OAMK
OULUN AMMATTIKORKEAKOULU

Juuso Kalliokoski

KONENÄÖN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET JOHDINSARJATUOTANNOSSA

KONENÄÖN HYÖDYNTÄMISMAHDOLLISUUDET JOHDINSARJATUOTANNOSSA

Juuso Kalliokoski
Opinnäytetyö
Syksy 2020
Sähkö- ja automaatiotekniikka
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikka, Automaatiotekniikka

Tekijä: Juuso Kalliokoski
Opinnäytetyön nimi: Konenäön hyödyntämismahdollisuudet johdinsarja tuotannossa

Työn ohjaaja: Manne Tervaskanto
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Talvi 2020 Sivumäärä: 31 + 5

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, kuinka konenäköä voitaisiin käyttää hyväksi johdinsarjatuotannossa. Työn toimeksiantaja on PKC Group Oyj:n tutkimus ja kehitys, missä työskentelen harjoittelijana. Työ tehtiin kesällä ja syksyllä 2020. Työssä tarkastellaan erilaisia konenäköjärjestelmiä ja niiden mahdollisuuksia. Työssä tutkittiin myös laajemmin konenäön nykytilannetta ja pohdittiin, miten konenäkö voi kehittyä tulevaisuudessa. Työssä perehdyttiin nykyisten konenäköjärjestelmien hintoihin ja niiden integroimiseen. Työssä käsitellään myös konenäköjärjestelmien vaatimuksia työympäristössä ja miten konenäköjärjestelmät toimivat osana toiminnanohjaustajärjestelmää. Työn aikana tekijän oli tarkoitus oppia enemmän konenäöstä ja kuinka sitä voitaisiin hyödyntää PKC Groupin eduksi tuotannossa.

Käytännön konenäköjärjestelmien testaus suoritettiin sovelluksella, jonka PKC Group tilasi tutkimusta varten. Käytössä ollut kamera oli Basler acA3088-57uc, jonka linssinä on niin sanottu kalansilmälinssi. Testit tehtiin PKC Groupin Kempeleen yksikössä.
Työssä päätuloksena on kehitetty PKC Groupin konenäköjärjestelmää: kokoamispöydän verifiointi- ja kokoamisjärjestelmää.

Asiasanat: Johdinsarja, Konenäkö, Autonomia, Tekoäly

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Electrical and Automation Engineering, Automation Engineering

---

Author: Juuso Kalliokoski
Title of thesis: Possibilities of Machine Vision Utilization on Wiring Harness production
Supervisor: Manne Tervaskanto
Term and year when the thesis was submitted: Winter 2020 Number of pages: 31 + 5

The aim of the thesis was to study how machine vision could be used in wiring harness production. The commissioner is Research and Development of PKC Group, where I have been working as an intern. The work was done in the summer and autumn of 2020. Different kinds of machine vision systems and their possibilities were examined in the work. The purpose of the work was also to study the current situation of machine vision more broadly and to consider the future of machine vision. The prices and integration of current machine vision systems were also researched. The work also deals with the requirements of machine vision systems in the workplace and how a machine vision system operates as a part of an ERP system. During the work, the author was expected to learn more about machine vision and how it could be utilized for the benefit of PKC Group in production.

Testing of practical machine vision systems was performed with an application acquired by PKC Group for machine vision research. The camera used in the tests was Basler acA3088-57uc which has a “fisheye” lens equipped. The tests were done in PKC Group Kempele unit. The main goal was the development of PKC Group’s machine vision system: Stand Alone.

Keywords: Wiring Harness, Machine vision, Autonomy, AI

SISÄLLYS

1 JOHDANTO ... 6
2 ERILAISET KONENÄKÖJÄRJESTELMÄT ... 8
2.1 Erilaisten konenäköjärjestelmien mahdollisuudet ... 8
2.2 Nykyaikainen teknologia ... 12
2.2.1 Nykyisen teknologian mahdollisuudet ... 12
2.2.2 Konenäkölaitteiston hinnat ... 13
2.2.3 Ohjelmiston konfiguraatio ... 14
2.2.4 Käyttöliittymän integrointi ... 15
2.2.5 Vaatimukset ... 16
2.3 Konenäköjärjestelmät toiminnanohjausjärjestelmissä ... 17
2.4 Konenäön teknologia tulevaisuudessa ... 18
3 KONENÄKÖ KÄYTÄNNÖSSÄ ... 20
3.1 Kokoamispöydän verifiointijärjestelmä ja testausjärjestelmä ... 20
3.2 Valaistuksen testi ... 25
4 LOPPUSANAT ... 27
LÄHTEET ... 28
LIITTEET ... 32

1 JOHDANTO

PKC Group on yhteistyökumppani globaalissa hyötyajoneuvoteollisuudessa. PKC suunnittelee, valmistaa ja integroi räätälöityjä johdinsarjoja. Tässä työssä tarkastellaan konenäön eri sovelluksia ja menetelmiä sekä erästä PKC Group Oyj:llä kehitettyä konenäköjärjestelmää.

Konenäkö tarkoittaa tekniikkaa ja menetelmiä, joita käytetään kuvantamiseen perustuvan automaattisen tarkastuksen ja analyysin tarjoamiseen sovelluksille kuten automaattisessa tarkastuksessa, prosessinohjauksessa ja robotinohjauksessa. Konenäkö viittaa moniin tekniikoihin, ohjelmistoihin ja laitteistoihin, integroituihin järjestelmiin, toimintoihin, menetelmiin ja asiantuntemukseen. (1.) Puhuttaessa konenäöstä järjestelmätekniikan alana tarkoitetaan sovellutuksiin tähtäävää konenäköä. Siinä otetaan huomioon sovellusten asettamat vaatimukset, rajoitukset, kuvanmuodostus, algoritmit, järjestelmäarkkitehtuurit, laitteistot ja ohjelmistot sekä käyttöliittymät. Konenäkö järjestelmätekniikan alana yrittää integroida olemassa olevaa tekniikkaa uusilla tavoilla ja soveltaa niitä reaalimaailman ongelmien ratkaisemiseen. Termi on yleisimmin käytetty näille toiminnoille teollisuusautomaatioympäristössä, mutta konenäköä käytetään myös näissä toiminnoissa muissa ympäristöissä, kuten turvallisuudessa ja ajoneuvojen ohjauksessa. (2.)

Kamera ei näe samalla tavalla kuin ihmissilmä. Ihmissilmät reagoivat sähkömagneettisiin aallonpituuksiin 390 - 770 nanometrin alueella, kun taas videokamerat voivat havaita aallonpituuksia paljon laajemmilta alueilta. Tämän kaltaisia konenäköjärjestelmiä ovat järjestelmät, jotka toimivat infrapuna-, ultravioletti- tai röntgen- aallonpituuksilla. Konenäköjärjestelmät käyttävät muun muassa kuvion tunnistus- tai värintunnistusohjelmistoja tietojen tutkimiseen ja johtopäätösten tekemiseen hyödyntäen aikaisempaa tietoa. Tämä tekniikka on erityisen hyödyllinen tarkastettaessa raaka-aineiden ja lopputuotteiden laatua komponenttien puutteiden tai vikojen varalta sekä kaivoksella eri harmaiden sävyjen erottelemiseen kivimassasta. Konenäköjärjestelmä koostuu kamerasta, järjestelmään liittyvästä keskusyksiköstä sekä näiden välisistä kaapeloinneista. Keskusyksikkönä voi toimia tavallinen tietokone, joka sisältää laitteistoa ohjaavan ohjelmiston. Nykyään on myös markkinoilla älykameroita, jotka sisältävät kaiken tarvittavan elektroniikan yhdessä paketissa. Älykameroiden kanssa ei tarvita erillistä tietokonetta kuvien käsittelyyn ja tieto saadaan suoraan kenttäväylälle. (3.)

Konenäön päämääränä on saada kone havaitsemaan kameran kuvaaman näkymän sisältöä ja käyttää tätä dataa hyväksi erilaisissa sovelluksissa. Yksi vaativimmista tehtävistä on näkymän automaattinen tulkinta. Jokaisella sovellutusalueella on omia erityisvaatimuksiaan, eikä yleispäteviä toimintamuotoja ole onnistuttu kehittämään. Valaistuksen muutokset ja muut ympäristövaihtelut aiheuttavat suuria vaikeuksia konenäön havaitsemiselle. Yksinkertaisissa tapauksissa, joissa ei tarvitse tulkita syvyystietoja, näkymät ovat kaksiulotteisia ja niissä kuva muodostuu X- ja Y- akseleiden suuntaisista pikseleistä. 2D-konenäköä käytetään tyypillisesti erilaisiin tarkastustehtäviin. Esimerkiksi osien liikkuessa tuotantolinjoja pitkin voidaan tarkastaa erilaiset mitat, ominaisuudet ja osien suunnat. 2D-järjestelmät toimivat luomalla tasaisia, kaksiulotteisia karttoja heijastuneesta intensiteetistä tai kontrastista. Kolmiulotteisten näkymien tulkinta on huomattavasti kaksiulotteisia haastavampaa, sillä kohteet näyttävät erilaisilta eri tarkastelupisteistä. Syvyysvaihtelujen vuoksi näkymässä ilmenevät esineet voivat myös peittää toisiaan. (3.)

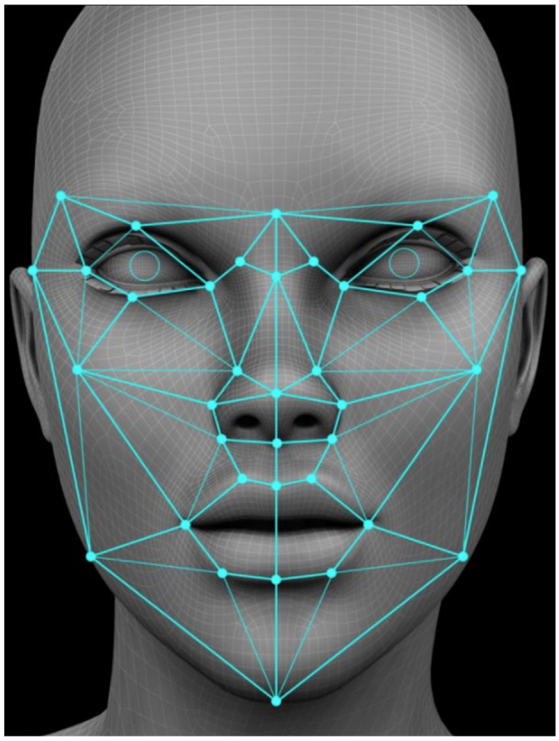
2 ERILAISET KONENÄKÖJÄRJESTELMÄT

Tässä luvussa on tarkoituksena selvittää, mikä erilaisilla konenäköjärjestelmillä on mahdollista ja minkä hintaisia järjestelmät ovat. Käydään läpi myös, millaista on ohjelmiston konfiguraatio, käyttöliittymän integrointi ja mitä vaatimuksia konenäöllä on. Lopuksi tutkitaan miten konenäköjärjestelmät toimivat osana toiminnanohjausjärjestelmää ja miten konenäön teknologia voisi kehittyä tulevaisuudessa.

2.1 Erilaisten konenäköjärjestelmien mahdollisuudet

Älykäs liikennejärjestelmä (ITS) on sovellus, jonka tavoitteena on tarjota palveluja, jotka liittyvät erilaisiin liikennemuotoihin ja liikenteen hallintaan. Sovellus antaa käyttäjilleen mahdollisuuden saada enemmän tietoa ja hyödyntää liikenneverkkoja turvallisemmin ja koordinoidummin. Tekniikka voi esimerkiksi sisältää hätäpalvelujen kutsumisen onnettomuuden sattuessa tai merkkejä, jotka ilmaisevat nopeusrajoituksia sääolosuhteiden mukaan. (4.)

Kasvontunnistus on tapa tunnistaa ihmisen kasvot tekniikan avulla. Kasvontunnistusjärjestelmä käyttää biometriikkaa kartoittamaan kasvojen piirteitä valokuvista tai videoista. (Kuva 1.)



KUVA 1. Kasvontunnistuksen biometriikka (5)

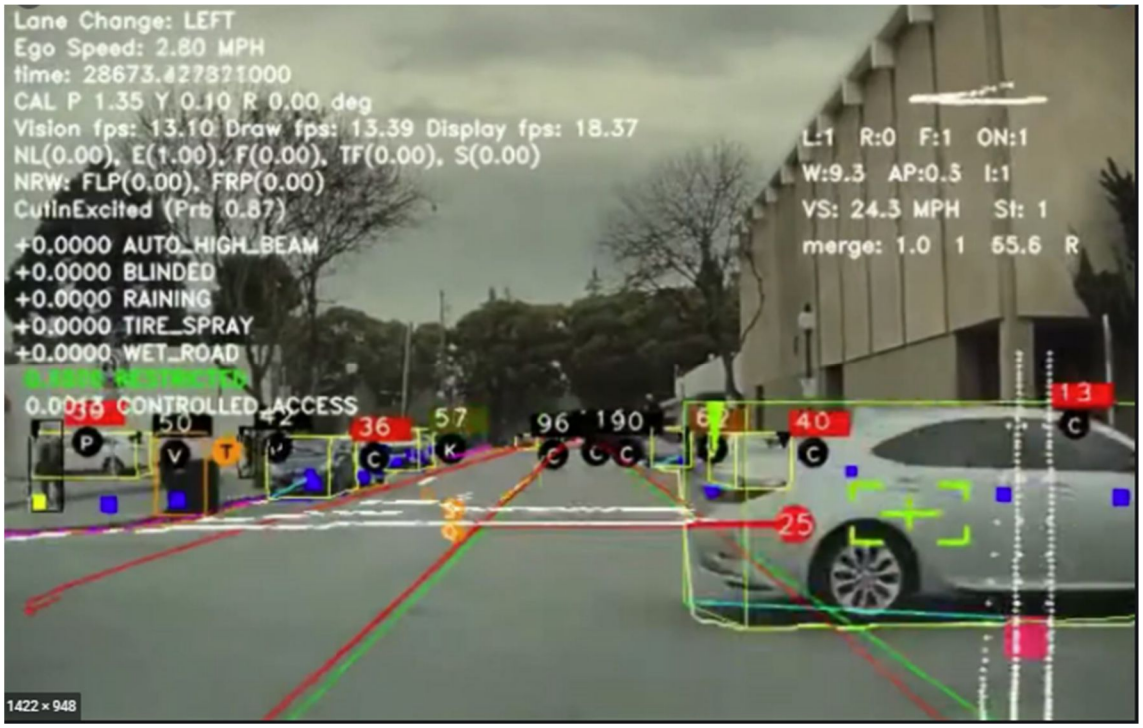
Järjestelmä vertaa tietoja tunnettujen kasvojen tietokantaan vastaavuuden löytämiseksi. Kasvontunnistusteknologialla voidaan esimerkiksi varmistaa henkilöllisyyksiä, mutta varjopuolena se herättää yksityisyyttä koskevia kysymyksiä. (6.)

Jokaisella yksilöllä on omat ominaispiirteensä ja niiden avulla perheenjäsenemme, ystävämme ja tuttavamme tunnistavat meidät. Idea on sama kasvontunnistusjärjestelmässä, mutta suuremmassa algoritmisessa mittakaavassa. Missä ihminen näkee kasvot, tunnistustekniikka näkee tiedot, joita voidaan tallentaa ja käyttää teknologiassa hyväksi. Kasvontunnistusteknologiassa on neljä perusvaihetta:

1) Kasvoista kaapataan kuva valokuvasta tai videosta. Kasvot voivat näkyä yksin tai joukosta.
2) Kasvontunnistusohjelmisto lukee kasvojen geometrian. Tärkeimpiä tekijöitä ovat silmien välinen etäisyys otsaan ja leukaan. Ohjelmisto tunnistaa kasvojen ominaispiirteet, jotka ovat avain kasvojen erottamiseen. Tuloksena on kasvojen allekirjoitus.
3) Kasvojen allekirjoituksen matemaattista kaavaa verrataan tunnettujen kasvojen tietokantaan.
4) Jos kuva löytyy tietokannasta, ohjelmisto yhdistää sen.

Kiina on ehdottomasti kärjessä kasvontunnistustekniikan käytössä. Kiina käyttää tekniikkaa hyväkseen esimerkiksi poliisin työskentelyn tukena, maksuportaaleissa ja lentokentän turvatarkastuksissa (7).

Ajoneuvovalmistaja TESLA on jo pitkään kehittänyt autonomista ajoa ja autopilottia. Autopilotti on kehittynyt kuljettajan apujärjestelmä, joka parantaa ajoturvallisuutta ja -mukavuutta. Järjestelmässä on kahdeksan ulkoista kameraa, tutka, 12 ultraäänitunnistinta ja tehokas ajotietokone. Ominaisuuksiin kuuluu liikennetietoinen vakionopeudensäädin, joka seuraa kameroiden välityksellä ympäristön ajoneuvoja ja muuttaa ajonopeutta niiden mukaan. (Kuva 2.) Automaattinen ohjaus pitää ajoneuvon merkatulla tiellä ja kaistan sisällä. Ohjauksen vaatimuksena on, että ajoneuvon kuljettaja pitää kädet ratin päällä ja kääntää rattia vaaditulla vääntömomentilla tietyin aikavälein. Ajoneuvossa oleva tietokone kuvaa kameroiden välityksellä ympäröivää 3D-maailmaa ja tunnistaa näin ympärillä olevia kiinteitä esteitä. Järjestelmä sisältää myös sää- ja tienpinnan tiedot sekä viestit kauko- ja lähivaloista. Autopilotti seuraa aina ajo-olosuhteita turvallisen ajonopeuden, kiihtyvyyden ja jarrutusominaisuuksien valitsemiseksi. (8.)

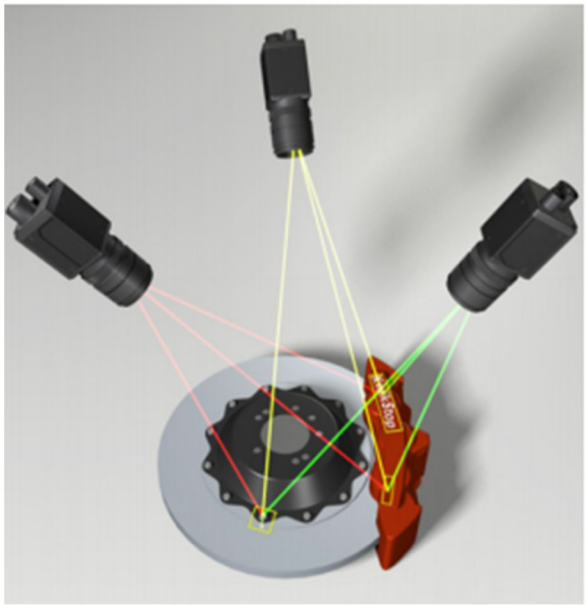


KUVA 2. TESLA Autopilotin kameran näkymä (9)

Konenäköteknologian hyödyntäminen on yleistynyt monilla eri aloilla- ja yrityksillä. Furuno Finland esimerkiksi käyttää termodynaamisia kameroita mahdollisten öljyvuotojen tarkastukseen ja kartoittamiseen. Tutkajärjestelmän ilmoittaessa mahdollisesta vuodosta kamerat tarkastavat tilanteen. (10.)

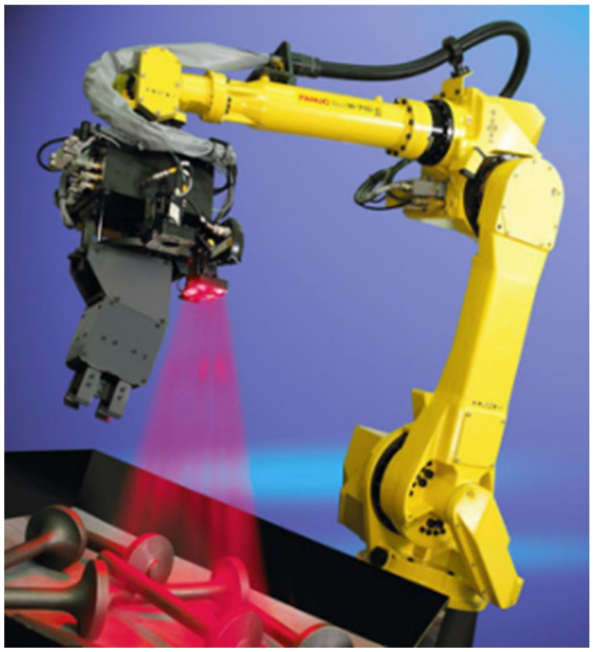
Terveysala on myös alkanut hyödyntää konenäköteknologiaa. Senioreille on kehitteillä lanteilla pidettävä kamera, joka havaitsee mahdolliset tapaturmat. Kriittisissä tapauksissa apu voitaisiin hälyttää paikalle nopeasti ja tehokkaasti. (11.)

Konenäköjärjestelmiä käytetään yhä enemmän robottien toiminnan ohjaamiseen. Yhdistettynä 2D- tai 3D-antureihin robotit voidaan saada suorittamaan monenlaisia tehtäviä perustarkastuksesta monimutkaisempiin nouto- ja sijoitusoperaatioihin. Robottien kanssa käytettävät 3D-konenäköjärjestelmät käsittävät tyypillisesti useita kameroita, tai sitten yhden tai useamman laserin anturit. Usean kameran 3D-konenäköjärjestelmät antavat robotille halutun objektin paikkatietoja. Näissä järjestelmissä kamerat on asennettu eri paikkoihin, jotka mahdollistaa objektin aseman kolmiomittauksen kolmiulotteisessa tilassa (kuva 3).



KUVA 3. Usean kameran käyttö 3D-konenäössä (12)

3D-lasersiirtoanturisovellukset sisältävät yleensä pinnan tarkastuksen ja tilavuuden mittauksen, jotka mahdollistavat 3D-tulosten saamisen vain yhdellä kameralla (kuva 4). Kohteen pinnalta heijastuneiden lasereiden siirtymästä muodostetaan korkeuskartta. Kalibroidulla offset-laserilla siirtymäanturit voivat mitata suureet, kuten pinnan korkeuden ja tasaisuuden, 20 µm tarkkuudella.



KUVA 4. Yhden kameran käyttö 3D-konenäössä (13)

2.2 Nykyaikainen teknologia

Konenäkö toimii erittäin hyvin strukturoidun kohtauksen kvantitatiivisessa mittauksessa nopeuden, tarkkuuden ja toistettavuuden vuoksi. Esimerkiksi tuotantolinjalla konenäköjärjestelmä voi tarkastaa satoja tai jopa tuhansia osia minuutissa. Oikealla kamera- ja optiikkatarkkuudella rakennettu konenäköjärjestelmä voi helposti tarkastaa kohteesta yksityiskohdat, joita ei voida nähdä ihmissilmällä. Konenäön avulla voidaan estää osien turha vaurioituminen poistamalla fyysinen kosketus testijärjestelmän ja testattavien osien väliltä. Konenäkö lisää turvallisuutta ja toiminnallisia etuja vähentämällä ihmisten osallistumista valmistusprosessiin. Lisäksi teknologia estää ihmisiä saastuttamasta puhtaita tiloja ja suojelee työntekijöitä vaarallisilta työympäristöiltä. (14.)

Konenäköteknologia perustuu tietokoneohjelmaan, jolla kameran välityksellä yritetään tunnistaa haluttua kohdetta tai kohteita. Mitä vaativampia toimia konenäköjärjestelmän halutaan suorittavan, sitä tehokkaampia prosessoreita tarvitaan pyörittämään järjestelmää. Teknologia on sidottu pitkälti tietokonejärjestelmiin ja kameroihin, mikä on sekä hyvä että huono asia.

Tuotannossa kameroiden pikselitarkkuuden ei välttämättä tarvitse olla kovin suuri, joten voidaan käyttää edullisempiakin kameroita. Tuotannon kameroiden on kuitenkin oltava hyvin kestäviä ja luotettavia sekä niillä on oltava korkea lämpötilanvakaus. Kameroita tarvitaan konenäköteollisuudessa paljon, joten yksikköhinnaltaan edullisistakin kameroista voi silti syntyä suuria kulueriä. Hyvä puoli on, että ohjelmistokehityksen puolella rajoitteina ei sinänsä ole muuta kuin koodin tekijän taidot. Kasvontunnistusteknologiassa sen sijaa vaaditaan pikselitarkkuudeltaan hyviä videokameroita sekä tehokkaiden tietokoneiden verkko.

2.2.1 Nykyisen teknologian mahdollisuudet

Kamerateknologia on jo monen vuoden ajan kehittynyt kovaa vauhtia. OnePlus 8 Pro -puhelimen Photocrom-värikamera voi nähdä mustien materiaalien, kuten muovien tai vaatteiden läpi. Kamera hyödyntää infrapunavaloa, jolla kyseinen ”röntgennäkö” on mahdollista (15.). Mitä pidemmälle kamerateknologia kehittyy, sitä enemmän kehittyvät myös niitä käyttävät ohjelmistot.

Yksi konenäköteknologian mahdollisuuksista on autoteollisuudessa käytettävät ja kehittyvät sovellutukset. Autonomisissa ajoneuvoissa tietokonenäkö on välttämätön turvallisen ajamisen mahdollistamiseksi. TESLA, BMW, Volvo ja Audi käyttävät useita kamera-antureita, kuten lidar-, tutka- ja ultraääniantureita hankkiakseen kuvaa ajoneuvon ympäristöstä, jotta ajoneuvot voivat havaita esineitä, kaistamerkintöjä, opasteita ja liikennemerkkejä. Konenäköteknologian roolin yhdessä tekoälyn kanssa odotetaan kasvavan autonomisissa ajoneuvoissa.

Google Kääntäjä -sovellus on myös lisännyt konenäköteknologiaa osaksi sovellustaan. Google kääntäjä hyödyntää konenäköä käyttämällä optista merkintunnistusta kuvan ja lisätyn todellisuuden näyttämiseen tarkan käännöksen saavuttamiseksi.

Terveydenhuollossa 90 prosenttia kaikista lääketieteellisistä tiedoista on kuvaperusteisia, joten lääketieteessä konenäön käyttötarkoituksia ja mahdollisuuksia on lukuisia. Tällä hetkellä konenäön rooli on vielä pieni. Lääketieteessä on kuitenkin tutkittu konenäön hyödynnettävyyttä uudenlaisissa diagnostiikkamenetelmissä, kuten röntgensäteiden, mammografian ja muiden terveystietojen skannausten analysoimisessa. Konenäkö voisi myös olla apuna leikkauksissa ja potilaiden tilan seuraamisessa. (16.)

Maataloustuotannossa ja elintarviketeollisuudessa on vastikään tiedostettu konenäköteknologian mahdollisuudet. Maatalouden puoliautomaattisissa leikkuupuimureissa on käytössä tekoälyä ja konenäköä, jolla analysoidaan viljan laatua sen korjuun yhteydessä. Konenäköä hyödynnetään myös optimaalisen reitin löytämiseen viljakasvien läpi. Oletettavasti tekoälyä ja konenäköä lisäämällä voidaan tulevaisuudessa mahdollistaa puimureiden autonominen ajo.

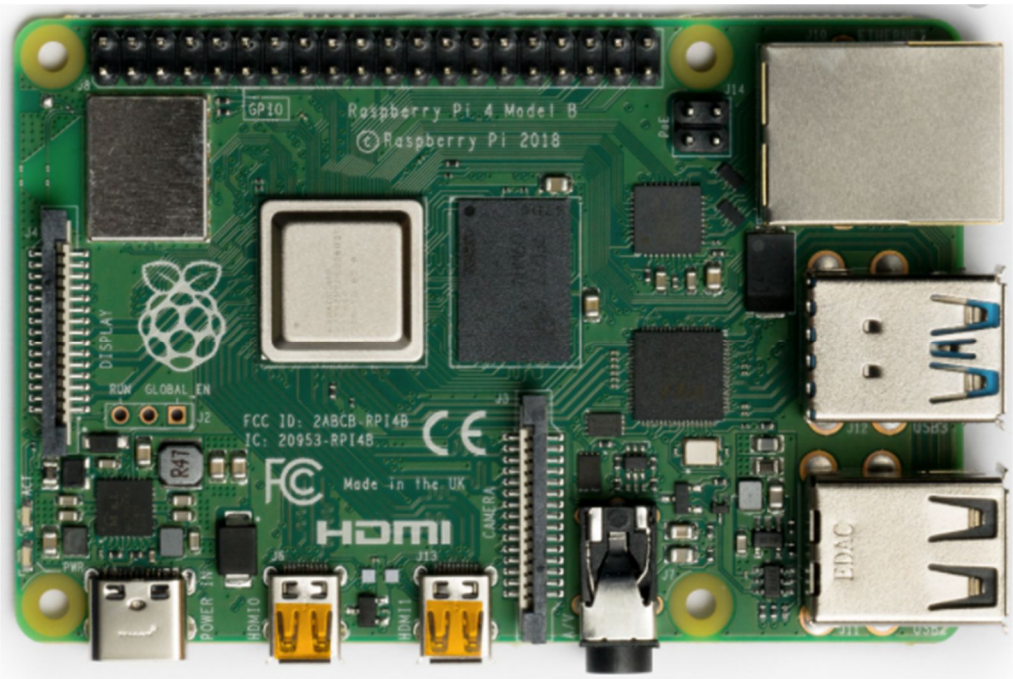
2.2.2 Konenäkölaitteiston hinnat

30 vuotta sitten konenäköjärjestelmät maksoivat noin 40 000 € - 60 000 €, 20 vuotta sitten ne maksoivat noin 5 000 € - 20 000 € (17). Nykypäivänä hinnat ovat vielä alhaisemmat ja järjestelmät tarjoavat huomattavasti parempaa suorituskykyä ja paljon kattavamman tiedon määrän ja suuremman nopeuden.

Tässä projektissani käytössä oleva kameramerkki on Basler. Kameran malli on acA3088-57uc ja se toimii UBS 3.0 -yhteydellä. Kamerassa on Sony IMX178 CMOS -anturi, joka tuottaa 59 kuvaa

sekunnissa 6,4 MP:n resoluutiolla. Kameran hinta on 349 €. Basler-linssien hinnat vaihtelevat noin 200 €:sta 400 €:oon ja kameran hinta on noin 200 € - 2 250 €. Kuvat projektissa käytössä olleista linsseistä ovat liitteinä 1 ja 2. Kameroissa eniten hintaa kasvattava tekijä on resoluutio. Baslerin kallein alueen skannauskamera on a2a5328-15ucpro, jossa on 24,4 MP:n resoluutio, ja sen hinta on 2 219€. (18.)

Korkealaatuisen konenäkölaitteiston vaatimuksena on hyvä prosessointiteho siihen liitetystä keskusyksiköstä. Tietokoneen keskusyksikkö, jossa on 8-ytiminen suoritin 3,0 - 4,7 GHz:n alueella maksaa noin 1 200 €. Kannettava tietokone, jossa on vastaava suoritustaso maksaa noin 3 000 €. (19.) Yksinkertaisissa konenäköjärjestelmissä voi olla mahdollista käyttää keskusyksikköinä Raspberry Pi -tietokoneita, jotka maksavat vain 30 €. Näissä on 4-ytiminen suoritin 1,5 GHz:n alueella. (Kuva 5.) (20.)



KUVA 5. Raspberry Pi 4.0 Model B -tietokone (20)

2.2.3 Ohjelmiston konfiguraatio

Erilaisten laitteistojen käyttämä konekieli vaihtelee, mikä voi aiheuttaa ristiriitoja laitteistojen ja ohjelmistojen välillä. Konekieli on suorittimen tai vastaavan laitteen ymmärtämä kieli, joka koostuu lukujonoista. Näitä lukujonoja on vaikea muistaa sekä hahmottaa koodia kirjoitettaessa, siksi konekielen kirjoittamisen sijaan käytetään yleensä tähän tarkoitukseen valmistettua assembly-ohjelmaa.

Assembler on tietokoneen ohjelmointikieli, joka koostuu symbolisesta vastineesta tietylle konekielelle. Eri tietokoneille tarvitaan eri assembly-kieli. Assembly on matalan tason kieli, jota sanotaan myös toisen sukupolven ohjelmointikieleksi. (21.) (Kuva 6.) Korkean tason kielet ovat lähempänä sitä, miten ihmiset ajattelevat (kuva 7).

```
1  org 100h
2  section .text
3
4          mov ah,9h
5          mov dx,offset teksti
6          int 21h
7          ret
8
9 teksti: db 'Hei maailma!$'
```

KUVA 6. Tekstin "Hei maailma!" tulostus assembly-ohjelmalla (21)

```
program Hello;
begin
  writeln( 'Hello World' );
end.
```

KUVA 7. Tekstin "Hei maailma!" tulostus Pascal-ohjelmalla (21)

Kielen eroavaisuuksien vuoksi ohjelmiston konfiguroimisessa ensimmäinen tehtävä on kokoonpanon suunnittelu: mitä laitteita työympäristöön olisi mahdollista hankkia halutun päämäärän saavuttamiseksi. Työhön voi olla useita vaihtoehtoja, mutta ne voivat käyttää eri kieliä kuin halutaan. Tämän vuoksi suunnittelua ei tehdä pelkästään heti tuotantoon oton ajaksi, vaan myös tulevaisuutta varten. Hyvällä suunnittelulla varmistetaan, ettei laitteiston päivittämisestä tule ristiriitoja sen käyttämän kielen takia myöskään tulevaisuudessa. Tämä on erityisen tärkeää, koska laitteistojen suorituskyky paranee ja hinnat laskevat jatkuvasti. Laitteistoa on aika ajoin parannettava, jotta säilytetään oma kilpailukyky.

2.2.4 Käyttöliittymän integrointi

Konenäön toteutus tapahtuu useilla fyysisillä alustoilla, kuten tietokonepohjaisilla järjestelmillä, 3D-ohjaukseen suunnitelluilla ohjaimilla ja monikameraisilla 2D-sovelluksilla. Oikean konenäköalustan valinta riippuu yleensä sovelluksen vaatimuksista, kuten kehitysympäristöstä, valmiuksista, arkkitehtuurista ja kustannuksista.

Tietokonepohjaiset järjestelmät ovat helposti liitettävissä suoraan kytkettäviin kameroihin ja ovat hyvin tuettavissa konfiguroitavilla konenäkösovellusohjelmistoilla. Tietokoneet tarjoavat myös runsaasti mukautettuja koodikehitysvaihtoehtoja, kuten C++, Visual Basic ja Java.

Visio-ohjaimet tarjoavat kaiken tietokonepohjaisen järjestelmän tehon ja joustavuuden, mutta ovat parempia kestämään ankaria tehdasympäristöjä. Visio-ohjaimet sallivat 3D- ja usean kameran 2D-sovellusten määrittämisen useisiin kertaluontoisiin tehtäviin. Tämä tekee kehittyneiden sovellusten konfiguroimisesta kustannustehokkaampaa.

Erilliset konenäköjärjestelmät ovat kustannustehokkaita sekä helposti ja nopeasti konfiguroitavissa. Nämä järjestelmät toimitetaan kokonaisuutena ja ne sisältävät kameran anturin, prosessorin ja tarvittavat viestintälaitteet. Joissakin järjestelmissä tähän sisältyy myös automaattitarkennuksen optiikka. Nämä järjestelmät ovat usein riittävän pienikokoisia ja kohtuuhintaisia asennettaviksi koko tehtaalle. Käyttämällä erillisiä näköjärjestelmiä keskeisissä prosessin kohdissa mahdolliset viat voidaan havaita aikaisemmin jo valmistusprosessissa, ja laitteisto-ongelmat voidaan tunnistaa nopeammin. Suurin osa järjestelmistä tarjoaa sisäänrakennettua Ethernet-tietoliikenneyhteyttä, jonka avulla käyttäjät voivat paitsi jakaa konenäön koko prosessin ajan, mutta myös yhdistää kaksi tai useampia järjestelmiä toisiinsa. Tällaiset järjestelmät ovat täysin hallittavissa ja skaalattavissa tilanteissa, joissa tietoja vaihdetaan järjestelmien välillä. Näköjärjestelmien verkkoon voidaan myös linkittää tehdas- ja yritysverkot, mikä mahdollistaa tulosten, kuvien, tilastotietojen ja muiden tietojen katselun miltä tahansa verkossa olevalta työpisteeltä. (22.)

2.2.5 Vaatimukset

Tehdasolosuhteissa tilaa on yleensä niukasti. Erilaisilla kameran linsseillä saadaan laskettua etäisyyttä kuvattavasta kohteesta. Kalansilmälinssi (liite 1) on hyvä valinta lähietäisyyksiin, sillä se vaatii vain metrin etäisyyden nähdäkseen noin kolmen metrin alueen, kun taas ”tavallinen” linssi (liite 2) vaatii kolmen metrin etäisyyden nähdäkseen kolmen metrin alueen.

Valaistus on erittäin suuri tekijä konenäön havaitsemisessa, sillä linssi sieppaa kuvan ja välittää sen sensorille valon muodossa. Konenäkö on hyvin harvoin automaattinen, eli yleensä se ei osaa

ottaa esimerkiksi valaistuksen muutoksia huomioon. Valon määrän muuttuessa konenäkö antaa mahdollisesti virheellistä tietoa, sillä kohteen väri on konenäön silmissä muuttunut.

2.3 Konenäköjärjestelmät toiminnanohjausjärjestelmissä

Yritysresurssien suunnittelujärjestelmä (ERP) on liiketoiminnan tärkeimpien prosessien integroitu hallinta, joka usein toimii reaaliajassa ohjelmistojen ja tekniikan välityksellä. Järjestelmää kutsutaan yleensä yritysjohtamisohjelmistojen ryhmäksi, jota organisaatio voi käyttää keräämään, tallentamaan, hallitsemaan ja tulkitsemaan tietoja monista liiketoiminnoista. Järjestelmä tarjoaa integroidun ja jatkuvasti päivitetyn kuvan ydinliiketoimintaprosesseista käyttämällä yhteisiä tietokantoja, joita ylläpidetään tietokantojen hallintajärjestelmällä. ERP-järjestelmät seuraavat liiketoiminnan resursseja, käteistä, raaka-aineita, tuotantokapasiteettia ja liiketoimintasitoumusten tilaa, kuten tilauksia ja palkanlaskentaa. Järjestelmän muodostavat sovellukset jakavat tietoja eri osastoilla. ERP-järjestelmä integroi monipuoliset organisaatiojärjestelmät ja helpottaa virheettömiä tapahtumia ja tuotantoa, mikä parantaa organisaation tehokkuutta. Reaaliaikaisen tiedonsiirron avulla pyritään vähentämään päällekkäistä työtä ja nopeuttamaan asioiden käsittelyä ja päätöksentekoa. Päätöksenteko nopeutuu, kun päätöksentekijöillä on helposti käytössään ajankohtaista tietoa. Reaaliaikainen tiedonjako mahdollistaa koko yrityksen toiminnan parantamisen, osastokohtaisen toiminnan optimoimisen sijasta. (23.)

Usein ERP-järjestelmä liitetään tuotannon- tai valmistuksenohjausjärjestelmään (MES). MES-järjestelmä yhdistää ERP-järjestelmän varsinaiseen tehdasautomaatioon. MES-järjestelmää käytetään tuotannon operatiivisten toimintojen hallintaan ja informaation välittämiseen ERP-järjestelmän ja tehdasautomaation välillä. MES-järjestelmä tarjoaa tietoja, jotka auttavat päätöksentekijöitä ymmärtämään, kuinka nykyiset olosuhteet laitoksessa voidaan optimoida tuotannon parantamiseksi. Järjestelmä toimii reaaliajassa, jotta tuotantoprosessin osia voidaan hallita. Järjestelmä voi toimia useilla toiminta-alueilla, esimerkiksi tuotemääritysten hallinnassa tuotteen koko elinkaaren aikana, resurssien aikataulutuksessa ja tilausten toteutuksessa. (24.)

Konenäkö on keskeinen osa älytehtaan ideaa, joka perustuu viestintäverkkoon ja älykkääseen tiedonvaihtoon antureiden, laitteiden ja koneiden välillä. Teollisuuden kameroihin perustuvat kuvankäsittelyjärjestelmät toimivat tehtaan silminä ja voivat laskea tietoja, jotka ihmiset ovat aiemmin

keränneet ja analysoineet. Tämä vähentää inhimillisiä virheitä ja antaa robottien reagoida joustavasti tuotannonohjaustarpeisiin. Koska kuvakäsittelylaitteet sieppaavat, keräävät ja vaihtavat tietoja, kyseessä on keskeinen tekniikka toisiinsa yhteydessä olevissa tuotantoprosesseissa. Näitä tietoja voidaan käyttää älykkäiden toimintojen käynnistämiseen, kuten kuluneiden tuotantokoneiden nykytilan tutkimiseen. Nämä tiedot ovat hyödyllisiä kunnossapidon kannalta ja voivat ilmoittaa laitoksen johtajalle esimerkiksi tarpeesta tilata uusi komponentti ennen kuin se rikkoutuu. (25.)

Konenäkö voi myös parantaa laitoksen tehokkuutta vertailun avulla. Kamerat voivat tallentaa laitoksen toimintaa maailmanlaajuisesti ja välittää tiedot palvelinkeskuksiin. Tämä on mahdollista esineiden internetin tekniikoiden avulla, jolla voidaan kytkeä laitteita verkkoon. Laitteista voidaan lukea tietoa ja laitteita voidaan ohjata internetin yli. Esineiden internet yhdistää siihen kuuluvat tehtaat, jolloin muut laitokset voivat vertailla prosesseja, pysyä ajan tasalla ja ymmärtää tuotteiden laadun muutoksia. Konenäköjärjestelmät ja tekoäly ovat kehittyneet rintarinnan ja voitaisiinkin todeta, että nämä kaksi teknologian haaraa ovat jo osittain yhdistyneet ja jatkavat yhä edelleen integroitumista tulevaisuudessa. (26.)

Tulevaisuuden tekoälyn integroiminen tietokoneen näkökenttään voi herättää epävarmuutta mahdollisessa valmistajassa. Tällä hetkellä kaikki olemassa olevat konenäön työkalut ovat melko standardoituja ja noudattavat tiettyjä malleja. Konenäössä tekoälyyn siirtyminen voi vaatia uuden tyyppistä tiedonkeruuprosessia ja uusia asennuslaitteistoja, mikä saattaa tuoda haasteita päivittäiseen työnkulkuun. Jotta tekoäly voidaan ottaa käyttöön tehokkaasti konenäössä, sekä insinöörit että toimittajat on koulutettava tehtäväänsä uudelleen. Prosessi on haastava ja aikaa vievä, kun otetaan huomioon tekoälyn jatkuva käyttö ja tiukat käyttövaatimukset tehdasasetuksissa. Perinteisistä toimintamalleista luopuminen tai niiden muuttaminen herättää myös yleensä ihmisissä epävarmuutta. Tavanomainen konenäkö on toiminut hyvin perinteisissä tilanteissa, kuten ohjauksessa, tunnistamisessa ja tarkastuksessa. Näistä huolimatta tekoäly on ratkaisevan tärkeä uusissa käyttötapauksissa, kuten optisten merkkien lukemisessa, tekstuurin ja materiaalien luokittelussa sekä monimutkaisessa tarkastuksessa ja segmentoinnissa. (26.)

2.4 Konenäön teknologia tulevaisuudessa

Tulevaisuudessa konenäön roolin odotetaan kasvavan tekniikan kehityksessä, samoin myös sen markkinaosuuden odotetaan kasvavan. Vuonna 2017 tehdyn raportin mukaan maailmanlaajuisten

konenäkömarkkinoiden arvo oli 7,91 miljardia dollaria. Vuoteen 2023 mennessä maailmanmarkkinoiden odotetaan nousevan 12,29 miljardiin dollariin. (26.)

Tulevaisuuden konenäköjärjestelmien tulee olla riittävän nopeita pysyäkseen mukana jatkuvasti nousevissa tuotantomäärissä. Toiseksi niiden on oltava intuitiivisia ja helppokäyttöisiä. Konenäköteollisuudelle on alusta asti ollut tunnusomaista jatkuvasti paranevat hinta- ja suorituskykysuhteet. Valmistusprosesseissa, joissa mekaaniset näkökohdat rajoittavat tuotantonopeutta, nopeampi näönkäsittely merkitsee enemmän prosessointitehovarantoa. Enemmän varantoa tarkoittaa älykkäämpiä visiointityökaluja, jotka voivat auttaa käsittelemään prosessivaihteluja ja yksinkertaistamaan järjestelmän ohjelmointia. Aikaisemmin konenäköjärjestelmät sallivat vain matalan resoluution mustavalkoisten kuvien binäärisen käsittelyn. Nykyään korkean resoluution harmaa- ja värikuville suoritettu hienostunut kuvankäsittely ja analyysi on yleistä. Laskennallisesti intensiivisiä kuvan esikäsittelyoperaatiota, kuten matemaattista morfologiaa, käytetään laajasti. (25.)

Pitkäaikainen valmistussektorin katsaus konenäköön on perusta, joka tukee monia uusia tekniikoita, kuten robotiikkaa, tekoälyä ja älylaseja. Alkuvuosina teollisuuden konenäkö perustui sääntöpohjaiseen ohjelmointiin, johon sisältyi paljon inhimillistä osaamista. Hiljattainen syvällisen oppimisen teknologian ilmaantuminen on edistänyt tämän kaltaisten prosessien automatisointia. Kohdentaminen kasvaville markkinaraoille, kuten robotiikka ja autonomiset ajoneuvot, tuottavat uutta tulojen kasvua perinteisten konenäkömarkkinoiden, kuten elektroniikan ja autoteollisuuden ulkopuolelle. Toinen mielenkiintoinen kehitys on itsenäisten konenäkökameroiden nousu, joissa on sisäänrakennetut reunatekoälyprosessit. Tavanomaisessa konenäköjärjestelmässä on keskitetympi prosessointiarkkitehtuuri, joka perustuu teolliseen tietokoneeseen. Kuitenkin, kun konenäön käyttötapaukset laajenevat mobiililaitteisiin ja valvontajärjestelmiin, uuden sukupolven konenäköjärjestelmät on suunniteltu toimimaan itsenäisenä järjestelmänä, jota tukee tekoälypohjaisten konenäkömallien sisäinen varastointi. Tämä on johtanut tekoälyratkaisun syntymiseen, joka voi luoda kuvia automaattisesti ja itseoppia ilman suuria määriä käyttäjätietoja. Syväoppimiseen perustuva konenäkö voi sisältää myös tietoja, jotka on kerätty erilaisilta antureilta, mukaan lukien Lidar-, tutka-, ultraääni- ja magneettikenttäantureilta. Runsaat tiedot antavat lisää tietoa tuotantoprosessien muista näkökohdista. Konenäön käyttöönotetut syvälliset oppimisalgoritmit voivat poimia odottamattomia tuotepoikkeamia tai vikoja ja tarjota valmistajille joustavuutta ja arvokasta tietoa. (27.)

3 KONENÄKÖ KÄYTÄNNÖSSÄ

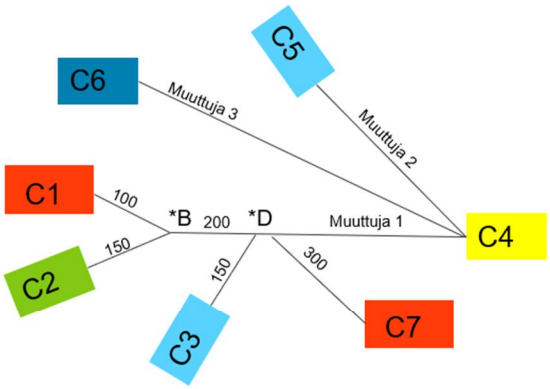
Tässä luvussa esitellään PKC Groupilla tehtyä työtä liittyen konenäköjärjestelmään ja siihen liittyviin testeihin.

3.1 Kokoamispöydän verifiointijärjestelmä ja testausjärjestelmä

Johdinsarja on sähköjohtimista koostuva nippu, jonka tarkoitus on yhdistää sähkömekaanisia ja sähköisiä toimintoja. Johdinsarja on tarkoitettu sähköenergian ja elektronisten signaalien siirtämiseen eri toimilaitteille.

Kokoamispöydän verifiointi- ja testausjärjestelmästä on kaksi erilaista versiota, Stand Alone- ja LAD -versio. Tässä työssä käsitellään Stand Alone -versiota. Stand Alone -versio on kevyempi, yksinkertaisten johdinsarjojen ohjeistukseen tarkoitettu versio, joka ei ole riippuvainen muista sovelluksista. Se soveltuu erilaisiin johdinpituuksiin ja reitityskomponentteihin samalla pöydällä. Stand Alone -versio soveltuu moniin erilaisiin pöytäkonfiguraatioihin. Koska pöytiä ei ole sähköistetty, muutosten tekeminen on helppoa ja nopeaa.

Antamalla johdinten kohtaamispaikoille omat nimet, voidaan ne muuttaa dataksi. Piirroksen muuttaminen dataksi mahdollistaa johdinsarjojen pituuksien variaatioiden automaattisen hallinnan. Näin yhtä piirrosta voidaan käyttää moneen variaatioon johdinsarjassa. (Kuva 8.)

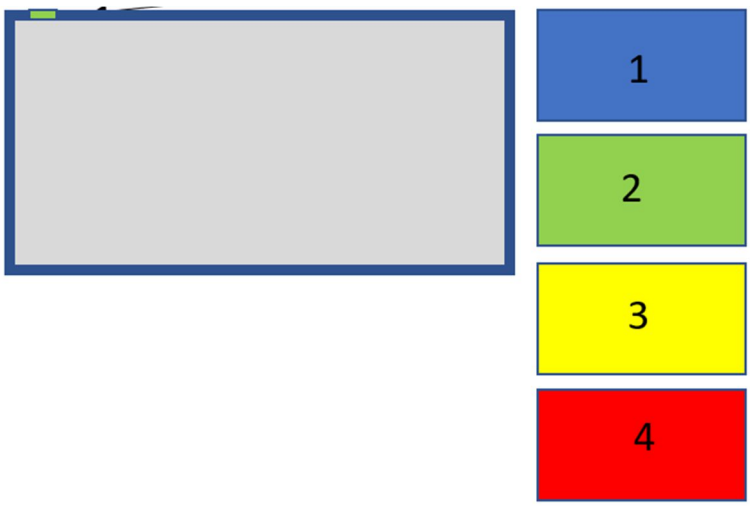


C1	100	*B
C2	150	*B
*B	200	*D
C3	150	*D
*D	Muuttuja1	C4
C3	Muuttuja2	C5
C4	Muuttuja3	C4
C7	300	*D

	Pituus	Osan numero
Basic		1121
Muuttuja1	1000	1122
Muuttuja1	2000	1123
Muuttuja1	3000	1124
Muuttuja2	1000	1125
Muuttuja2	1500	1126
Muuttuja2	2000	1127
Muuttuja3	1200	1128
Muuttuja3	800	1129
Muuttuja3	700	1130
C7		1131
C2		1132

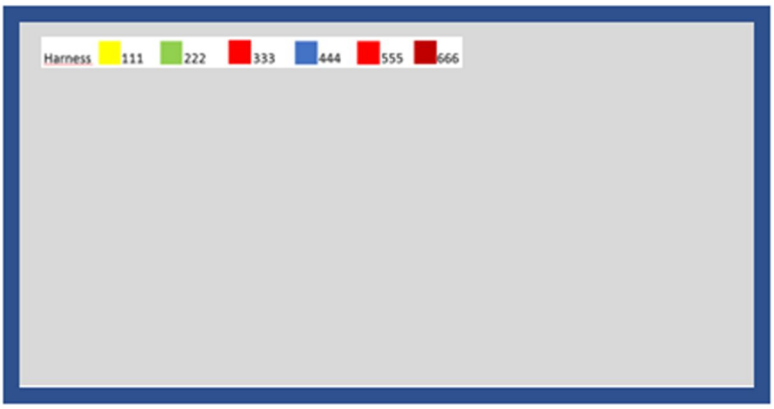
KUVA 8. Paikkatietojen muuttaminen dataksi mahdollistaa 12 erilaisen johdinsarjan valmistuksen

Työntekijöiden työpisteiden pöydät ovat henkilökohtaisia ja ne erotetaan toisistaan väritunnisteilla (kuva 9). Väritunnisteiden avulla erotetaan työpisteet ja niillä tehdyt toimet tallentuvat henkilökohtaisen tunnisteen alle. Tämän avulla saadaan lisättyä työntekijöiden vastuuta työnjäljestä, sillä näin ollen mahdollisista virheistä jää henkilökohtainen muistileima.



KUVA 9. Pöytien erottamiseen käytettävä väritunniste. Vihreä merkki tarkoittaa pöydän numeron olevan kaksi.

Yhdellä pöydällä kasataan monia erilaisia johdinsarjoja, jolloin eri johdinsarjat on voitava erotella toisistaan. Pöydässä on kaikille siinä kasattaville johdinsarjoille omat tunnisteensa ja näiden avulla työntekijä saa ohjeistuksen oikeanlaisiin johdinsarjoihin. (Kuva 10.)



KUVA 10. Johdinsarja tunnistetaan konenäköjärjestelmän väriä tunnistavien lippujen avulla

Konenäköjärjestelmässä on myös ominaisuus, jolla valvotaan työn alla olevan johdinsarjan työvaiheita. Vaiheet alkavat Check- eli tarkastusvaiheesta, jota seuraa Work- eli työvaihe ja viimeisenä on Test- eli testivaihe. Tarkastusvaiheessa konenäkö tarkastaa onko pöydässä oikeat liput ja passiivikomponentit. Mikäli näin ei ole, konenäkö ohjeistaa työntekijää tekemään tarvittavat muutokset, kunnes pöytä on valmis työvaiheeseen. Käytännössä siis konenäköjärjestelmä odottaa tiettyjä lippuja tai pöytäkomponentteja löytyvän pöydältä ja ilmoittaa tarvittaessa ylimääräisten lippujen tai pöytäkomponenttien poistosta tai puuttuvien lisäämisestä pöydälle. Työvaiheessa konenäkö on passiivinen, tuolloin työntekijä kasaa ohjeistuksen mukaista johdinsarjaa. Viimeisessä testivaiheessa konenäkö tarkastaa, onko työntekijä kasannut ohjeistuksen mukaisen johdinsarjan ja ilmoittaa, mikäli muutoksia on tekemättä tai johdinsarja on valmis. (Kuva 11.)

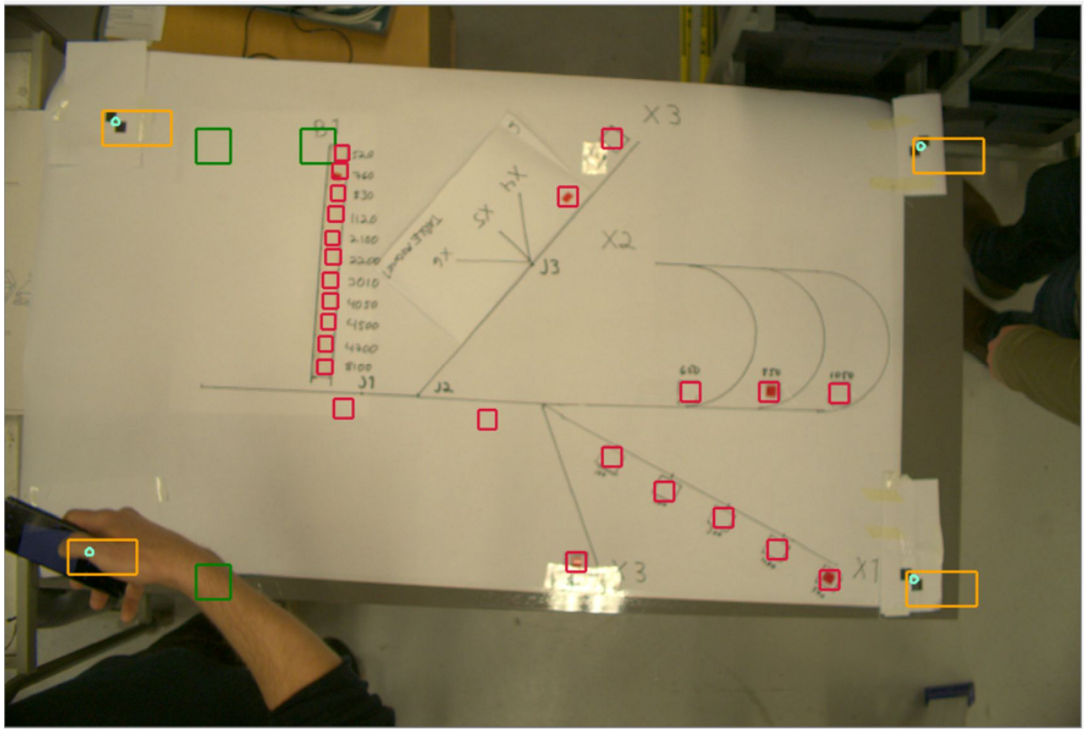
KUVA 11. Työvaiheen tarkastus konenäköjärjestelmällä

Sovellus antaa tietoa TRUE tai FALSE muodossa, sen perusteella, mitä konenäköjärjestelmä havaitsee. Havaintojen avulla luodaan ohjeistus eri lipuille. (Taulukko 1.)

TAULUKKO 1. Sovelluksen logiikka työntekijän ohjeiden valmistuksessa

ID	Color	Arvo	Ohjeet jos ei	Arvo	Ohjeet jos ei
E56X	Green	TOSI	Lisää E56X		Lisää E56X
E23X1	Red	EPÄTOSI	Poista E23X1		Poista E23X1
A50X1	Blue	TOSI	Lisää A50X1		Lisää A50X1

Alla olevassa kuvassa 12 ainoa muuttuja on johtimien pituus. Konenäkö tunnistaa kuvasta muun muassa tunnisteen B1_760, joka tarkoittaa B1-osiolla olevan johtimen pituuden olevan 760 millimetriä. Kuvassa olevat punaiset neliöt ovat lippuja, jotka etsivät punaisia pikseleitä laatikon sisältä.



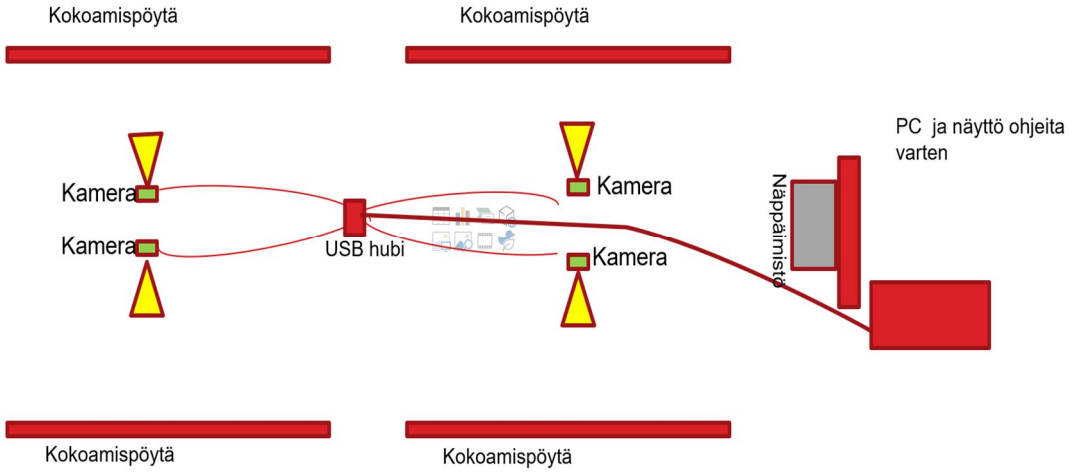
KUVA 12. Testipöytä konenäköjärjestelmällä

Jos punaisten pikseleiden määrä menee annetun raja-arvon yli, konenäkö antaa TRUE arvon (kuva 13).

```
Id B1_760 - 338 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: TRUE. |
Id B1_830 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id B1_1120 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id B1_2100 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id B1_2200 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id B1_3010 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id B1_4050 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id B1_4500 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id B1_4700 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id B1_8100 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id X3_H10 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id X2_650 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id X2_850 - 619 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: TRUE. |
Id X2_1050 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id X1_100 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id X1_200 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id X1_300 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id X1_400 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id X1_500 - 593 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: TRUE. |
Id X3_H1 - 189 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: TRUE. |
Id TABLEMODULE2_J1 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id TABLEMODULE1_J2 - 0 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: FALSE. |
Id TABLEMODULE1_J3 - 423 red pixels detected, limit 100 pixels, detected: TRUE. |
```

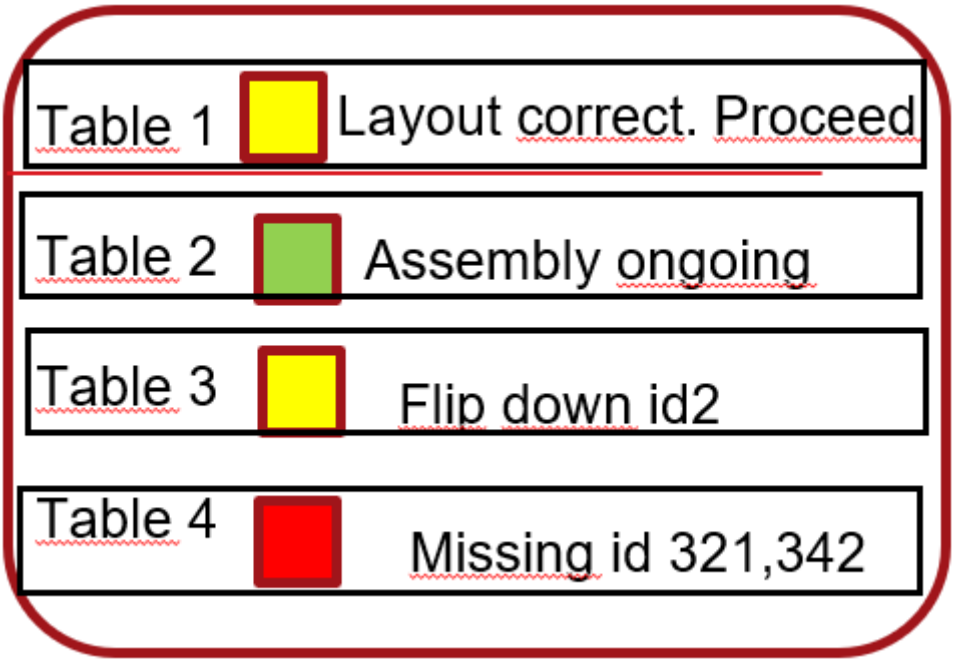
KUVA 13. Konenäköjärjestelmän ottaman kuvan tulokset

Konenäköjärjestelmää on mahdollista käyttää monella kameralla yhdellä ohjelmistolla samanaikaisesti. Monikäyttöisyys laskee kustannuksia, sillä tämä tarkoittaa, että esimerkiksi neljällä työpisteellä voi seurata ohjeita yhdestä konenäköjärjestelmästä. (Kuva 14.)



KUVA 14. Esimerkki Stand Alone -version konfiguraatiosta neljällä työpisteellä

Ohjeistus työpisteille näytetään ohjelmiston näytöltä. Ohjeet saadaan ohjelmiston logiikan avulla lippujen tunnistusprosessilla. (Kuva 15.)



KUVA 15. Konenäköjärjestelmän neljän työaseman ohjeistus työntekijöille

3.2 Valaistuksen testi

Suoritin konenäköjärjestelmällä valaistukseen liittyvän testin, jonka tarkoitus oli löytää materiaali, jonka konenäkö parhaiten havaitsee. Valaistusta testattiin testiympäristössä kolmella erilaisella valon määrällä, Luumenilla. Kuvat testeistä ovat liitteinä 3, 4 ja 5. Ensimmäisenä oli täysi valaistus 292 Luumen, toisena oikealta puolelta tuleva valaistus 256 Luumen, ja viimeisenä oli vasemmalta puolelta tuleva valaistus, jossa valon lähde oli hieman kauempana kohteesta, 178 Luumen. Kohteet, joista punaisia pikseleitä mitattiin, olivat kaikki punaisen värin eri sävyjä ja erilaisia materiaaleja. Eri materiaaleja käytettiin, jotta saatiin selville mahdollisia valon heijastuksen aiheuttamia häiriöitä. Tällä menetelmällä saatiin selville paras materiaali käytettäväksi jatkotesteihin tässä ympäristössä. Vaikka valon määrän muutos ei ihmissilmälle ole dramaattinen, konenäölle pienelläkin muutoksella on iso vaikutus. Tarkastellaan tuloksiltaan parasta kohdetta eli merkkiteippiä. Täydessä valaistuksessa punaisia pikseleitä löytyi keskiarvolta 82,4. Kun Luumen-arvo laski 36:lla, punaisten pikseleiden keskiarvo oli 67,4. Viimeisessä testissä Luumen-arvo laski 114 yksikköä alkuperäiseen nähden ja tässä punaisten pikselien keskiarvo on enää vain 4,6. (Taulukko 2.)

TAULUKKO 2. Valoisuustestien tulokset, oikeassa laidassa punaisten pikseleiden keskiarvot eri materiaaleille, ja ylimpänä kuvassa arvosana 1 — 4 testitulosten perusteella.

Merkki						**KA**
AT 7	A1	A4	C3	E1	G4	**4**
3M 471	B5	D1	F5			2
Merkkiteippi	A2	C4	E2	G1	G5	**1**
Maali	A3	C2	E3	G2		3
Lumen 292						
AT 7	70	33	54	44	69	54
3M 471	69	86	53			69,33333
Merkkiteippi	**84**	**94**	**74**	**89**	**71**	**82,4**
Maali	75	80	49	56		65
Lumen 256						
AT 7	0	4	17	6	22	9,8
3M 471	39	46	21			35,33333
Merkkiteippi	**68**	**79**	**58**	**75**	**57**	**67,4**
Maali	29	40	4	2		18,75
Lumen 178						
AT 7	0	0	0	0	0	0
3M 471	0	0	0			0
Merkkiteippi	**11**	**9**	**0**	**3**	**0**	**4,6**
Maali	1	1	0	0		0,5

4 LOPPUSANAT

Opinnäytetyöni päätavoite oli johdinsarjatuotantoon suunnitellun konenäkösovelluksen testaaminen ja kehitys. Samalla tutustuttiin yleisesti konenäön nykytilanteeseen sekä pohdittiin, miten konenäkö voisi kehittyä tulevaisuudessa. Konenäkö osoittautui hyvin mielenkiintoiseksi ja ajankohtaiseksi aiheeksi. Johdinsarjatuotantoon suunniteltu konenäkösovellus toimii erittäin hyvin ja lisäkehitystä tulee jatkuvasti lisää.

Kasvojentunnistukseen perustuvat konenäköjärjestelmät ovat tällä hetkellä kehityksen huippua, varsinkin Kiinassa teknologinen kehitys ja tuotannon keskittyminen on vauhdittanut kasvojentunnistustekniikan yleistymistä huomattavasti.

Kehityksen aallon harjalla tulevat myös autonomiset autot, jonka markkinoiden ylivoimainen voittaja on TESLA. Suomessakin näitä autoja näkee jo hyvin usein, vaikkakin ne ovat vielä hyvin kalliita autoja. Sähköautojen huono puoli onkin niiden korkea hinta, eikä niitä sen vuoksi vielä ole saatu isoille massoille tuotettua. Jos TESLA ei tulevaisuudessa onnistu tekemään täyssähköautoa, johon tavallisilla työssäkäyvillä ihmisillä on varaa, tämä ei tule muuttumaan.

Terveydenhuollossa ja maataloudessa konenäön mahdollisuudet olisivat valtavat. Toivoisin näkeväni lähitulevaisuudessa näillä aloilla kehitystä konenäön suunnalla. Tulevaisuuden älytehtaat ovat myöskin jotakin mitä odottaa, vaikkakin ne voivat olla hieman kauempana tulevaisuudessa.

Yllättävää minulle oli kuinka edullista yksinkertainen konenäköjärjestelmä olisi tehdä, jos tekijällä olisi tarvittava tietämys laitteistosta ja ohjelmoinnista. Mahdollisesti konenäköteknologian harvinaisuus Suomessa luo mielikuvan, että se olisi kallista. Uskoisin seuraavien vuosikymmenien tuovan tähän muutoksen.

LÄHTEET

1. Safak, U. 2020. Machine Vision in 2020: In-Depth Guide. Saatavissa: https://research.aimultiple.com/machine-vision/ Hakupäivä 9.10.2020.

2. Pietikäinen, M., Silven, O. Konenäkö. Saatavissa: https://www.oulu.fi/sites/default/files/content/konenako.pdf Hakupäivä 10.7.2020

3. Pelli, V. 2011. Konenäköjärjestelmä. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/37198/Veli_Pelli.pdf?sequence=1&isAllowed=y
   Hakupäivä 12.10.2020.

4. Siemens Mobility Oy. 2020. Saatavissa: https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/road/traffic-management/on-the-road/smart-detection/video-detection.html Hakupäivä 15.7.2020

5. Codepen. Facial Recognition. Saatavissa: https://codepen.io/hazprial/pen/PRQPgb Hakupäivä. 12.9.2020.

6. Gladchuk, V. 2020. Facial recognition Algorithms for Machine Learning: Application and Safety. Saatavissa: https://labelyourdata.com/articles/facial-recognition-algorithms-for-machine-learning/ Hakupäivä 12.9.2020.

7. Hassan, M. 2018. Facial recognition Technology to Deploy in Chinese airports. Saatavissa: https://www.m2sys.com/blog/facial-recognition-2/facial-recognition-technology-to-deploy-in-chinese-airports/ Hakupäivä 12.9.2020.

8. Tesla Oy. 2020. Saatavissa: https://www.tesla.com/support/autopilot Hakupäivä 26.8.2020.

9. Fraser, T. 2020. This is how Tesla's Autopilot sees the world. Saatavissa: https://www.whichcar.com.au/car-advice/this-is-what-tesla-autopilot-sees Hakupäivä 26.8.2020.

10. Furuno Finland Oy. 2020. Saatavissa: https://www.furuno.fi/eng/surveillance/surveillance_systems/integrated_oil_spill_detection_system/ Hakupäivä 1.8.2020.

11. Boudouane, I. 2019. Fall detection system with portable camera. Saatavissa: https://link.springer.com/article/10.1007/s12652-019-01326-x Hakupäivä 20.7.2020.

12. Cognex. 2016. Introduction to Machine Vision: A guide to automating process & quality improvements. Saatavissa: https://www.assemblymag.com/ext/resources/White_Papers/Sep16/Introduction-to-Machine-Vision.pdf Hakupäivä 12.10.2020.

13. Calderone, L. 2019. What is Machine Vision? Saatavissa: https://www.roboticstomorrow.com/article/2019/12/what-is-machine-vision/14548 Hakupäivä 20.9.2020.

14. Kallsen, R. 2018. Setting Up a Complete Machine Vision System. Saatavissa: https://www.microscan.com/en-us/blog/post/setting-up-a-complete-machine-vision-system-microhawk Hakupäivä: 22.8.2020.

15. Kemppi, J. 2020. OnePlussan uusi kamera näkee jopa t-paidan läpi – tältä outo efekti näyttää. Saatavissa: https://www.mikrobitti.fi/uutiset/oneplussan-uusi-kamera-nakee-jopa-t-paidan-lapi-talta-outo-efekti-nayttaa/772932c7-5474-4aca-9e8a-2e7056ab2948 Hakupäivä 10.8.2020.

16. Computer Vision. 2020. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Computer_vision Hakupäivä 10.7.2020.

17. Fabel, G. 1997. Machine Vision Systems Looking Better All the Time. Saatavissa: https://www.quality-digest.com/oct97/html/machvis.html#:~:text=Ten%20years%20ago%2C%20machine%20vision,data%20at%20much%20higher%20speeds Hakupäivä 17.10.2020.

18. Basler Oy. 2020. Saatavissa: https://www.baslerweb.com/en/products/cameras/area-scan-cameras/ace2/a2a5328-15ucpro/ Hakupäivä 3.10.2020.

19. Verkkokauppa.com Oyj. 2020. Saatavissa: https://www.verkkokauppa.com/fi/catalog/11200c/Tehotyoasemat Hakupäivä 7.10.2020.

20. Rasperry Pi Oy. Saatavissa: https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/ Hakupäivä 4.10.2020.

21. Assembly. 2020. Saatavissa: https://fi.wikipedia.org/wiki/Assembly_(ohjelmointikieli) Hakupäivä 15.10.2020.

22. Fretty, P. 2020. Peering Into Machine Vision's Future. Saatavissa: https://www.industryweek.com/technology-and-iiot/article/21125742/peering-into-machine-visions-future Hakupäivä 12.9.2020.

23. Enterprise resource planning. 2020. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Enterprise_resource_planning Hakupäivä 18.10.2020.

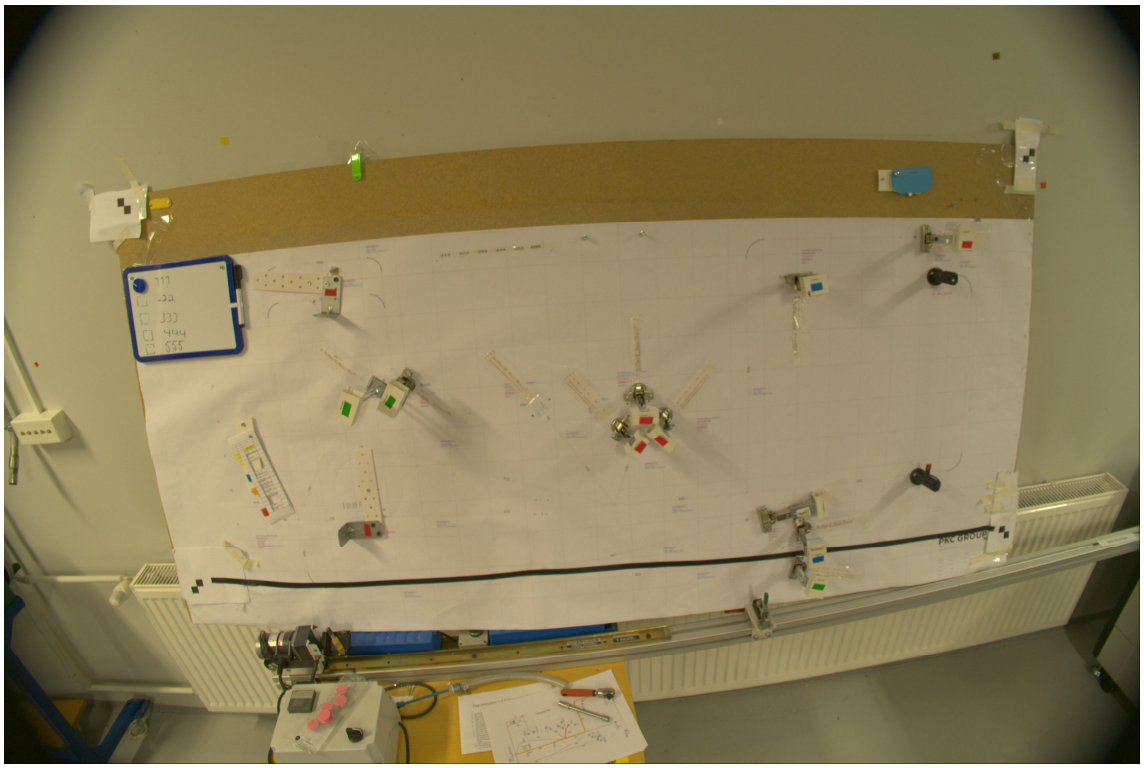
24. Manufacturing execution system. 2020. Saatavissa: https://en.wikipedia.org/wiki/Manufacturing_execution_system Hakupäivä: 18.10.2020.

25. Wilkins, J. 2020. How Machine Vision Will Impact the Factory of the Future. Saatavissa: https://www.reliableplant.com/Read/31756/factory-machine-vision Hakupäivä 14.10.2020

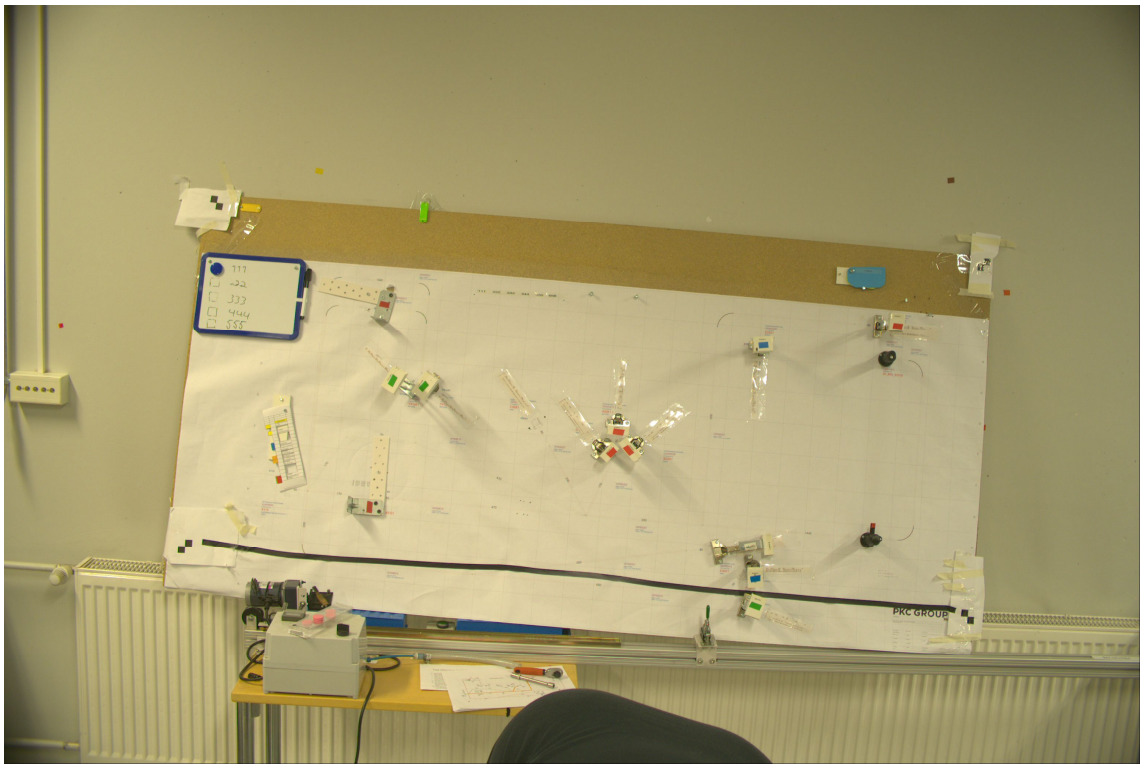
26. Vision Online Marketing Team. 2018. Machine Vision Trends to Watch in 2018 and Beyond. Saatavissa: https://www.visiononline.org/blog-article.cfm/Machine-Vision-Trends-to-Watch-in-2018-and-Beyond/93#:~:text=Quite%20a%20bit%20of%20future,(CAGR)%20of%207.61%25 Hakupäivä 10.9.2020.

27. Agapakis J, 2000, The Future of Machine Vision. Saatavissa: https://www.qualitydigest.com/oct98/html/machfutr.html Hakupäivä 11.10.2020

LIITE 1



Kalansilmälinssi havaitsee metrin etäisyydeltä kohteesta noin kolmen metrin leveyden



”Tavallinen” linssi havaitsee kolmen merin etäisyydeltä kohteesta noin kolmen metrin leveyden

292 Luumen

256 Luumen

178 Luumen