



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

EE40LT

ABB ALAMKOOSTU OPTILINE KVALITEEDI KONTROLL

ABB SUB-ASSEMBLY OPTICAL QUALITY CONTROL

BAKALAUREUSETÖÖ

Üliõpilane: Siim Paluoja

Üliõpilaskood: 135108MAHB62

Juhendaja: Märt Juurma

Tallinn, 2017.a.

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:
/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201....

Kaitsmiskomisjoni esimees
/ nimi ja allkiri /

TTÜ inseneriteaduskond
BSc LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

2017. aasta kevadsemester

Üliõpilane: Siim Paluoja, 135108MAHB
Õppekava: Mehhatroonika, MAHB02/13
Eriala: Mehhatroonika
Juhendaja: Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi teadur, Märt Juurma
Konsultant: Protsessiinsener, Erik Peterson, ABB

LÕPUTÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) ABB alamkoostu optiline kvaliteedi kontroll

(inglise keeles) ABB sub-assembly optical quality control

Töös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Põhieesmärgiks on defektsete alamkoostude enim-esinenud defektide eemaldamise uurimine optilise kvaliteedi kontrolli kasutamisel.	15.05.2017
2.	Protsesside kaardistamine, majandusliku kulu arvutamine ning andmete kogumine ja analüüsimine.	25.02.2017
3.	Ülesande lahendamine põhinedes ABB 4Q metoodikale.	20.03.2017
4.	Prototüüp rakise loomine ning disain.	25.02.2017
5.	Lihtsama pilditöötluste strateegia loomine.	05.03.2017
6.	Teha kaamera valik. Praktilised katsetused kaamerasüsteemiga.	10.03.2017
7.	Tulemuste analüüs, järelduste tegemine, kasulikkuse hindamine.	15.05.2017

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:

Andmete kogumine ja analüüsimine ning nende põhjal reklamatsiooni kulude arvutamine, teoreetiliste parameetrite arvutamine optilise süsteemi jaoks, praktiline uuring alamkoostudega kasutades Festo kaameraid.

Töö keel: Eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt: 15.05.2017 **Töö esitamise tähtaeg:** 25.05.2017

Üliõpilane: Siim Paluoja /allkiri/..... kuupäev:.....

Juhendaja: Märt Juurma /allkiri/..... kuupäev:.....

SISUKORD

EESSÕNA	7
SISSEJUHATUS.....	8
LÜHENDID.....	10
1. OPTILISTE SÜSTEEMIDE TEOREETILISED LÄHTEKOHAD.....	11
1.1 Digitaalkaamera valiku teoreetilised lähtekohad.....	11
1.1 Pilditöötlus	16
1.2 Valgustus.....	18
2. ABB 4Q METODOLOOGIA JA ALAMKOOST	22
2.1 ABB 4Q metodoloogia.....	22
2.2 Toode ja tootmismeetod.....	24
2.3 Toote andmete töötlus ja analüüs	25
3. TOOTE OPTILISE KVALITEEDI KONTROLLI UURING	33
3.1 Optiline kvaliteedi kontroll ja tulemused.....	33
3.2 Järeldused ja ettepanekud ettevõttele	45
KOKKUVÕTE	48
SUMMARY	50
VIIDATUD ALLIKAD	52
LISAD	55
Lisa 1. Histogramm.....	55
Lisa 2. Triipkood ja 2D-kood	57
Lisa 3. Valgusspekter	58
Lisa 4. Spektraalkarakteristik	59
Lisa 5. Ringvalgusti.....	60
Lisa 6. Kohtvalgusti	61
Lisa 7. Kuppel valgusti	62
Lisa 8. 4Q mall.....	63
Lisa 9. Protsessi kaart	64
Lisa 10. Kalaluu diagramm.....	65
Lisa 11. Puu diagramm.....	66

EESSÕNA

Antud bakalaureuse lõputöö „ABB alamkoostu kvaliteedi kontroll“ on välja pakutud ettevõtte ABB AS poolt. Uurimisprobleemiks käesoleva töö puhul on antud ettevõtte tootmises oleva alamkoostu kvaliteedi kontrollimine läbi optilise süsteemi. Töö koostamine ning katsetuste praktiline läbi viimine teostati ettevõtetes ABB AS ning Festo OY Ab Eesti Filiaal laboris. Selleks, et hinnata töö vajalikkust on töö autor kogunud andmeid ettevõtte sisestest andmebaasidest.

Autor soovib tänada abi eest ettevõtteid ABB AS ja Festo OY Ab Eesti Filiaal ning juhendajaid Erik Petersoni (Protsessiinsener, ABB) ning Märt Juurma'd (Noorem-teadur, TTÜ).

SISSEJUHATUS

Tänapäeva äärmiselt kiiresti arenevas ühiskonnas on tehnoloogilised lahendused viinud tootmise väga kõrgele kvaliteedi tasemele. See tähendab, et ettevõtte jätkusuutlikkuse tagamiseks ning konkurentsipüsimeks on ilmingimata vaja võtta vastutus ning tagada kõrge kvaliteet enda toodetele. Kvaliteedi tagamiseks on tootmises kasutusele võetud kvaliteedikontroll, mis hõlmab endas tarnijatelt parima kvaliteediga materjali saamist ja nõudmist ning ka enda toodetud lõpp tootele vajalike kontrollide rakendamist, tagamaks soovitud tulemus, mida on lubatud kliendile.

Protsessi ja kvaliteedi alaste probleemidega tegeleb töö autor igapäevaselt, maailmas automaatika ja energeetika valdkonna juhtival positsioonil asuvas, ettevõttes ABB AS. Ettevõtte on väga lähedalt seotud tehnoloogia, tööstuse, transpordi, ja infrastruktuuri valdkondadega ja omab kliente 100 erinevas riigis. Eestisse laienes ABB 1991. aastal ning tänaseks päevaks on ettevõtte, enda üle kahekümne aastase tegevusajaga, omandanud kindla koha Eesti tööstus- ja majandusmaastikul. Ettevõtte pakub tööd enam, kui 1200 inimesele. ABB peakontor asub ABB One Campuse territooriumil Jüris, Harjumaal. Põhitegevusteks on energeetika ja automaatika valdkond, keskpinge-, madalpinge- ja automaatikatooted, automaatika- ja elektrifitseerimise projektid tööstustes, elektrijaamades ja infrastruktuuris, tarnitakse terviklahendusi ja seadmete pakette, et lahendada klientide vajadusi efektiivse ning usaldusväärse elektrivarustuse järele, hoitakse korras tööstusettevõtete seadmeid ja tootmise abiseadmeid. Koduturule toodetakse peamiselt elektrijaotuskilpe ning ekspordiks generaatoreid, mootoreid, erinevaid komponente muudele elektrimasinatele, komplektalajaamu, sagedusmuundureid ja taastuvenergia seadmeid [8][9].

Käesolev mehhatroonika eriala bakalaureuse lõputöö keskendub alamkoostude kvaliteedi parendamise uurimisele läbi optilise kvaliteedi kontrolli. Masinnägemise süsteem peaks avastama kõige sagedasemini esinenud reklamatsioonidega tagastatud toodete vead. Töö ülesanne on võetud ettevõttest ABB AS.

Töö eesmärgiks on välja selgitada optiliste süsteemide põhimõtted, teha praktilised katsed Festo laboris ning teha ettepanekuid ettevõttele saadud katsete tulemustest.

Ülesanded, mis on püstitatud antud tööks on järgmised:

- Teoreetilise ülevaate andmine optilisest süsteemist
- Tutvustada ABB 4Q metodoloogia olemust ja kontrollitavat toodet ning tootmisprotsessi
- Andmete töötlus ning kulude arvutamine
- Praktilised katsetused Festo laboris
- Ülevaate andmine katsete tulemustest ning ettepanekute tegemine ettevõttele ABB AS

Andmete kogumine toimus ettevõtte sisesest andmebaasist ning tarkvarasüsteemist SAP. SAP on tarkvara, mis on renditud, et lihtsustada ettevõtete vahelist suhtlust ning ettevõtte sisest struktuuride vahelist suhtlust [13].

Andmete analüüsimiseks ja parema ülevaate andmiseks kasutatakse MS Excelit ning Minitab tarkvara. Minitab on tarkvara, mis esialgselt loodi tööriistaks õpetamiseks statistikat, kuid praeguseks on sellest välja kujunenud piisavalt võimas ja lihtne tarkvara, mida saab kasutada ka väga keeruliste andmete analüüsimiseks [14].

Praktiliste katsetuste elluviimiseks tuli projekteerida lihtsamat sorti rakis, kuhu mahuks sisse toode ning saaks kinnitada kaamerad ning lisavalgustid. Projekteerimiseks kasutati SolidWorks 2016 3D-projekteerimisprogrammi.

Pilditöötluks kasutati Festo tarkvara SBS Vision Sensor. See tarkvara on spetsiaalselt arendatud töötamiseks Festo masinnägemise kaameratega. Tarkvara on tasuta allalaaditav [22].

Töö koosneb kolmest peatükist, millest esimene kirjeldab optilise süsteemi teoreetilisi põhimõtteid. Uuritakse tööks vaja minevaid vajalikke arvutuskäike. Teises peatükis tutvustatakse põhjalikumalt kasutatud uurimismetoodikat ABB 4Q, milleks seda kasutatakse, millest see on välja töötatud ning kuidas seda kasutatakse igapäevaselt ettevõtte siseselt. Kirjeldatakse ka toodet, millele kontrolli teostatakse, selle tootmisprotsessi ning andmete kogumist ja töötlust. Kolmas peatükk annab detailsema ülevaate praktilistest katsetustest ning annab ülevaate järeldustest ja soovitud ettevõttele.

LÜHENDID

IFR – ettevõtte sisene reklamatsioonide indeks (ingl. k. *Internal Failure Rate*)

OLPF – optiline madalpääsu filter (ingl. k. *Optical low pass filter*)

FPY – läbinud tootmise ja kvaliteedikontrollid esimesel katsel(ingl. k. *First Pass Yield*)

OTD – õigeaegne tarne(ingl. k. *On Time Delivery*)

CCD – optoelektroniline kiirusvastuvõtja (ingl. k. *Charge Coupled Device*)

CMOS – komplementaarne metall-oksiid-pooljuht (ingl. k. *Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*)

LCD – vedelkristallkuvar (ingl. k. *Liquid Crystal Display*)

QR-kood – ruutkood (ingl. k. *Quick Response Code*)

1. OPTILISTE SÜSTEEMIDE TEOREETILISED LÄHTEKOHAD

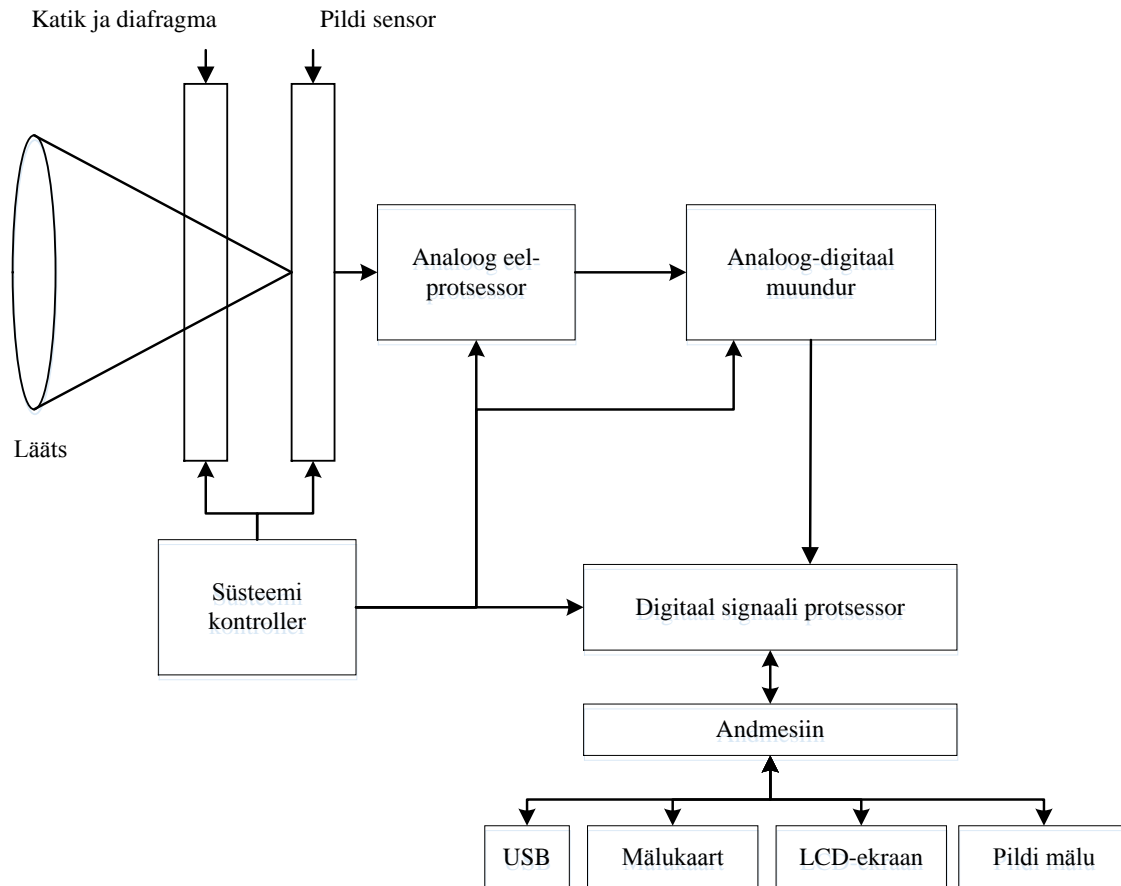
1.1 Digitaalkaamera valiku teoreetilised lähtekohad

Digitaalajastu üheks enim-levinud ja kiiremini arenevaks valdkonnaks on kaameratööstus ning nimelt digitaalkaamerad. Kaamerate võimsus ning suurus on läbi teinud tohutu arengu, seda eelkõige mobiiltelefonide näitel. Tänapäeval pole vaja enam massiivselt fotokaamerat, et teha kvaliteetseid pilte.

Tänu ülikiirele arengule on digitaalkaamerad väga populaarsed ning mugavad kasutada ka tööstuses ning optilistes süsteemides. Seda tänu nende täpsusele, suurtele kaadri kiirustele, pildi suurustele ja võimalusele muuta kaamera omadusi kaamerat juhtiva programmi siseselt [1].

Enamikel tänapäeva kaameratel, olgu ta siis digitaalne või hõbehalogeniid kaamera, on võimekus teostada optilist suurendust. See tähendab, et lääts liigutatakse lähemale või kaugemale sensorist, see võimaldab saadavat pilti suurendada või vähendada; suurendatakse või vähendatakse pikslite arvu pildil. Üldjuhul, kui tahta pilti suurendada tähendab see soovi näha midagi pildil detailsemalt. Digitaalkaamerate optika puhul peab lisaks läätsel sensori ees olema ka erinevaid filtreid. Üks enim kasutatavaid filtreid on OLPF. See filter on kasutusele võetud, et eemaldada korduvaid detaile piltidelt, mis ületavad sensori resolutsiooni ning tekitavad piltidele lainelisi efekte. Üks tähtsamaid filtreid on aga filter, mis eemaldaks infrapunavalguse, kuna tüüpilised sensorid on äärmiselt tundlikud sellele valguslainepikkusele ning mõjutavad tohutult pildi kvaliteeti, kuigi silmale on see lainepikkus nähtamatu [3][4].

Pärast läätsel ja filtrite läbimist jõuab valgus elektroonilisse pildi sensorisse.(vt Joonis 1.1) Kõige populaarsemad digitaalkaamerate sensorid on CCD ja CMOS. Pildi sensor on digitaalkaamera üks tähtsamaid elemente. Sensor muundab iga langeva valguskiire variatsiooni(footoni) elektrilisteks laenguks(elektroniks), mis pärast teatavaid algoritme ja protsesse rekonstrueeritakse värviliseks pildiks [7].



Joonis 1.1 Digitaalkaamera tööpõhimõtte skeem

Allikas: [4]

Lihtsaim viis selgitamiseks sensori tööd digitaalses kaameras on mõelda sellest, kui kahe-dimensioonilisest jadast, mis koosneb tuhandetest või miljonitest väikestest fotoelektrilistest elementidest. Iga selline väike element muudab väikese osa langevast valgusest elektronideks. Väärtuste lugemine igast elemendist on kahe antud sensori tüübi vahel erinev. CCD sensoris transporditakse laeng üle kiibi ning loetakse ühes jada nurgas. CMOS sensoris on tüüpiliselt mitu transistori iga piksli kohta, mis liigutavad ja võimendavad laengut. Kiiretes masinnägemise süsteemides on tänapäeval eelistatumaks CMOS sensor, kuna tarbib vähem energiat ning pildid sisaldavad palju vähem müra [7][15].

Piksli väärtused sensorist liiguvad analoog eelprotssessorisse (vt Joonis 1.1), kuna kõik sensorist tulevad väärtused on analoog väärtused. Eelprotssessoris toimub signaalide puhastamine ning võimendamine, mille järel liiguvad signaalid edasi analoog-digitaal muundurisse. Analoog-digitaal-muundur muudetakse vastavad analoogväärtused digitaal väärtusteks, mis edasi kuvatakse kasutajale LCD-ekraanil või salvestatakse mälu [4].

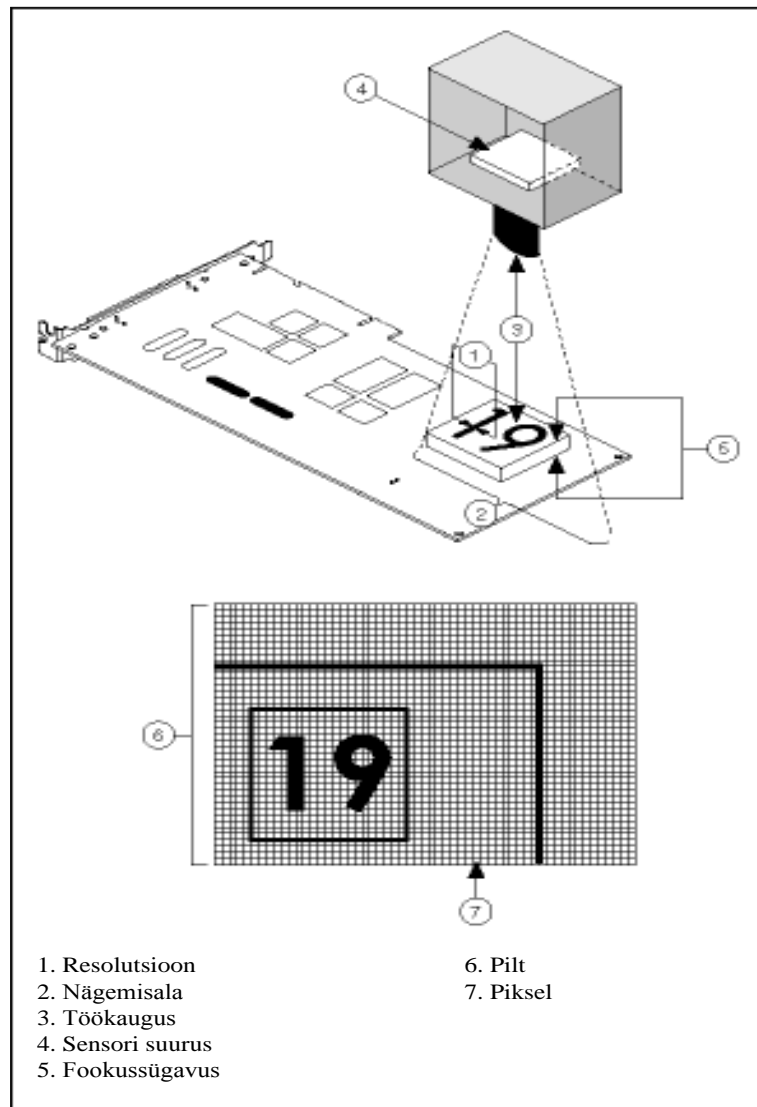
Enne optilise süsteemi üles seadmist on kasulik ning vajalik teada, milliseid komponente soovitakse kontrollida antud objektil ja milliseid protsesse tuleb selleks kasutada. Süsteem peab suutma pakkuda piisavalt kõrge kvaliteediga pilti, et oleks võimalik sellelt eraldada vajalikku informatsiooni. See, kas saavutatav pilt on piisava kvaliteediga, sõltub ennekõike kaamerast. Viis kõige tähtsamat omadust, mida tuleb jälgida ja teada kaamera puhul, mis tarviliku süsteemi tarbeks valitakse on järgmised (vt Joonis 1.2):

- Resolutsioon – kõige väiksema kujutise suurus objektil, mida kaamera on võimeline eristama.
- Nägemisala – objekti suurus, mida kaamera on võimeline jälgima.
- Sensori suurus – sensori aktiivse osa suurus, tavaliselt andmelehtedel on see defineeritud sensori diagonaaliga, kuid arvutustes kasutatakse horisontaal- ja vertikaalmõõtmeid.
- Fookussügavus – maksimaalne objekti sügavus, mida kaamera on võimeline hoidma fookuses.
- Töökaugus – distantis kaamera läätsest objektini.

Resolutsiooni tüüpe on kaks, mida tuleb arvesse võtta optiliste süsteemide puhul: piksli resolutsioon ja sensori resolutsioon. Piksli resolutsioon viitab miinimum pikslite arvule, mida on vaja, esindamaks objekti vaatluse all. Seda saab määrata väikseima detaili abil, mis kuulub vaadeldavale objektile. Soovitatav on vähemalt kolm pikslit väikseima detaili määramiseks, minimaalselt kaks pikslit. Minimaalse piksli resolutsiooni saab leida, kui kasutada järgnevat valemit:

$$\left(\frac{\text{objekti pikima telje pikkus}}{\text{objekti väikseima detaili suurus}} \right) \times \text{väikseima detaili pikslite arv} \quad (1.1)$$

Nägemisala ja väikseima detaili mõõtmel tuleb kasutada samasid pikkusühikuid ning horisontaal- ja vertikaalväärtusi [2].



Joonis 1.2 Põhilised optilise süsteemi parameetrid

Allikas: [6]

Nägemisalaga määratakse ära, kui suurt ala suudab kaamera jälgida. Nägemisala suuruseid kasutatakse minimaalse sensori resolutsiooni leidmiseks, sejärel saab valida tootja poolt antud süsteemile piisava resolutsiooniga kaamera. Kindlasti tuleb võtta nägemisala vähemalt sama suur või soovitatavalt isegi suurem, kui objekt ise tegelikult on. Nende suuruste abil saab leida vajaliku sensori resolutsiooni järgneva valemi abil:

$$\text{sensori resolutsioon} = \left(\frac{\text{nägemisala}}{\text{väikseima detaili suurus}} \right) \times \text{pikseleid väikseima objekti kohta} \quad (1.2)$$

Tuleb kasutada samasugusid mõõtühikuid nii objekti suuruse kui ka väikseima detaili suuruse juures. Valemite kasutatakse horisontaalse ja vertikaalse resolutsiooni suuruse leidmiseks eraldi. See tähendab, et arvutatakse eraldi. Tulem peab olema suurem või äärmisel juhul sama suur, kui on objekti välja suurus. Vastasel juhul ei pruugi valitud resolutsiooniga kaamera ära katta kogu vaadeldavat ala, mida soovime jälgida [6].

Asjakohase kaamerasüsteemi valikul mängib suurt rolli ka läätse fookuskaugus, kuna läätsesid enamus juhtudel kategoriseeritakse fookuskauguste järgi. Fookuskaugus on antud järgmise valemiga:

$$fookuskaugus = \frac{\text{sensori suurus} \times \text{töökaugus}}{\text{nägemisala}} \quad (1.3)$$

Kui süsteemis füüsiliselt ei saa muuta kaamera töökaugust, siis on piiratud ka erinevate fookuskaugustega läätsede valik. Fikseeritud töökauguse ja lühikese fookuskauguse tõttu võivad pildid jääda moonutatud. Kui on võimalus muuta töökaugust, siis on võimalik valida lääts sobiliku fookuskaugusega ning minimeerida pildi moonutust. Tüüpilised tootjate läätsede fookuskaugused on 6 mm, 8 mm, 12,5 mm, 25 mm ja 50 mm. Väikeste fookuskaugustega läätsede, väiksemad, kui 12 mm, saavutatav pilt sisaldab küllaltki suuri moonutusi. Kui süsteem, on tundlik moonutusele, siis selle vähendamiseks, tuleks suurendada töökaugust ning valida sobiva fookuskaugusega lääts [6].

Üheks tähtsaks omaduseks läätse puhul on veel fookussügavuse võimekus, mis sõltub objektiivava suurusel. Fookussügavus näitab läätse suutlikkust hoida erinevatel kõrgustel asetsevad objektid fookuses. Selline omadus on äärmiselt tähtis sellisel juhul, kui vaadeldaval objektidel asetsevad detailid asuvad eritasanditel ja on vaja säilitada pildi kvaliteeti soovitava tasemel [6].

Perspektiivi-vead tekivad kaameras sellisel juhul, kui kaamera vaatab objektile mingi nurga all, mitte ristloodis. Perspektiiv on pildi puhul eriti oluline juhul, kui on vaja pildi pealt kätte saada mõningate detailide mõõtmeid või distantse. Samamoodi võib süsteemis esineda ka moonutusi, mis on läätsedest tingitud. See tähendab, et teatud vaadeldavad punktid paistavad läätse optilisest keskpunktist kaugemal, kui nad tegelikult on. Perspektiivi-viga ja ka moonutust saab eemaldada, kui rakendada süsteemile kalibreerimist [6].

Kui kõik objekti suurused klapiivad teoreetiliselt soovitatava kaamera omadega, ei tähenda see veel, et saab ilmtingimata nendele andmetele tuginedes seadme välja valida eelnevalt praktiliseid katsetusi tegemata. Alati on soovitatav teha prototüüp-testid ning analüüsida ka reaalseid tulemusi ja võrrelda neid teoreetilistega.

1.1 Pilditöötlus

Sõna pilt, väljendis pilditöötlus, viitab digitaalpildile. Digitaalpilt ei ole midagi enamat, kui kahemõõtmeline jada, mille väärtused esindavad valguse intensiivsust. Pilt on valguse intensiivsuse funktsioon

$$f(x, y), \quad (1.4)$$

kus f – heledus antud punktis, L ,

x – pildi elemendi või piksli koordinaat,

y – pildi element või piksli koordinaat.

Kokkuleppeliselt asub piksel koordinaatidel (0;0) alati pildi ülemisel vasakus nurgas. Samamoodi on standartselt määratud ka koordinaatide suurenemise suunad. X – koordinaadi suurenemine toimub vasakult-paremale ning Y – koordinaat vastavalt ülevalt-alla [6].

Pildi intensiivsuse analüüsi saab hõlpsasti muuta visuaalseks ning lihtsalt jälgitavaks histogrammi abil. Histogramm loeb ning kujutab graafiliselt pikslite arvu igal hallskaala tasemel. (vt Lisa 1) Histogramm on pildi analüüsi tööriist, mis kirjeldab pikslite intensiivsuste jaotumist. Tavaliselt kasutatakse graafikut selleks, et saada teada, kas pildi intensiivsus on piisavalt kõrge ülesande jaoks, mida pildiga teha tahetakse ning lisaks saab graafikult lugeda, kas pilt sisaldab selgelt eristatavaid hallskaala alasid. Edukaks pilditöötluse eelduseks on kaks väga tähtsat kriteeriumit - küllastumus ja vähene kontrast - mõlemat saab lugeda histogrammi pealt [6].

Küllastumus või teisiti ülevalgustatus viitab tavaliselt sellele, et on kasutusel liiga palju valgust. Samas on aru saada ka sellest, kui valgust on liiga vähe. Pildid, mis on jäädvustatud nimetatud tingimustes, ei pruugi sisaldada kõike informatsiooni, mida tahetakse neist kätte

saada. Sellepärast on tähtis sellised tingimused tuvastada ning need parandada süsteemi üles seadmise käigus. Vähe valgustatud pildi puhul on histogrammi peal madala hallskaala juures pikslite arv suur. Samas küllastumuse puhul tekib vastupidi suur pikslite arv kõrge hallskaala juurde [6].

Selleks, et teostada pildi peal mitmeid erinevaid ülesandeid või kontrole, on kasutusele võetud huviala tööriist. Huviala võimaldab määrata ühel pildil mitmeid erinevaid piirkondi, kus teostada soovitud operatsioone ilma, et need üksteist segaksid. Pildil võib olla määratlemata arv huvialasid. Tavaline on olukord, kus objekti asukoht pole pildilt pildile täpselt sama. Selleks, et teostada soovitud ülesandeid, kasutatakse dünaamilist huviala. Dünaamiline huviala liigub vastavalt objektile, samuti saab dünaamilise huviala suurst muuta automaatselt, vastavalt eelnevale pildile [5].

Servatuvastus leiab servad piki pikslite joont pildi peal. Servatuvastust kasutatakse tavaliselt selleks, et tuvastada ebajärjepidevusi pikslite intensiivsuses pildil. Ebajärjepidevused tekivad üldjuhul järskudes muudatustes pikslite intensiivsustes, mis iseloomustavad objektide piire stseenil. Selleks, et pildilt servasid tuvastada, on vaja määrata huviala, mille sees soovitakse neid leida. Servatuvastusega on võimalik leida määratud huvialast kõik servad - esimese serva, parima serva(kõige tugevama intensiivsusega) või näiteks esimese ja viimase serva. Peamiselt kasutatakse serva tuvastust distantside mõõtmistel, objekti tuvastamisel ja reastamisel [6].

Distantside mõõtmised on üks enim kasutatavaid rakendusi servatuvastamisele. Selle abil kontrollitakse uurimise all oleva objekti mõõtmeid ning võrreldakse neid kasutaja poolt määratud tolerantsidega, seejärel otsustatakse, kas toode on vastava kvaliteediga ning toodetud õigesti [6].

Objekti tuvastamist kasutatakse tüüpiliselt elektroonikatööstuses, kus kontrollitakse kindlate komponentide paiknemist, kasutades joonprofiili ja servatuvastust. Serv, mis tuvastatakse mööda joone profiili, defineeritakse kontrastide vahega. Kontrastide vahe tekib tausta, esiplaani ning objekti intensiivsuste vahest. Selle tehnika abil saab tuvastada, mitu serva tekib mööda joone profiili ning võrrelda seda arvuga, mille kasutaja on määranud [6].

Mustri või kujundi sobitamine määrab alad, mis kattuvad hallskaalal sellele huvialale või objektile, mis algselt määratud. Selle tööriistaga luuakse mudel, mis esitab objekti, mida soovetakse pildilt otsida. Seejärel süsteem otsib sarnaseid alasid ning kalkuleerib ka tulemust, mis näitab, kui sarnased leitud alad on sellele, mis algselt määrati. Mustri või kujundi sobitamise algoritmid omavad ühtesid tähtsaimatest funktsioonidest masinnägemises, seda sellepärast, et neid algoritme kasutatakse väga erinevates aplikatsioonides. Põhilised neist on joondamine, distantide mõõtmised ja inspeksioonid, samad funktsioonid on kirjeldatud ka serva tuvastamisega. Piiranguteks saavad kindlasti objekti mõõtskaalade erinevused, mis tulevad välja pildi peal objektide suurus. Samuti, kui objekt on pööratud või perspektiiv on liiga suur. Lisaks mõjutab suurel määral ka valgus, mis tekitab hallskaalal erinevusi [6].

Koodi lugemist kasutatakse üldjuhul, kui on tarvis kiirendada protsessi, mis hõlmavad endas triipkoodide lugemist ning kahemõõtmelise maatrikskoodi lugemist. Triipkoodide ning kahemõõtmeliste maatrikskoodide ehk QR-koodide (vt Lisa 2) lugemine on väga laialdaselt kasutatud pakkimises ning logistika valdkondades, et pidada järge, kus konkreetne saadetus või kaup asub ning milliseid etappe on juba läbinud. Triipkood on ühemõõtmeline kood, mis võib sisaldada numbrilisi väärtuseid ja teksti. Triipkood koosneb mustadest ja valgetest vertikaalsetest joonelementidest, mille erinev paksus määrabki vastava väärtuse. Triipkoodidel on veel omakorda väga suur valik erinevaid tüüpe, millel igal ühel on omad eelised ning miinused. Kahemõõtmelised maatrikskoodid koosnevad koodi elementidest (ruudud või punktid), mille abil hoitakse informatsiooni nii numbrites, kui tähtedes. Koodi suurus sõltub sellest, kui palju informatsiooni soovetakse hoida. Maatrikskoodi tähtis iseärasus on koodi varundamine - see tähendab, et kui osa koodi pildist on hävinud on ikkagi võimalik välja lugeda kogu koodi informatsioon [5].

1.2 Valgustus

Valgustus on kriitilise tähtsusega masinnägemise süsteemides. Sobiva valgustusega saadud pilte on lihtsam kaamera tarkvaras määratleda ja pilditöötlust teostada. Lisaks läheb üldine töötamise aeg märgatavalt väiksemaks. Üks valgustuse põhilisi eesmärke on eraldada kasutaja soovitud objekt või osa taustast nii paljude hallskaala erinevustega, kui võimalik. Teine eesmärk on kontrollida valgust stseenil. See tähendab, et soovetakse süsteem teha

sõltumatuks välisvalgustusest nagu näiteks päikesevalguse muutus tingituna ilmastikust, mis ei muudaks oluliselt süsteemi parameetreid, et saaks teostada pildi analüüsi ja töötlust häiringute vabalt [2].

Selleks, et kasutaja saaks ülesannete täitmiseks vajalikku valgustatust saavutada on vaja mõista mõningaid põhilisi valgustuse aluseid. Valgust saab kirjeldada kui laineid kolme omaduse põhjal:

- Lainepikkus, mida eristatakse nm (nanomeeteriga)
- Intensiivsus
- Polariseerimine

Põhilised omadused, mis on määrava tähtsusega masinnägemise süsteemides, on valguse lainepikkus ja intensiivsus. Kiirgus, mille lainepikkus on väiksem kui 380nm kutsutakse UV (ultraviolet) kiirguseks ja pikemad valguse lainepikkused kui 780nm IP (infrapuna) kiirguseks. (vt Lisa 3) Digitaalkaamera sensori spektraalkarakteristik (vt Lisa 4) määrab tundlikkuse-kõvera igale lainepikkusele. Kaamerate sensorite spektraalkarakteristik erinevatele lainepikkustele võib olla teistsugune, kui inimsilmal [5].

Masinnägemise jaoks on olemas väga suur valik erinevaid valgusti tüüpe, et tuua välja vajalikud objekti omadused piisavalt heal tasemel. Valgusallikana kasutatakse valgustites kõige enam valgusdioode ehk LED valgusallikaid. Valgusdiodid on saavutanud oma populaarsuse tänu ühtlasele valgusele, pikale elueale ning madalale energiakulule. Lisaks on valgusdioode väga lihtne kasutada erinevate kujude ning omadustega valgustite puhul [5].

Ringvalgusti (vt Lisa 5) on valgusti, mis üldjuhul paigaldatakse ümber läätse optilise telje, kas siis kaamera peale või kusagile kaamera ja objekti vahepeale. Ringvalgustit on lihtne kasutada, valgusti on ühtlase valgustatusega ning on kõrge intensiivsusega, kuid sageli jätvavad otseseid peegeldusi valgusallikast, mida kutsutakse „kuumadeks kohtadeks“. Peegeldused tekivad sellest, et ringvalgustit kasutatakse ümber läätse optilise telje, mis peegeldab osa valgusest otse tagasi kaamerasse [5].

Selleks, et välja tuua kindlad detailid objekti peal või suuremad kontrastid, on sobilik kasutada kohtvalgusteid (vt Lisa 6). Kohtvalgusti poolt väljutatav valgus on erinev läätse optilisest teljest. Lamedate objektide puhul jõuab ainult hajutatud peegeldus kaamerasse.

Kohtvalgusti puhul ei ole võimalik, et otsene peegeldus valgusallikast endast jõuaks kaamerasse. Ainsaks negatiivseks pooleks kohtvalgustite juures on see, et tekib ebahütlane valgustatus [5].

Üheks väljakutsuvamaks kontrollitavaks materjaliks on klaasjad materjalid oma tagasipeegelduvuse tõttu. Selleks puhuks on kasutada kuppelvalgusti (vt Lisa 7), mis pakub vajalikus vormis valguse intensiivsust tänu diodvalgusallikatele. Diodvalgusallikad valgustavad heledaid ja matte kupli sisemisi seinasid, mis valgustavad kogu selle all oleva objekti ühtlaselt. Pildi keskmine osa jääb tumedam, kuna kupli keskel on auk, läbi mille vaatab kaamera objekti peale [5].

Kõrgema intensiivsusega valguse saamiseks kasutatakse valgusdiod-valgustite puhul stroboskoobilist efekti, mis tähendab valgusdiodide vilgutamist. Vilgutamine lubab valgusdiodil eritada kõrgemat valgusintensiivsust, kui pideva põlemise puhul, kuna vilgutamisega saab kasutada ülelaadimist. See tähendab, et valgusdiodile antakse hetkeliselt kõrgemat voolu. Pärast hetkelist kõrget voolu, saab valgusdiod jahtuda, kuna vool katkestatakse. Kõrgemal intensiivsusel on võimalik täieliku valgustatuse saavutamise aega vähendada ning liikumise hajuvust vähendada. Valgusdiodi vilgutamiseks on vaja nii tarkvaralist kui ka riistvaralist toetust - seega üks ei saa ilma teiseta, et toimida korrektselt [5].

Tihti peale on süsteemis vaja valgust hajutada, see tähendab, et ei saa kasutada otse objektile langevat valgust. Selleks kasutatakse hajutusplaati, mis muundab otsese valguse hajuvaks ja sellepärast ei jää pildile ka otseseid peegeldusi. Selle vajaliku omaduse tõttu on enamikel valgustitel ka kaks versiooni - hajutusplaadiga ja ilma [5].

Kaks põhireeglit hajutusplaatide kasutamisel:

- Lääkivad pinnad vajavad hajutatud valgust
- Hajutusplaadid võtavad valguselt ära intensiivsuse

Tavaliselt läheb 20-40 % valguse intensiivsusest kaduma, kui kasutatakse hajutusplaati. Selline intensiivsuse kadumine võib tekitada probleeme kiiretes süsteemides, kus väike täieliku valgustatuse saavutamise aeg on vajalik. Hajutusplaatide efektiivseks kasutamiseks

tuleks kasutada mitme valgusdiodiga ribavalgusteid. Üksikud valgusdiodid tekitavad hajutusplaadist olenemata eredaid täpikesi pildile tänu otsesele peegeldumisele [5].

Leidub ka süsteeme, kus on vaja eemaldada teatud lainepikkuste sattumine kaamerasse. Selleks on kasutusel optilised filtrid, mis on mõeldud erinevate valguse lainepikkuste filtreerimiseks. Optiline filter käib kaamera sensori või läätsse ette ning neelab kindlad lainepikkused või polarisatsioonid. Kõige lihtsam näide on päikeseprillid. Päikeseprillid ei ole midagi enamat, kui optilised filtrid inimsilma kaitsmiseks ohtliku ultraviolettkiirguse eest. Sarnaselt saab kasutada filtrit kaamera ees – lasta läbi valgus, mida tahetakse näha ning neelata ülejäänud. Masinnägemises on kasutusel kahte põhitüüpi filtrid:

- **Ribapääsfilter** - edastab ainult kindlat värvi valgust, see tähendab mingi kindla lainepikkusega. (Punane filter laseb läbi ainult punase valguse.)
- **Polarisatsioonifilter** - edastab ainult kindla polarisatsiooniga valgust. Valgus muudab enda polarisatsiooni, kui ta peegeldub. Polarisatsioonifilter lubab meil eemaldada tahtmatud peegeldused.

Väga stabiilsed valgustustingimused saavutatakse siis, kui kombineerida õige valgusdiodide värvus optilise ribapääsfiltriga, millel on vastava värvuse läbipääs [5].

2. ABB 4Q METODOLOOGIA JA ALAMKOOST

2.1 ABB 4Q metodoloogia

Selleks, et ettevõtte sisene pidev areng ei peatuks, on välja töötatud ABB sisene probleemide lahendamise metodoloogia ABB 4Q, mida kutsutakse ka 4Q täiustamismetodoloogiaks. Selle metodoloogia põhiliseks eesmärgiks on juurutada ettevõttesse pideva arengu mõtteviisi igas protsessis ja igas ärilises üksuses. ABB 4Q on struktureeritud (vt Lisa 8) lähenemine probleemidele, et aidata töötajatel paremini leida probleemide juurpõhjused ning juhtida parendustegevusi süstemaatiliselt sammhaaval. 4Q tähendab nelja kvadranti, kus iga kvadrant moodustab äärmiselt tähtsa osa probleemi lahendamise protsessist [10].

Esimene kvadrant, Q1, tähendab kokkuvõtvalt mõõtmist ja hetke seisukorra hindamist. Selle kvadranti eesmärgiks on arusaamine protsessi käitumisest ning baasi loomine 4Q projekti jaoks. Esimeses kvadrantis keskendutakse protsessi sisenditele ja väljunditele. Protsessi täielikuks mõistmiseks on vaja teada sisendeid sama palju, kui väljundeid. Selleks, et aga vajalikke andmeid kõige lihtsamalt ja efektiivsemalt saada on välja töötatud hulk erinevaid tööriistu, mida kasutada, et teha selgeks väga detailselt hetke seisukord. Enim kasutatavad nendest on:

- Protsessi kaart – lihtsustatud visuaalne kirjeldus reaalsest protsessist. (vt. Lisa 9)
- Protsessi mõõdikud – protsessi väljundid, mida tuleb mõõta protsessi kvaliteedi hindamiseks. (FPY, OTD)

Q1 võib võtta kõige rohkem aega, kuna andmed, mida kogutakse, peavad olema värsked ning ajakohased. Lisaks ei pruugi kõik andmed olla lihtsasti kättesaadavad. Esimeses faasis tuleb läbi mõelda ning leida kõik vajalik, et järgmiste kvadrantide lahendamine läheks tõhusamalt [10].

Teine kvadrant, Q2 ehk probleemi analüüs, hõlmab endas juurpõhjuse või juurpõhjuste avastamist. Ainult juurpõhjuse eemaldamine hoiab ära selle, et sama probleem ei tekiks hiljem uuesti. Jätkusuutlikud uuendused või parendused saavad tekkida ainult seal, kust probleem pärineb. Tihti peale takerdutakse sinna, kus hetke probleem aset leidis ning teostatakse võimalikult kiire probleemi eemaldamine, süvenemata, kust tegelik situatsioon alguse võib saada. Näiteks, kui probleem avastati protsessi lõppfaasis, siis see ei tähenda, et tõeline põhjus ei võiks olla kuskil algfaasis. Andmete analüüsimiseks ning parimaks

visuaalseks esitamiseks on samuti välja töötatud hulk tööriistu. Nendest efektiivsemad ning enim kasutatud on:

- Pareto graafik – selle analüüsi tüübi mõte on näidata, et 80% probleemidest on põhjustatud 20% põhjustest. Seda graafikut kasutades saab keskenduda neile põhjustele, mis kõige rohkem probleeme tekitavad.
- Kalaluu diagramm – diagramm, mille abil leitakse efektiivselt juurpõhjused. (vt Lisa 10)
- Puu diagramm – diagramm, mille abil leitakse efektiivselt juurpõhjused. (vt Lisa 11)

Selleks, et avastada juurpõhjus või juurpõhjused on reeglina mõistlik kasutada meeskonda. Võimatu on näha kõiki võimalikke potentsiaalseid defekte ühest vaatenurgast [10].

Kolmas kvadrant, Q3 ehk lahenduse või lahenduste välja töötlemine ning rakendamine. Vahel nõuab probleemi elimineerimine rohkem kui ühte tegevust, et eemaldada õiget juurpõhjust. Selleks, et leida kõiki võimalikke lahendusi kinnitatud juurpõhjustele või põhjustele, korraldatakse ajurünnak sama meeskonnaga, kellega leiti kõik võimalikud põhjused. Kui kõik võimalikud lahendused on leitud ning kinnitatud tuleks need ka ära jagada, vastasel juhul jääb projekt venima ning võib sootuks pooleli jääda. Selleks, et nii ei juhtuks peaks iga ülesande juures vastama kolmele põhiküsimusele:

1. Mis on ülesanne? Ülesande kirjeldus.
2. Kes seda täidab?
3. Mis ajaks see peab olema täidetud?

Neljanda kvadranti, Q4 eesmärk on kogu projekti vältel kaasa teinud meeskonna pingutuste ning saavutatud eesmärkide kinnitamine. Projekti edukaks lõpetamiseks on vaja muuta vajalikud dokumentatsioonid, koolitada kaastöötajad ja analüüsida uut protsessi, kuna hiljutine uuendus võib olla toonud välja uusi probleeme, mille kallal tööd teha. Ainult protsessi ümberkorraldamine võimaldab uuendustel täielikult säilida ning saada osaks standardist. Iga uus protsess peab olema lihtsam ja tasuvam, kui eelmine, selleks tuleb teha uuendatud protsessis võimatuks teha tööd vanal viisil. Neljas kvadrant on väga olulise tähtsusega, kuna lõppude lõpuks hoiab see ettevõtet või organisatsiooni edasiarengu suunal. Ilma uute protsesside standardiseerimiseta ja dokumentide mitte uuendamisteta kaovad ka kõikide arendusprojektide tulemused, kuna ei saa välistada töötajate vahetumist. Viimistletud ja tulemuslik lõpp on sama tähtis, kui kiire ja entusiastlik algus [10].

2.2 Toode ja tootmismeetod

Toode, mille kohta antud töö on tehtud kujutab endast osakoostu, mis käib sagedusmuundurisse. Osakoost on mõeldud sagedusmuunduri tööd kontrollima ning juhtima mooduli erinevaid komponente.

Alamkoost koosneb põhiliselt neljast või viiest erinevast trükkplaadist. Igal trükkplaadil on erinev ülesanne täita sagedusmuunduri töös.

- Trükkplaat AINP-01C/AIBP-51 – genereerib sisendsilla juhtsignaalid.
- Trükkplaat BFPS-48C – +48V toiteallikas põhilistele jahutusventilaatoritele
- Trükkplaat BPOW-01C – Toiteallikas teistele trükkplaatidele. Selle trükkplaadi vanem versioon on APOW-01C.
- Trükkplaat BGDR-01C – juhib isoleeritud paisuga bipolaartransistoride toitekanaleid. Selle trükkplaadi vanem versioon on JGDR-G1C.
- Trükkplaat ZINT-7B1C – mõõdab ja kuvab alalisvoolu lati ja faasi voolusid; kuvab väljundvoolusid; juhib sisendsilda; annab temperatuuri mõõtmiseks vajalikud sisendid; juhib sekundaarset ventilaatorit. Selle trükkplaadi vanem versioon on JINT-G1C.

Alamkoostul on neli erinevat varianti vastavalt sellele, millisesse sagedusmuundurisse alamkoost käima peab. ACS880 (vt Sele 2.1) on uuem põlvkond ning ACS850 (vt Sele 2.2) vanem põlvkond.

- ACS880-04 R10
- ACS880-04 R11
- ACS850-04 G1
- ACS850-04 G2

Tootmises eristatakse alamkooste enamasti viimase tähe ja numbri kombinatsiooni järgi, mis siis viitab raami suurusele.



Sele 2.1 ACS880-R10/R11



Sele 2.2 ACS850-G1/G2

Toode koosneb võrdlemisi vähestest komponentidest. Koostu põhi on lehtmetailist raam, kus peal paiknevad õigesti positsioneeritud isolatsioonipuksid, elektrijuhtmete kinnitused ning isolatsiooniplaadid. Pukside peale kruvitakse trükkplaadid, mis kõik kinnitatakse kruvidega M4x8 mm. Seejärel skaneeritakse kõik tooted süsteemi, et kinnitada toote lõpetamine.

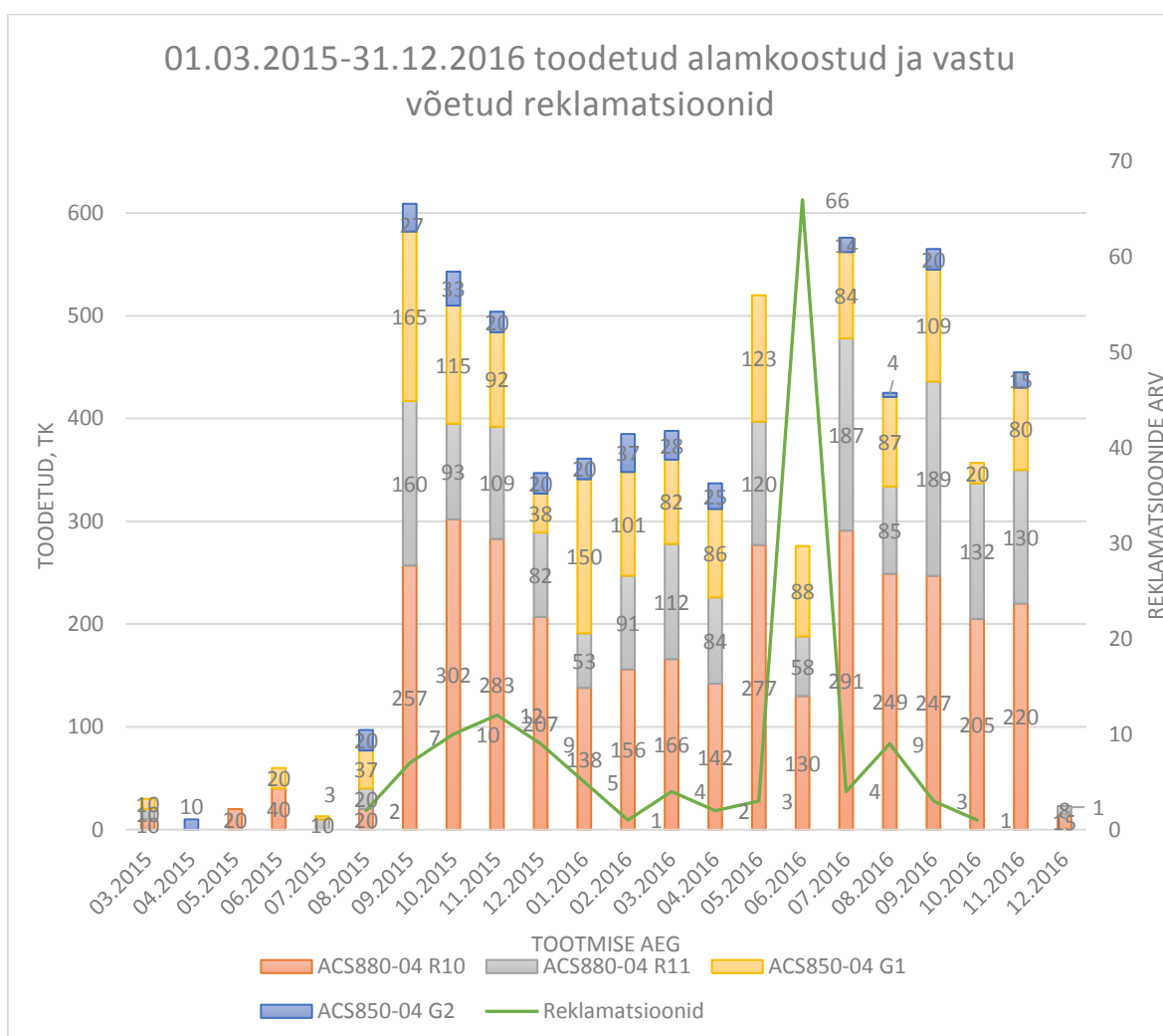
Traditsioonilist elektrilist funktsionaalsus lõppkontrolli meetodit ei saa kasutada antud toote puhul, kuna toode pole terviklik. Funktsionaalsus-testi saab tootele teha ainult sellisel juhul, kui toode on komplekteeritud ning terviklik. Sellest tingituna hinnatakse toote kvaliteeti läbi visuaalkontrolli meetodi. See tähendab, et toote vaatab visuaalselt üle teine koolitatud töötaja, enne kui see pakitakse transportimiseks kliendile.

2.3 Toote andmete töötlus ja analüüs

Iga parendus- või uuendustöö sisendiks on faktiliselt ära põhjendatud probleemid. Selleks, et välja tuua visuaalselt ning konkreetselt probleemi tõsidus, tuli esmalt teostada andmete kogumine ning nende töötlemine ja analüüsimine. Vaja läks järgmiseid andmeid:

- Toode kogused – Kui palju ning kuna on antud alamkoostusid toodetud?
- Reklamatsioonide arv – Kui palju reklamatsioone on saadud?
- Reklamatsioonide kirjeldused – Mis põhjusel toode reklameeriti?
- Reklamatsiooni hind – Kui palju on kulusid ühele reklamatsioonile?

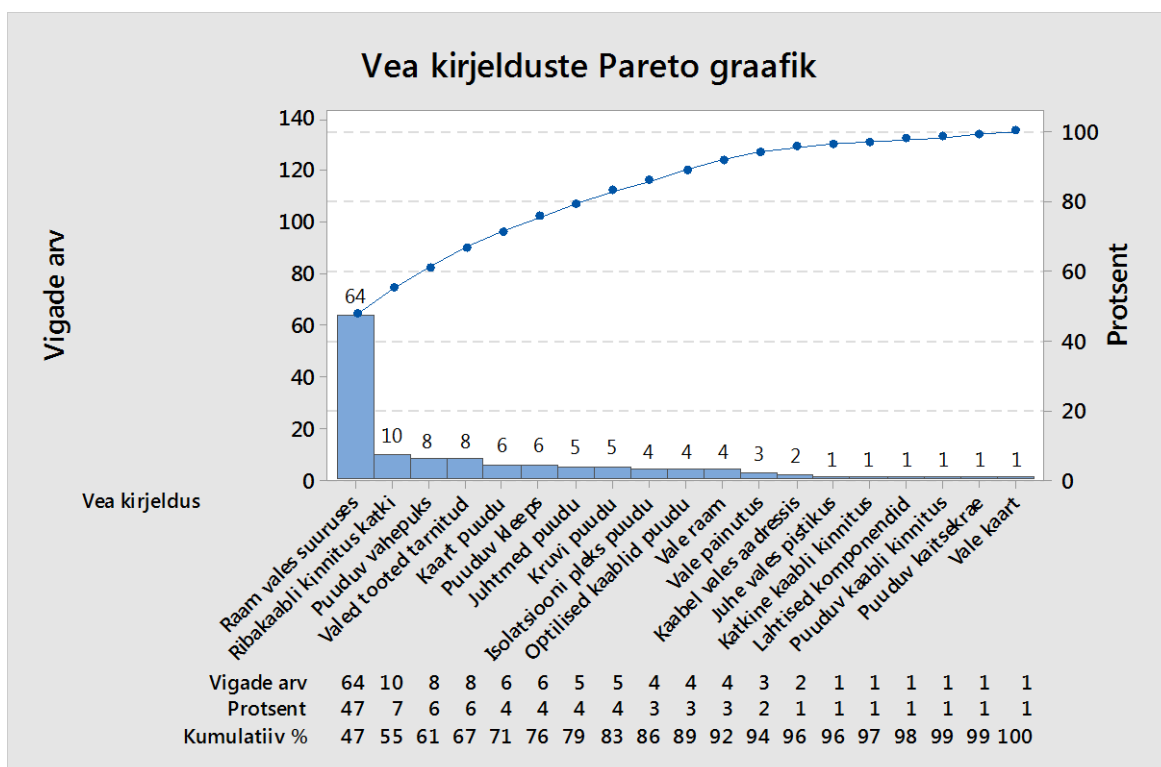
Andmete väljavõtted tehti ettevõtte ABB sisese infosüsteemist SAP. Väljavõtted SAP süsteemist tuli läbi töödelda MS Excelis, kuna andmed olid segamini ning iga toode oli eraldi reana kirjeldatud. Excelis sai vastavaid filtreid kasutades eristada kõik 4 alamkoostu üksteisest ning teada tootmiskogused ning kuupäevad. Alamkoostu tootmise kuupäevadid oli vaja selleks, et teada saada tootmiskogused kuude lõikes.



Sele 2.3. Tootmismahud ja reklamatsioonide arv kuude lõikes

Kokku toodeti ajaperioodil 01.03.2015-31.12.2016 6921 alamkoostu ning sama aja jooksul võeti vastu 159 reklamatsiooni, mis moodustab IFR 2,3 %. Sele 2.3 pealt on näha, et tootmiskogused on suured ning praktiliselt igal kuul esineb ka reklamatsioone. Ilmtingimata ei tähenda antud joonisel iga reklamatsioon operaatore viga või hooletust, kes seda alamkoostu kokku paneb.

Reklamatsioonide analüüsimiseks tuli kirjeldused välja võtta manuaalselt vastavalt igale toote seerianumbrile SAP süsteemist ning seejärel jagada kategooriatesse, kuna polnud ühtset läbivat kirjeldust samade probleemidega reklamatsioonidel. Leidus lisaks ka selliseid reklamatsioone, mille kohta puudus informatsioon ning need läksid kategooriasse, mitte tuvastatavad probleemid. Reklamatsioonide kirjelduste Pareto graafik (vt Sele 2.4) koostati programmiga Minitab 17.



Sele 2.4 Vea kirjelduste Pareto graafik

Sele 2.4 peal on defineertiud 135 reklamatsiooni, millest võib järeldada, et 24 reklamatsiooni kohta leiduv informatsioon oli puudulik, et neid mõnda kategooriasse liigitada. Lisaks saab sele pealt välja lugeda, et mõned vead, mis põhjustavad ettevõttele kõige rohkem probleeme, ei ole osakoostu koostamisel tekkinud vead. „Raam vales suuruses“, „Puuduv vahepuks“, „Ribakaabli kinnitus katki“ on põhilised tarnija või lõpptoote koostaja vead. Sellest olenemata oleks saanud ära hoida paljud nimetatud vigadest ning reklamatsioonide protsessidele kuluva aja. Ei saa mööda vaadata ka sellest, et on ka piisavalt operaatori vigasid „valed tooted tarnitud“ tähendab, et toode pakiti valesse transpordi kasti või siis kleebiti vale seerianumber peale, „Kaart puudu“ tähendab, et töötaja jättis mõne trükkplaadi tootele kinnitamata ja see nimekiri läheb vastavalt graafikule edasi.

Selleks, et süveneda terviklikku protsessi ning mis juhtub tootega pärast tehasesst lahkumist, tuli üles kaardistada terve toote teekond, kuni Soomeni välja, kus sisestatakse antud alamkoost terviklikku tootesse. Selleks tuli käia ABB Soome tehases ning välja uurida toote teekond. Soomes selgitasid tootmisprotsesse ning praaktodete töötlemisprotsesse antud moodulite liini tootmisjuht, tooteinsener ning töödejuhataja. Selgeks sai tõsiasi, et kõik defektsed tooted pole pärit Eesti tehasesst ning saadetakse ka tagasi tooteid, mis on purunenud

või kahjustada saanud transpordi käigus. Esines ka juhtumeid, kus alamkoost sai vigastada lõplikusse tootesse paigaldamise käigus ning toode saadeti tagasi Eesti tehasesse ikkagi reklamatsiooni all. Seega saadeti reklamatsiooni nimel tagasi ka alamkoostused, mis tulnuks märkida, kui - „Parandust vajavad tooted“.

Pärast tervikliku protsessi üleskaardistamist sai välja arvutada ligikaudse maksumuse ühe reklamatsiooni kohta. Selleks tuli arvestada järgmisi asjaolusid:

- Vea avastamine lõpliku toote funktsionaalsus-testis
- Reklamatsiooni käsitlemine
- Laboris alamkoostu analüüsimine (vajadusel)
- Tooteinseneri aeg
- Ostuosakonna aeg (teavitamine tootjale)
- Transport
- Parandamisele kuluv aeg

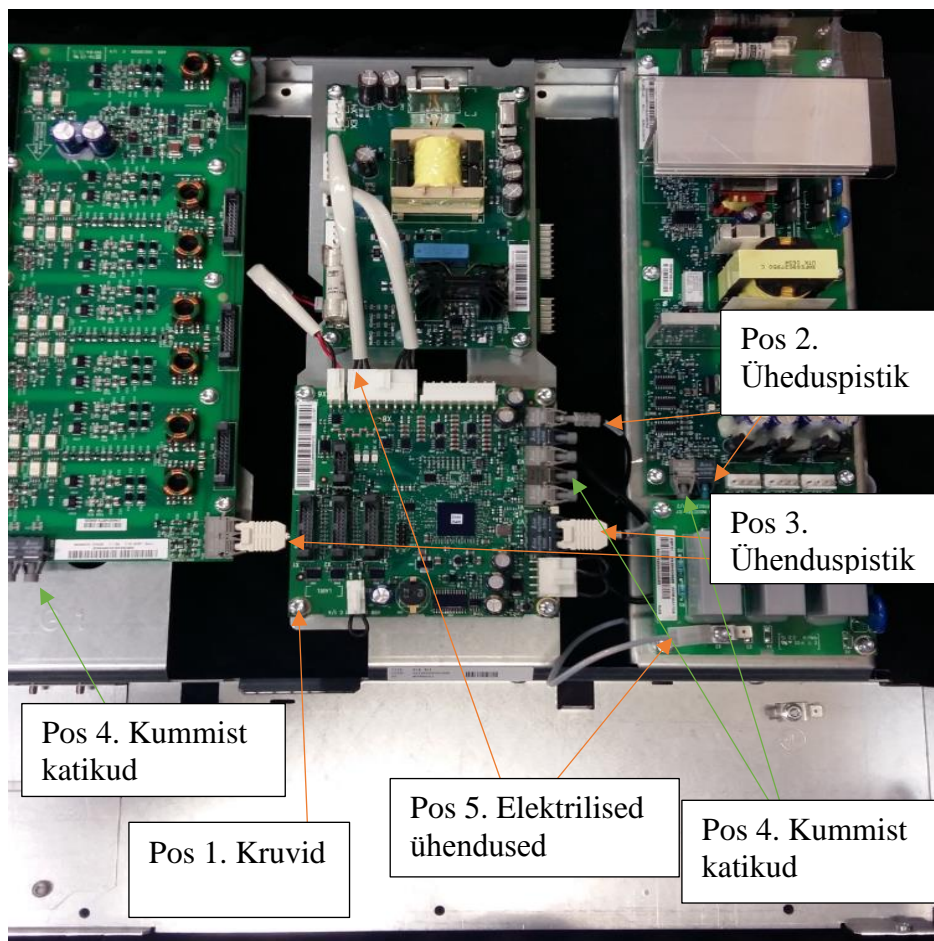
Arvestades kõiki neid kulusid on maksimaalne kulu ühe reklamatsiooni kohta 430 € ning standardse lihtsama juhtumi hinnaks ligikaudu 100 €. Arvestades kõikidele reklamatsioonidele hinnaks minimaalselt 100 €, siis kokku teeb see kuludeks ligikaudu 16 000 € alates 01.03.2015 kuni 31.12.2016.



Sele 2.5. Sektordiagramm välditavate ja mitte välditavate reklamatsioonide kohta

Lahenduseks valiti masinnägemine, kuna reklamatsioonide kategoriseerimise ning analüüsimise tulemusena jõuti tulemuseni, et 73,6 % antud reklamatsioonidest, mis teeb 117 reklamatsiooni 159-st, oleks olnud välditavad optilise kvaliteedi kontrolliga. (vt Sele 2.5) Optiliselt kontrollides, saame tuvastada toote peal kõik vajalikud komponendid ning nende olemasolu. Saame tuvastada, et kõik juhtmed oleksid ühendatud õigesti kohtadesse, kõik kruvid oleksid olemas ning toode oleks koostatud õigesti. Lisaks pole masinnägemise süsteeme ettevõtte konkreetses tehases kvaliteedi kontrolliks veel rakendatud, seega on see mõistlik ja hea koht, kus seda katsetada ning uue, innovaatilise lahendusega algust teha.

Järgnevalt on välja toodud seade 2.6 ja 2.7 peal kõigi nelja toote kontroll spetsifikatsioon, millel on kirjeldatud, milliseid kriitilisi kohtasid on vaja kontrollida alamkoostudel. Spetsifikatsioonide pealt on näha, et enamus kontrollid on komponendi olemasolu kontrollid, mis on võrdlemisi lihtsalt teostatavad. Esineb ka distantide mõõtmist, triipkoodi lugemist või kujundi sobitamist, mille jaoks läheb vaja keskmisest natukene võimsamat ning targemat kaamerat.





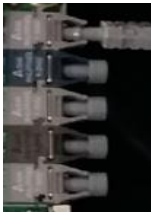
Pos 1. Kõik kruvid tootel (Ülesanne: olemas või mitte)



Pos 2. Optiliste kaablite ühenduspistikud ühendatud (Ülesanne: olemas või mitte)



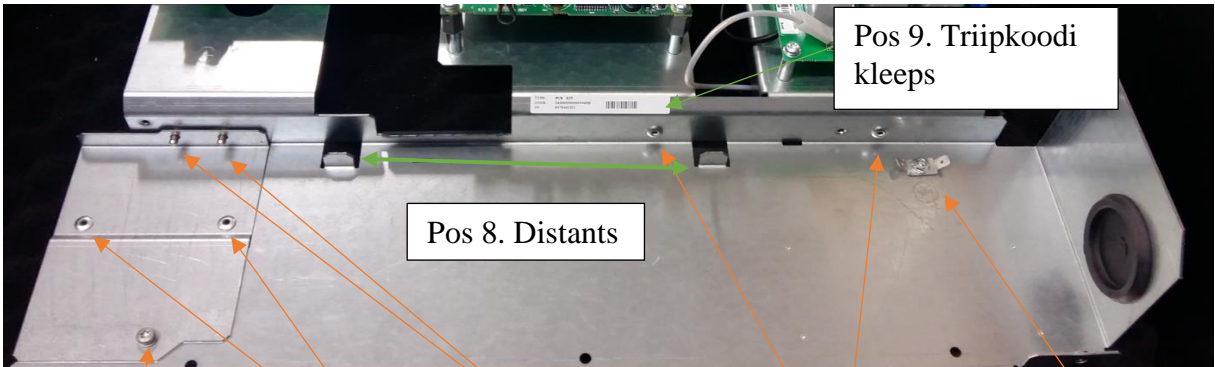
Pos 3. Optiliste kaablite ühenduspistikud ühendatud (Ülesanne: olemas või mitte)



Pos 4. Kummist katikud (Ülesanne: olemas või mitte)



Pos 5. Elektrilised ühendused (Ülesanne: olemas või mitte)



Pos 1. Kruvid

Pos 6. Needid

Pos 6. Needid

Pos 6. Needid

Pos 7. Liblikklemm

Pos 9. Triipkoodi kleeps

Pos 8. Distsants



Pos 6. Needid (Ülesanne: olemas või mitte)



Pos 7. Liblikklemm (Ülesanne: olemas või mitte)



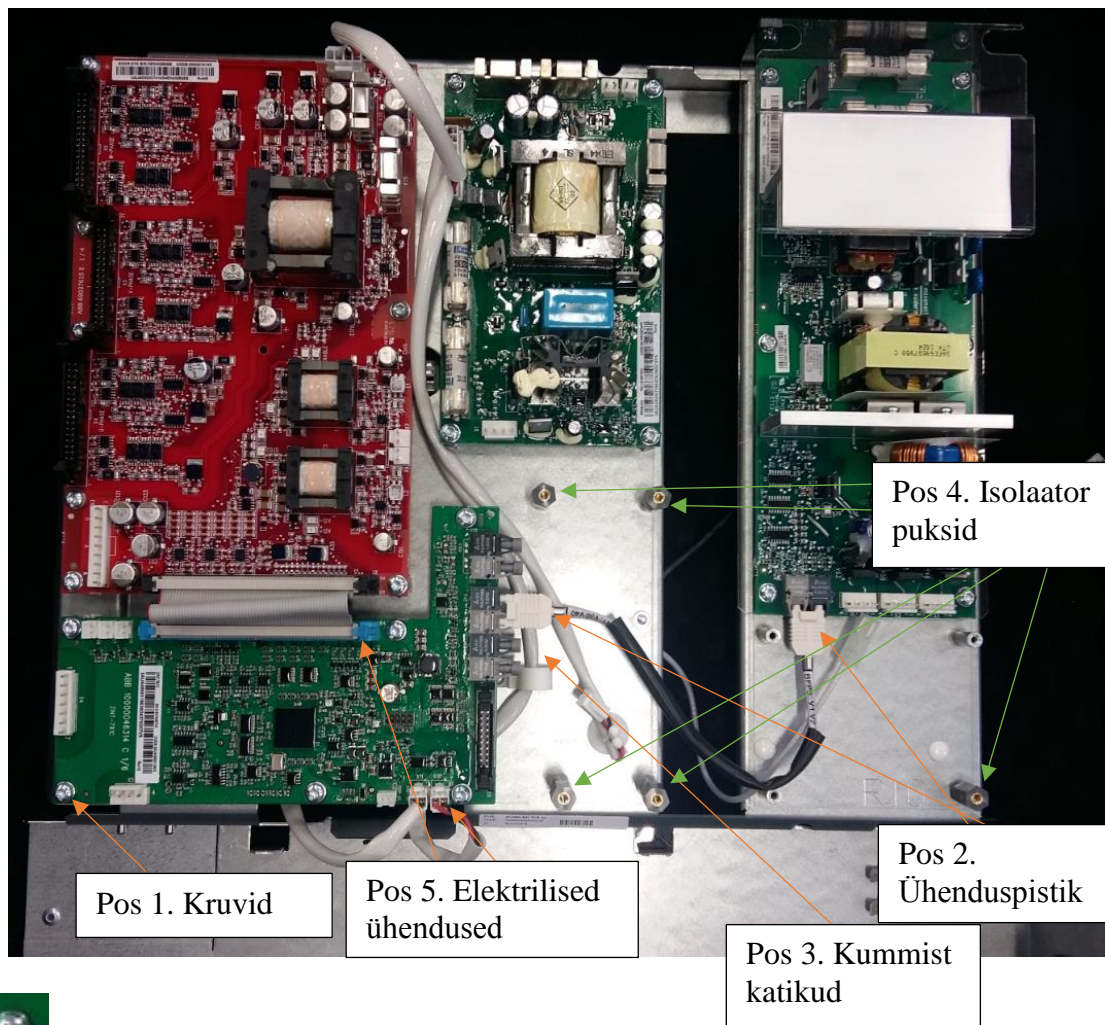
Pos 8. Kahe sisemise serva vaheline distants

(Ülesanne: distants 160 mm)



Pos 9. Triipkoodi kleeps (Ülesanne: olemas või mitte)

Sele 2.6. Alamkoostu ACS850-04 G1/G2 Optilise süsteemi spetsifikatsioon



Pos 1. Kõik kruvid tootel (Ülesanne: olemas või mitte)



Pos 2. Optiliste kaablite ühenduspistikud ühendatud (Ülesanne: olemas või mitte)



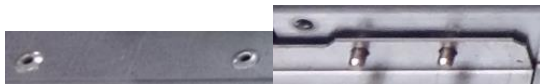
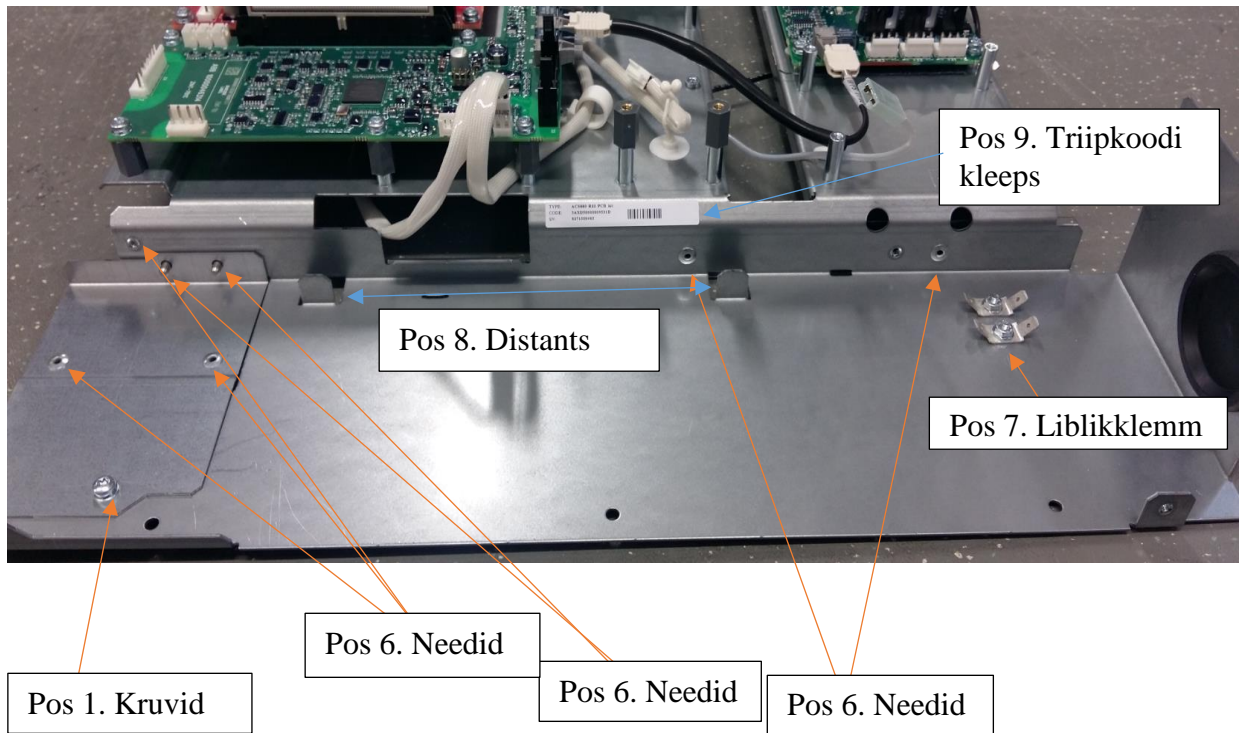
Pos 3. Kummist katikud (Ülesanne: olemas või mitte)



Pos 4. Isolaator puksid (Ülesanne: olemas või mitte)



Pos 5. Elektrilised ühendused (Ülesanne: olemas või mitte)



Pos 6. Needid (Ülesanne: olemas või mitte)



Pos 7. Liblikklemmid (Ülesanne: olemas või mitte)



Pos 8. Kahe sisemise serva vaheline distants

(Ülesanne: distants 160 mm)



Pos 9. Triipkoodi kleps (Ülesanne: olemas või mitte)

Sele 2.7. Alamkoostu ACS880-04 R10/R11 Optilise süsteemi spetsifikatsioon

3. TOOTE OPTILISE KVALITEEDI KONTROLLI UURING

3.1 Optiline kvaliteedi kontroll ja tulemused

Praktiliste katsetuste alustamiseks on vaja teada mõningaid põhilisi teoreetilisi lähtekohti ning andmeid kaamera kohta. Esmalt on vaja teada minimaalset resolutsiooni – selleks, et seda leida, on vaja teada, kui suurt ala jälgima hakatakse ning mis on kõige väiksem jälgitav detail sellel objektil. Jälgitavate alamkoostude mõõtmed on järgmised:

- ACS880-04 R10 - 480.8 mm × 489.5 mm × 97.3 mm
- ACS880-04 R11 - 510.8 mm × 489.5 mm × 99.1 mm
- ACS850-04 G1 - 479.8 mm × 489.5 mm × 95.3 mm
- ACS850-04 G2 - 509.8 mm × 489.5 mm × 95.3 mm

Kuna antud alamkoostude vahelised varieeruvused mõõtmetes on niivõrd väikesed, siis on arvutustes mõistlik kasutada kõige suuremate mõõtmetega alamkoostu, mille järgi arvutused teostada. Lisaks liidame laius ja pikkus mõõtmetele otsa veel 30 mm, et saaksime piisava kindlusega õiged tulemused. Kõige suurema alamkoostu mõõtmed on:

- Laius – 511 mm + 30 mm = 541 mm
- Pikkus – 490 mm + 30 mm = 520 mm
- Kõrgus – 100 mm
- Väikseim detail – 3 mm

Sensori resolutsiooni arvutatakse vastavalt valemile (1.2) ning seda tehakse mõlema telje jaoks eraldi, ehk - pikkus ja laius arvutatakse eraldi.

$$\text{sensori resolutsioon} = \left(\frac{541}{3}\right) \times 2 \approx 361 \text{ pikslit}$$

$$\text{sensori resolutsioon} = \left(\frac{520}{3}\right) \times 2 \approx 347 \text{ pikslit}$$

See teeb minimaalseks vajaminevaks resolutsiooniks 361 × 347 pikslit . Praktilisteks katsetusteks andis kaamerad ning kaamera kinnitustarvikuid ettevõtte Festo Oy Ab Eesti Filiaal.

Käesoleva töö uuringu teostamiseks oli Festol pakkuda kolm prototüüp kaamerat:

1. SBSC-U-AF-R2B – must-valge universaalkaamera
2. SBSI-Q-R3B-F12-W – must-valge kaamera

3. SBSI-Q-R3B-F6-NR - infrapunakaamera

Tooted ja andmelehed on leitavad Festo tootekataloogist. Nimetatud kaamerate hulgast sobivad meie toote jaoks kõik kaamerad, kuna resolutsioon on kõigil kaameratel suurem, kui leitud minimaalne väärtus. Kuna kaamerate valik on fikseeritud, siis tuleb edasisteks arvutusteks kasutada neid andmeid, et saada vajalik informatsioon prototüüp-rakise kohta [11][12][16][17].

Tabel 3.1 Katsetel kasutatavate kaamerate andmed

	SBSC-U-AF-R2B	SBSI-Q-R3B-F12-W	SBSI-Q-R3B-F6-NR
Resolutsioon	1280 × 1024 pikslit	736 × 480 pikslit	736 × 480 pikslit
Fookuskaugus	25 mm (reguleeritav, sõltuvalt optikast)	12 mm	6 mm

Kaamerate valik on piiratud ning on teada kõikide kaamerate resolutsioonid, siis saame vastavalt teisendades valemit (1.2) leida iga kaamera väikseima detaili kohta pikslite arvu.

$$\text{pikslid väikseima detaili kohta} = \frac{\text{sensori resolutsioon} \times \text{väikseim detail}}{\text{nägemisala}}$$

Tabel 3.2 Pikslid väikseima detaili kohta

Kaamera tüüp	Laius	Pikkus
SBSC-U-AF-R2B	≈ 7,1	≈ 5,9
SBSI-Q-R3B-F12-W	≈ 4,1	≈ 2,8
SBSI-Q-R3B-F6-NR	≈ 4,1	≈ 2,8

Tabeli 3.2 järgi on võimalik teostada vajaminevaid kontrole kõikide antud kaameratega, kuna kõikidel kaameratel on vähemalt üle kahe piksli väikseima detaili kohta. Vastavalt kaamera resolutsioonile on näha ka, millisel kaameral on kõige täpsem ning detailsem pilt arvestades, kui mitu pikslit on eraldatud kõige väiksema detaili kohta.

Selleks, et Festo laboris teostada praktilisi katsetusi, oli vaja teada, kui kõrgel peaks asetsema iga kaamera objektist, et saaks joonestada prototüüp-rakist ning selle ka realselt valmis teha. Esmalt oli vaja selleks kaamera sensori füüsilist suurust. Selle välja arvutamiseks oli vaja teada sensori piksli suurust, milleks 736 mm x 480 mm resolutsiooniga kaamerate puhul on 6,0 μm x 6,0 μm. Ning 1280 mm x 1024 mm puhul on see 5,5 μm x 5,5 μm. Kõik Festo

kaamerad kasutavad CMOS sensoreid [19]. Teades neid suuruseid, saame leida sensori suurused vastavalt valemile:

$$\text{piksli suurus} \times \text{resolutsioon} = \text{sensori suurus}$$

Tabel 3.3 Sensori suurused

Kaamera tüüp	Piksli suurus	Resolutsioon	Sensori suurus
SBSC-U-AF-R2B	5,5 μm \times 5,5 μm	1280 \times 1024 pikslit	7 mm \times 5,6 mm
SBSI-Q-R3B-F12-W	6,0 μm \times 6,0 μm	736 \times 480 pikslit	4,4 mm \times 2,9 mm
SBSI-Q-R3B-F6-NR	6,0 μm \times 6,0 μm	736 \times 480 pikslit	4,4 mm \times 2,9 mm

Teades kõiki väärtuseid tabelites 3.1 ja 3.3, saame välja arvutada igale kaamerale piisava töökauguse. Kaamera töökaugus on leitav valemi järgi (1.3), kui seda teisendada vastavalt:

$$\text{töökaugus} = \frac{\text{fookuskaugus} \times \text{nägemisala}}{\text{sensori suurus}}$$

Tabel 3.4 Kaamerate töökaugused

Kaamera tüüp	Fookuskaugus	Nägemisala	Sensorisuurus	Töökaugus
SBSC-U-AF-R2B	25 mm	541 mm \times 520 mm	7 mm \times 5,6 mm	1932 mm
SBSI-Q-R3B-F12-W	12 mm	541 mm \times 520 mm	4,4 mm \times 2,9 mm	1475 mm
SBSI-Q-R3B-F6-NR	6 mm	541 mm \times 520 mm	4,4 mm \times 2,9 mm	738 mm

Tabeli 3.4 kuvatavate töökauguste varieeruvus on äärmiselt suur. Vastavalt fookuskaugustele on ka töökaugused sama palju suuremad. Kuna prototüüp-rakis peaks imiteerima reaalselt teostatavat testrit, siis kaamera kamber ei saa olla kindlasti peaaegu kaks meetrit kõrge või isegi peaaegu poolteist meetrit kõrge. Seda sellepärast, et tuleb arvestada ka operaatorite tööga. Alamkoost tuleb testrisse tõsta ning see tähendab, et kaamera kambri alla tuleb veel vähemalt 800-1000 mm kõrge abilaud. Sellisel juhul läheks raamistik liiga kõrgeks ning tuleks teha väga massiivne ning robustne tester, mis tuleks kinnitada ohutuse mõttes põranda külge.

Teades kõiki asjaolusid valitakse prototüüp rakise kõrguseks 745 mm. Joonis koostati 3D-projekteerimisprogrammis SolidWorks 2016. (vt Sele 3.1) Rakist projekteerides tuli arvestada laiuuse ning pikkuse suurusega, sest need tuli teha suuremad, kui oli võetud nägemisala. Rakise pikkuseks sai 600 mm ning laiuuseks 650 mm. Need suurused sai võetud nii palju suuremad sellepärast, et oleks mugavam ning lihtsam panna alamkoostu rakisesse. Rakise keskmised profiilid, kuhu peale kinnitatakse lisavalgustid ning kaamerad, tehti 0,5 mm lühemad, kui äärmised profiilid. Seda tehti sellepärast, et oleks lihtsam muuta kõrguseid, kui raamistik on juba koos. Liiga täpse mõõdu korral oleks neid kõrguseid keeruline muuta. Prototüüp-rakise profiili mõõtmeteks võeti 30 x 30 mm alumiiniumprofiil. Profiilide kinnitamiseks teineteise külge otsustati kasutada tavaliste nurkkinnituste asemel *Power-Lock* kinnitusi, mis on väiksemad, kui klassikalised nurkkinnitused. Eelise andsid need kinnitused ajutiste seinade loomisel pimikule. Selleks otsustati kasutada pappi ning tumedat kleplinti, kuna katva ala suurused pole veel teada, sest valgustuse ning kaamera asukohad pole konkreetselt määratud. Korraliku pimiku loomiseks kasutatakse *DILITE* materjali, mis koosneb kahelt poolt alumiinium lehtedest ning nende vahel on komposiitmaterjal. Kaamera ning lisavalgustite kinnituste kinnitamiseks võeti kasutusele T-mutter. Kõik profiilidega seonduvad komponendid olid leitavad Minitec'i tootekataloogist ning *DILITE* materjal Kohlschein'i tootekataloogist [18][19][20][21].

Minitec profiilid telliti ettevõttest Tech Automation OÜ, kus lõigati profiilid õigesse mõõtu ning keermestati vajalikud osad, et saaks kinnitada *Power-Lock* kinnitusi. Prototüüp-rakise hinnaks kujunes umbes 230 €.



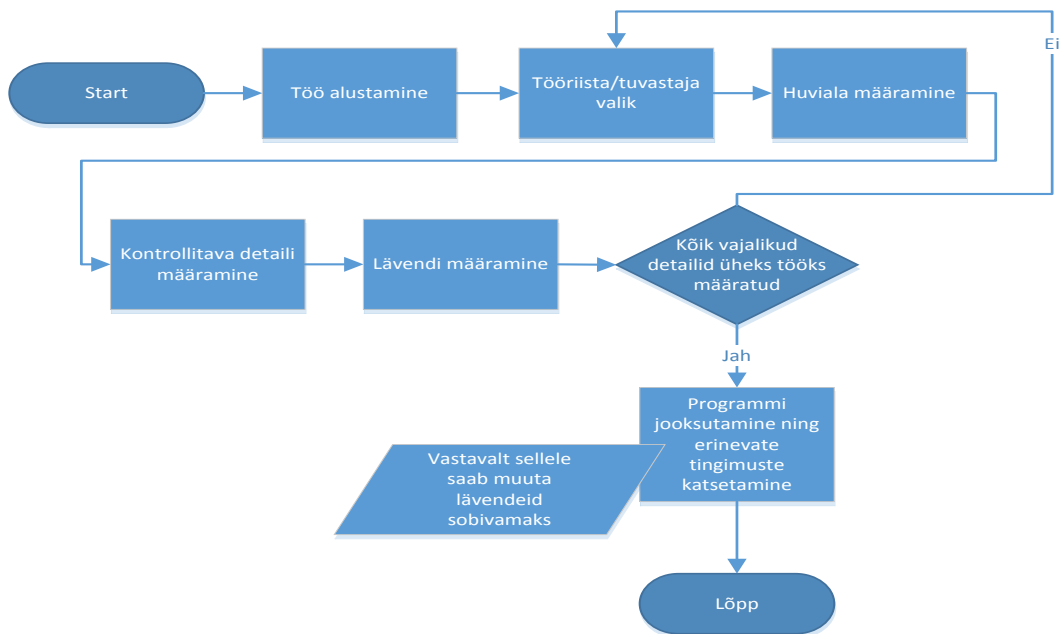
Sele 3.1 Prototüüp-rakis praktilisteks katsetusteks

Katsetuste tegemiseks võeti kaasa kaks alamkoostu, kuna välimuselt on need alamkoostud praktiliselt ühesugused. Toodetega mindi Festo laborisse, mis asub Tammsaare tee 118 B, Mustamäel. Katsetused kestsid läbi kolme päeva (6-10. märts 2017) ning sellest ajast piisas, selgitamaks, kas selline lahendus sobiks antud probleemide tuvastamiseks või mitte.

Esimese päeva algus oli sissejuhatav, õpiti kaamerate elektrilisi ühendusi ning samuti suhtlust arvuti ja tarkvaraga SBS Vision Sensor. Kaamerate ühendus arvutiga käib läbi Etherneti. Katsetamise lihtsustamiseks ühendati kõik kaamerad WiFi ruuterisse, kuna standartsetel arvutitel on reeglina üks võrgukaart ning see tähendab ka ühte ühendust kaameraga, kuid kuna kasutada oli kolm kaamerat, siis mõistlikuks lahenduseks olukorrale oli teostada ühendus üle juhtmevaba võrgu. Saades soovitud kaamerad ühendatud, oli võimalik alustada reaalsete katsetega.

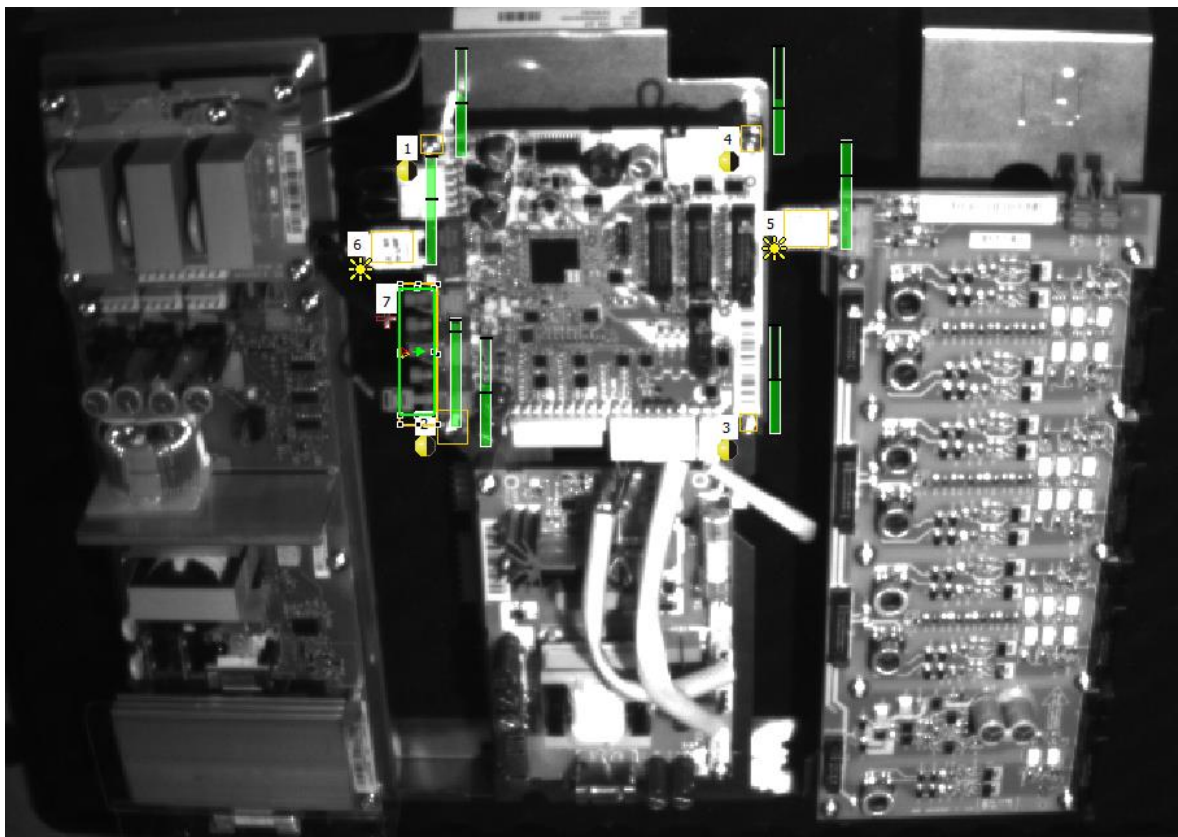
Kaamerate kinnitamiseks rakise külge on Festo kaameratel spetsiaalsed kinnitused pöördpeadega. Pöördpead on kasulikud selleks, et saaks sättida kaameraid igasse võimalikku asendisse. Kõikide kaamerate fookusesse seadmine käib manuaalselt. Selleks on igal kaameral tagaküljel kruvi, mida tuleb vastavalt keerata, et jõuda sobiva pildi kvaliteedini.

Põhiline algoritm, millele tuli SBS Vision Sensor tarkvaras toetuda oli järgmine:



Sele 3.2 Skeem juhtprogrammi loomiseks

Katsetusi alustati infrapunakaameraga (SBSI-Q-R3B-F6-NR), mille juures oli kasutada ka üks kohtvalgusti (SBAL-C6-A-NR) ning lisaks ka kaamera enda lisavalgus. Esimeseks katsumuseks sai kaamerale sobiva nurga leidmine, kuna teoreetilise töökauguse leidmisel ei arvestatud profiilide laiustega, mis oleks tulnud juurde lisada ning lisaks ka pöördpea kinnituse laiusega. Tingituna sellest tuli kaamera paigutada tootega võrdlemisi suure nurga alla. Paigutades kaamera nurga alla suurendas see perspektiivi ning moonutuse vigasid. (vt Sele 3.3)



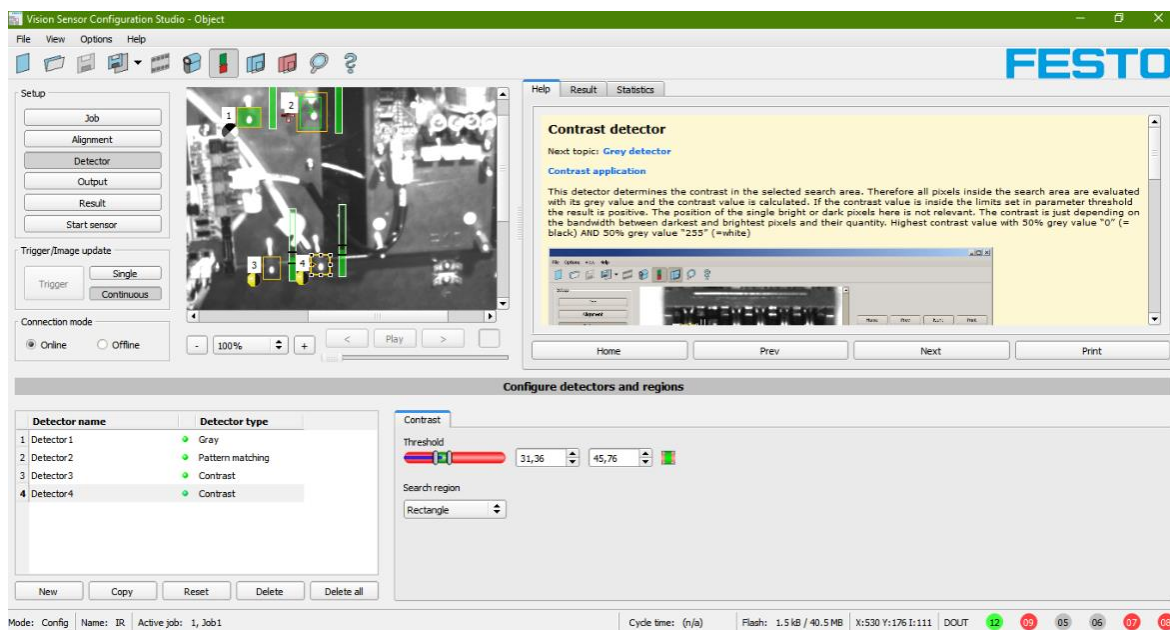
Sele 3.3 Infrapunakaamera ekraanitõmmis

Sele 3.3 peal on ka näha, et stseeni valgustus on väga ebaühtlane. Antud stseeni peal on kasutatud lisa-kohtvalgustit, kui ka kaamera enda mõningaid lisavalgusteid. Sellegipoolest on peaaegu pool tootest kehva valgustatuse tasemega, millel ei saa teostada pildi töötlust. Kohtvalgustiga töötamise teeb keeruliseks see, et valgusti õige koha peale sättimine võtab kaua aega, kuna pilti tuleb jälgida ainult arvuti ekraanilt, sest silmale nähtavaid valgusvihke ei teki. Kerge on saavutada küllastumust ehk mõne ala ülevalgustatust ning vastupidi. Infrapunakaamera enda lisavalgusteid saab kasutada ainult osadena, sest kui kõik korraga

tööle lülitada, jätavad valgustid saadavale pildile heledad ümarad äärised. Infrapunakaameral on võimekus teostada järgmiseid operatsioone:

- Kujundi või mustri leidmine, vastavalt hallskaalale
- Kontuur – objekti tuvastamine kujundi servade/ kontuuride järgi
- Kontrast – võrdleb kõige eredamat ja tumedamat pikslit huvialas
- Heledus – mõõdab hallskaalal pikslite heledust
- Hall – mõõdab hallskaalal pikslite halle väärtuseid

Sellest loetelust oli sobilik kasutada kujundi või mustri leidmist, kontrasti ning heledust. Kontuuri kasutamine ei oleks olnud otstarbekas, kuna piisavat valgustatust ei saavutatud. Kontrasti tööriista kasutamiseks tuleb määrata huviala, kus sees toimub võrdlus. Võrreldakse kõige tumedamat ning kõige heledamat pikslit. Sele 3.3 peal on teostatud kontroll kõigile trükkplaadi kruvidele, optilistele ühendustele ning kummi-katikutele. Selles stseenis on kõik määratud tööriistade lävendid rohelised, see tähendab, et on piisavalt head tingimused nagu algselt määratud ning lävendeid ei ole vaja langetada ega muuta. Antud hetkel saadakse töö tagasisideks, et toode on korrektne. Juhul, kui tuleks muuta lävendi vahemikku, siis seda on võimalik teha programmi siseselt muutes *Threshold* vahemikku sobivaks. (vt Sele 3.4)

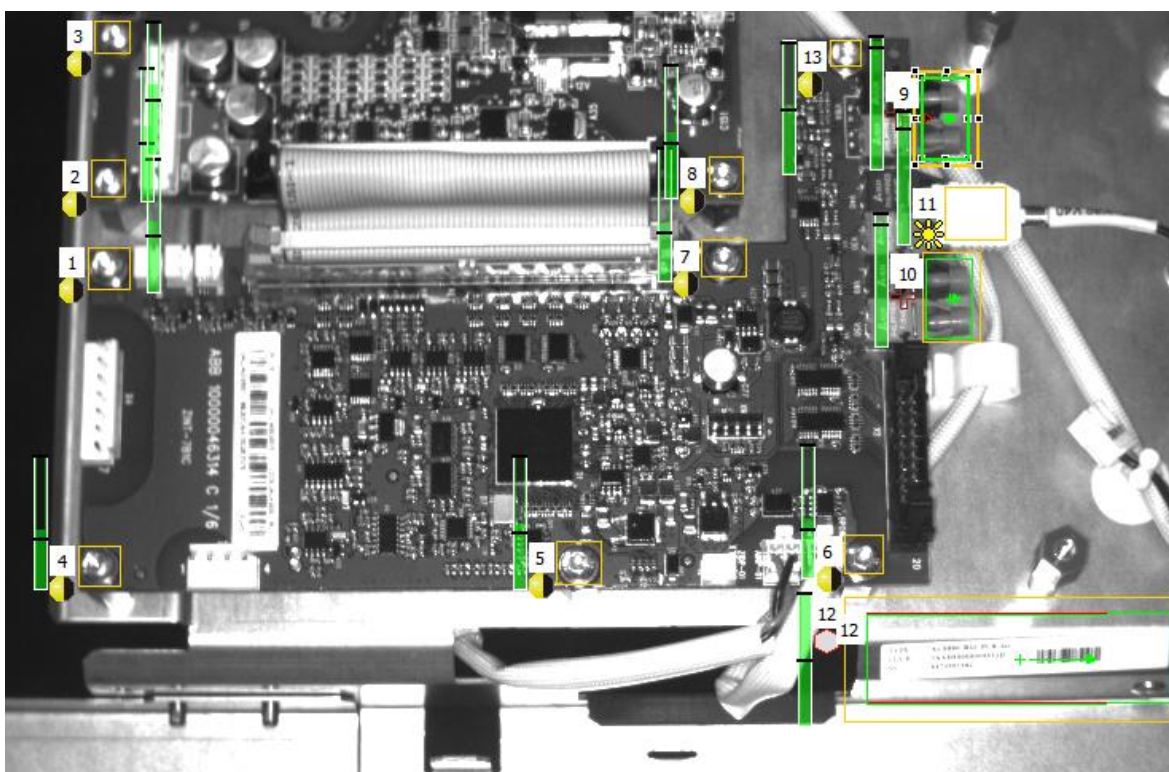


Sele 3.4. Ekraanitõmmis SBS Vision Sensor tarkvarst

Infrapunakaamera oli suuteline teostama kõik vajalikud kontrollid kahele trükkplaadile. See tähendab, et umbes poolele tootest. Kaamera nurgast tulenevalt on peidetud ka mõned detailid objektil, mida on vajalik kontrollida. Isegi kui kaamera paigaldati piisavalt kõrgele

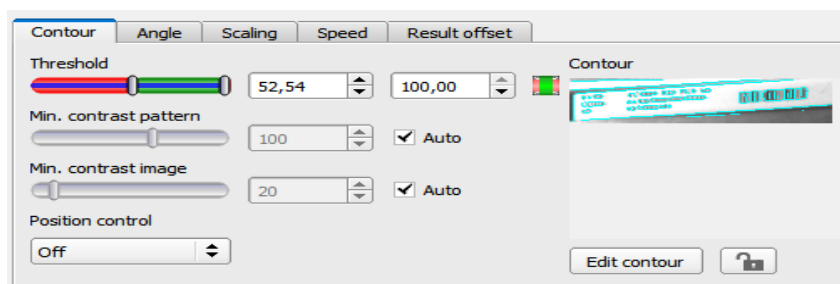
tootest ning otse toote kohale, ei paistnud kõik vajalikud detailid korraga kaamerasse. Kõrgemad detailid katsid väiksemad ära.

Teiseks kasutatavaks kaameraks praktilise osa juures oli valge valguse kaamera (SBSI-Q-R3B-F12-W), mille fookuskaugus oli infrapunakaamera omast kaks korda suurem. Seda oli näha ka pildi pealt, mida kuvas tarkvaras kaamera. Kaamera jälgitav ala oli suurusjärgus kaks korda väiksem infrapunakaamera omast. Samuti läks ka pildi detailsus paremaks, mis tähendab, et väiksema ala peale mahutatakse rohkem pikseleid. Kasutada oli ka ringvalgusti(SBAL-C6-R-W-D) koos hajutusplaadiga. Lisavalgusena kasutatavat ringvalgustit ei saanud kinnitada ümber läätse, kuna puudus vajaminev kinnitus. Kaameral endal on ka lisavalgustus samamoodi nagu infrapunakaameral. Huvitav on kaamera juures see, et infrapuna lisavalgustus selle kaamera tööd ei häirinud [17].



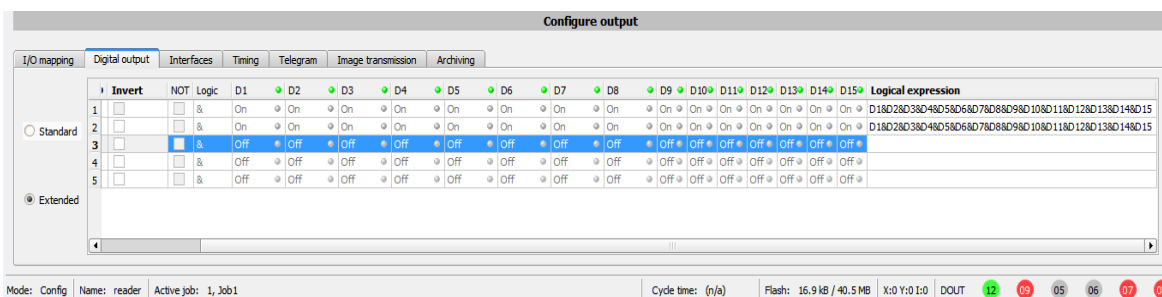
Sele 3.5 Valge valguse kaamera ekraanitõmmis

Kaamera suudab teostada samu operatsioone, mida infrapunakaameragi.(vt Sele 3.5) Sellel korral katsetati lisaks kontuuride tuvastamist (vt Sele 3.6), kuna saavutatud valgustatus oli märkimisväärselt parem. Lisaks oli valgustuse paika sättimine tunduvalt lihtsam ja kiirem võrreldes infrapunakaameraga.



Sele 3.6. Kontuuri seadistamine

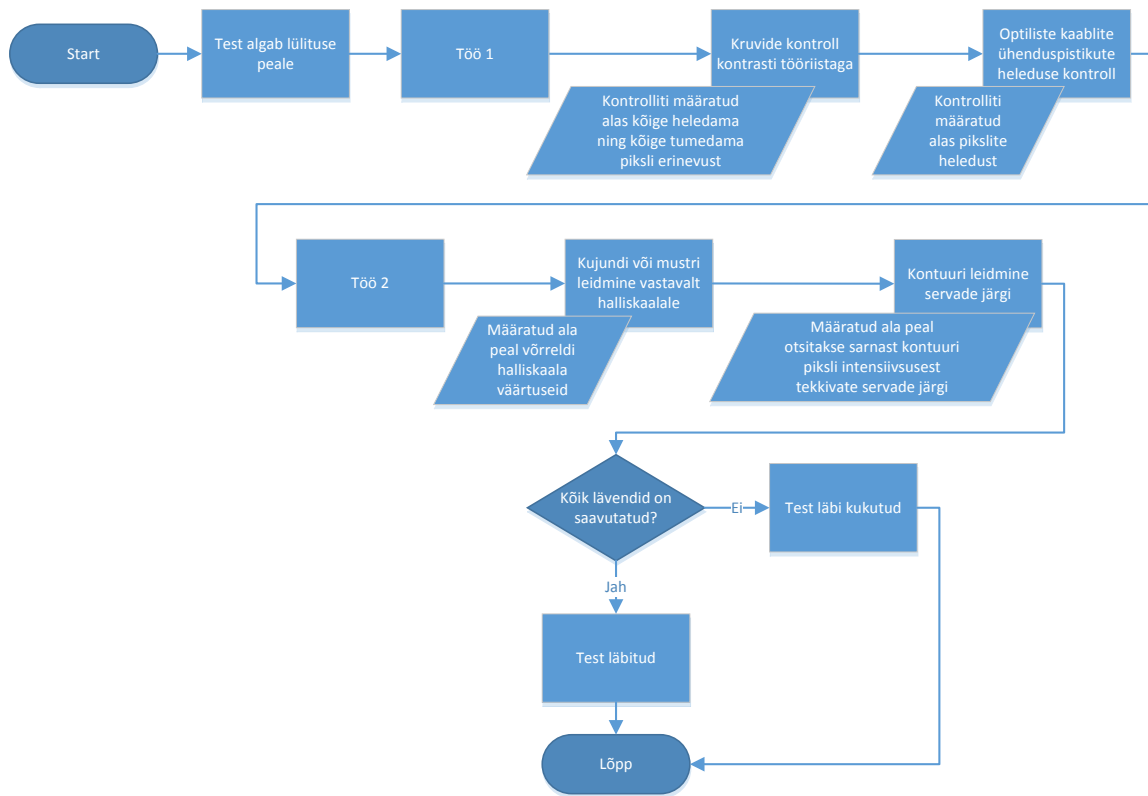
Sele 3.6 pealt on näha, et kontuuride seadistamine käib küll huviala siseselt automaatselt, kuid veel täpsemaks ja paremaks tulemuseks on võimalik seda redigeerida. See tähendab, et on võimalik väga täpselt ära määrata, milliseid kontuure on vaja kontrollida ja milliseid mitte.



Sele 3.7. Loogika väljundid

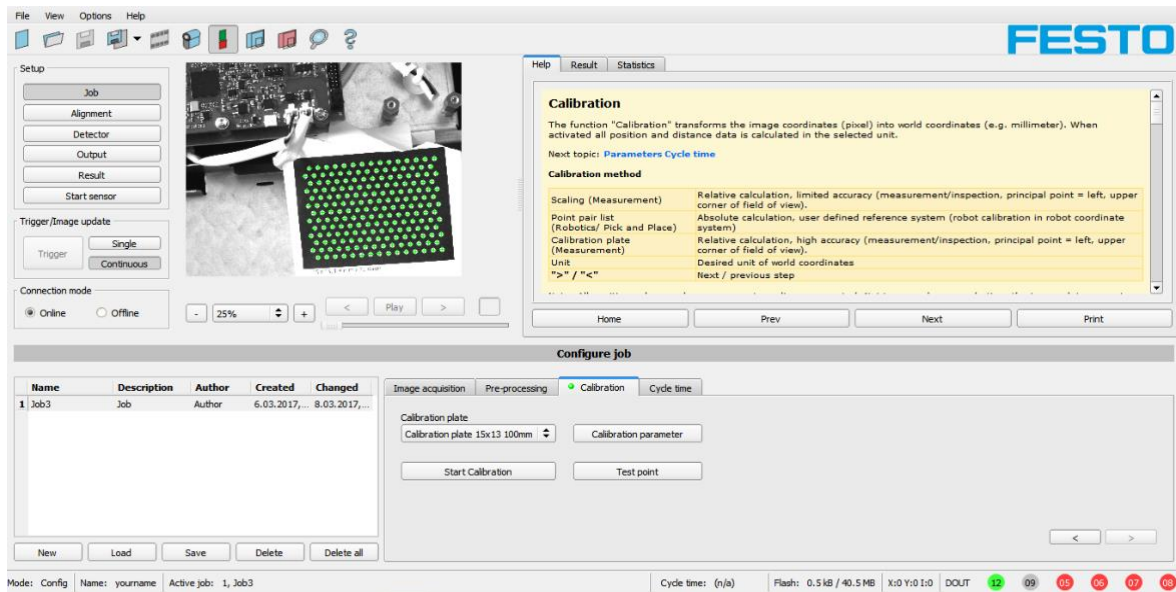
Sele 3.7 pealt on näha, et programmi siseselt on võimalik kontrollida töös kasutatavaid tööriistu. See tähendab, et on võimalik, sisse või välja lülitada vajalikku tööriistu mingil hetkel. Näiteks, kui muutub mõni komponent tootel, kuid ei jõuta programmi piisavalt kiiresti ümber teha, siis on võimalik see tööriist ajutiselt välja lülitada ilma juhtprogrammi puudutamata. Valge valgusega töötav kaamera suudab teostada kõiki vajalikke kontrole, kuid nägemisala antud töökaugusel ei ole piisav. Lisaks on antud süsteem palju tundlikum välisele valgusele.

Infrapunakaamera ning valgevalguse kaamera valmis programmi algoritm oli ühesugune, kuna mõlemad kaamerad olid samade võimekustega. (vt Sele 3.8) Programm koosnes kahest tööst, kus ühe peal teostati kontroll kruvidele ning optiliste kaablite ühenduspistikutele ning teises tööd kujundi või mustri leidmine kummi katikutele ning kontuuri leidmine seerianumbri klepsule.



Sele 3.8 Infrapunakaamera ja valge valguse kaamera programmi algoritm

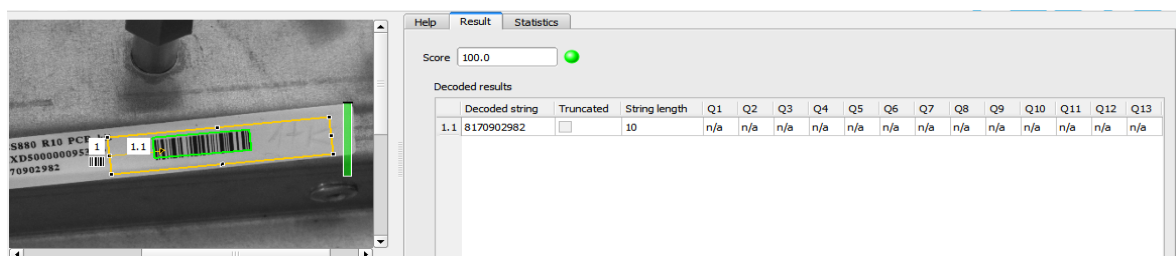
Viimane katsetel osalenud kaamera oli universaalkaamera (SBSC-U-AF-R2B), mis oli antud kolmest kaamerast kõige võimekam ja targem. Universaalkaameral puudus kaamera lisavalgustus ning kasutada oli ainult ringvalgusti (SBAL-C6-R-W-D). Lisaks käib universaalkaamera kokku lisaoptikaga, mille saab sättida pildi fookust ning suurendust või vähendust. Enne töö alustamist tuleb universaalkaamera kõigepealt ära kalibreerida. (vt Sele 3.9) Kalibreerimiseks on vastav leht, kus mustal taustal asetsevad valged täpikesed. Vastavalt kõrgusele on ka kalibreerimislehtede suurused. Kalibreerimise alustamiseks tuli paber panna kaamera alla ning valida kalibreerimise alamtöö, mis järel kaamera leidis vajalikud punktid, mida mõõta, et teostada kalibratsioon. Seda on vaja teostada, et saaks mõõta distantse ning et need tulemused oleksid võimalikult täpsed.



Sele 3.9. Universaalkamera kalibreerimine

Universaalkamera suudab kasutada märgatavalt rohkem tööriistu ja need on järgmised:

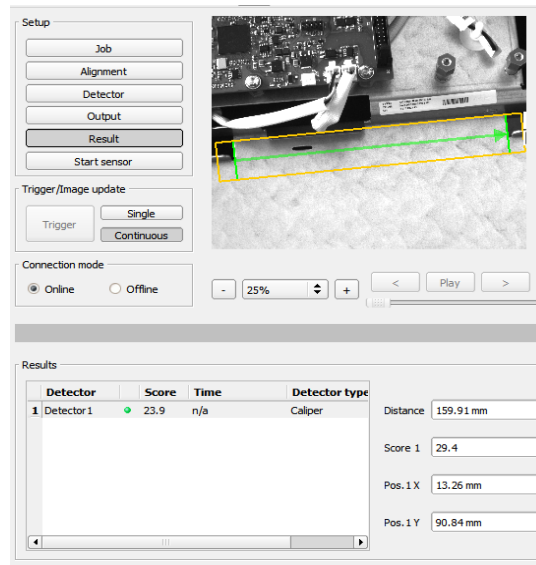
- Triipkoodi ja QR-koodi lugemine
- Tähtede tuvastamine – tuvastab pinnalt eristatavad tähed
- Kujundi või mustri leidmine, vastavalt hallskaalale
- Kontuur – objekti tuvastamine kujundi servade/ kontuuride järgi
- Kontrast – võrdleb kõige eredamat ja tumedamat pikslit huvialas
- Heledus – mõõdab hallskaalal pikslite heledust
- Hall – mõõdab hallskaalal pikslite halle väärtuseid
- Distantide mõõtmine – mõõdab kahe serva vahelist kaugust
- BLOB – tuvastab sarnase määratud hallskaalaga detailid objektil



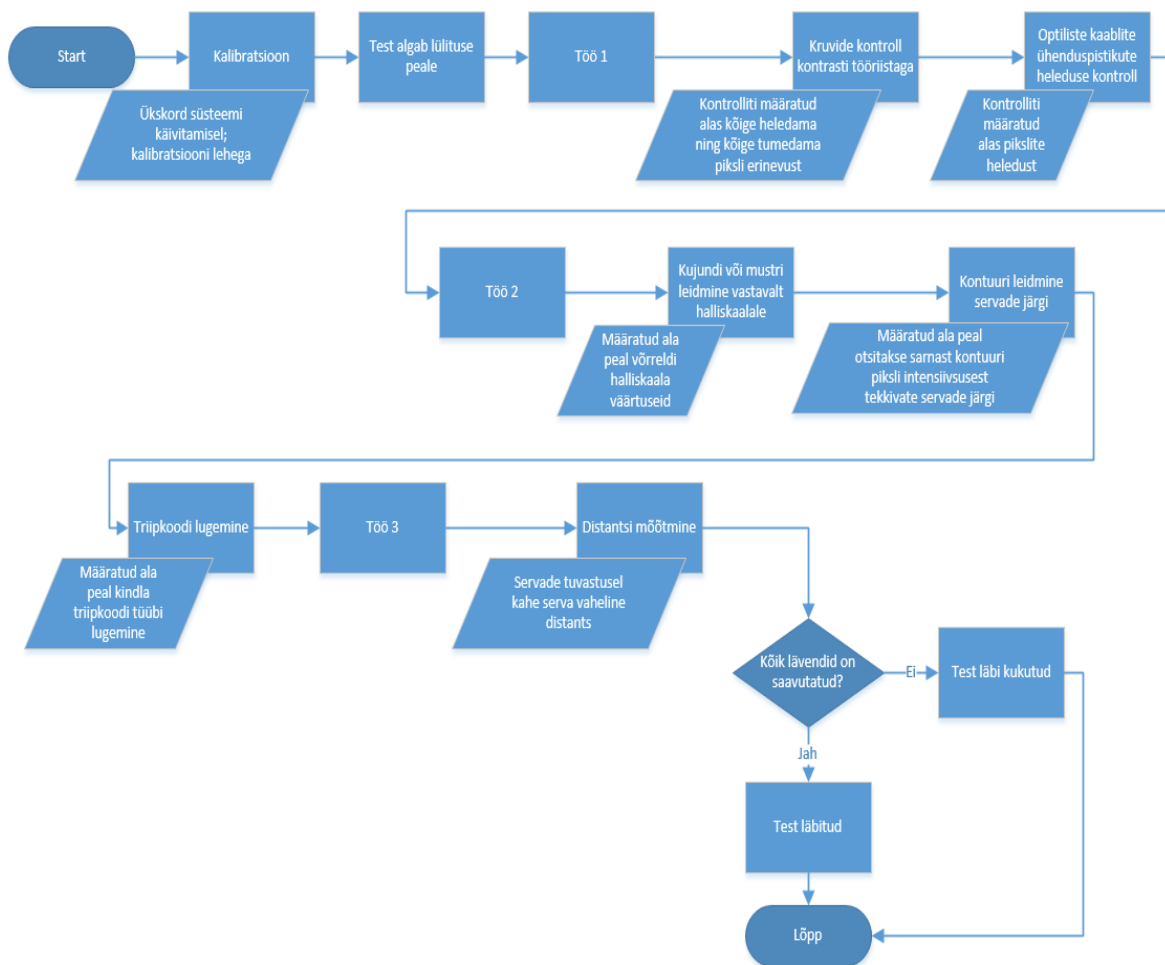
Sele 3.10 Triipkoodi lugemine

Universaalkamera üheks suureks eeliseks oli triipkoodi ja QR-koodi lugemine. (vt Sele 3.10) Kaamera suutis sellega hakkama saada üllatavalt suure töökaugusega pealt – 745 mm. Distantide mõõtmist teostas kaamera hästi. Kaamera mõõtis kahe serva vahelise distantisi ära piisavalt täpselt. See vahe oli ühtlasi ka kõige suurem reklamatsioonide põhjustaja.

Distantsiks mõõtis kaamera 159,91 mm ning tegelik suurus on 160 mm. See suurus mahub tolerantside sisse. (vt Sele 3.11)



Sele 3.11 Distantsi mõõtmine kahe serva vahel



Sele 3.12 Universaalkaamera programmi algoritim

Sele 3.12 peal on välja toodud universaalkaamera programmi algoritm, mis koosneb kalibreerimisest ning kolmest tööst. Kalibreerimist tuleb teostada ainult üks kord, iga kord, kui süsteem pärast täielikku sulgemist uuesti käivitatakse. Töö 1 sisaldab samasid operatsioone, mis sele 3.8. Teise töö juurde lisandus triipkoodi lugemine, selgitamaks seerianumbri klepsu olemasolu. Kolmas töö koosneb distantsi mõõtmisest kahe serva vahel.

Ainus asi millega universaalkaamera teistele alla jäi, oli nägemisala, kus kaamera kattis vaevalt pool ühest trükkplaadist, mis on jällegi arvestatav, kuna töökauguseks sellele kaamerale oli arvutuslikult peaaegu kaks meetrit. Selleks, et töökaugust vähendada on olemas kaamerale veel erinevaid läätseid näiteks fookuskaugusega 8 mm, mis oleks töökaugust vähendanud, kuid jällegi kaamera hinda tõstnud veelgi. Kõige suuremaks miinuseks selle kaamera juures võrreldes teistega ongi tema märgatavalt suurem hind – maksab see kaamera peaaegu kaks korda rohkem, kui teised kaks kaamerat kokku, kuid saab ka palju võimekama kaamera ning seeläbi ka töökindlama süsteemi.

Mõistmaks rakisele vajaminevaid täiendusi, näiteks kuidas võib rakist läbiv vibratsioon süsteemi mõjutada, teostati mõningad katsed. Pildistamise ajal, kus süsteem tegi iga sekundi tagant pildi, väristati rakist manuaalselt. Tulemuste kõikumised olid väga suured, kuna kui andme-töötlus käib piksli tasandil, siis millimeetrite või sentimeetrite võrra nihkumine mõjutab neid tulemusi meeletult. Lisaks, kuna polnud konkreetset fikseeringut tootele, siis oli väga raske ja aega nõudev panna toodet tagasi täpselt samasse asukohta, kus ta oli programmi seadistamisel.

3.2 Järeldused ja ettepanekud ettevõttele

Praktiliste katsetuste tulemusena võib öelda, et antud tooteid saab kindlasti kontrollida masinnägemise süsteemidega. Kaamerad suudavad tuvastada kõik mainitud probleeme, mis on välja toodud seled 2.4 ja 2.5 peal. Seda kontrolli ei ole kindlasti mõistlik teha ühe kaameraga, kuna kõiki spetsifikatsioonides näidatud detaile ei ole võimalik korraga näha, sest kõrgemad detailid varjavad madalamad ära ning samuti on see tingitud toote eripärast. Kasutama peab vähemalt kahte, kuid paremal juhul kolme kaamerat, et alamkoostu kõik detailid oleksid selgelt eristatavad ning süsteemis töökindlust oleks tagatud.

Kuna alamkoostul asetsevad trükkplaadid on kaetud laki kihiga, siis need pinnad peegeldavad palju ja samuti ka tsingitud lehtmetailist alusplaat. Tootele ei piisa kindlasti ühest kohtvalgustist ja kaamerate lisavalgusest. Kui kasutada kohtvalgusteid, siis neid peab olema mitmeid üle terve toote, et tagada võimalikult ühtlane valgustatus alamkoostule. Kuna otsime võimalikult ühtlast valgustatust ja toode on peegeldav, siis oleks mõistlik kasutada kuppelvalgustit. Kuppelvalgusti eemaldab tahtmatud peegeldumised ning ei tekita küllastumust ehk ülevalgustatust.

Rakist tuleb täiendada palju. Rakis peab kindlasti olema tehtud paksemast alumiiniumprofiilist ning jäigemate ühendustega, kuna *Power-Lock* kinnitused küll fikseerisid profiilid jäigalt ära, kuid paindusid äärmuslikel juhtudel ikkagi läbi. See tähendab, kui rakist füüsiliselt mõjutada. Alamkoost peab käima rakise sisse nii, et see ei tekitaks mingeid häiringuid süsteemis. See tähendab, et toode jõuaks alati ühte ja samasse positsiooni. Vastasel juhul seadistatud programm lihtsalt töötleb suvalisi alasid pildi peal. Või siis tuleb kasutada koordinaatsüsteemi määramiseks toote pealt mõnda detaili. Lisaks sellele peab olema toote liikumine piiratud, et ei saaks toodet liiga kiiresti või valet pidi süsteemi sisestada.

Pärast katsete tulemuste analüüsi ning järeldusi, tuli koostada esitlus, mis sisaldas kokkuvõtet tulemustest ning ettepanekuid edasiminekuks. ABB AS, Drives & Renewables tehase juhtkonnale koostatud esitluses rääkis töö autor antud uuenduslikust võimalikust lahendusest, kuidas kontrollida visuaalselt alamkoostu kvaliteeti ning kompleksust. Masinnägemist pole varem selles tehases kasutatud ning see oleks sobilik koht, kust sellega algust teha ning edasi minna keerulisemate toodete juurde. Töö eesmärgiks oli välja selgitada, kas on võimalik masinnägemise süsteemiga kontrollida kõiki nimetatud ülesandeid sele 2.4 ja 2.5 peal. Katsete käigust selgus, et on võimalik kontrollida kõiki väljatoodud detaile.

Ettevõtte ABB AS poolt anti töö autorile uuenduste läbi viimiseks 25 000 €. Tööd vajab kõvasti veel rakise projekteerimine. Lisaks tuleks valida natukene võimsamad kaamerad, mille resolutsioon oleks vähemalt sama hea, kui töös kasutatud universaalkaameral, kuid läätse fookuskaugus väiksem, et ei peaks olema nii suur töökaugus ning kasutada soovitatavalt kolme kaamerat ja kuppelvalgustit, et tagada süsteemi täielik töökindlus.

Majandusliku tasuvuse arvutamiseks toetuti eelnevalt välja toodud summadele. Arvestati, et ühe reklamatsiooni peale kulub peidetud kulusid minimaalselt 100 €. Vaadates sele 2.3 andmeid, kus on kirjas, et 117 reklamatsiooni oleksid olnud välditavad optilise kvaliteedi kontrolliga. See teeb summaks ligikaudu 12 000 €. See kulu tekkis ühe ja poole tootmisaasta jooksul. Sellest järeldades on teoreetiliselt süsteemi tasuvusaeg kolm aastat, 8000 € aastas.

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli välja selgitada optiliste süsteemide võimekus, et teostada optilist kvaliteedikontrolli ABB alamkoostule ning lähtuvalt katsete tulemustest teha autoripoolsed ettepanekud ettevõttele sarnase süsteemi rakendamiseks.

Töö vajalikkuse ning aktuaalsuse hindamiseks oli vaja tööle sisendit. Töö sisendiks sai toodete reklamatsioonide rohkus ettevõtte siseselt, mille näitajaks loodi IFR, mis siis näitab ettevõtte sisest reklamatsioonide protsenti tervest toodangust. Selle näitamiseks nii faktiliselt kui visuaalselt, tuli leida sobivad andmed ning neid vastavalt analüüsida ja töödelda. Andmed võeti ABB AS sisest infosüsteemist SAP ning töödeldi vastavalt tarkvaraga MS Excel ning Minitab 17. Andme töötluste tulemusena saadi, et 6921 toodetud alamkoostu kohta võeti vastu 159 reklamatsiooni, mis teeb IFR näitajaks 2,3%. Tervikliku toote reklamatsiooni käsitlemise protsessi kaardistamisest saadi teada, et minimaalselt läheb ettevõttele maksuma üks reklamatsioon 100 €, mis teeb kokku ligikaudu 16 000€ perioodil 01.03.2015 kuni 31.12.2016.

Kõige ratsionaalsema ja uuenduslikuma lahenduse leidmiseks, tuli analüüsida igat reklamatsiooni eraldi ning jagada need vastavalt kategooriatesse. Kuna välistatud on standardne funktsionaalsus-test, sest toode pole terviklik, siis tuli korraldada ajurünnak, et genereerida värskeid ning uudseid mõtteid. Pärast vastavaid analüüse ning ajurünnakuid tootmisliini juhtkonnaga jõuti lahendusele, et kasutada uuendusliku lahendust ABB konkreetses tehases - optilist kvaliteedi kontrolli.

Välja selgitamaks, kas antud alamkoostusid üldse on võimalik kontrollida masinnägemise süsteemiga, sai töö autor kasutada vajalikke kaameraid ettevõttelt Festo Oy Ab Eesti Filiaal. Kuna kaamerate valik oli piiratud ning nende andmed olid teada, siis tuli teoreetiliselt nende andmetega teha vajalikud arvutused, et teada saada, kui suur peaks olema prototüüp-rakis, millega teostada vajalikud katsed.

Pärast rakise projekteerimist ning valmis monteerimist, teostati praktilised katsetused ettevõtte Festo Oy Ab Eesti Filiaal laboris, kus katsed kestsid kolm päeva. Kolme päeva jooksul testiti kolme erinevat kaamerat. Katsete tulemusena saab järeldada, et antud alamkoostudele ei saa teostada optilist kvaliteedikontrolli kõigest ühe kaameraga, kuna

nägemisala on piisavalt suur ning toote eripärad ei soodusta seda. Selleks, et süsteem toimiks korrektselt, on vaja luua terviklik süsteem vähemalt kahest, kuid soovitatavalt kolmest kaamerast. Lisaks kasutada kohtvalgustite asemel kuppelvalgustit, et eemaldada tahtmatud peegeldumised ning jällegi tõsta süsteemi töökindlust. Rakis vajab kindlasti veel täiendamist, et toote sisestamine oleks kogu aeg ühtne. See tähendab, et ei oleks võimalik sisestada toodet rakisesse liiga rutakalt või hoopiski valesti. Lisaks peab toode jõudma alati samasse fikseeritud lõpp-punkti, et ei tekiks olukorda, kus süsteem töötleb suvalisi punkte pildi peal.

Kokkuvõtvalt leiab autor, et töö eesmärk sai täidetud ning vajalik informatsioon optiliste süsteemide sobivusest antud alamkoostu optiliseks kvaliteedi kontrollimiseks leitud. Uuringut võib pidada ettevõttele ABB AS väärtuslikuks, kuna eelnevalt ei ole antud alamkoostu kohta sellist uuringut teostatud ning tulemused lubavad paremat kvaliteedi kontrolli ja reklamatsioonide vähenemist. Sarnast kvaliteedi kontrolli meetodit pole varem konkreetses tehases rakendatud.

SUMMARY

The aim of this thesis was to find out the capability of the optical system to be able to perform an optical quality control for ABB sub-assembly and make suggestions based on the results of the study to implement this kind of system.

To measure the necessity of this thesis an input was needed. To give an input to the thesis an indicator IFR was created. IFR shows an internal failure rate of the sub-assemblies. To show this indicator by fact and to visualize it, correct data was needed. Also this data had to be processed and analysed. The data was received from the internal network software SAP and was processed with MS Excel and Minitab 17. Result of the analysed data showed that 6921 sub-assemblies were manufactured and 159 reclamations received which shows IFR 2.3 %. From the process mapping of the sub-assembly reclamation handling, it was discovered that one reclamation costs minimum 100 € which makes the cost of all the reclamations for 16 000 € on the period of 01.03.2015 to 31.12.2016.

To make the most rational and innovative solution all the reclamations had to be analysed manually and divided into categories. Since it is excluded to use standard functional testing with these sub-assemblies then a brainstorming meeting had to be held to generate new ideas. After the needed analyses and meetings with the production line management there was a conclusion to use innovational system in the factory – optical quality control.

To find out whether it is possible to control these sub-assemblies with machine vision system, thesis author got the needed cameras from Festo Oy Ab Estonian Branch. Since the camera choice was limited and the data for those cameras was known, it was possible to make theoretical calculations to find out the measurements for prototype fixture.

After designing the fixture and assembling, it was time for practical examinations in the laboratory of Festo Oy Ab Estonian Branch. The examinations lasted for three days where three cameras were tested. From the results of the examinations it was concluded that it's not possible to make the optical quality control with only one camera because the field of view is not big enough and the sub-assembly peculiarity is not favorable for this. To make the system reliable it is recommended at least two cameras, but to make it fully reliable it needs three cameras. To make the lighting perfect and remove unwanted reflections it is

recommended to use dome light instead of spotlight. Fixture needs improvements on entering the product and fixing it to the right position every time to avoid the situation where the system analyses random parts of the picture.

In conclusion the author finds that the purpose of this thesis was fulfilled and needed information about the optical system suitability to control the sub-assemblies optically found. This study can be considered valuable for the ABB company since there has not been done this kind study before and the results promise a better working quality control, which concludes to less reclamations. Also this kind of quality control method has not been implemented in this factory before.

VIIDATUD ALLIKAD

1. Digital Camera Basics. National Instruments. <http://www.ni.com/white-paper/3287/en/> (15.02.2012)
2. Image Aquisition System Setup. National Instruments. <http://www.ni.com/white-paper/4229/en/> (15.03.2011)
3. Assoc. Prof. Dr. Gholamreza Anbarjafari.. Digital Image Processing. <https://sisu.ut.ee/imageprocessing/book/1> (2014)
4. Sensors and Signal Processing for Digital Still Cameras. Taylor & Francis Group. Edited by Junichi Nakamura. (2005)
5. Introduction to Machine Vision Version 2.2. SICK. (2006)
6. National Instrumants Vision Concepts Help. National Instruments. (2013)
7. Massimo Mancuso, Sebastiano Battiato. An Introduction to the Digital Still Camera Technology. ST Journal of System Research. Vol 2. (2001)
8. ABB faktid ja graafikud. ABB. <http://new.abb.com/investorrelations/company-profile> (20.04.2017)
9. ABB Eesti informatsioon. ABB. <http://new.abb.com/ee/meist/eestis>. (20.04.2017)
10. ABB 4Q Training material. ABB kinnine raamatukogu. (20.04.2017)
11. Vision Sensor SBSI/SBSC-EN, 8064181 - 1607b. Festo. (13.09.2016)
12. Vision Sensors SBSI. PSI 506.1 en 2015/04. Festo. (07.02.2017)

13. SAP ettevõtte ja tarkvara kirjeldus. SAP. <https://www.sap.com/corporate/en.html>.
(20.04.2017)
14. Minitab tarkvara ja ettevõtte kirjeldus. Minitab. <http://www.minitab.com/en-us/>.
(20.04.2017)
15. Teledyne DALSA inc. <http://www.teledynedalsa.com/imaging/knowledge-center/appnotes/ccd-vs-cmos/>
16. Festo tootekataloog. https://www.festo.com/cat/et_ee/products. (21.04.2017)
17. Vision Sensor Mounting and operating instructions. Festo. (2016)
18. Minitec tootekataloog. 30 x 30 mm alumiiniumprofiil.
http://www.minitecframing.com/Products/30%20SERIES%20PROFILES/30%20SERIES%20CATALOG%20PAGES/20.1068_PROFILE_30X30.html. (21.04.2017)
19. Minitec tootekataloog. Power-Lock kinnitus 30 SF.
http://www.minitecframing.com/Products/30%20SERIES%20PROFILES/30%20SERIES%20CATALOG%20PAGES/21.0016_Power-Lock_Fastener_30_SF.html.
(21.04.2017)
20. Minitec tootekataloog. M6 T-mutter 30.
http://www.minitecframing.com/Products/30%20SERIES%20PROFILES/30%20SERIES%20CATALOG%20PAGES/21.1569_M6_Square_Nut_30.html.
(21.04.2017)
21. Kohlschein tootekataloog. DILITE materjal.
http://www.kohlschein.de/en/produkte/kunststoffplatten/alu_dilite. (21.04.2017)
22. Festo SBS Vision Sensor tarkvara.
https://www.festo.com/net/el_gr/SupportPortal/Default.aspx?cat=4859&tab=4&s=t
(21.04.2017)

23. Eye lighting international. Light spectrum. Joonis.

<http://www.eyelighting.com/resources/lighting-technology-education/general-lighting-basics/light-spectrum/>. (10.05.2017)

LISAD

Lisa 1. Histogramm

Histogramm on funktsioon H , mis on defineeritud hallskaalal vahemikus $[0, \dots, k, \dots, 255]$ nii, et pikslite arv võrdub hallskaala väärtusele k järgmiselt

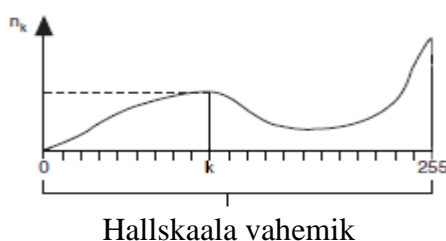
$$H(k) = n_k$$

kus k – on hallskaala väärtus,

n_k on pikslite arv pildil, mille hallskaala väärtus on võrdne k

$\sum n_k$ on kogu summa piksleid pildil, $k = 0$ kuni 255

Järgnev histogrammi graafik näitab, millised hallskaala tasemed esinevad tihti ning millised harva.



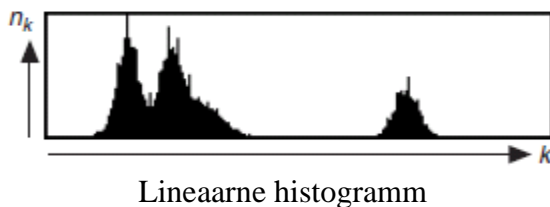
Kahte tüüpi histogramme on võimalik arvutada: lineaarseid ja kumulatiivseid histogramme. Mõlemal juhul horistonaalne telg esitab hallskaale väärtust 0 kuni 255. Vertikaalne telg, aga näitab pikslite arvu n_k hallskaala väärtusele k . Kumulatiivsel histogrammil näitab vertikaalne telg pikslite protsente, mis on võrdsed või väiksemad hallskaala väärtusele k .

Lineaarne Histogramm

Tiheduse funktsiooon on

$$H_{\text{Lineaar}}(k) = n_k$$

Kus $H_{\text{Lineaar}}(k)$ on pikslite arv, mis on võrdne k -ga.



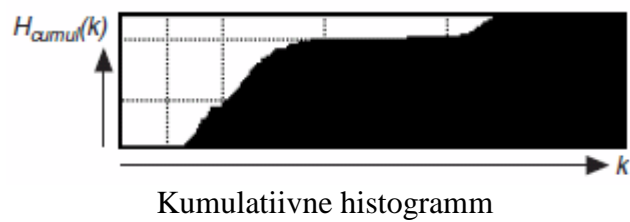
Lisa 1. Järg

Kumulatiivne Histogramm

Jaotus funktsioon on

$$H_{Kumulatiiv}(k) = \sum_{i=0}^k n_i$$

Kus $H_{Kumulatiiv}(k)$ on pikslite arv, mis on väiksem või võrdne k -ga.



Allikas: [6]

Lisa 2. Triipkood ja 2D-kood



121434656

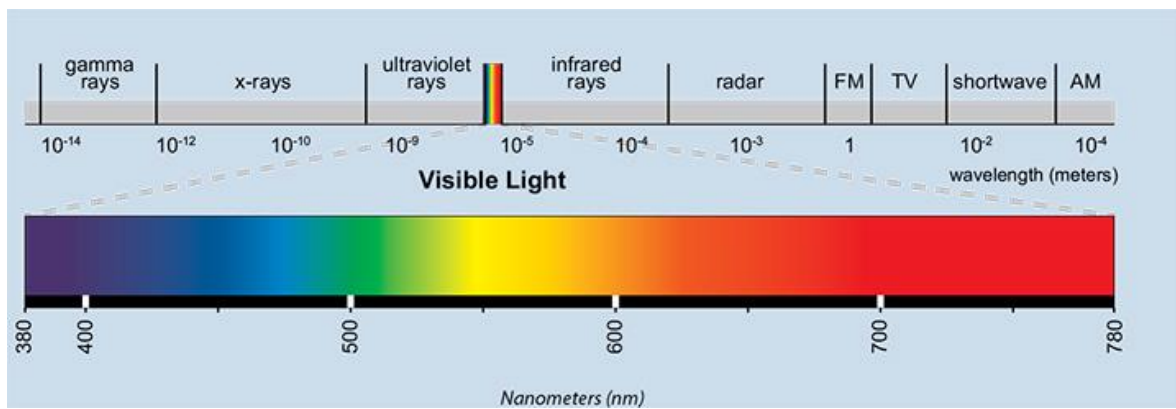
Näide Kood 39 triipkoodist.



Näide Andme Maatriks koodist.

Allikas: [5]

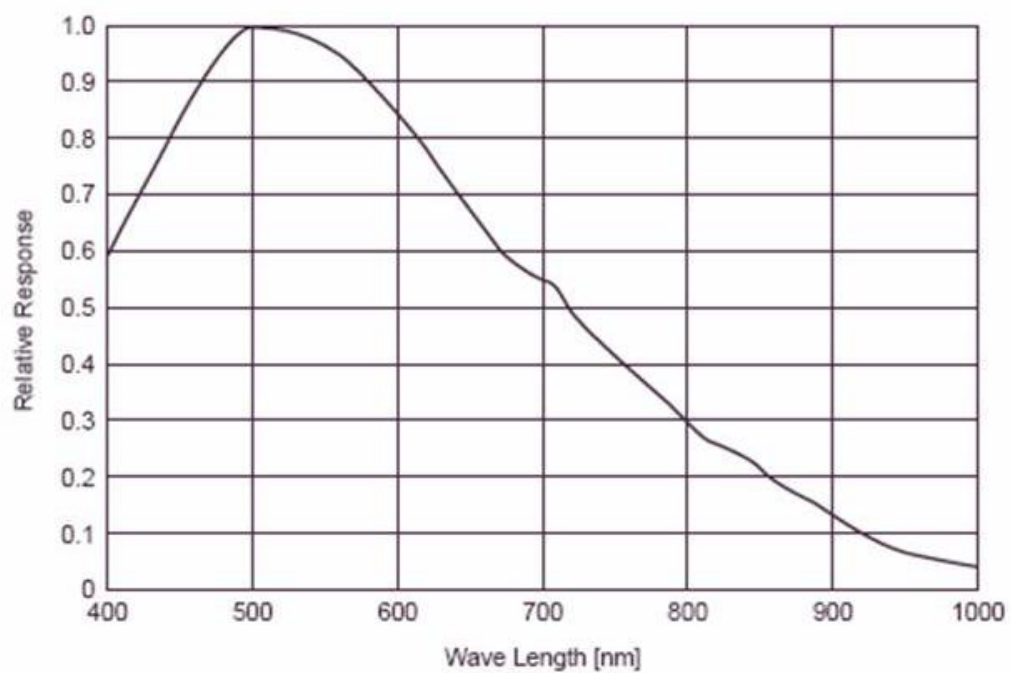
Lisa 3. Valgusspekter



Valgusspekter: Välja toodud on inimsilmale nähtav valgus

Allikas: [23]

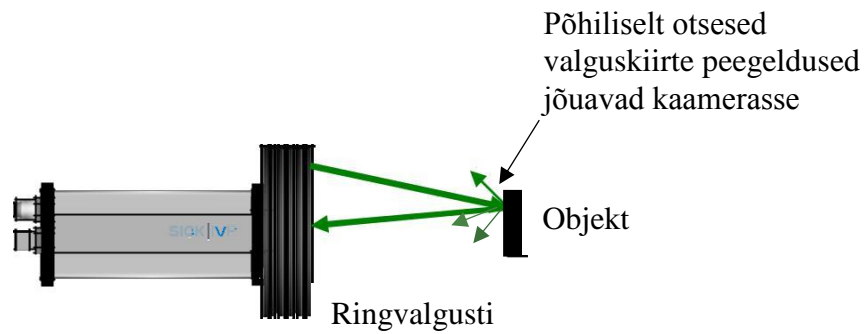
Lisa 4. Spektraalkarakteristik



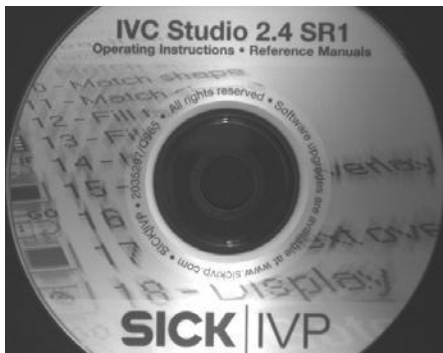
Spektraalkarakteristik hallskaalal CCD sensorile. Maksimaalne tundlikkus on rohelisele lainepikkusele. (500 nm)

Allikas: [5]

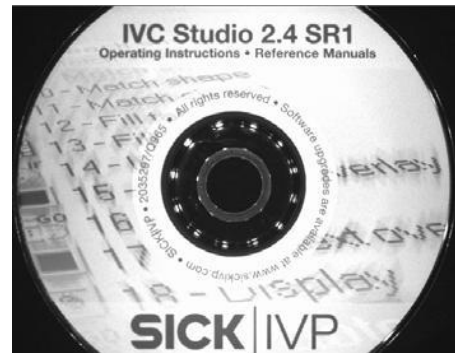
Lisa 5. Ringvalgusti



Näide:



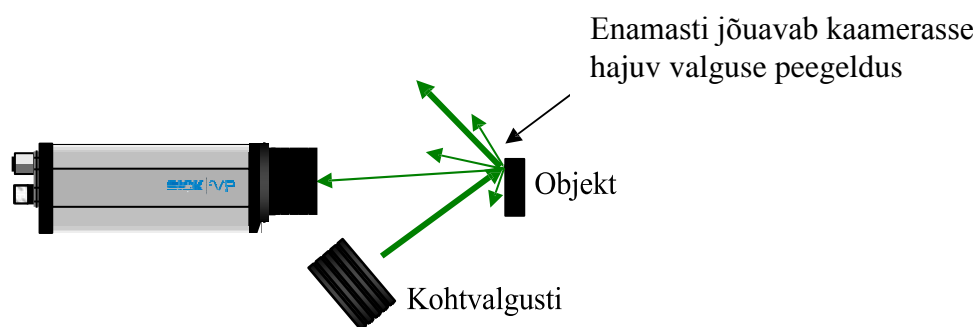
Ümbritsev valgus.



Ringvalgusti. Plaadi peale trükitud matt pind on ühtlaselt valgustatud. Kuumad täpid tekivad läikivatele pindadele. Antud juhul tekkis plaadi keskele plastikust läikivale osale 12 täpikest, millest igäüks vastab ühele valgusdiodile ringvalgustis.

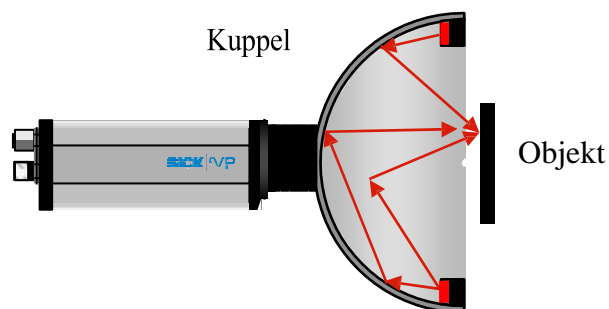
Allikas: [5]

Lisa 6. Kohtvalgusti

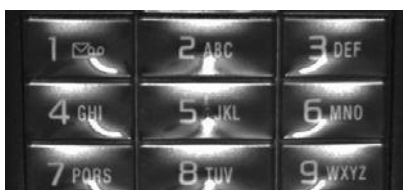


Allikas: [5]

Lisa 7. Kuppel valgusti



Näide:



Ümbritsev valgus. Numbri klahvide peal on kõverdatud, läbipaistev materjal, mis tekitab peegeldusi.



Otsesed peegeldused on eemaldatud tänu kuppel valgusti ühtlasele valgustatusele.

Allikas: [5]

Lisa 8. 4Q mall

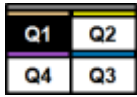
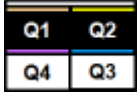
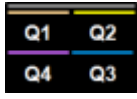
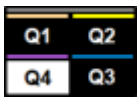
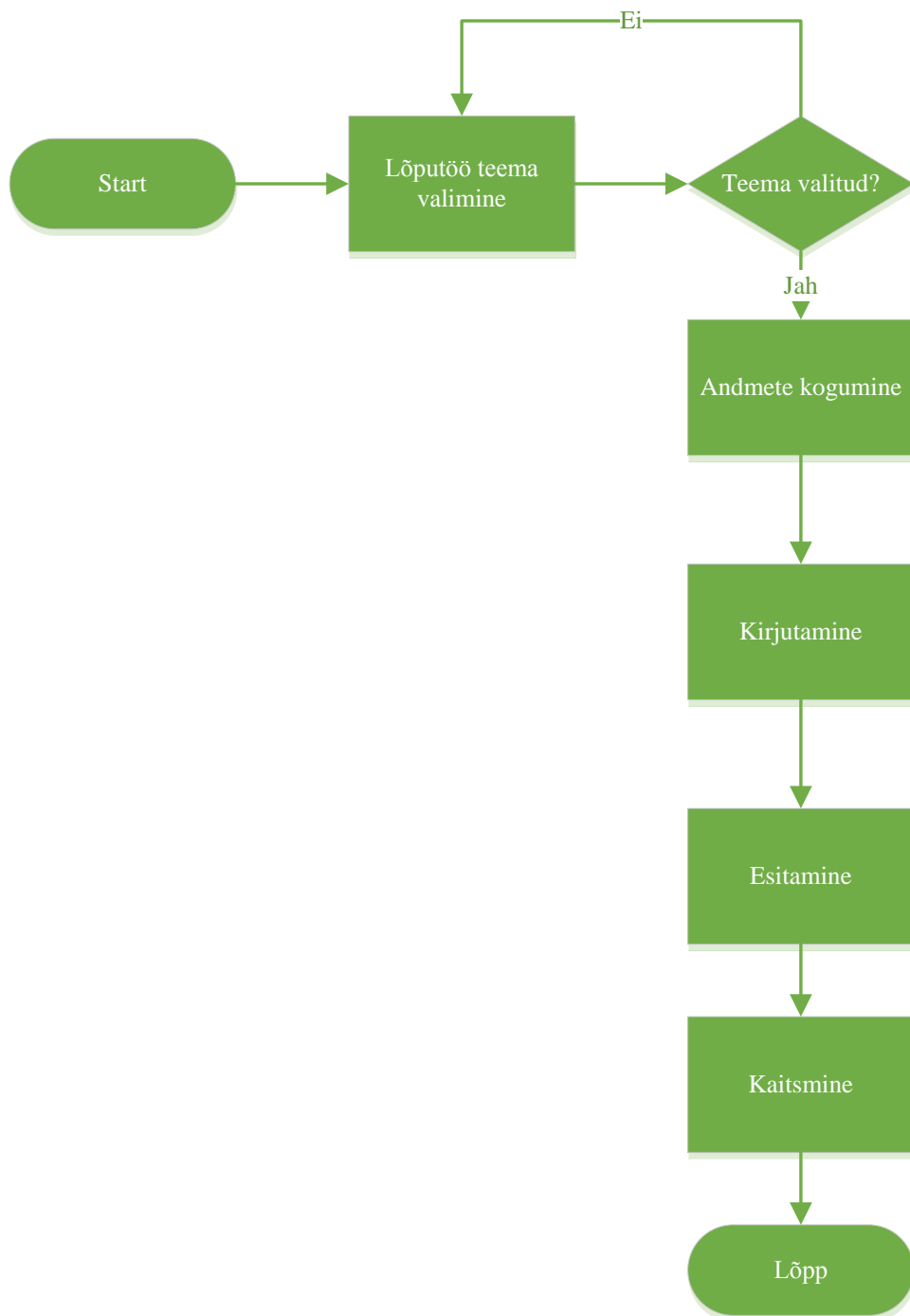
Current Status				
Status Replace O with X to indicate that the project is complete for that quadrant.	O	Q1 Measure		
	O	Q2 Analyze	Any necessary containment done, project set up and data collected. The current state investigated and understood	Root Cause Analysis (RCA) complete and verified
	O	Q3 Improve		
	O	Q4 Sustain	New work methods and processes standardized. Issue closed.	Long Term Solution developed, piloted and implemented that eliminates the root causes.

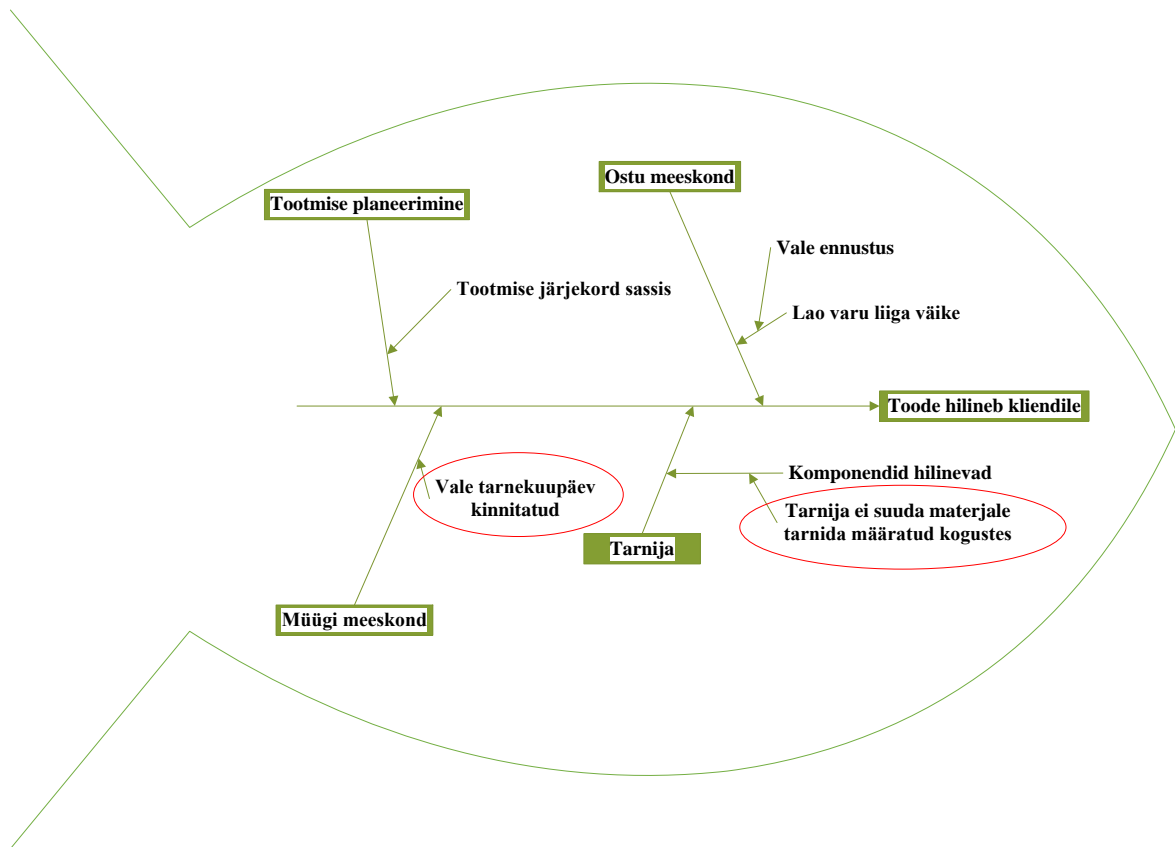
ABB 4Q metodoloogia illustreeriv mall

Allikas: [10]

Lisa 9. Protsessi kaart



Lisa 10. Kalaluu diagramm



Lisa 11. Puu diagramm

