.

5 TUTKIMUS

5.1 Käytettävän tekniikan valinta

Tässä tutkimuksessa päädyttiin käyttämään 2D-älykameraa, koska siitä löytyi tarvittavat työkalut ensisijaisena tutkimuskohteena olevaan vaihdon onnistumisen tarkastukseen. Lisäksi sen liittäminen automaatiojärjestelmään onnistui kameran omia I/O-liityntöjä hyödyntämällä, eikä erillistä tietokonetta tarvittu. Järjestelmästä saatiin näin yksinkertaisempi ja helpommin ohjausjärjestelmään liitettävä.

Kaikki tutkimuksen kohteena olevat tarkastukset ja mittaukset olivat sellaisia, että niihin soveltui parhaiten 2D-konenäkökamera. Sen vuoksi 3D-konenäkökameraa ei tätä tutkimusta varten hankittu, vaan kaikki testaukset suoritettiin olemassa olevalla kameramallilla.

Valaistusolosuhteita tutkittiin ennakkoon tutkimuskohteisiin perehdyttäessä ja ne todettiin olevan riittävän muuttumattomia luotettavan tuloksen saavuttamiseksi. Konerullan vaihdon onnistumisen varmistuksessa valaistus oli hyvä, eikä kameran sisäisen infrapunavalon lisäksi ollut tarvetta erilliselle valaisimelle. Tampuuriraudan kiiltävän pinnan takia lisävalaistus olisi todennäköisesti myös pahentanut heijastumia. Muita tutkimuskohteita ei testattu todellisella käyttöpaikalla, mutta kyseisten kohteiden valaistus todettiin silmämääräisesti myös riittävän hyväksi. Näiden kohteiden testiympäristön valaistusolosuhteet pyrittiin pitämään mahdollisimman lähellä todellisen asennuspaikan valaistusolosuhteita.

Tutkimuksessa käytetyssä älykamerassa käytettiin kahta erilaista linssiä kuvausetäisyyden mukaan. Kohteissa, joissa kuvausetäisyys jäi hyvin lyhyeksi, eikä haluttua aluetta saatu mahtumaan kokonaan kuvaan, käytettiin 6 mm:n polttovälillä olevaa linssiä. Muissa kohteissa käytettiin kameran alkuperäistä linssiä 10 mm:n polttovälillä. Kamerassa käytettiin myös polarisaatio-suodinta heijastumien vähentämiseksi.

5.2 Testilaitteisto

Käytännön tutkimukset suoritettiin SICK VSPM-6F2413S18 2D-konenäkökameralla. Kyseinen kameramalli soveltuu paikallaolotarkastuksiin, laaduntarkastuksiin, 2D-mittaukseen, paikoitukseen, sekä robottiohjaukseen. Kyseisessä kameramallissa on käytössä monipuolinen konenäön työkaluvalikoima. Kamerassa on kolme konfiguroitavaa digitaalista lähtökanavaa sekä neljä sisääntuloa. Siinä on myös TCP/IP pohjainen Ethernet-liityntä (SICK, 2023). Lähtökanavat voidaan konfiguroida tarpeen mukaan. Lähtökanavissa oletuksena käytettävät tiedot ovat: Kohde tunnistettu ja kaikki tarkastukset hyväksytyt, kohde tunnistettu, mutta vähintään yksi tarkastus ei hyväksyty tai kohdetta ei tunnistettu. Tulokanavia voidaan käyttää ulkoiseen liipaisu- tai opetustietoon, enkooderitulona tai niitä voidaan käyttää referenssikuvan valintaan. Käyttämällä kolmea tulokanavaa referenssikuvan valintaan voidaan käyttää kahdeksaa referenssikuvaa. Ethernet liitynnän avulla on mahdollista tallentaa kuvia FTP:lle (SICK, 2018).

5.3 Testijärjestelyt

Kaikki käytännön tutkimukset suoritettiin käyttämällä pelkästään SICK:in aiemmin mainittua 2D-konenäkökameraa. Tähän malliin päädyttiin koska se on hankintahinnaltaan edullinen ja se soveltui hyvin tämän tutkimuksen pääasialliseen kohteeseen, eli konerullan vaihdon varmistamiseen. Osassa tutkimuskohteista saatettaisiin kuitenkin saada lisähyötyä myös 3D-tekniikkaan pohjautuvasta konenäköjärjestelmästä.

Pääasiallinen tutkimuskohde tässä työssä oli konerullan vaihdon varmistamisen toteutus. Tämän tutkimuksen osalta kaikki käytännön testaukset suoritettiin varsinaisessa käyttökohteessa. Muut tutkimukset pyrittiin suorittamaan tutkimuskohteita olosuhteiltaan mahdollisimman hyvin vastaavissa paikoissa. Kaikkia tutkimuksen testikohteita ei voitu tutkia varsinaisessa käyttökohteessa. Näiden pohjalta saatiin kuitenkin hyvää tietoa siitä, miten konenäkötekniikka kyseisiin kohteisiin soveltuu.

6 KONERULLAN VAIHDON ONNISTUMISEN VARMISTUS

6.1 Pope-rullain

Pope-rullain on vanhin käytössä olevista rullaintyypeistä (KnowPap, sisäinen tietolähde, 2023b). Pope-rullain koostuu vain yhdestä telasta, rullaussylinteristä, jota vasten muodostettava rulla pyörii kitkan avulla. Se soveltuu hyvin suhteellisten pienien rullien tekemiseen. Rakenteeltaan pope-rullain on yksinkertainen ja myös varmatoiminen. Sen heikkoutena on huonompi hyötysuhde, kuin uudemmilla rullaimilla.

6.2 Rullan vaihto

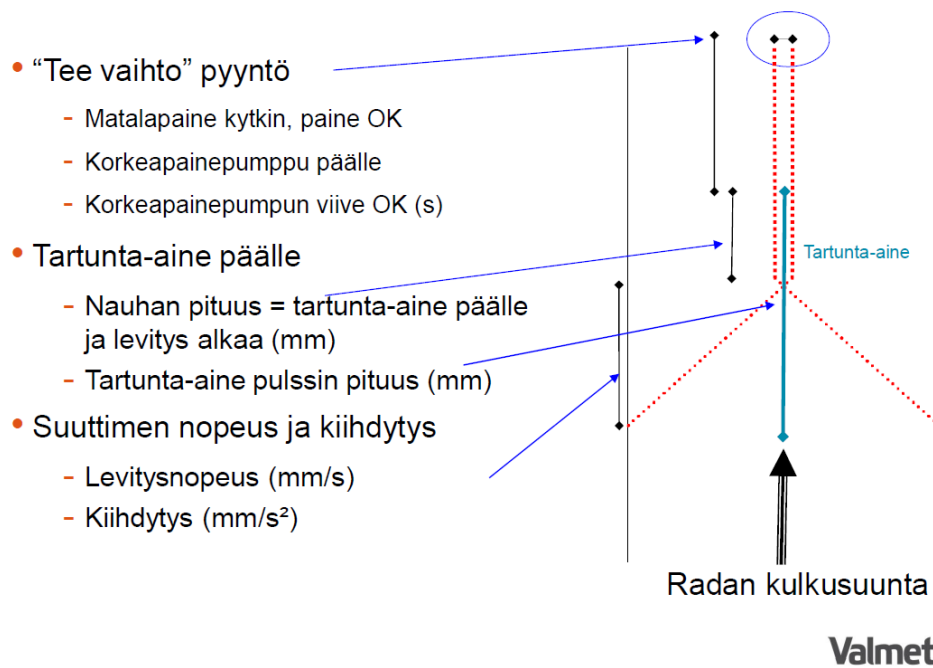
Perinteisesti pope-rullaimella käytetään rullan vaihtoon pussivaihtoa (KnowPap, sisäinen tietolähde, 2023b). Pussivaihdossa uusi tampuuritela tuodaan nippikontaktiin rullaussylinterin kanssa, jonka jälkeen valmistuva rulla päästetään irti rullaussylinteristä. Rullan pyöriminen hidastuu ja siihen muodostuu pussi, joka nostetaan ilmalla puhaltamalla uuden tampuuritelan pintaan. Pussin mennessä rullaussylinterin ja tampuuritelan nippiin, paperirata katkeaa. Pussivaihdon huonona puolena on sen aiheuttama pohja- ja pintahylky, joka aiheutuu nipin avaamisesta vaihtohetkellä.

Pussivaihdon sijasta pope-rullaimella on mahdollista käyttää myös WaterJet Turn-up-vaihtolaitetta, jossa rata katkaistaan korkeapaineisella vesisuihkulla. Tämän tekniikan hyötynä on huomattavasti pienempi hylkymäärä, koska vaihto voidaan suorittaa tampuuritelan ja rullaussylinterin nippiä avaamatta.

6.3 WaterJet Turn-up vaihtolaitteen toimintaperiaate

Valmetin WaterJet Turn-up Device -vaihtolaitteessa rata leikataan 1200 – 1800 bar vesisuihkulla ja se nostetaan uuden tampuuritelan pintaan leikkauskohtaan suihkutettavalla tartunta-liimalla (Valmet, 2016, s. 31).

Vaihtosekvenssi



5

Kuvio 1. WaterJet Turn-up vaihtosekvenssi (Valmet 2016).

WaterJet Turn-up Device koostuu kahdesta servomootorilla liikutettavasta leikkaussuuttimesta ja tartuntaliiman levittävästä suutinpistoolista (Valmet. 2016 s. 16). Leikkaussuuttimien servomootoreiden nopeutta säädetään koneen radan nopeuden mukaisesti niin, että rata saadaan kiillamaiseen muotoon (kuva 1). Leikatun kiilan päähän levitetään tartuntaliima, jonka avulla se saadaan tarttumaan tyhjän tampuuritelan pintaan (kuva 2). Tartuntaliimana voidaan käyttää tärkkelyspohjaista liimaa tai Hotmelt -kuumaliimaa paperin ominaisuuksista riippuen.

WaterJet Turn-up vesivaihtolaitteella saavutetaan lähes 100 % vaihtojen luotettavuus. Lisäksi sillä pystytään vähentämään vaihdon yhteydessä uuden tampuuritelan pohjalle muodostuvaa sekä valmistuvan konerullan pintaan muodostuvaa hylkyä pussivaihtoon verrattuna.



Kuva 2. Leikatun kiilan pää tarttuneena tyhjän tampuuritelan pintaan.



Kuva 3. Onnistunut levitys uuden tampuuritelan pinnalla.

6.4 Vaihdon mahdolliset ongelmat

Konerullan vaihto saattaa epäonnistua eri syistä. Vaihdon epäonnistumisen seurauksena rata ei tartu uuden telan pintaan. Epäonnistuneen vaihdon aiheuttaa useimmiten joko leikkauksen epäonnistuminen tai tartunta-aineen tartunnan pettäminen.

Leikkauksen epäonnistuessa rata ei leikkaannu tasaisesti koko leveydeltä, eikä se tämän takia tartu tyhjän telan pintaan. Tämän seurauksena paperirata jatkaa rullautumista vanhaan konerullaan. Nykytilanteessa ohjausjärjestelmä ei tunnista tätä tilannetta, vaan jatkaa ohjausekvenssin loppuun, jolloin seurauksena on lopulta ratakatko. Operaattoreiden täytyy siis nopeasti havaita epäonnistunut vaihtotilanne ja katkaista rata hallitusti pulpperiin.

Mikäli leikkaus onnistuu, mutta rata ei tartu tyhjän telan pintaan, se jatkaa rullaussylinterin pintaa pitkin kaavarille. Kaavarin tehtävä on irrottaa rata sylinterin pinnasta ja ohjata se alla olevaan pulpperiin. Tässä tilanteessa vaihtoa voitaisiin teoriassa yrittää uudelleen, ellei ohjausjärjestelmä jatkaisi sekvenssiä ja ohjaisi tyhjää rautaa pois vaihtoasennosta.

Vaihdon epäonnistuminen voi siis aiheuttaa kaksi toisistaan poikkeavaa tilannetta. Molemissa tilanteissa vaihtoa olisi mahdollista yrittää vesivaihtolaitteella uudelleen, mikäli vaihdon epäonnistuminen voitaisiin tunnistaa ja ohjausekvenssi keskeyttää. Vesivaihtolaitteen lisäksi koneelle on jätetty varalle myös vanha ilmapuhallukseen perustuva pussivaihtojärjestelmä. Tätä pussivaihtoa voitaisiin periaatteessa käyttää vesivaihdon epäonnistuessa, mutta ainoastaan tilanteessa, jossa rata ei ole vielä katkennut.

6.5 Kameran asennus

Asennuspaikka valittiin niin, että kameralla on mahdollisimman esteetön näkyvyys tyhjän raudan pintaan vaihtohetkellä (kuva 4). Lisäksi se haluttiin asentaa sellaiseen paikkaan, jossa sitä pystyy huoltamaan turvallisesti koneen ollessa normaalisti ajolla.

Kameraksi valittiin infrapunavaloilla ja näkyvän valon suotimella varustettu malli, jolla pyrittiin ehkäisemään ympäristön valon vaikutusta. Lisäksi heijastumia pyrittiin ehkäisemään kuvaamalla pintaa lievästi viistosti suhteessa tampuuritelan pintaan. Käytössä olevia teloja on kolmenlaisia ja ne ovat pinnaltaan mustia, ruskeita ja punertavia. Koska kyseisellä

paperikoneella tuotetaan sekä valkoista että ruskeaa paperia aiheuttaa se jonkin verran haasteita paperin tunnistamiseen telan pinnalta.

Kamera kytkettiin paperikoneen Honeywell PMD prosessiautomaatiojärjestelmään. Kameran yhtä sisääntulokanavaa käytettiin kuvan ottamisen liipaisuun. Vaihtohetken ajoittamiseen käytettiin vesivaihtolaitteelta Honeywell järjestelmään tuotua ”Vesivaihto tehty” tietoa. Tämän tiedon saatuaan prosessinohjausjärjestelmä antaa kameralle käskyn ottaa kuva. Tästä kuvasta tunnistetaan, onko vaihto onnistunut vai ei, ja sen perusteella annetaan vaihdon onnistumisesta tieto takaisin prosessiautomaatiojärjestelmään.



Kuva 4. Kameran asennuspaikka.

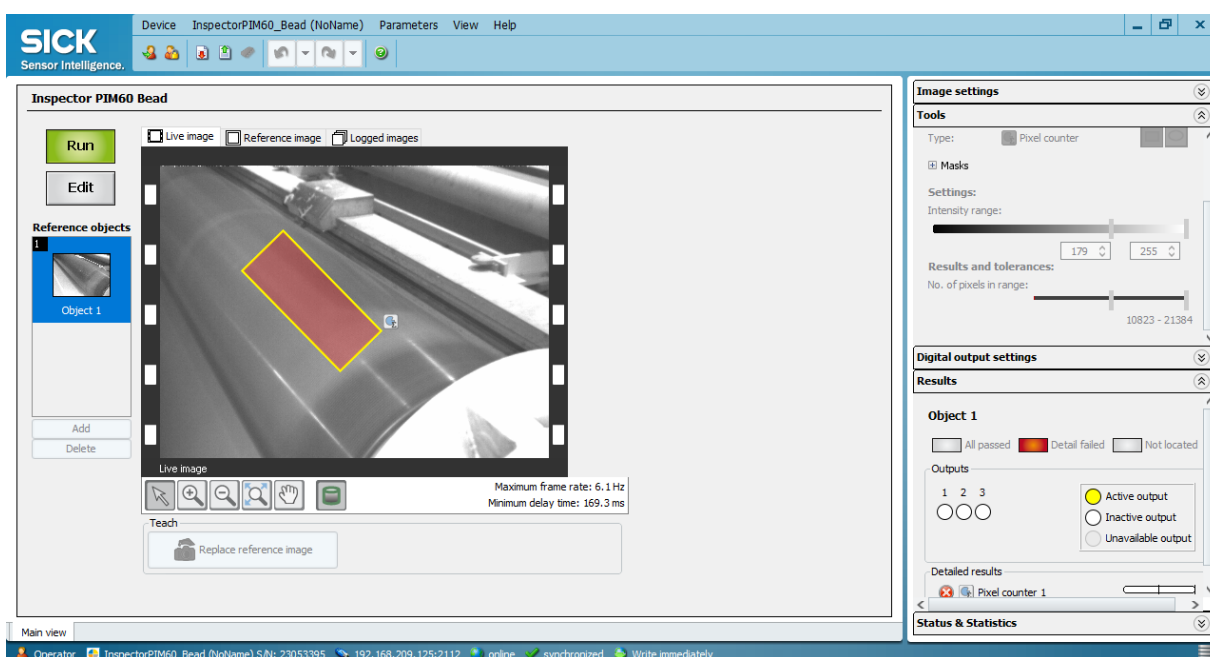
6.5.1 Kameran määrittely

Kameran Record live images -toimintoa käytettiin hyödyksi määrittäessä. Kyseisellä toiminnolla voidaan tallentaa kameran Live image näkymässä näkyviä kuvia automaattisesti tietokoneelle (SICK. 2018. s. 117). Kuvat tallennetaan tietokoneelle haluttuun kansioon BMP-formaatissa.

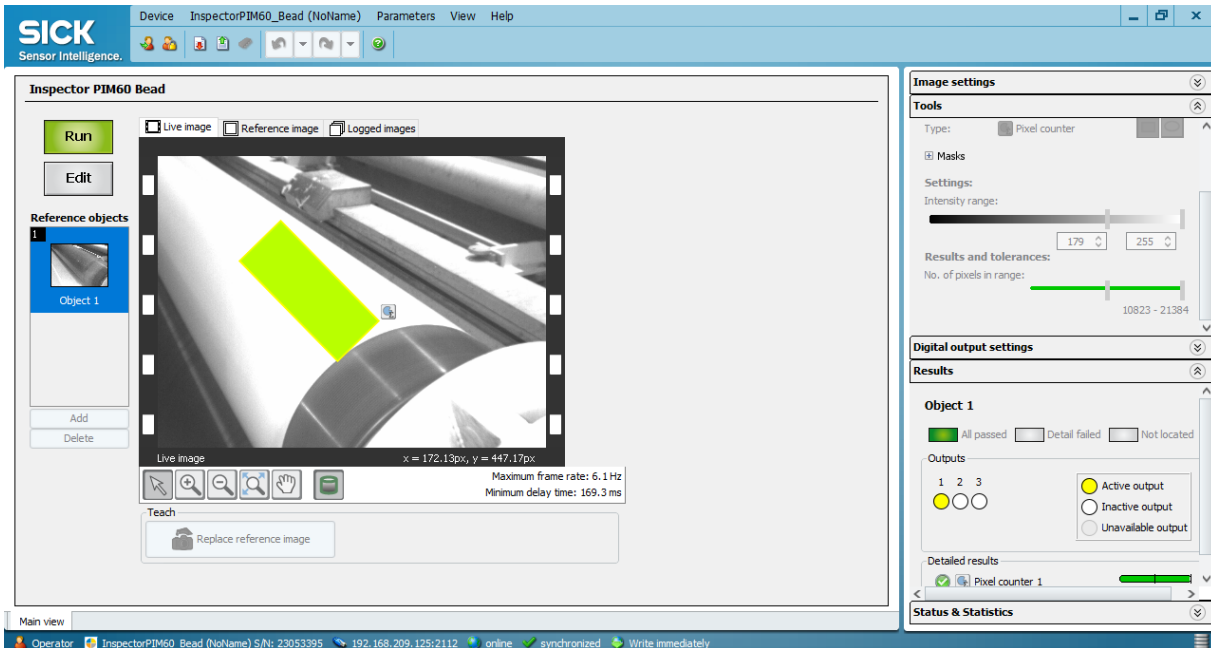
Määrittelyä varten kameralle annettiin prosessiautomaatiojärjestelmästä simuloimalla käsky kuvan ottamiseen juuri ennen vaihtotapahtumaa. Tämä ennen vaihtoa otettu kuva vastaa epäonnistuneen vaihdon tilannetta, koska näkyvissä on tällöin pelkkä tyhjä tampuuritela. Tämän jälkeen tallennettiin vielä toinen kuva vaihdon onnistuttua.

Näiden referenssikuvien avulla määritettiin Pixel counter -työkalulla paperin tunnistus telan pinnalta. Pixel counter -työkalu laskee tietyn sävyisten harmaiden pikseleiden määrää valitun alueen sisältä (SICK. 2018. s. 70). Tunnistettavien pikseleiden sävyille voidaan vapaasti määrittellä raja-arvot tumman ja vaalean välillä. Tämän määritetyn sävyrajan sisällä olevien pikseleiden määrää lasketaan. Tämän jälkeen valitun alueen sisällä olevien tunnistettujen pikseleiden määrälle asetetaan kynnyсарvo, jossa tunnistus tapahtuu.

Tallennettujen kuvien avulla määritettiin tunnistukselle sopiva alue telan reunasta (kuva 5). Alue valittiin mahdollisimman läheltä radan reunaa ja kohdasta, missä ei esiintynyt ympäröivästä valaistuksesta aiheutuneita heijastumia. Tämän jälkeen määritettiin pikseleiden sävyille ja tunnistettavalle määrälle sopivat raja-arvot. Lopullinen hienosäätö suoritettiin seuraamalla vaihtohetkeä ohjelmiston live image -näkyvästä sen ollessa liitettyä kameraan. Testaukset ja lopulliset hienosäädöt suoritettiin ruskealla paperilla, koska sen tunnistaminen on pienempien kontrastierojen takia vaikeampaa kuin valkoisen.



Kuva 5. Tilanne ennen vaihtoa



Kuva 6. Tilanne onnistuneen vaihdon jälkeen.

6.5.2 Kameran testaus

Testaukset suoritettiin seuraamalla useita vaihtoja kameran live image -näkyvästä. Kuten kuvista 5 ja 6 voidaan päätellä, ero tunnistettujen vaaleiden pikseleiden määrässä tyhjän telan ja onnistuneen vaihdon välillä oli hyvin selkeä myös ruskealla paperilla (kuva 6). Näin selkeällä erolla saadaan aikaan hyvin varma tunnistus. Myöskään heijastumat tai telan pinnassa olevat pienet epäpuhtaudet eivät aiheuttaneet virheellistä tunnistusta.

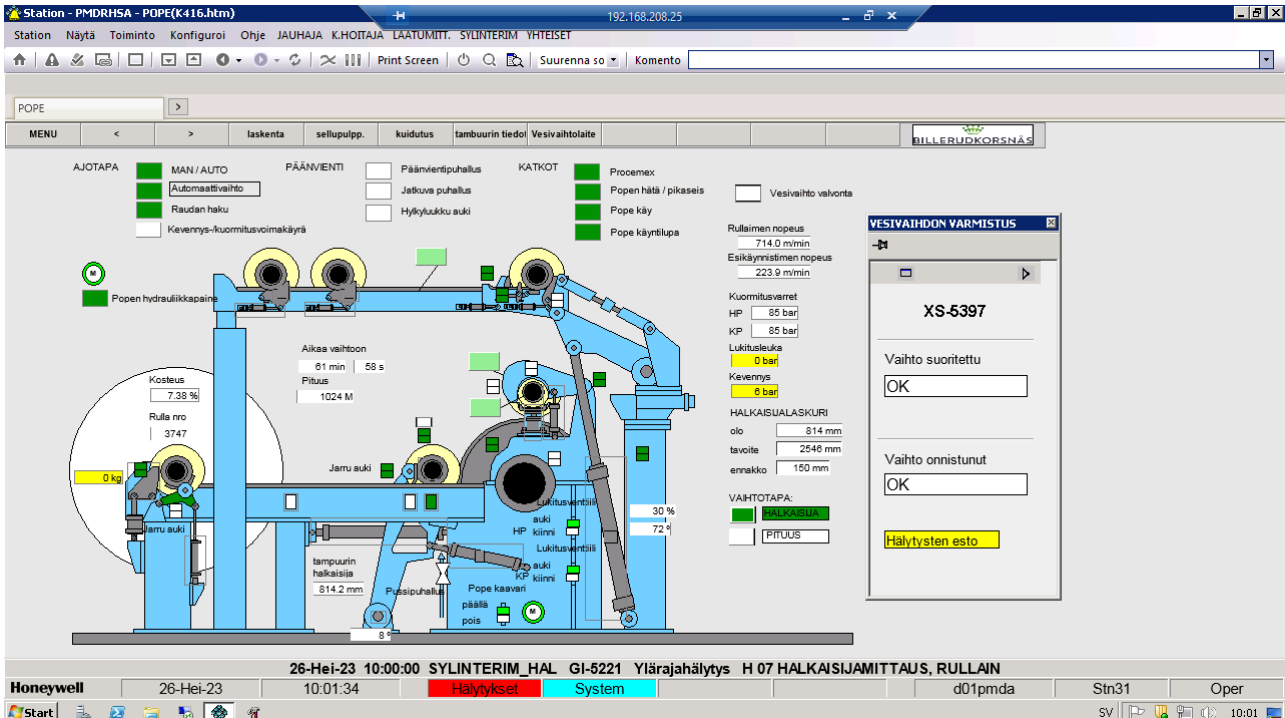
6.6 Toiminta vaihdon epäonnistuessa

Nykytilanteessa ongelmana on se, ettei automaatiojärjestelmä saa tietoa vaihdon epäonnistumisesta ja jatkaa vaihtosekvenssin normaalisti loppuun. Mikäli tyhjä tampoeritela ohjataan vaihtosekvenssin mukaisesti pois vaihtoasennosta vaihdon epäonnistuttua, ei vaihtoa voida enää yrittää uudelleen. Mikäli järjestelmä saisi tiedon vaihdon epäonnistumisesta, voitaisiin ohjausekvenssi keskeyttää ja yrittää vaihtoa uudelleen. Tällöin paperirata jatkaisi rullautumista valmistuvaan konerullaan tai ohjautuisi pulpperiin riippuen siitä, onko

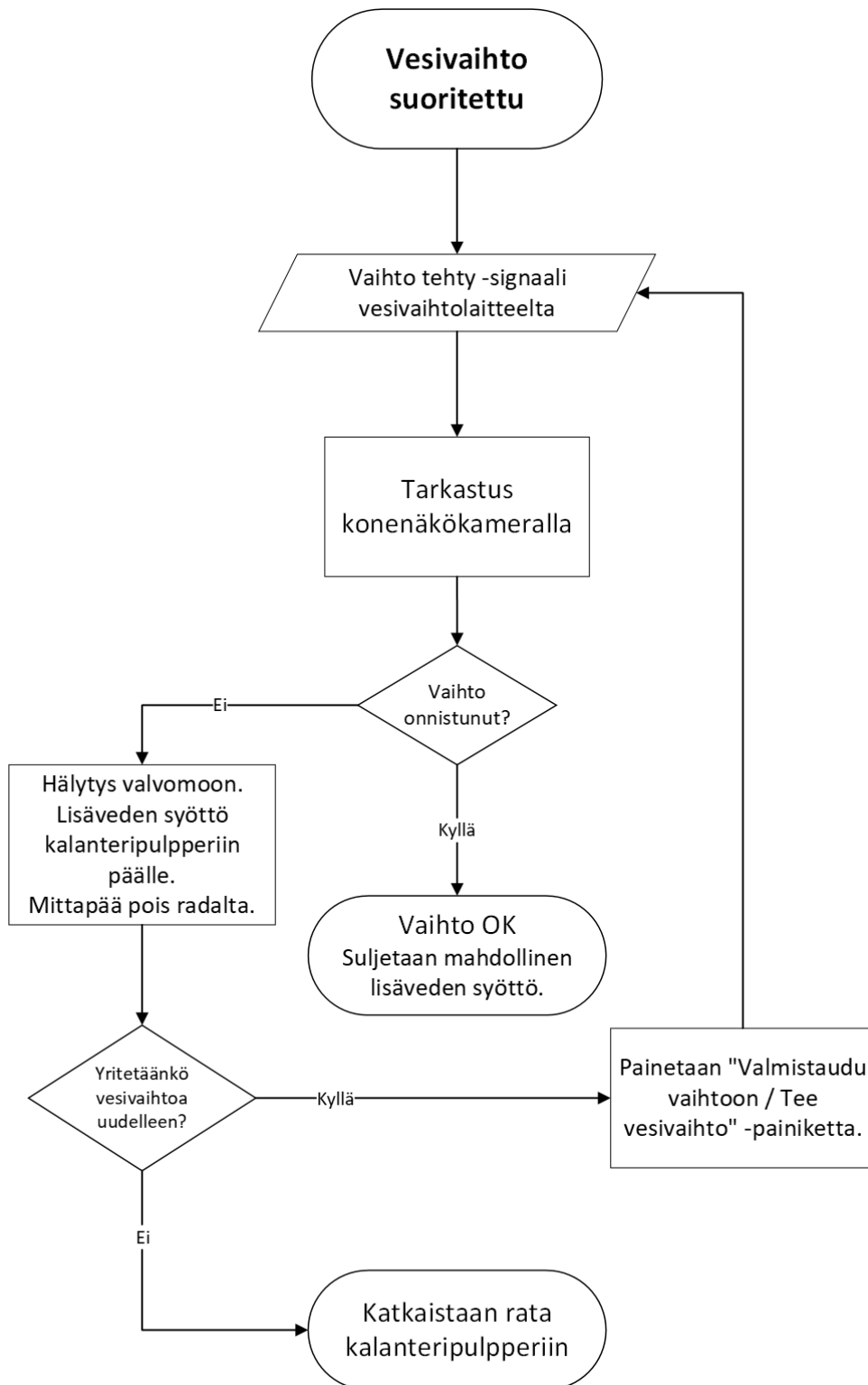
rata leikkautunut. Tämän jälkeen vaihtoa voitaisiin yrittää automaattisesti uudelleen, tai antaa koneen operaattorin tehdä päätös. Tässä tilanteessa haluttiin toiminta jättää operaattorin päätettäväksi. Operaattorilla on siis kaksi vaihtoehtoa, joko yrittää vaihtoa uudelleen tai katkaista rata hallitusti ennen rullainta (kuvio 2).

Vaihtoon olisi mahdollista käyttää myös varalle jätettyä pussipuhallusjärjestelmää, mutta tällöin operaattorilla pitäisi olla tieto, millä tavalla vaihto on epäonnistunut. Mikäli rata jatkaa edelleen rullautumista valmistuvaan konerullaan, kasvaa sen halkaisija nopeasti liian suureksi. Tämän turvarajan ylittyessä automaatiojärjestelmä pysäyttää rullaimen automaattisesti. Päätöksen tekemiseen ei siis ole kovin paljon aikaa käytettäväksi. Tästä syystä selkein vaihtoehto olisi yrittää vaihtoa uudelleen vesivaihtolaitteella ja mikäli se epäonnistuu, katkaista rata hallitusti.

Lisäveden syöttö pulpperiin varmistaa pulpperin toiminnan katkotilanteessa. Mittapään ajaminen pois radalta taas varmistaa, ettei sille aiheudu katkotilanteessa vaurioita. Tämän takia kyseiset toimenpiteet olisi hyvä suorittaa automaattisesti heti vaihdon epäonnistuttua.



Kuva 7. Kuvakaappaus prosessinohjausjärjestelmästä.



Kuvio 2. Ohjelman toiminnan vuokaavio

7 MUUT TUTKIMUSKOHTEET

7.1 Rullapakkaamo

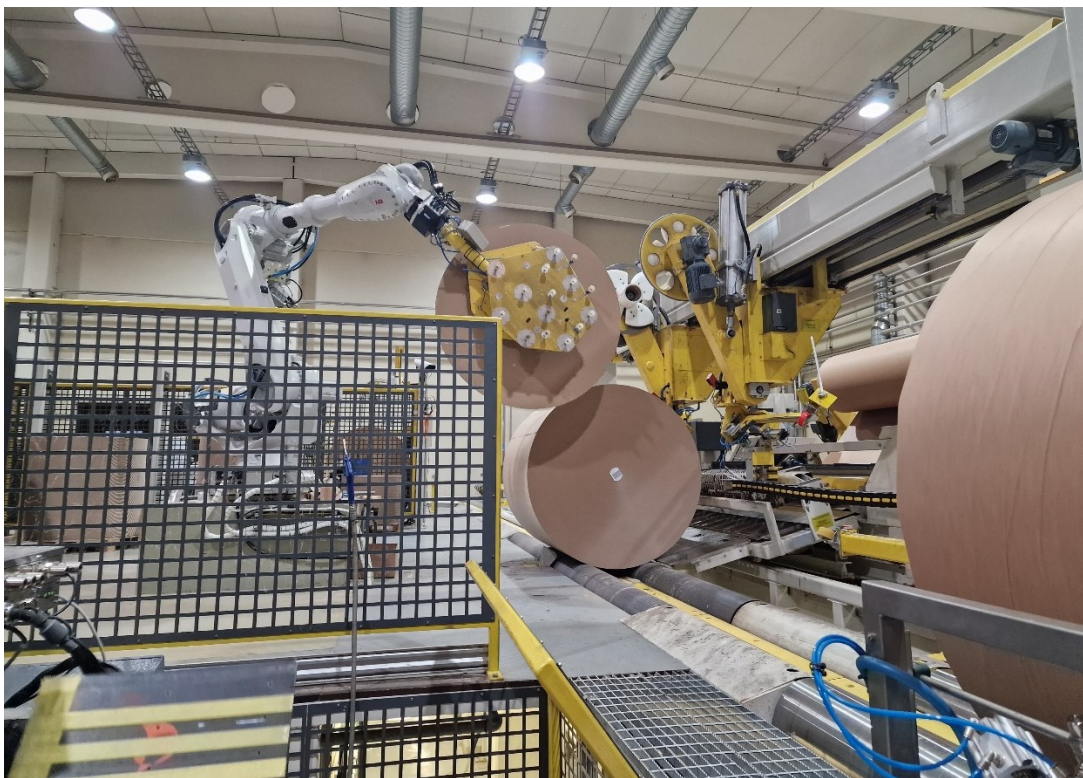
Pietarsaaren tehtaalla on käytössä täysin automatisoitu pakkauslinjasto. Pituusleikkauksesta valmistuneet rullat kuljetetaan lamellikuljettimilla pakkaamoon. Pakkaamoon saapunut rulla mitataan ja punnitaan, sekä tunnistetaan viivakooditarran avulla. Saatuja mittoja verrataan tuotannonohjausjärjestelmän tietoihin, ja jos mitat poikkeavat tilauksesta, niin rulla pysäytetään tunnistusasemalle. Rullan halkaisijan perusteella sille valitaan automaattisesti sopivan kokoiset päätylaput ja oikean levyinen kääre. Tämän jälkeen rulla siirretään automaattisella kuljettimella käärintäasemalle (kuva 8). Käärinnän aluksi robotti asettaa rullan päähän pahvisen päätylapun. Tämän jälkeen rullaa pyöritetään ja sen ympärille liimataan käärepaperi (kuva 9).

Käärinnän jälkeen rulla siirtyy etiketöintiin, jossa siihen liimataan rullan tunnistetiedot sisältävä etiketti. Etiketöinnin jälkeen rullan päihin liimataan paistinlevyjen avulla lämpöliimautuva päätylappu, joka tekee pakkauksesta täysin tiiviin. Lopuksi etiketin päähän liimataan vielä toinen etikettitarra, joka sisältää samat tiedot kuin ensimmäinen etiketti.

Pakkauslinja on täysin automaattinen ja operaattorin tehtävänä on linjan valvominen sen käynnin aikana. Koska linjastolla on samanaikaisesti useita rullia linjaston eri vaiheissa, on operaattorin erittäin haastavaa valvoa kaikkia toimintoja samanaikaisesti.

Yhtenä suurimpana ongelmana on sisälapun putoaminen käärinnän alussa. Tämä tilanne voi ilmentyä esimerkiksi materiaalivirheen ja toimintahäiriön seurauksena. Mikäli sisälappu pääsee putoamaan käärinnän aikana eikä tätä havaita ajoissa, rullan päähän liimattava ulkolappu pääsee liimaantumaaan rullaan kiinni. Tämän seurauksena rulla on yleensä käyttökelvoton.

Konenäön avulla voitaisiin varmistaa päätylapun paikoillaan oleminen ennen kuin rulla siirretään pois käärintäasemalta.



Kuva 8. Rullapakkaamon käärintäasema.

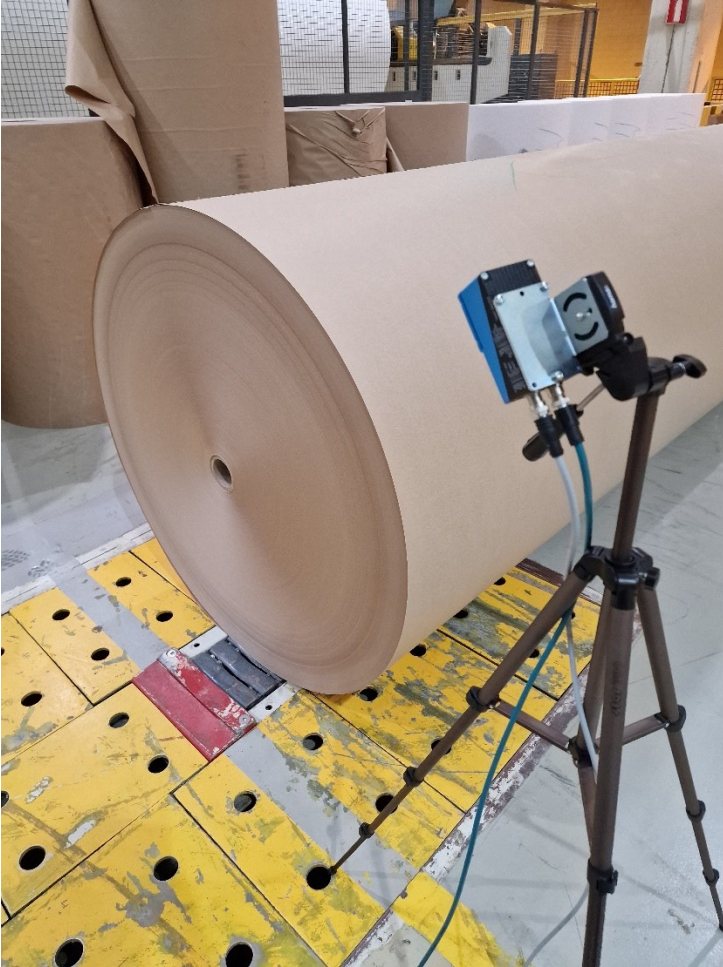


Kuva 9. Rulla käärinnän jälkeen.

7.1.1 Testausjärjestelyt

Puuttuvan päätylapun tunnistamiseen konenäön avulla voitaisiin käyttää joko pikselin sävyn tunnistukseen pohjautuvaa työkalua tai hylsyn reiän tunnistusta muodon tunnistuksen työkalun avulla. Hylsyn reiän tunnistaminen edellyttäisi rullan kuvaamista mahdollisimman kohtisuoraan sen sivusta, mutta tällainen asennus olisi erittäin haastava toteuttaa. Lisäksi hylsyn reiän tunnistusta vaikeuttaa sen kohdalle liimattava viivakooditarra. Koska pakattavan rullan leveys ja halkaisija muuttuu, asettaa tämä haasteita asennuspaikan valinnalle. Paras ratkaisu olisi asentaa kamera käärintäaseman runkoon, koska sen paikka pysyy vakiona suhteessa rullan sivuun.

Tutkimukset suoritettiin käyttäen samoja etäisyyksiä ja kuvakulmaa, kuin kameran asennus pakkaamon käärintäaseman runkoon olisi mahdollistanut. Tutkimus suoritettiin käytännön syistä pakkaamon ulkopuolella kahdella testiin valitulla pakkaamattomalla rullalla (kuva 10). Tutkimusta varten valittiin kaksi eri halkaisijaltaan olevaa rullaa, toinen ruskeaa paperia ja toinen valkoista paperia.



Kuva 10. Testaus ruskealla rullalla.

7.1.2 Kameran määrittely

Tunnistukseen päädyttiin käyttämään Sickin konenäkökameran aiemmin esiteltyä Pixel counter -työkalua, koska se soveltui parhaiten puuttuvan päätylapun tunnistukseen tästä kuvakulmasta. Tunnistusalueeksi määritettiin sellainen kohta, joka tavanomaisilla pakattavien rullien halkaisijoilla osuu halutulle alueelle rullan sivuun.

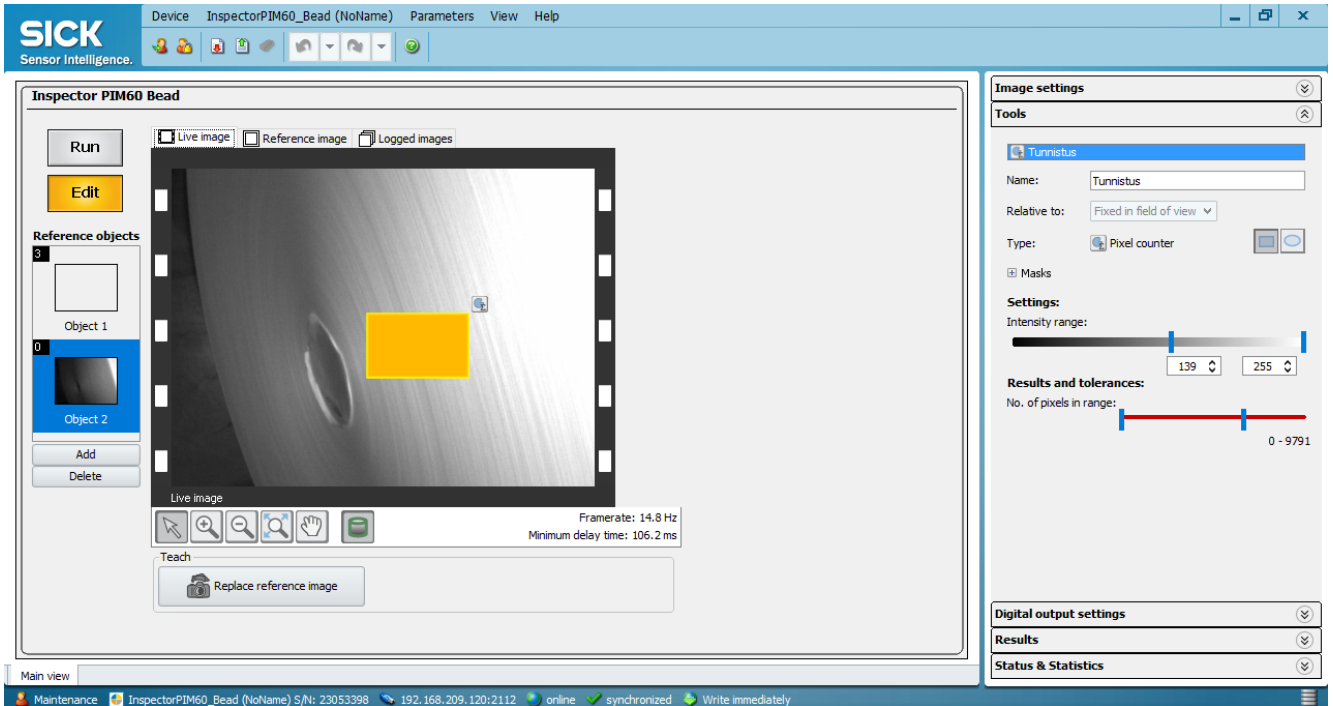
Kuvan säädöillä oli suuri vaikutus kuvan selkeyteen ja tunnistuksen onnistumiseen. Parhaan tuloksen saamiseksi kameran sulkimen toiminta-aika ja herkkyys piti säätää kohdilleen käsin. Sulkimen aikaa pidentämällä voidaan kuvan valoisuutta parantaa, mikäli kuvattava kohde ei liiku (SICK, 2018, s. 87–38). Kuvakennon herkkyyden säädöllä saadaan valoisuutta myös parannettua, mutta se saattaa aiheuttaa kuvaan kohinaa.

7.1.3 Tulokset

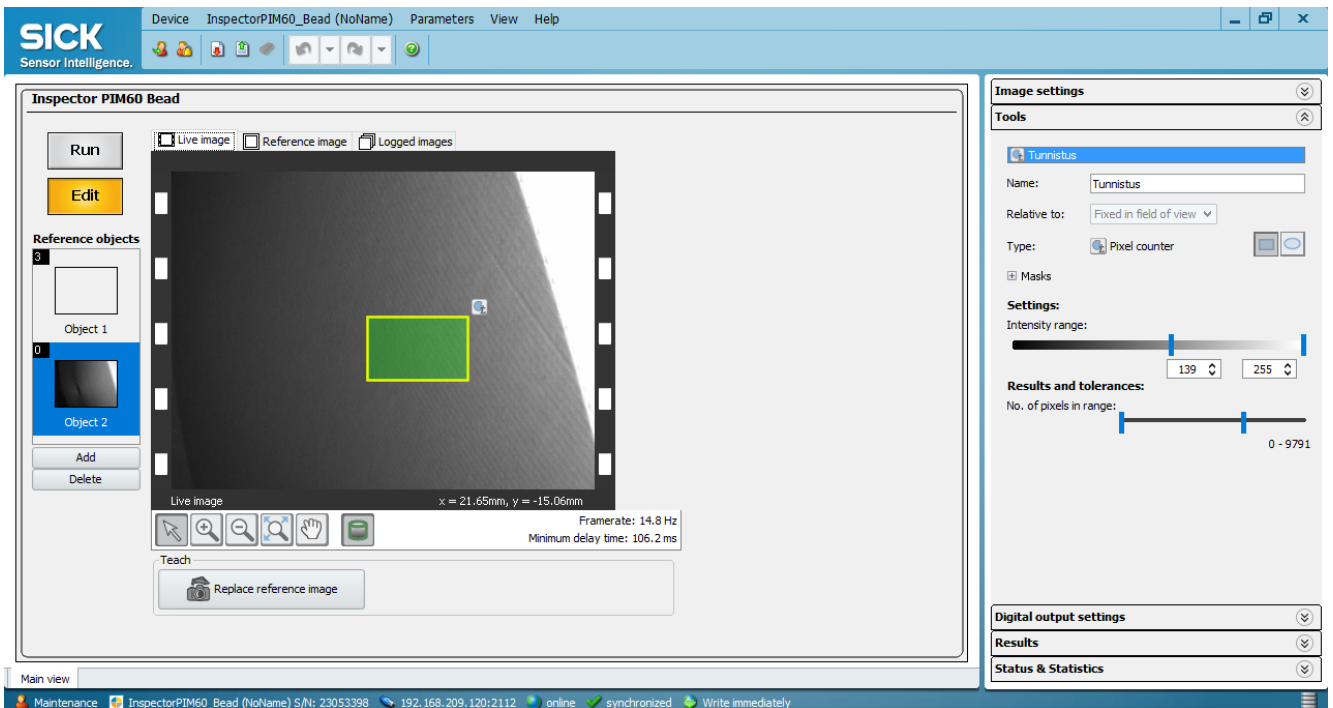
Tunnistus onnistui erittäin hyvin valkoisen paperirullan sivua vasten, koska sävyero ruskeasta pahvista valmistettuun päätylappuun oli hyvin selkeä (kuva 11 ja kuva 12). Myös ruskean paperirullan sivua vasten tunnistus onnistui samoja määriä käyttäen hyvin. Ruskealla paperilla ero ei ollut yhtä selkeä, kuin valkoisella, mutta kuitenkin riittävä varmaan tunnistukseen (kuva 13 ja kuva 14).

Valaistuksella on erittäin suuri vaikutus tunnistuksen onnistumiseen. Tässä käytössä kannattaisikin harkita ulkoisen valonlähteen lisäämistä kameraan. Tällöin saavutettaisiin todennäköisesti tasaisempi valaistus. Epätasainen valaistus aiheuttaa helposti rullan sivuun tummia varjostumia, joiden sijainti muuttuu rullan halkaisijan mukaan. Varjostuneen kohdan osuminen tunnistusalueelle saattaa aiheuttaa virheellisen tunnistuksen.

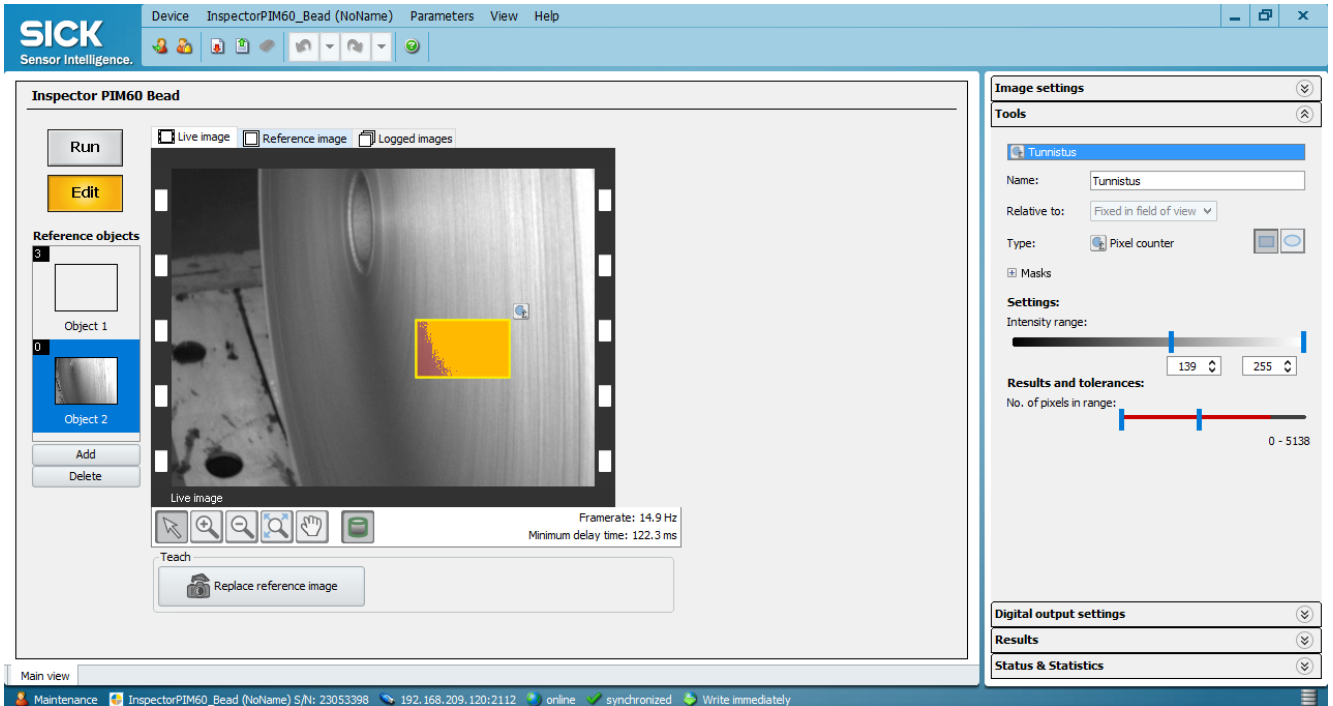
Tunnistettava kohta muuttuu rullan halkaisijan mukaan. Normaaleilla pakattavien rullien halkaisijoilla tämän ei pitäisi aiheuttaa ongelmaa, mutta joillakin erityisen pienillä halkaisijoilla tunnistus ei välttämättä osu rullan sivuun. Halkaisijaltaan pienimpiä rullakokoja varten olisikin todennäköisesti tarpeen määrittää niille oma referenssikuva ja siihen sopiva tunnistusalue. Referenssikuvan valintaan voitaisiin käyttää kameran digitaalisia sisääntulokanavia (SICK, 2018, s. 87).



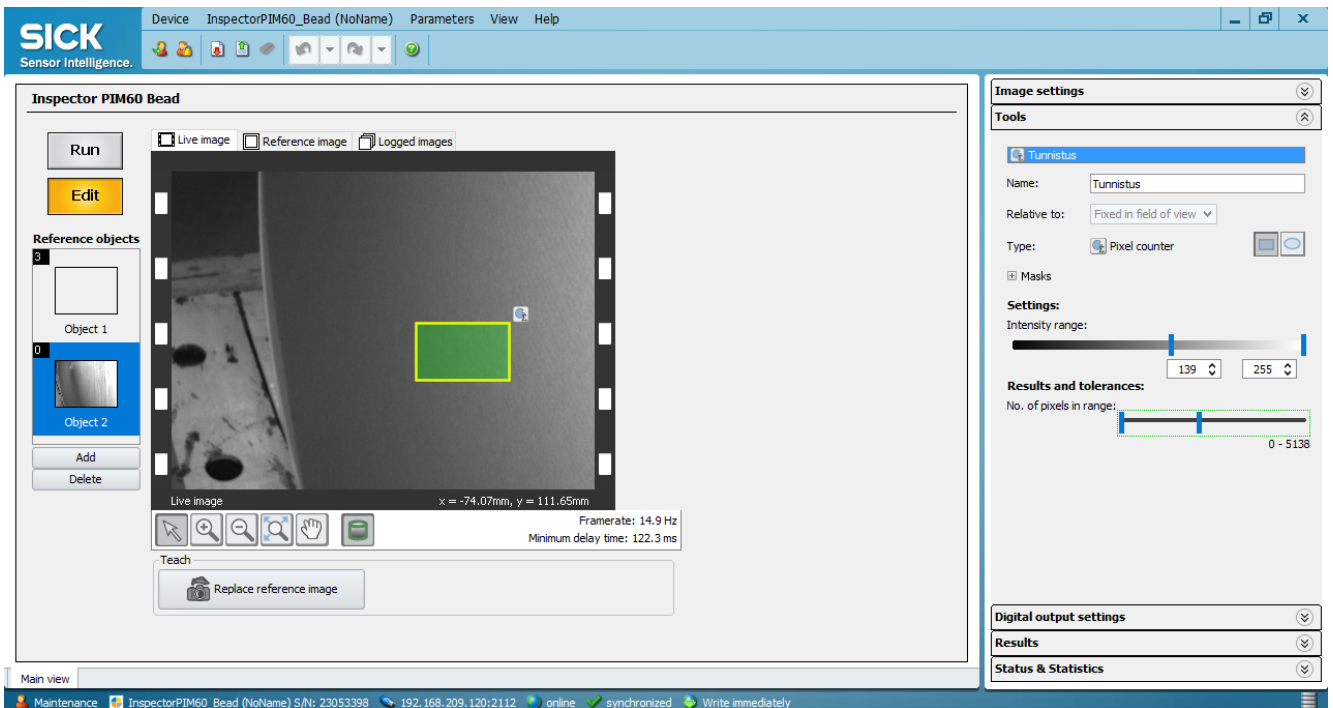
Kuva 11. Valkoinen rulla ilman päätylappua.



Kuva 12. Valkoinen rulla päätylapun kanssa.



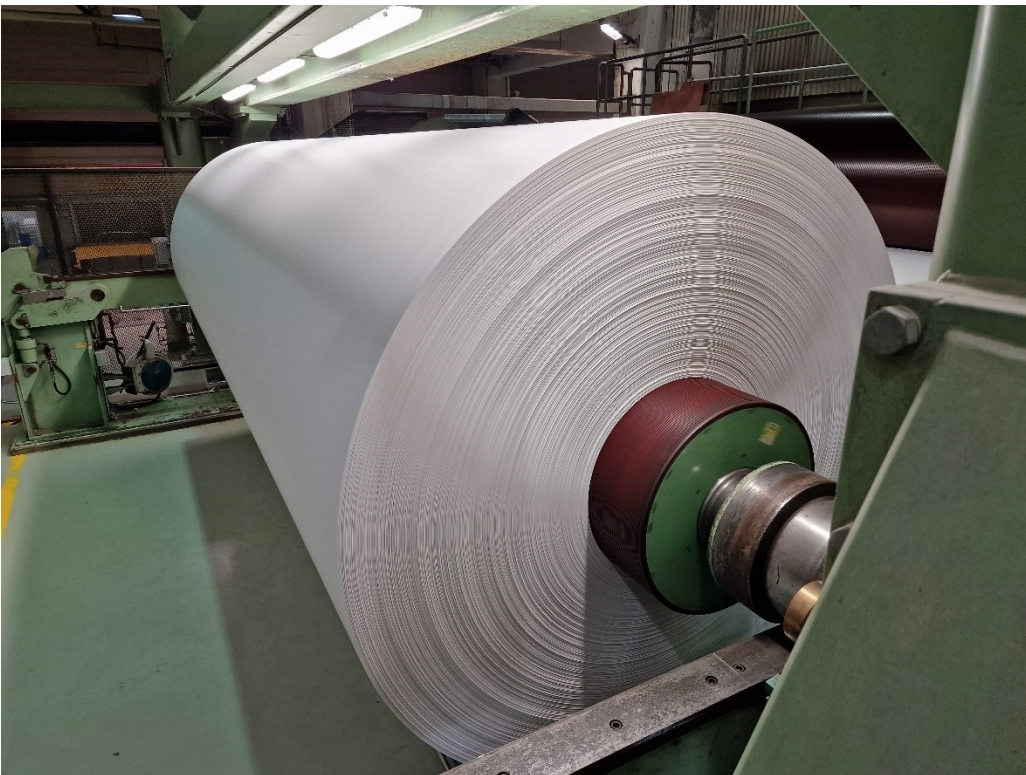
Kuva 13. Ruskea rulla ilman päätylappua.



Kuva 14. Ruskea rulla päätylapun kanssa.

7.2 Konerullan halkaisijan mittaus

Valmistuvan konerullan mittauksessa ei nykyisellään ole toimivaa mittausjärjestelmää. Konerullan halkaisijan näyttö perustuu täysin laskennalliseen halkaisijaan ja siinä esiintyy jonkin verran epätarkkuutta. Konerullan halkaisijan mittaukseen on tehtaalla kokeiltu optiseen mittaukseen perustuvaa järjestelmää, mutta paperin kiiltävän pinnan takia se ei toiminut luotettavasti.



Kuva 15. Valmistuva konerulla.

7.2.1 Testausjärjestelyt

Koska tutkimukseen valitusta kameramallista löytyy työkalu kahden pisteen väliseen mittaukseen, päätettiin sen soveltuvuutta konerullan halkaisijan mittaukseen tutkia.

Paperikoneen rullaimen molemmilla puolilla on turva-aidat (kuva 15). Näiden aitojen takia sopivaa asennuspaikkaa kameralle ei voitu järjestää ilman kiinteitä asennuksia. Kiinteitä asennuksia taas on mahdoton järjestää koneen normaalin käynnin aikana. Testaaminen

päätettiin tästä syystä toteuttaa hylkyyn menevälle konerullalle sen aukirullauksen yhteydessä (kuva 16).

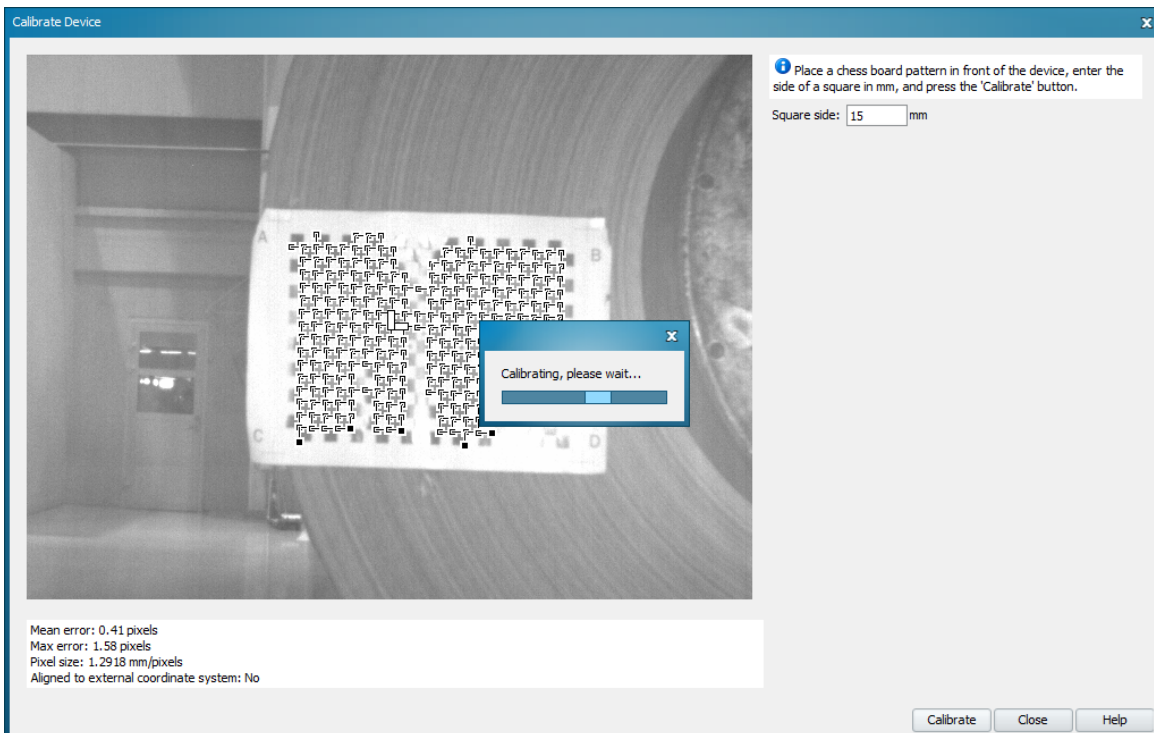


Kuva 16. Hylkyyn menevä konerulla aukirullaimella.

7.2.2 Kameran kalibrointi ja määrittely

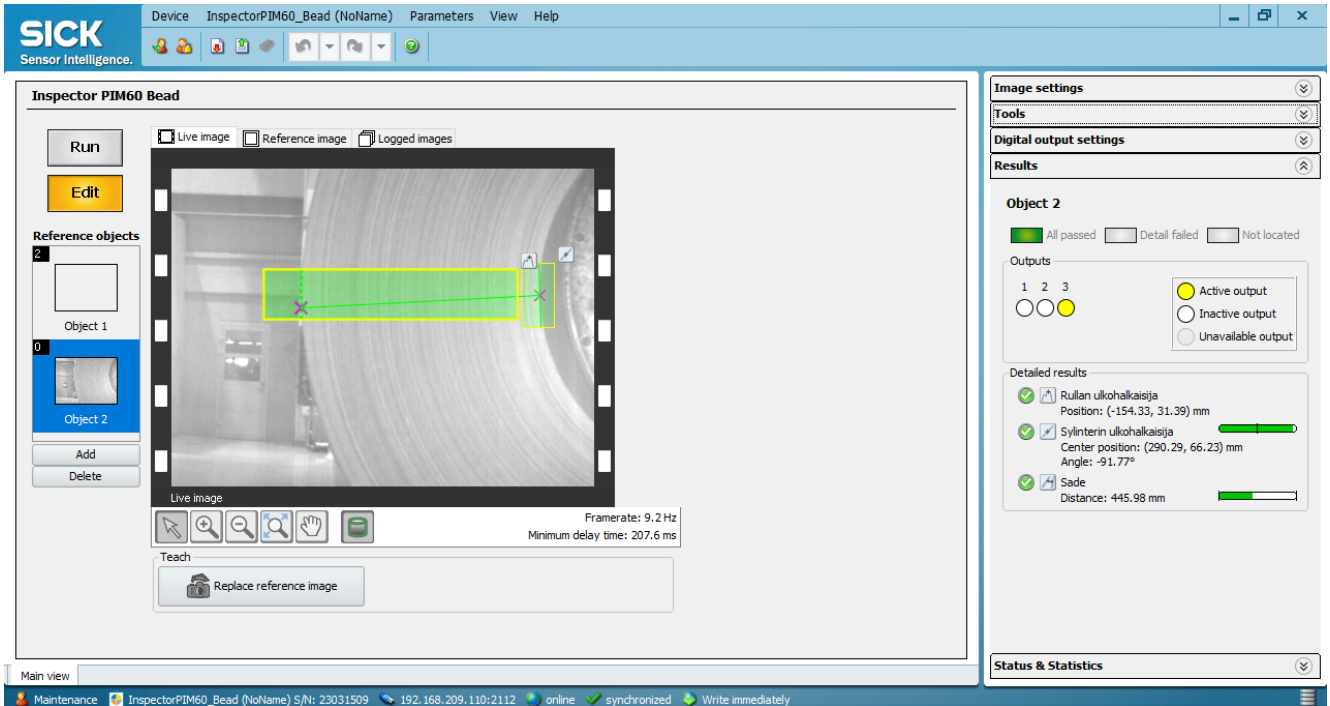
Kyseinen Sick kameramalli vaatii kalibroinnin mittaustyökalujen käyttöä varten (SICK. 2018. s. 40). Ilman kalibrointiakin mittauksella on mahdollista mitata etäisyyttä pikseleiden määränä. Mikäli mittaus kuitenkin halutaan mahdollisimman tarkaksi ja tulos millimetreinä, täytyy kamera kalibroida erillisen tulostettavan kalibroitikuvan avulla. Kalibroitikuvat on mahdollista ladata valmistajan kotisivuilta ja niitä on saatavilla eri kokoisina.

Kalibrointia varten tulostettiin A3 paperille kalibrointikuva, jossa ruutujen koko oli 15 mm (kuva 17). Kalibrointikuvan olisi hyvä olla niin suuri, että se peittää koko kuva-alkan (SICK. 2018. s. 70). Tässä tapauksessa suurempaa tulostetta ei ollut mahdollista käyttää, joten kalibrointi suoritettiin pienemmällä kuvalla. Kalibrointi onnistui tästä huolimatta, mutta suuremmalla kuvalla olisi todennäköisesti saavutettu parempi tarkkuus.



Kuva 17. Kalibrointi mittausta varten.

Kalibroinnin jälkeen määritettiin mittaus telan pinnan ja konerullan ulkopinnan välille. Etäisyyden mittaamiseen tarvitaan kaksi referenssipistettä, jotka voivat olla reunan- (Edge), tai ympyräntunnistuksen (Circle) työkaluilla etsittäviä pisteitä (SICK. 2018. s. 44). Edge-työkaluja on valittavana kaksi erilaista. Niiden avulla voidaan joko etsiä määritetyltä alueelta suoraa reunapintaa tai etsiä halutulta alueelta lähin tai kauimmaisina suoraa reunapintaa (SICK. 2018. s. 54). Tässä tapauksessa telan ulkopinnan tunnistamiseen käytettiin tavallista Edge-toimintoa ja rullan ulkoreunan tunnistamiseen kauimmaisen reunapinnan tunnistavaa työkalua. Telan ulkopinnan sijainti pysyy lähes muuttumattomana, mutta paperin ulkoreuna liikkuu rullan halkaisijan muuttuessa. Näiden löydettyjen pisteiden väliltä mitattiin etäisyys Distance-työkalua käyttämällä.



Kuva 18. Mittaus kohtisuoraan konerullan sivusta.

7.2.3 Tulokset

Molempien reunojen tunnistus Edge-työkaluilla onnistui hyvin, ja niiden väliltä mitattu etäisyys vastasi tarkkuudeltaan hyvin tarkasti konerullan todellista mitattua paksuutta. Koska kaikki käytettävät tampouritelat ovat samankokoisia, pystyisi mitatusta tuloksesta helposti laskemaan rullan todellisen halkaisijan.

Konerullan halkaisijan pienentyessä aukirullauksen aikana reunan tunnistus seurasi hyvin paperin ulkopintaa (kuva 18). Ongelmaksi muodostui taustalla näkyvät pystysuorat pinnat, jotka saattoivat aiheuttaa satunnaisia virhetunnistuksia. Ratkaisuna tähän ongelmaan kamerasijaintia muutettiin kuvaamaan konerullaa lievästi sivuviistosta. Tällöin reunan tunnistus konerullan tasaista ulkopintaa vasten onnistui huomattavasti paremmin. Tämä kuvakulma aiheutti toisaalta mittaukseen myös jonkin verran epätarkkuutta. Parhaan tuloksen saavuttamiseksi kuvassa näkyvä konerullan tausta pitäisi saada tasaisen vaaleaksi, kuvakulman ollessa kohtisuoraa rullan sivua vasten.



Kuva 19. Konerullan halkaisija alkutilanteessa.

Suoraa konerullan sivusta mitattuna mittauksessa oli alkutilanteessa ainoastaan muutamman millimetrin ero todelliseen mittaan (kuva 19). Testattavassa konerullassa rullan pinta ei ollut täysin tasainen, kuten normaalisti valmistuvassa konerullassa on. Epätasainen pinta aiheutti jonkin verran epätarkkuutta ja haastetta reunan tunnistuksessa.

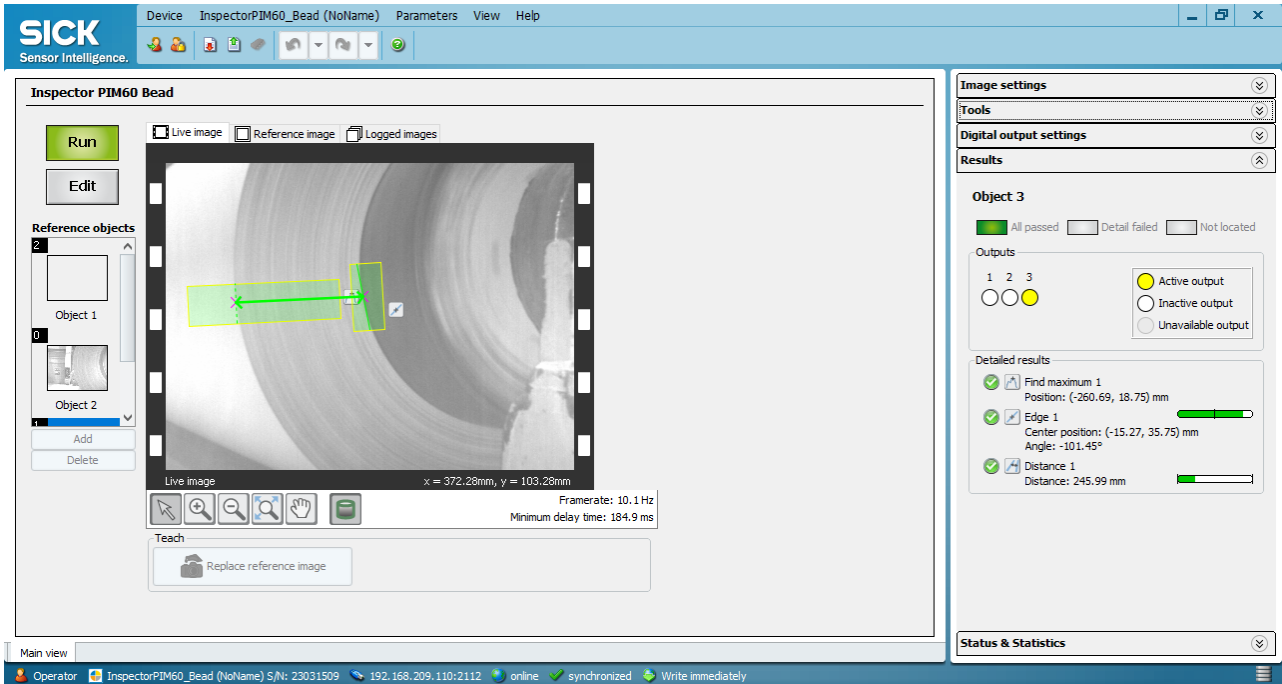
Konerullan pyöriessä ja koon pienentyessä aiheuttivat taustalla olleet kohteet satunnaisia virhetunnistuksia. Mittaustarkkuus kuitenkin säilyi kohtalaisen hyvänä koko rullauksen ajan. Tarkkaa varmistusmittauksen tulosta pyörivästä rullasta ei käytettävissä olleilla välineillä onnistunut saamaan, mutta mittauksen virhe oli enimmilläänkin alle senttimetrin luokkaa.



Kuva 20. Mittaus viistosti konerullan sivusta.

Kuvakulman ollessa lievästi viistossa rullaa kohden reunantunnistuksen tarkkuus parani huomattavasti, eikä epätasainen tausta aiheuttanut virheellisiä tunnistuksia (kuva 20). Kameran kuvassa rullan tasaista sivupintaa vasten reunan paikka erottui selkeämmin (kuva 21). Tässä vaiheessa kameralle ei suoritettu uutta kalibrointia, joten täysin vertailukelpoista tulosta tarkkuudesta ei saatu. Kuvakulman aiheuttamien haasteiden takia voidaan silti päätellä, että tällä asettelulla ei välttämättä päästä yhtä hyvään tarkkuuteen kuin kohtisuoraan sivusta kuvaamalla.

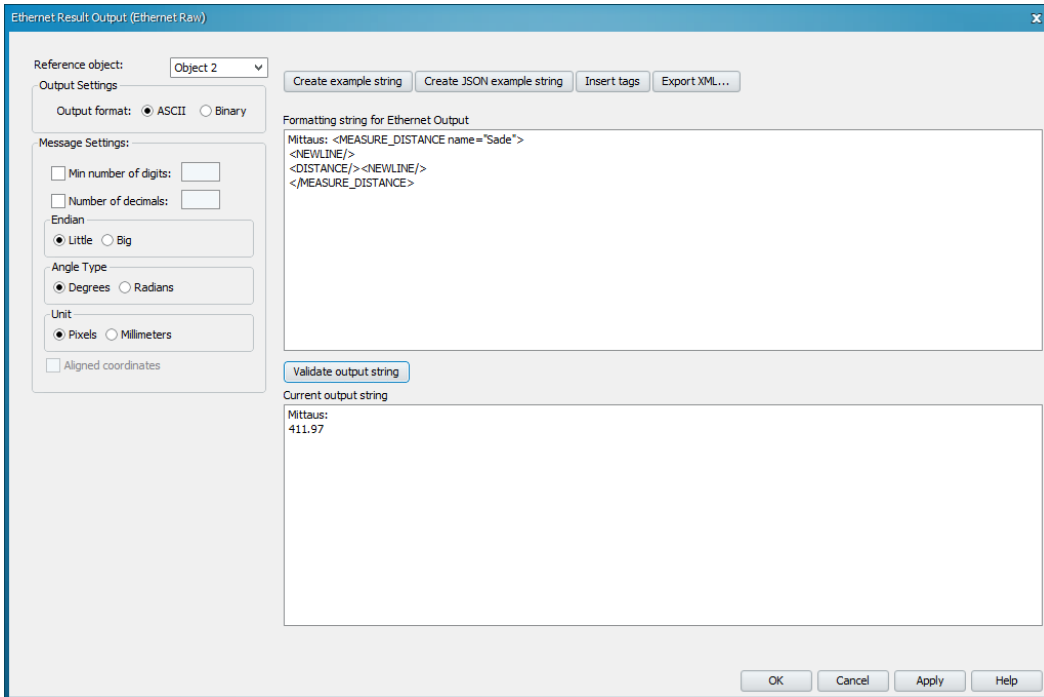
Aikatauluhaasteitten takia tässä työssä ei kameran toimivuutta testattu perusteellisesti, koska se olisi vaatinut kiinteiden asennuksien tekemisen. Kuitenkin näiden testien perusteella voidaan olettaa konenäkötekniikan hyödyntämisen olevan mahdollista kyseisessä kohteessa.



Kuva 21. Mittaus viistosti konerullan sivusta.

7.2.4 Tiedonsiirto

Kyseisestä kameramallista ei löydy analogisia kanavia, joiden avulla voitaisiin mittaustulos siirtää automaatiojärjestelmään perinteisesti käytettävänä virta- tai jänniteviestinä. Mittaustulos olisi kuitenkin mahdollista siirtää Ethernet-liityntää käyttämällä (kuva 22).



Kuva 22. Ethernet output määrittämiset.

7.3 Hylsykoodin tunnistus pituusleikkurilla

Pituusleikkurilla paperirullat leikataan asiakkaan tilaamien mittojen mukaisesti halutun kokoiselle hylsulle. Hylsyjä on käytössä useita eri kokoisia. Hylsynsyöttöjärjestelmä on täysin automaattinen. Hylsyrobotti noutaa valitun hylsyn varastosta, jonka jälkeen se leikataan tuotannonohjausjärjestelmästä saatujen asiakkaan tilaamien mittojen mukaisesti. Hylsyt siirretään tämän jälkeen kuljetinjärjestelmällä pituusleikkurille (kuva 23).

Ennen hylsyjen syöttämistä leikkuriin ne täytyy vielä tunnistaa oikean kokoiseksi. Tähän käytetään järjestelmää, joka mittaa hylsyn ulkohalkaisijan ja tunnistaa sen perusteella mikä hylsy on kyseessä. Tämän järjestelmän ongelmana on, että eri kokoisten hylsyjen ulkomitta on hyvin lähellä toisiaan seinämävahvuuden erojen takia. Tämän takia järjestelmä saattaa välillä tunnistaa hylsyn virheellisesti väärän tyypiksi.



Kuva 23. Leikkurin hylsyntyöttöjärjestelmä.

7.3.1 Testausjärjestelyt

Hylsyjen tunnistamista testattiin kahdella eri kokoisella lyhyellä testikappaleella (kuva 24). Käytettävissä hylsyissä on merkittynä hylsyn sisähalkaisija sekä hylsyn seinämävahvuus millimetreinä. Merkintä on tulostettu kaikkiin hylsyihin 12 mm kokoisilla numeroilla, jotka on tulostettu pituussuunnassa 150 mm välein.



Kuva 24. Hylsykoodin tarkastuksen testausjärjestely.

7.3.2 Kameran määrittely

Hylsykoodin tunnistamiseen käytettiin kameran Object locator -työkalua (SICK. 2018. s. 47). Kyseisellä työkalulla voidaan etsiä määritetyltä alueelta kuvasta haluttu kohde. Työkalulle opetetaan etsittävän kohteen ääriviivat, ja se etsii kuvasta niitä vastaavaa kohdetta.

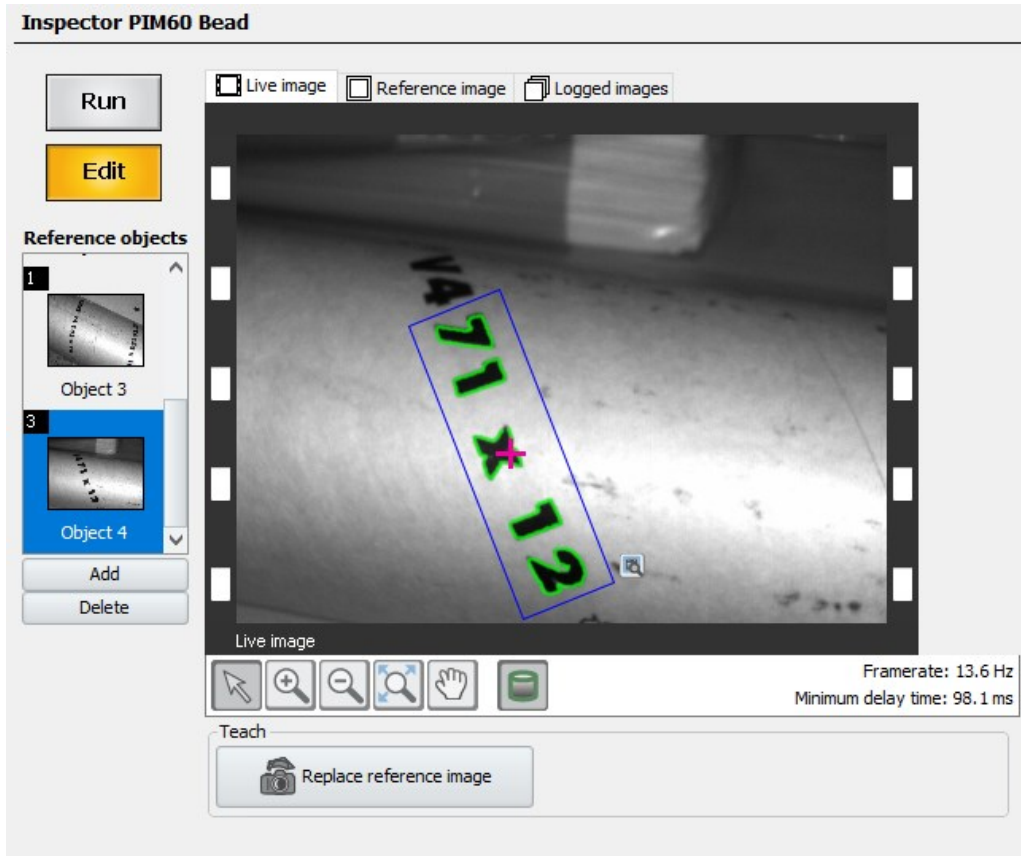
Kyseiselle työkalulle voidaan määritellä vain yksi kuvasta etsittävä kohde. Eri hylsykoodeja varten täytyisi siis käyttää useita referenssikuvia, joihin jokaiseen olisi opetettu eri hylsykoodi. Kyseiseen kameramalliin voidaan tallettaa yhteensä 32 referenssikuvaa (SICK. 2018. s. 87). Kuvien valintaan voidaan käyttää kameran neljää digitaalista sisääntulokanavaa ja niiden kombinaatioita. Neljällä sisääntulolla voidaan siis valita käytettäväksi yhteensä 16 eri referenssikuvaa.

Hylsyn tunnistus voitaisiin toteuttaa esimerkiksi valitsemalla automaatiojärjestelmästä vuorotellen eri hylsykoodin tunnistuksen sisältävä referenssikuva ja kameran tunnistessa kyseisen koodin se lähettäisi tiedon digitaalisen ulostulon kautta. Mikäli yhtä sisääntuloa käytettäisiin kuvan ottamisen ajoitukseen, pystyisi kolmella sisääntulolla vaihtamaan kahdeksan eri referenssikuvan välillä.

Kameralle opetettiin kaksi eri hylsykoodia Object locator -työkalun avulla. Tunnistusetäisyys määritettiin niin, että hylsyssä olisi aina vähintään kaksi koodimerkintää näkyvillä kuva-alalla. Todellisuudessa kuva pitäisi saada tätäkin laajemmalta alalta, jotta kuvassa olisi aina varmuudella ainakin yksi merkintä nähtävillä

7.3.3 Tulokset

Hylsykoodin tunnistus onnistui hyvin kyseisen etäisyyden päästä (kuva 25). Teksti oli mahdollista tunnistaa tarvittaessa myös ylösalaisin, kun Allow rotation -asetus oli käytössä. Koodin luku onnistui luotettavasti koko kuva-alalta. Luku onnistui myös hylsyä käännettäessä, niin kauan kuin merkintä oli kokonaisuudessaan luettavissa.

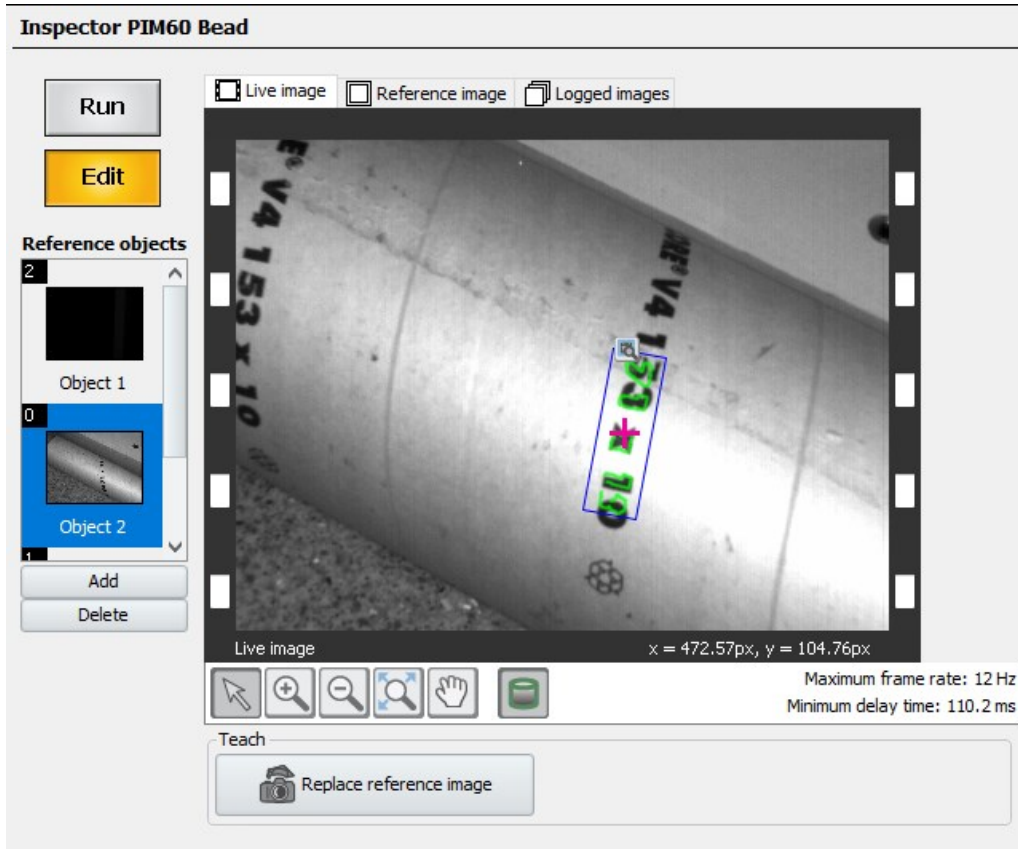


Kuva 25. Onnistunut hylsykoodin tulkinta.

Seuraavaa hylsykokoa testattaessa sen kokomerkinä aiheutti virheellisen tunnistuksen. Kamera tunnisti hylsyn 153 X 10 merkinnän virheellisesti aiemmin testatuksi 71 X 12 -merkinnäksi (kuva 26). Virheellistä tunnistusta esiintyi, vaikka tunnistuksen toleranssia yritettiin säätää tiukemmaksi. Tekstin ääriiviivat muistuttivat pitkän kuvausetäisyyden takia liikaa toisiaan. Kameran siirtäminen lähemmäs tunnistettavaa hylsyä poisti virheellisen tulkinnan. Lähempää hylsyä kuvattaessa molempien hylsykoodien tunnistus onnistui hyvin, eikä virheellisiä tunnistuksia esiintynyt.

Hylsyn kuvaaminen lähietäisyydeltä aiheuttaa kuitenkin muita ongelmia. Tällöin kuva-alalle ei mahdu kuin yksi hylsykoodin merkintä, ja haasteeksi muodostuu sen osuminen juuri oikeaan kohtaan.

Tämän takia ainakaan testattu kameramalli ei sovellu luotettavasti kyseisen hylsyn tunnistukseen tässä kohteessa.



Kuva 26. Epäonnistunut hylsykoodin tulkinta.

7.4 Ratakatkovalvonta

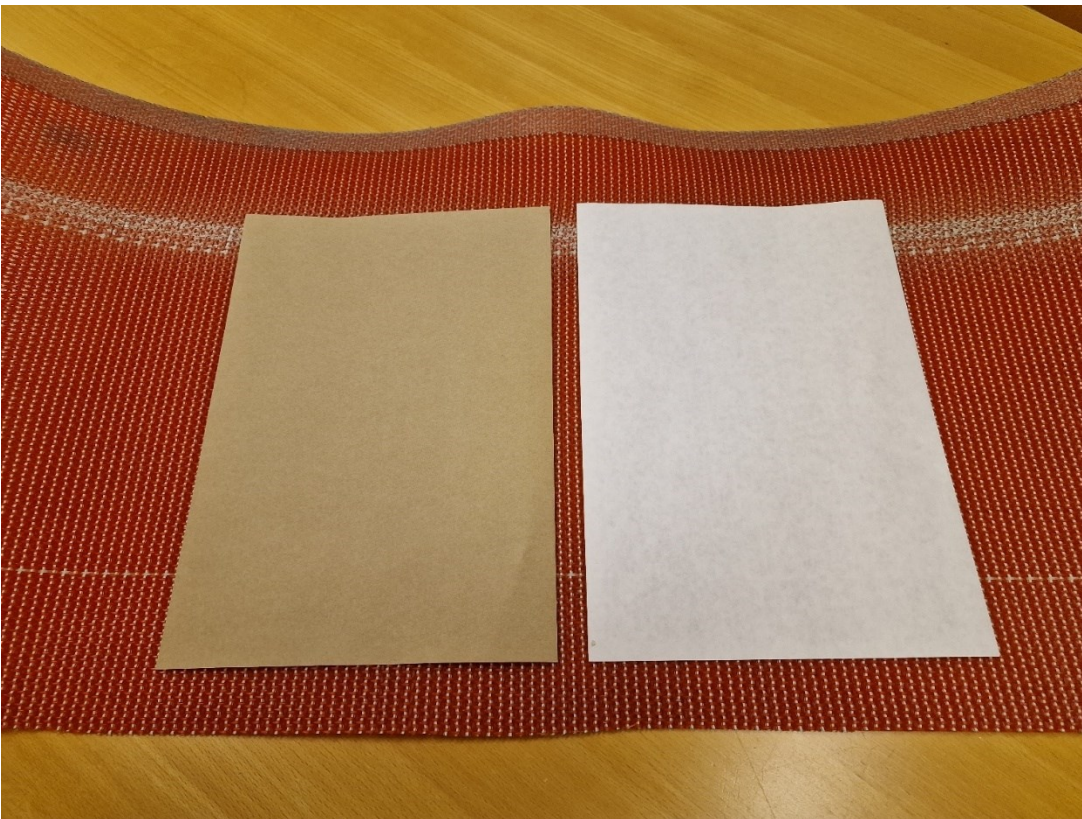
Paperikoneella käytetään yleensä optista mittausjärjestelmää ratakatkojen ilmaisuun (KnowPap, sisäinen tietolähde, 2023a). Järjestelmässä mitataan paperirataa viiran tai te-
lan pintaa vasten joko perinteisellä IR-valolla tai RGB-värimittauksella. Mittapäässä on te-
räksisen suojakuoren sisällä lähetin- ja vastaanotinpari. Mittapähän on yleensä johdettu
myös paineilma, jonka tehtävänä on jäähdyttää ja pitää mittapään optiset osat puhtaina.
Mittapäästä signaali johdetaan valokuitua pitkin elektroniikkayksikölle. Elektroniikkayksikkö
on yleensä asennettu huuvan ulkopuolelle, jotta se ei altistu huuvan korkealle lämpötilalle.

Kyseisellä tehtaalla on käytössä sekä perinteistä IR-valoon perustuvaa järjestelmää että
myös uudempaa RGB-tekniikkaa. Vanhan IR-järjestelmän varaosien saatavuus alkaa olla
heikkoa, joten sen uusinta on väistämättä edessä jossain vaiheessa.

7.4.1 Testausjärjestely

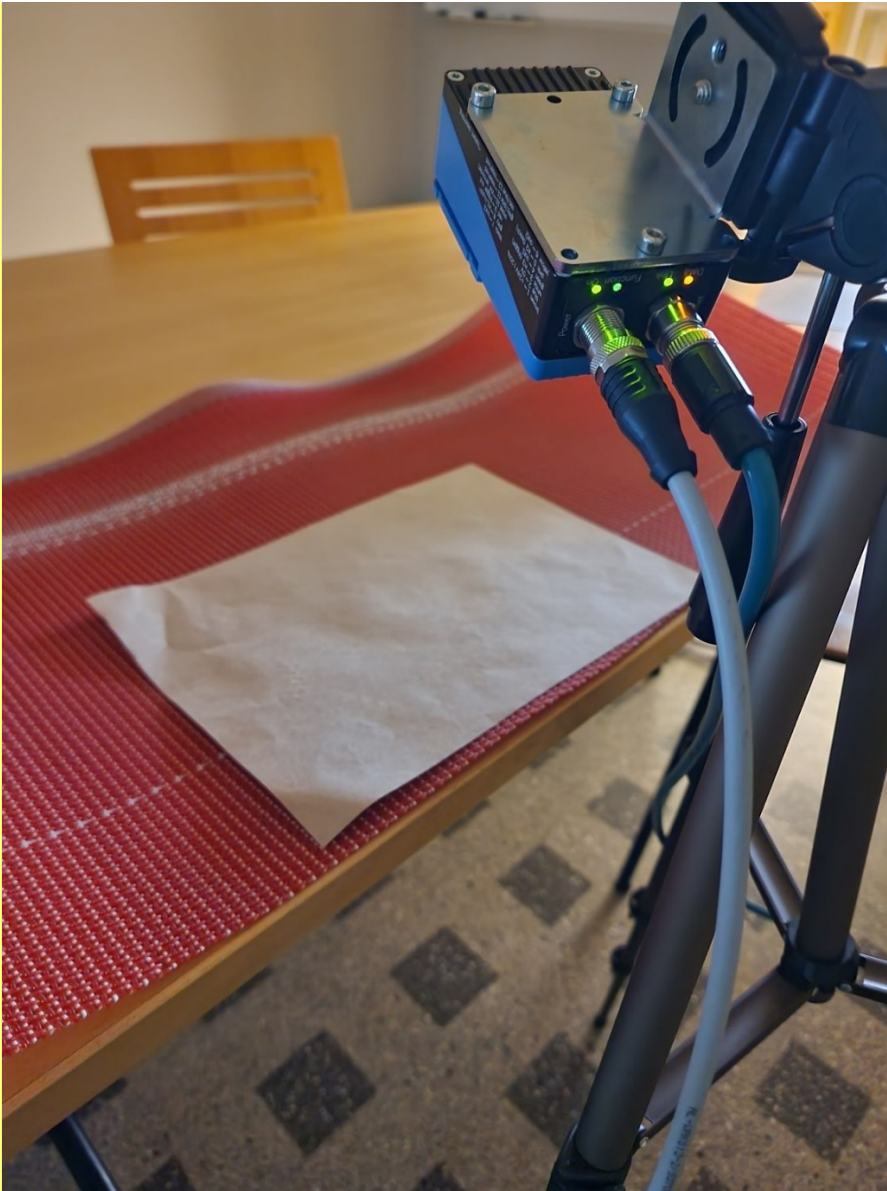
Konenäköjärjestelmän soveltuvuutta ratakatkon ilmaisuun tutkittiin käytössä olevalla Sickin kameralla. Kameran testaaminen todellisessa käyttöympäristössä huuvan sisällä olisi turvallisuussyistä erittäin haastavaa ja vaatisi kiinteän asennusten rakentamista. Tästä syystä testaaminen päätettiin suorittaa testiympäristössä.

Testausta varten hankittiin pala paperikoneessa käytettävää viiraa ja paperinäytteet sekä ruskeasta että valkoisesta paperista (kuva 27).



Kuva 27. Ruskea ja valkoinen paperinäyte viiraa vasten.

Tutkimukset suoritettiin tilassa, jonka valaistusta pystyttiin himmentämään vastaamaan paperikoneen huuvan erilaisia valaistusolosuhteita (kuva 28).

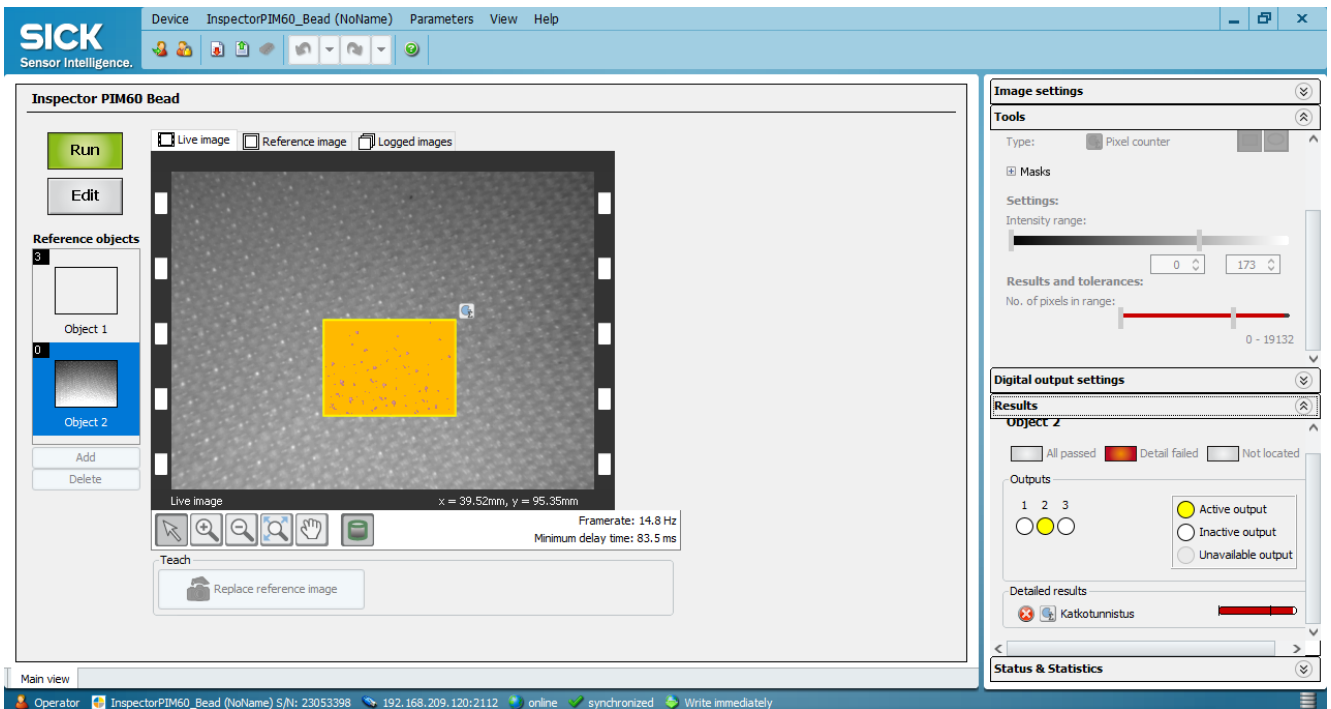


Kuva 28. Paperin tunnistus viiraa vasten.

7.4.2 Kameran määrittely

Paperinäytteen tunnistamiseen viiraa vasten käytettiin Pixel counter -työkalua, joka on esitely vaihdon varmistuksen tutkimuksen yhteydessä. Työkalun avulla määritettiin ensin alue, jonka sisältä pikseleiden sävyä mitataan. Työkalu määritettiin tunnistamaan viiran tummempana näkyvä pohja katkotilanteena (kuva 29). Valaistus oli tasaisinta kuvan

etualalla, joten tunnistettava alue määritettiin mahdollisimman lähelle sitä. Viiran pinta näkyi kuvassa selkeästi tummempana kuin paperinäyte, joten raja-arvojen määrittäminen onnistui hyvin.

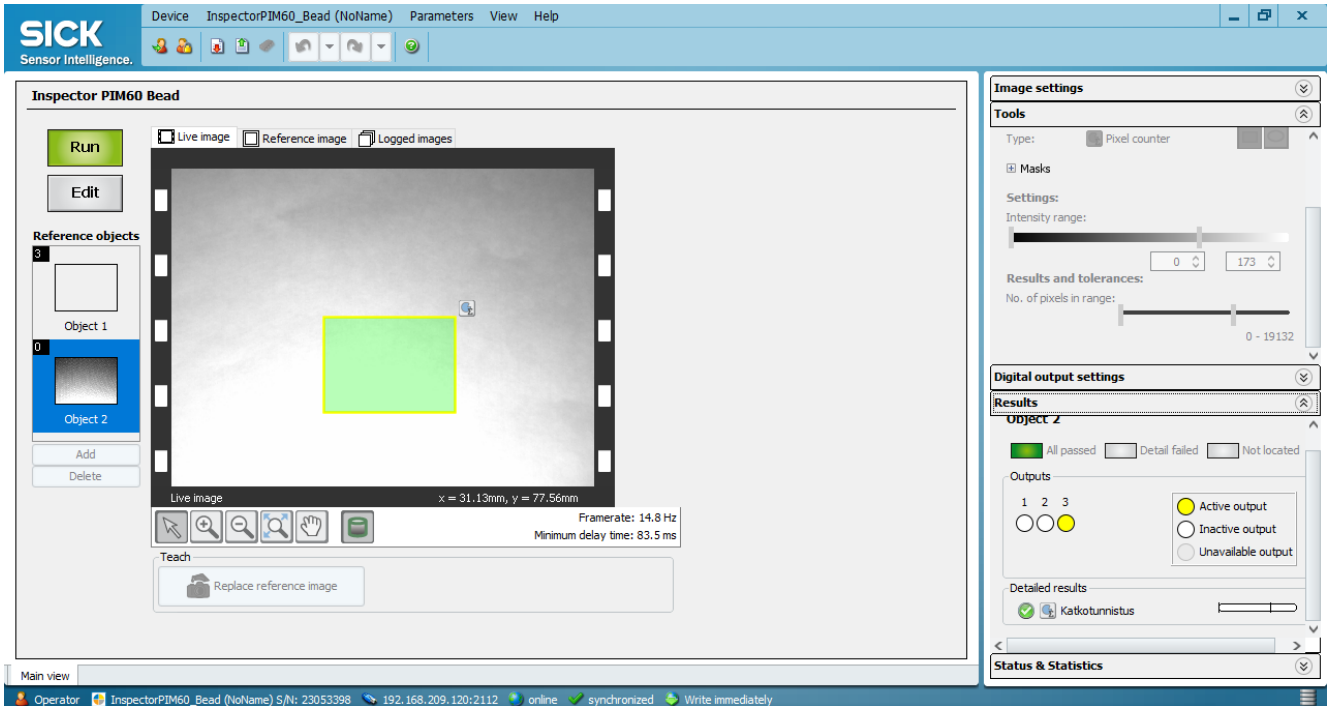


Kuva 29. Pelkkä viira ilman paperia, joka vastaa katkotilannetta.

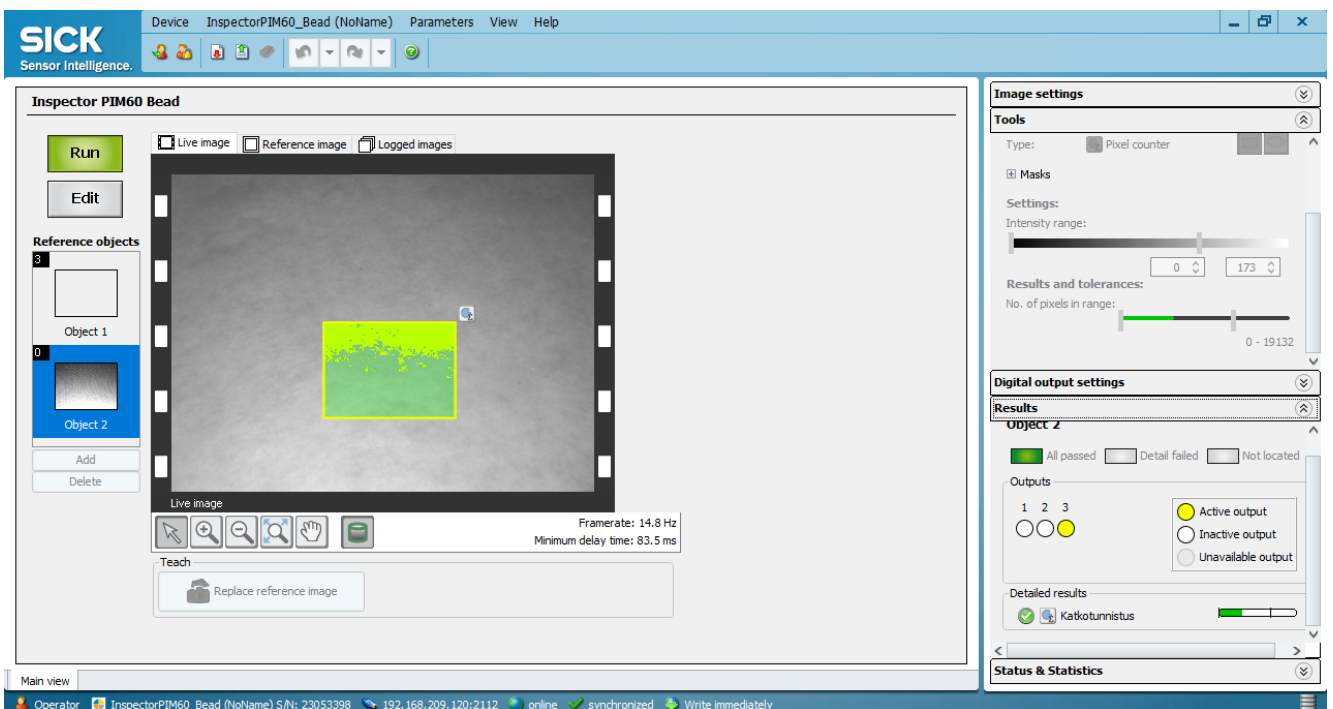
7.4.3 Tulokset

Kameran suuntauksella oli suuri vaikutus valaistuksen tasaisuuteen. Sivusuunnasta viiraa kuvaamalla kuvan tausta jäi etualaa tummemmaksi. Parhaiten tasainen valaistus saavutettiin kuvaamalla viiran pintaa lähes kohtisuoraa sen yläpuolelta. Ympäristön valaistuksella ei ollut merkittävää vaikutusta tunnistuksen onnistumiseen.

Valkoisella paperinäytteellä ero viiran pintaan oli hyvin selkeä ja tunnistus onnistui erittäin hyvin (kuva 30). Ruskealla paperinäytteellä sävyero jäi pienemmäksi, mutta tunnistus onnistui siitä huolimatta hyvin (kuva 31).



Kuva 30. Valkoisen paperin tunnistus viiraa vasten.



Kuva 31. Ruskean paperin tunnistus viiraa vasten.

Ratakatkon ilmaisu siis ainakin näiden testien perusteella onnistuisi konenäköjärjestelmällä hyvin. Mahdollisen haasteen aiheuttaa kuitenkin viiran liikkuva pinta, joka tuo kuvaan liike-epäterävyyttä. Lisäksi ympäristön olosuhteet eivät saisi haitata kameran näkyvyyttä. Tämän tekniikan haasteena onkin kameran soveltuvuus olosuhteisiin. Huvun sisällä lämpötila ylittää reilusti kyseisen kameran suurimman sallitun lämpötilan. Lisäksi kosteuden ja mahdollisten roiskeiden takia kamera pitäisi olla hyvin suojattuna. Kamera vaatisi siis koteloinnin ja hyvän jäähdytyksen.

Tarkempia kenttätestejä ei näiden haasteiden takia kameralla suoritettu, mutta konenäkötekniikan hyödyntäminen näyttäisi silti olevan hyvin mahdollista tässä kohteessa.

7.4.4 Käyttöolosuhteet

Kameran maksimi käyttölämpötilaksi luvataan vain +45 °C. (SICK. 2018, s. 127). Huvun sisällä oleva lämpötila ylittää tämän reilusti. Myös ympäristön kosteus ylittää todennäköisesti sallitut rajat, joka on kyseiselle kameramallille 85 %. Laitteen IP-luokitus on kuitenkin 67, eli pölytiivyyden kanssa ei pitäisi olla ongelmaa, kunhan linssi saadaan pidettyä puhtaana.

Samassa ympäristössä käytetään kuitenkin muitakin laitteita, joiden sallittu toimintalämpötila alittaa huomattavasti ympäristön todellisen lämpötilan. Näissä kohteissa on perinteisesti käytetty laitteen ympärillä metallista koteloa ja paineilmaan perustuvaa Vortex-jäähdytystä. Vortex-putkessa putkeen virtaava paineilma erotellaan pyörteen avulla kylmäksi ja kuumaksi virtaukseksi (Suomen virtaustekniikka Oy, i.a.). Sen avulla kotelon sisälle johdetun kylmän ilman lämpötila saadaan laskettua jopa -46°C asteeseen, ulostulevan kuuman ilman virtauksen ollessa jopa +121°C. Virtauksen määrää säätämällä pystytään lämpötilaa muuttamaan. Paineilman käytöllä pystyttäisiin myös kotelon sisällä pitämään pieni ylipaine, jonka ansiosta pöly ja kosteus eivät pääsisi kotelon sisälle.

8 YHTEENVETO JA TULOKSET

8.1 Vaihdon onnistumisen valvonta

Tutkimustyön pääasiallisen tutkimuskohteen, eli vaihdon onnistumisen valvonnan osalta saatiin toteutettua luotettava tunnistus vaihtotilanteen onnistumisesta. Kehitettäväksi jää vielä automaatiojärjestelmän toiminta vaihdon mahdollisen epäonnistumisen tilanteessa. Kyseisessä tutkimuskohteessa päätettiin ensin seurata valvonnan toimintaa käytännössä ja jatkaa kehitystä automaation toiminnan osalta myöhemmin. Mahdollista epäonnistuneen vaihtotilanteen toimintaa ja siihen liittyviä haasteita automaatiojärjestelmän näkökulmasta on lyhyesti käsitelty kuudennen luvun lopussa.

Konerullan vaihdon onnistumisen valvonnan toimintaa seurattiin kuukauden kestävän jakson ajan. Tämän kuukauden aikana ei ilmennyt ainuttakaan virheellistä tunnistusta. Jakson aikana tunnistettiin onnistuneesti myös epäonnistunut vaihtotilanne. Konenäköön perustuvan vaihdon onnistumisen valvonnan voidaan siis todeta olevan hyvin toimintavarma.

Vaihdon onnistumisen valvonta päädyttiin toteuttamaan vain tampusuritelan toisen päädyn pintaa seuraamalla. Mikäli koetaan tarvetta myös telan toisen päädyn varmistukselle, on siihen mahdollista asentaa vastaavalla tavalla toinen konenäkökamera. Kuitenkin vikatilanteet, joissa tästä kahden kameran valvonnasta olisi hyötyä, ovat erittäin epätodennäköisiä.

8.2 Muut tutkimuskohteet

Muiden tutkimuskohteiden osalta saatuja tuloksia olisi mahdollista hyödyntää uusien sovel-luksien kehittämisessä.

Rullapakkaamon osalta tutkimuksen kohteena ollut päätylapun paikoillaanolon varmistus onnistui hyvin. Kyseisessä kohteessa konenäön mahdollista käyttöä kannattaisi siis tutkia tarkemmin. Lisäksi rullapakkaamosta löytyy varmasti muitakin kohteita, joissa konenäkö voisi olla toimiva ratkaisu. Tässä kohteessa 3D-tekniikkaa pystyisi hyödyntämään pak-kauksen laadunvarmistuksessa.

Katkovalvonta konenäköä hyödyntämällä osoittautui mahdolliseksi. Konenäöllä ei kuitenkaan juuri saavuteta hyötyä muihin olemassa oleviin tekniikoihin verrattuna. Mikäli kuitenkin samaa kameraa pystyttäisiin hyödyntämään esimerkiksi viiran paikan mittaukseen, saattaisi tekniikkaa olla kannattavaa kehittää. Perinteiset älykameramallit eivät kuitenkaan suoraan sovellu käyttöolosuhteisiin, vaan kamera tarvitsisi toimiakseen vähintään erillisen jäähdytyksen.

Konerullan halkaisijan mittauksen todettiin olevan mahdollista konenäkötekniikalla. Siinä on kuitenkin haasteena epätasaisen taustan aiheuttamat satunnaiset virhetunnistukset. Mikäli tausta saataisiin valittua hyvin tasaiseksi, saattaisi konenäköön perustuvaa mittauksen toimintaa olla kannattavaa tutkia tarkemmin. Ennen sitä olisi kuitenkin järkevää tutkia, voidaanko mittaus toteuttaa jotain muuta optista mittausmenetelmää hyödyntäen. Konerullan halkaisijan mittaus valittiin tähän tutkimukseen alun perin, koska konenäön soveltuvuutta haluttiin tutkia suurten kappaleiden mittaukseen.

8.3 Jatkokehitys

Kaikki tutkimukset suoritettiin käyttäen tavallista älykameraa, joka on suunniteltu toimimaan kaikissa tavanomaisissa tarkastustehtävissä. Monissa kohteissa saattaisi toimia paremmin laajemmat ohjelmointimahdollisuudet tarjoava järjestelmä, kuten tietokonepohjainen konenäköjärjestelmä. Tämän tutkimuksen tuloksilla saatiin kuitenkin hyvä yleiskuva siitä, miten tutkimuksen konenäkö soveltuu kyseisiin kohteisiin. Jatkokehityksen kannalta olisi syytä tarkastella tarkemmin, minkälaista tekniikkaa kussakin kohteessa kannattaa hyödyntää.

Vaihdon varmistuksen osalta toteutettavaksi jäi ainoastaan muutokset ohjausjärjestelmän puolelle. Ohjausjärjestelmän toimintaa virhetunnistuksen sattuessa suunniteltiin tutkimusta käsittelevässä osiossa. Tämän pohjalta tulisi toteuttaa vaaditut muutokset vaihtosekvenssin ohjaukseen.

9 POHDINTA

Yrityksessä meneillään olevan digitalisaation kehittämishankkeen myötä tutkimuskysymykseksi nousivat erityisesti tuotannon laatuun ja tehokkuuden parantamiseen vaikuttavat asiat. Tämän työn tutkimuskysymyksiksi muodostuivat seuraavat kysymykset:

- Mitkä ovat kohteet, joissa konenäköä voidaan hyödyntää ja millä tavoin?
- Voidaanko konenäköä hyödyntämällä parantaa konelinjan käyntivarmuutta?
- Saavutetaanko konenäön avulla parannusta laatuun ja tuotannon tehokkuuteen?

Tutkimuskohteiksi valittiin konenäön teoriaan tutustumisen jälkeen muutamia ongelmalliseksi kohteiksi tunnistettuja järjestelmiä ja kohteita, joissa olisi mahdollista vastata tutkimuskysymyksissä määritettyihin asioihin. Kyseisiä kohteita tutkittiin mahdollisuuksien mukaan itse kohteessa tai mahdollisimman sitä hyvin vastaavassa ympäristössä.

Tutkimuskysymyksiin saatiin tutkimuksessa hyvin vastauksia. Tutkimuksessa tunnistettiin useitakin mahdollisia kohteita, joissa konenäkötekniikkaa pystyisi hyödyntämään. Käyntivarmuuteen parantavasti vaikuttavia kohteita löydettiin useampiakin ja konenäön tuomilla varmistuskeinoilla voitaisiin näissä kohteissa välttää tuotannon ylimääräisiä katkoksia. Ylimääräisiä katkoksia vähentämällä voidaan suoraan vaikuttaa myös tuotannon tehokkuuteen. Laadun parannukseen tässä työssä tunnistettiin mahdollisuuksia etenkin pakkauslinjaston valvonnan avulla.

Pääasiallisen tutkimuskohteen osalta tutkimuksen aikana toteutettiin kiinteät asennukset ja määritykset älykameralle sekä suunniteltiin alustavasti ohjaussekvenssin vaatimat muutokset. Tämän työn pohjalta on lisäksi mahdollista lähteä kehittämään myös muihin kannattaviksi tunnistettuihin kohteisiin kiinteitä asennuksia ja niiden vaatimia muutoksia ohjausjärjestelmään.

Työssä tunnistettiin myös mahdollisia kohteita laajempien konenäköjärjestelmien hyödyntämiseen. Esimerkiksi pakkauslinjastolla kannattaisi harkita 3D-konenäkötekniikan aikaansaamia mahdollisuuksia pakkauksen laadun varmistamiseen.

LÄHTEET

Adanur, S. (1997). *Paper Machine Clothing*. Taylor & Francis.

Allied Vision. (i.a.) *Embedded vision cameras*. <https://www.alliedvision.com/en/products/embedded-vision-solutions/>

Association for Advancing Automation (A3). (i.a.). *Vision Standards*. <https://www.automate.org/a3-content/vision-standards>.

Biermann, C. J. (1996). *Pulping and papermaking*. https://www.google.fi/books/edition/Handbook_of_Pulping_and_Papermaking/sfZfyEmqsAC?hl=fi&gbpv=1&dq=paper%20making&pg=PR4&printsec=frontcover

Billerud. (2022) *About us*. <https://www.billerud.com/about-us/our-production-units/>

Bosch. (2021). *Intelligent Video Analytics 7.10*. https://resources-boschsecurity-cdn.azureedge.net/public/documents/TN_VCA_Camera_Traine_WhitePaper_enUS_70505162123.pdf

Davies, E. R. (2005). *Machine vision: Theory, algorithms, practicalities (3. p.)*. Morgan Kaufmann.

Digifaq. (2011). *Optiikkaa valokuvaajille*. http://digifaq.info/digi_omat/optiikka/

Edmund Optics Knowledge Center. (i.a.). *Introduction to Polarization*. <https://www.edmundoptics.com/knowledge-center/application-notes/optics/introduction-to-polarization/>

Hirvonen, J. (2020). Konenäkö SeAMKin opetuksessa ja tutkimuksessa. Teoksessa S. Päällysaho, P. Junell, J. Latvanen, S. Saarikoski, & S. Uusimäki (toim.), Seinäjoen ammattikorkeakoulu 2020: Osaamista strategian vahvuusaloilla (s. 47–57). (Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja A. Tutkimuksia 33). Seinäjoen ammattikorkeakoulu.

Hirvonen, J., Päällysaho, S., Junell, P., Latvanen, J., Saarikoski, S., Uusimäki, S., . . . Sciences, S. U. o. A. (2020). Konenäkö SeAMKin opetuksessa ja tutkimuksessa. Seinäjoen ammattikorkeakoulu.

Hornberg, A. (2006). *Handbook of machine vision*. Wiley-VCH.

Kamerakoulu. (i.a.). *Valokuvauksen perusteet*. <https://kamerakoulu.fi/valokuvauksen-perusteet>

- Leino, M., Valo, P., Luomanmäki, T., Ekola, H., & Kortelainen, J. (2014). 3D-kuvauksella lisää mahdollisuuksia laadunvalvontaan. Teoksessa M. Leino (toim.), *Teknologiatiedolla tuottavuutta: ammattikorkeakoulut kansainvälisen teknologiatiedon tulkkeina pk-yrityksille* (s. 39–46). (Satakunnan ammattikorkeakoulu Sarja B, Raportit 11/2014). Satakunnan ammattikorkeakoulu.
- LUCID Vision Labs. (i.a.). *Understanding The Digital Image Sensor*. <https://thinklucid.com/tech-briefs/understanding-digital-image-sensors/>
- Nasse, H. H. (2010). *Depth of Field and Bokeh*. https://lenspire.zeiss.com/photo/app/uploads/2018/02/cln35_en_web_special_bokeh.pdf
- Nilsson, F., & Murhed, A. (2015). *SICK AG Whitepaper*. https://cdn.sick.com/media/docs/2/22/322/whitepaper_sick_ag_whitepaper_select_the_best_technology_for_your_vision_application_en_im0063322.pdf
- Pietikäinen, M., & Silvén, O. (2021). *Tekoälyn haasteet – koneoppimisesta ja konenäöstä tunnetekoälyyn* (päivitetty 2. p.). Oulun yliopisto. <https://oulurepo.oulu.fi/bitstream/handle/10024/36376/isbn978-952-62-3202-7.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- SICK. (2018). *Operating Instructions*. https://cdn.sick.com/media/docs/6/36/836/operating_instructions_inspector_pim60_ver_2.0_en_im0048836.pdf
- SICK. (2023). *Tuotetietolehtinen*. https://cdn.sick.com/media/pdf/4/44/244/dataSheet_VSPM-6F2413S18_1076617_fi.pdf
- Suomen virtaustekniikka Oy. (i.a.). *Vortex putki*. <https://web.archive.org/web/20190517181823/https://virtaustekniikka.fi/688-vortex-putki.html>
- SuperAnnotate AI. (2023). *Top 16 computer vision libraries*. <https://www.superannotate.com/blog/computer-vision-libraries>
- Tencent Keen Security Lab. (2019). *Experimental Security Research of Tesla Autopilot*. <https://keenlab.tencent.com/en/2019/03/29/Tencent-Keen-Security-Lab-Experimental-Security-Research-of-Tesla-Autopilot/>
- Valmet. (2016). *WaterJet Turn-Up device - Technical brochure*. [PowerPoint-esitys].
- Vision components. (i.a.). *Smart Components for Embedded Vision*. <https://www.vision-components.com/en/products/>

Vision Doctor. (i.a.) *Specification of a machine vision system.* <https://www.vision-doctor.com/en/introduction.html>