

3D-KONENÄKÖANTURIN KÄYTTÖ PINNANLAATUSOVELLUK- SESSA

Lahden ammattikorkeakoulu

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Kone- ja tuotantotekniikka
Mekatroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Jussi Tiihonen

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

TIIHONEN, JUSSI: 3D-konenäkökameran käyttö
pinnanlaatusovelluksessa

Lahden ammattikorkeakoulu

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö, 21 sivua, 21
liitesivua

Kevät 2018

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli saada aikaiseksi Lahden ammattikorkeakoululle opetuskäyttöön laite, jolla voidaan demonstroida SICKin 3D-konenäkökameroiden ja -anturien eri käyttötarkoituksia teknologiateollisuudessa. Fyysinen laite oli jo valmiina, ja tehtävänä oli selvittää, kuinka kyseiset kamerat toimivat, opetella käyttämään IVC Studio -nimistä ohjelmaa, tehdä sillä pinnanlaatua tarkasteleva ohjelma sekä tehdä tarvittavat dokumentaatiot.

Ohjelman tarkoituksena oli tehdä pinnanlaatua tarkkaileva kamerakokonaisuus, jonka alta erilaiset kappaleet pystyvät kulkemaan esimerkiksi liukuhihnalla. Kappaleiksi valittiin kaksi yksinkertaista lankun pätkeä: yksi ehjä, joka täyttää pinnanlaadun kriteerit, ja toinen, jossa on pintaan tehtyjä virheitä. Ohjelmassa määriteltiin millimetreinä suurin sallittu korkeudenvaihtelu, joka pystytään määrittelemään hyväksytyksi tai hylätyksi ja täten voidaan käyttää digitaalisena lähtönä nollan tarkoittaessa hylättyä ja yksi hyväksytyä. Lisäksi määriteltiin vaadittu tilavuus kameran alta kulkevalle kappaleelle. Ehjäpintainen kappale on hieman pidempi kuin virheellinen, joten eron tuloksissa näkee kuljettamalla kummatkin kappaleet kameran alta.

Asiasanat: SICK, konenäkö, IVC-Studio, 3D-kuvaus

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechatronics

TIIHONEN, JUSSI: 3D Machine Vision Sensor in a
Surface quality application

Bachelor's Thesis in Mechatronics 21 pages, 21 pages of appendices

Spring 2018

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to come up with an educational machine for Lahti University of Applied Sciences that would be used to demonstrate different usages of SICK's 3D machine vision cameras and sensors in technology industry. The physical machine was already at the school when I got the assignment and the objective was to find out how these cameras work, to learn using a programming tool called IVC Studio, to make a program with it that examines surface quality and to do the necessary documentations.

The purpose of this program was to make a surface quality-observing camera entity under which different kinds of objects are able to travel, for example on a conveyor. The object that was chosen was two simple pieces of wooden plank: one that was intact and filled the criteria for surface quality, and another one, which had dents on the surface. In the program, the allowed deviation of height was specified in millimeters, and the result of the inspection could be used as a digital output to indicate zero as denied and one as accepted. On top of that, the minimum volume of the plank was also defined. The intact plank is a little bit longer than the faulty one so you see the different results after passing both planks under the camera.

Key words: SICK, machine vision, 3D Imaging, IVC Studio

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	KONENÄKÖ	3
2.1	Konenäkötyypit	3
2.2	Laserkolmiomittaus	4
3	KAMERAKOKKONPANO	6
3.1	Pulssianturi	7
3.2	IVC 3D -kamera	7
3.3	Yhteyden muodostaminen kameraan	9
3.4	Kuvan saaminen kameralla	13
3.5	Askelohjelma	17
3.5.1	Kappaleen yläpinnan määrittäminen	17
3.5.2	Kelkan resetointi	18
3.5.3	Pinnanvaihtelu	18
3.5.4	Pinnanvaihtelun ehdot	19
3.5.5	Tilavuuden lasku	19
3.5.6	Loppuaskelleet	20
4	YHTEENVETO	21

LÄHTEET

LIITTEET

1 JOHDANTO

SICK AG perustettiin vuonna 1946 saksalaisen Erwin Sickin toimesta. Hän halusi suunnitella antureita, jotka yhdistäisivät älykästä elektroniikkaa ja valon käyttöä. Ensimmäinen hänen suunnittelemansa anturi, jonka hän esitteli maailmalle, oli vuonna 1952 kansainvälisillä työstökone messuilla Hannoverissa esitelty sarjatuotantoon valmis valoverho, joka sai heti kiinnostusta tapaturmia estävien ominaisuuksiensa vuoksi. Sarjatuotanto aloitettiin, ja yhtiön talous nousi huomattavasti. Tulevina vuosina yhtiön menestys jatkui tuottaen lisää innovaatioita, kuten esimerkiksi ensimmäinen optinen pinnanvalvontaanturi vuonna 1962 sekä ensimmäiset tytäryhtiöt saatiin perustettua Ranskaan vuonna 1972 ja Yhdysvaltoihin vuonna 1975. Vuonna 1988 Erwin Sick kuoli sydänkohtaukseen jättäen yhtiön pääosakkuuden vaimolleen Gisela Sickille. (SICK AG 2018c.)

Yhtiön filosofiana pidetään kolmea ominaisuutta: independence, innovation ja leadership. Independence, eli suomeksi itsenäisyys näkyy toiminnassa siten, että työntekijöillä on lupa ajatella itsenäisesti yhteisten pelisääntöjen puitteissa. Innovation eli innovaatio ei tarkoita SICKillä ainoastaan uusien tuotteiden kehittämistä ja tuotantomenetelmien uusimista, vaan myös niiden toteuttamista käytännössä. Leadership eli johtajuus kannustaa johtoasemassa olevia innostamaan työntekijöitä sekä antamaan esimerkkiä muille yrityksille ja standardeja maailmanmarkkinoille. SICKin toimintatapoihin kuuluu johtamiskulttuurin parantaminen sen lisäksi, että yhtiö haluaa teknologia- ja markkinajohtajuutta. Yhteistyötä arvostetaan suuresti ja vastuun jakamista. (SICK AG 2018a.)

SICKin motto Sensor Intelligence kuvaa hyvin sitä, mistä heidän yhtiönsä toiminnassa on kyse. Se tarkoittaa heidän kykyä suunnitella antureita, jotka toimivat tehokkaammin, luotettavammin ja kattavammin tarvittavassa tietojenkäsittelykapasiteetissa. Johtuen mikro-ohjainten jatkuvasta kehityksestä halvempaan suuntaan ja pienempien kokojen saavutuksesta,

älykkäät anturit pystyvät hyödyntämään yhä monimutkaisempia algoritmeja. Tällä tavalla siis asiakasyritysten tuotanto- ja ohjausverkot saadaan optimoitua. (SICK AG 2018b.)

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoituksena saada aikaan Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan alalle opetuskäyttöön laite, jossa näytetään erilaisia käyttötarkoituksia konenäköön perustuville sovelluksille SICKin IVC 3D –kameralla. Valitsin pääasiassa käytettäväksi pinnanlaatua tarkkailevan sovelluksen, jossa tarkkaillaan laudan pätkän pintavirheitä. Konenäkökamera ja mekaaninen kehikko, johon kamera oli kiinnitetty, oli jo koululla rakennettuna koulun henkilökunnan puolesta. Kehikossa on kiinni myös lineaarijohteen päällä oleva kelkka ja MDF-kuitulevyn palanen (Medium Density Fibreboard) kelkan päällä, jotta kappaleita voidaan helposti kuljettaa kameran alta kuvien saamiseksi. Lopputavoitteena on saada aikaan kameran toimintaa ohjaavaa askelohjelma, joka suunnitellaan SICKin omalla IVC Studio –nimisellä PC-aplikaatiolla. Ohjelmassa tehdään pinnanlaatua tarkkailevat askeleet, joilla voidaan määritellä, oliko kameran alta kuljetettu kappale hyväksytty vai hylätty. Lisäksi mitataan kappaleen tilavuus, jotta voidaan näyttää kameran kyky sellaisissa sovelluksissa, joissa kappaleen koko on tärkeä.

2 KONENÄKÖ

Konenäön käytön tarkoituksena voi olla esimerkiksi tuotannon nopeuttaminen, robotin ohjaaminen, virheiden minimoiminen, pienien yksityiskohtien tarkastelu tai kustannusten minimoiminen. Konenäön avulla voidaan saada tarkasti tietoa tutkittavasta kappaleesta ilman ihmisen osallistumista jokaisen kappaleen tarkastamiseen. (Cognex Corporation 2017.)

Konenäössä käytetään yleensä digitaalisia tuloja ja lähtöjä ohjaamaan mekaanisia komponentteja. Konenäköä useimmiten tarvitaan silloin, kun kyseessä on jonkun tuotteen tarkastelu. Konenäkösystemissä on useita osia, ja näitä yleensä ovat digitaalinen tai analoginen kamera, joka hoitaa kuvien ottamisen, prosessori ja jokin kamerarajapinta, joka pystyy digitalisoimaan kameran ottamat kuvat. Älykamera on kyseessä sellaisessa tilanteessa, jossa on yhdistettynä kaikki kolme edellä mainittua komponenttia. Sen lisäksi systemissä on tilanteesta riippuen eri määrä kaikenlaisia lisälaitteita, kuten linsejä, valonlähteitä, kuvankäsittelyohjelma, tuloille ja lähdöille tarkoitetut laitteistot, jokin anturi liipaisemaan kuvankaappauksen sekä toimilaitteita, jotka voivat sysätä syrjään vialliset kappaleet tarkastuksen jälkeen. Kaikki lisälaitteet osallistuvat jollain lailla kappaleen tutkimiseen. Kappaleen saapuessa esimerkiksi liukuhihnalla liipaisuanturi antaa kameralle luvan ottaa kuvan kappaleen osuessa anturin, esimerkiksi valokennon tunnistusalueelle. Valonlähde auttaa korostamaan tärkeitä yksityiskohtia. Sitten digitalisoija muuntaa kuvan digitaaliseksi lähdeksi, joka voidaan tallentaa tietokoneelle jatkokäsittelyä varten. (Thomasnet 2018.)

2.1 Konenäkötyypit

Yksiulotteisessa konenäössä tutkitaan yksi viiva kerrallaan. Tätä tekniikkaa voidaan käyttää silloin, kun on kyseessä jatkuva prosessi, kuten paperi- tai ohutmetallirullia tekevä linja. Tällöin tutkiva viiva voi tunnistaa

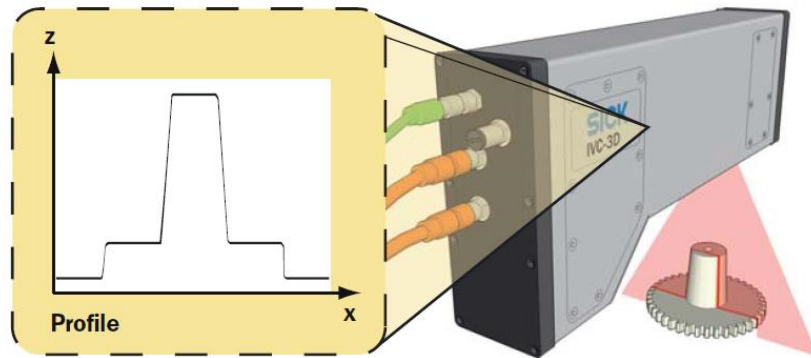
esimerkiksi reikiä tai muita virheitä pinnassa. Myös viivakoodinlukija on tällä tavalla toimiva konenäkö. (Cognex Corporation 2016, 17.)

Kaksiulotteinen konenäkö on tavanomaisin vaihtoehto. Siinä on se etu viiva kerrallaan kuvaamiseen nähden, että voidaan kuvata kokonainen kuva kerralla eikä kappaletta tarvitse pyörittää ympäri, kuten yksiulotteisessa sovelluksessa, jos pitää esimerkiksi kuvata etiketti ja etsiä siitä tarvittavat kuvat. (Cognex Corporation 2016, 19.)

Kolmeulotteisissa systeemeissä on yleensä mukana monta kameraa tai sitten laserantureita. Useampi kameraisia käyttöjä ovat muun muassa robotin ohjaus, jossa voidaan antaa kameroiden avulla tietoa robotille esimerkiksi kappaleen asennosta robotin suhteen. (Cognex Corporation 2016, 20.)

2.2 Laserkolmiomittaus

Laserkolmiomittauksen toimintaperiaate on, että kamerassa on esineitä kuljettavaa linjaa kohtisuorassa kulmassa lasergeneraattori, joka tuottaa laserviuhkan. Kun viuhka osuu ohi kulkevaan kappaleeseen, se piirtää kappaleen pinnalle laserprofiilin. IVC-3D:ssä on sen lisäksi kamera vinossa kulmassa, josta se ottaa laserprofiilista kuvia eri ajan hetkillä. Tämä on havainnollistettu kuviossa 1 sivulla 5. Kameran sisällä on suodattimia, jotka vähentävät taustavalon vaikutusta, mutta kamera kannattaa aina silti laittaa paikkaan, joka on suojattu suoralta auringonvalolta. Useiden eri hetkinä otettujen kuvien sarjasta kamera luo profiilien muotojen perusteella kolmiulotteisen kuvan kappaleesta, joka kulkee linjalla vakionopeudella. Jos nopeus vaihtelee, otettujen profiilien määrän avulla voidaan määrittää, kuinka pitkään kamera ottaa kuvia kappaleesta. Tämän mahdollistaa tarkka kamera, joka tunnistaa pienetkin muutokset profiilien välillä ja varmistaa pinnantarkkailun, jossa on vähän virheitä. IVC-3D pystyy prosessoimaan maksimissaan 5000 profiilia sekunnissa, mutta maksimiprofiilinopeus riippuu mallista ja kuvauksen olosuhteista. (SICK AG 2013, 10-11.)



KUVIO 1. Lasergeneraattorin toimintaperiaate (SICK AG 2013, 10)

3 KAMERAKOKOONPANO

Kamerakokoonpano, jolla opinnäytetyö tehtiin, koostuu alumiiniprofiilista rakennetusta kehikosta. Siinä on kiinni lineaarijohde ja kelkka, joilla voidaan liikuttaa kappaleita kameran alla kumpaankin suuntaan. Kamera on kiinnitetty kelkan ylle 90 asteen kulmassa kehikon korkeuden suhteen olevalla kulmaraudalla, joka on hitsattu yhteen useammista palasista (katso kuva 1). Liitteestä 1 löytyy yksityiskohtaisempia kuvia. Kehikon alaosassa sijaitsee SICKin pulssianturi, jonka akseli on kytketty kelkkaa liikuttavaan hihnapyörään. Profiilin pystyosuuteen on kiinnitetty pieni sähkökeskus, jolta syötetään virta kameralle, pulssianturille ja kuvanliipaisuvalokennolle, joka on mallia Datasensor ifm E 10305. Mekaaninen kokonaisuus oli aikasemmin kasattu koululla opettajien toimesta.



KUVA 1. Kamerakokoonpano

3.1 Pulssianturi

SICKin pulssianturi kelkkaa liikuttavassa hihnapyörässä on mallia DRS61-C4A08192 (kuvio 2). Toinen osa mallinimestä ilmaisee eri ominaisuuksia. Ensimmäinen kirjain merkitsee käyttöjännitteen ja C on alueella 10-32 voltia. Seuraava numero ilmaisee mekaanisen kiinnitystavan. Numero 4 tarkoittaa tässä kohdassa kasvosuuntaista laippakiinnitystä 10 millimetrin akselilla. Kolmas kirjain ilmaisee kaapelin liitännätavan. Kaapelissa on johtimet syöttöjännitteelle, tulojohtimet A, B ja Z-kanaville sekä kanavien invertoidut vaihtoehdot. Kirjain A tarkoittaa 12-pinnistä liitintyyppi M23:a säteen suuntaisella kiinnityksellä. Viimeiset neljä numeroa ilmaisee kuinka monta pulssia anturi tuottaa joka kierroksella. Pulssilukumäärää voi muuttaa kätevästi anturin kyljessä olevan mini-USB portin avulla. USB-johto kytketään tietokoneeseen ja käytetään sen jälkeen SICKin omaa SICK Stegmann programming tool -ohjelmistoa. (SICK AG 2017c, 5.)



KUVIO 2. SICK Stegmann DRS61 –pulssianturi (SICK AG 2017c, 2)

3.2 IVC 3D -kamera

Kamera, jota käytin opinnäytetyössä, oli IVC 3D 21111. Tämä malli on sarjan pienemmästä päästä (kuvio 3). Eri malleissa esiintyvät isoimmat erot ovat kappaleen tunnistusetaisyys korkeussuunnassa eli z-akselilla ja kameran ulkokuoren materiaali. Tässä mallissa tunnistusetaisyys on 195-279 millimetriä. 3D-profiilien maksimiresoluutio on 2048 kuvapistettä ja

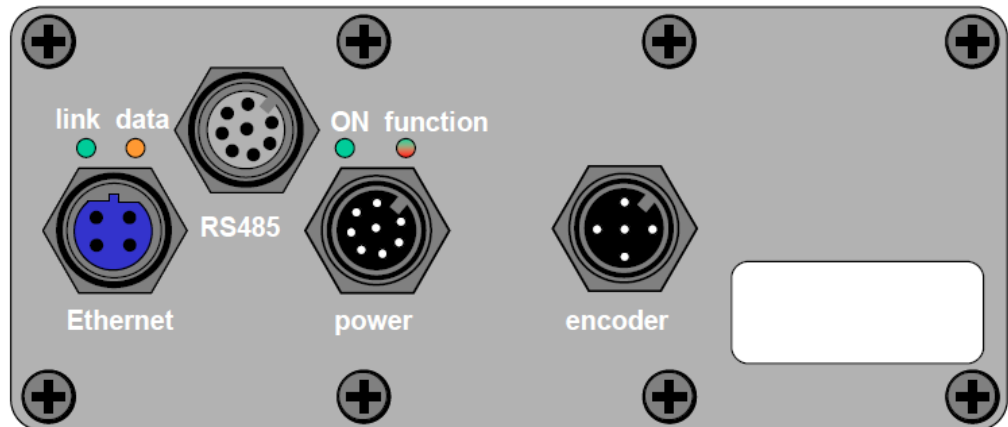
maksimiskannausnopeus on 5000 profiilia sekunnissa. Kamera kytketään tietokoneeseen Ethernet-kaapelin avulla. RS485-sarjaporttia voidaan käyttää tilanteissa, joissa esimerkiksi halutaan kameran kommunikoivan jonkin muun laitteen kanssa. (SICK AG 2017a.)



KUVIO 3. IVC 3D-21111 –kamera (SICK AG 2017b, 1)

Virtakaapelin sisällä on syöttöjännitteelle tarkoitettujen johtimien lisäksi myös kolme johdinta, jotka on tarkoitettu loogisille tuloille, sekä kaksi johdinta loogisille lähdöille. Joissain malleissa saattaa olla punainen johdin varalla tai erillisenä laserin virtajohtimena. Pulssianturille on myös oma kaapeli ja sitä ei ole pakko käyttää, jos liikkuvilla kappaleilla on tietty vakionopeus niiden kulkiessa kuljettimen alta. Kun pulssianturia käytetään kameran yhteydessä, saadaan paljon tarkemmin määriteltyä missä kohdassa kukin kappale on tietyllä ajanhetkellä. Kaapelissa on johtimet A- ja B-kanaville, niiden invertoiduille vaihtoehdoille ja maajohdin. Kamerassa on lisäksi Flash-muisti, johon voi tallentaa valmiita ohjelmia, mallikuvia tai data block –nimisiä tiedostoja, jotka voivat sisältää esimerkiksi kuvioita opetettavaksi kameralle. Näiden avulla mallikuvaa ei tarvitse ottaa joka

kerta ohjelman alkaessa. Kuviossa 4 näytetään kaapelien kiinnityskohdat kameran takaosassa. (SICK AG 2017b, 40-41.)



KUVIO 4. Kaapeleiden liittimet kameran takaosassa (SICK AG 2017b, 39)

3.3 Yhteyden muodostaminen kameraan

Kameralle tehtävän ohjelman tein SICKin omalla IVC Studio –nimisellä ohjelmistolla, jonka voi ilmaiseksi ladata SICKin kotisivuilta. Se on erittäin monipuolinen ohjelmisto, jolla voi käskää konenäkökameroita tekemään erilaisia laatutarkastuksia kuten kulmien mittausta, epätasaisuuksien analysointia ja kappaleiden oikean koon varmistamista. Tässä ohjelmassa päätarkoitus oli tarkastella kameran alta kulkevan kappaleen pinnanlaatua ja tilavuutta. Kappaleiksi valitsin kaksi yksinkertaista lankun kappaletta, joista toinen oli pidempi ja päältä ehjä (kuva 2), ja toinen oli lyhyempi ja täynnä pintavirheitä (kuva 3). Kameran ja PC:n välille oli aluksi vaikea saada yhteyttä.



KUVA 2. Ehjä lankun pätkä

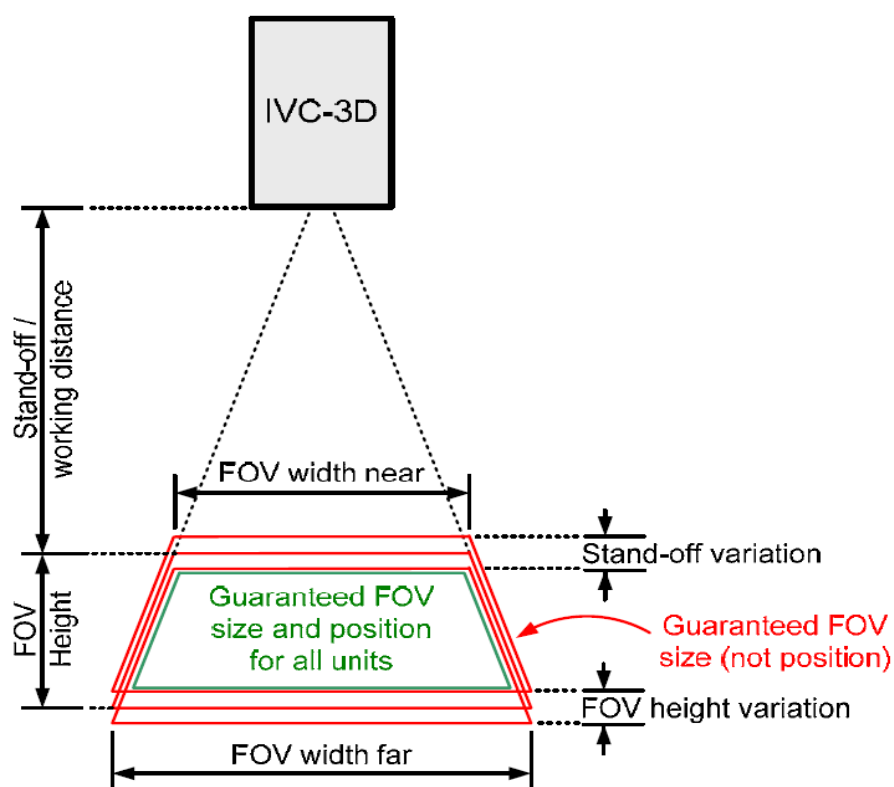


KUVA 3. Pintavirheellinen lankun pätkä

Sylitietokone, jota aikaisemmin käytin, osoittautui vialliseksi ja se piti korvata toimivalla. Kameraa ei ollut myöskään koululla käytetty useaan vuoteen ja sen takia kameran firmware täytyi päivittää uudempaan johtuen siitä, että IVC Studio –versio, jonka latsin oli 3.3 eikä vanhempaa versiota ollut enää ladattavissa ja kamerassa oli asennettuna firmware 3.2 . Firmware toimii eräänlaisena juuritason ohjelmistona, joka kertoo kameralle miten sen tulee toimia silloin, kun se saa ulkopuolisia käskyjä ja niiden jälkeen osaa tehdä omia päätöksiä niiden pohjalta. Kamerassa on myös Flash-muisti, jonne voi tallentaa ohjelmia talteen paikoille 0-3. Oletusarvoisesti kameran käynnistyksen yhteydessä latautuu ohjelma numero 0. Sinne (paikalle 0) oli jäänyt vanha ohjelma, joka oli tehty ohjelmaversiolla 3.2 ja se häiritsi yhteydensaantia. Yhteys muodostetaan tietokoneen ja kameran välille joko Ethernet-kaapelilla suoraan tai verkkokytkimen välityksellä sekä IP-osoitteita käyttämällä. Kameran sisään oli jäänyt aikaisemmilta käyttökerroilta tekniikan alan automaatiolaboratoriossa käytettävän sisäisen verkon osoite 10.100.100.210 . Kolme ensimmäistä kahden tai kolmen numeron sarjaa täytyy olla samat, jotta kaksi laitetta ovat samassa verkossa. Kun tietokoneeseen määritettiin samat kolme ensimmäistä numeroryhmää kuin kamerassa, esimerkiksi 10.100.100.50, saatiin yhteys kameraan. Koska kamerassa oleva vanha ohjelma häiritsi yhteyttä, piti vaihtaa IP-osoitetta. Kameran IP-osoitteeksi vaihdettiin 172.25.30.222 opettajan koneelta yhdistämällä koulun sisäiseen verkkoon. Koska koulun sisäisen verkon kautta yhdistämällä mukana oli verkkokytkin, joka antaa vaihtuvan IP-osoitteen sitä ei tarvinnut tietää etukäteen. Samalla tietokoneesta vaihdoin osoitteeksi 172.25.30.2. , koska vaihtamalla oman uuden osoitteen se pysyy paremmin muistissa.

3.4 Kuvan saaminen kameralla

IVC Studiossa ohjelman suunnittelun alussa täytyy säätää kameran kuvauksen asetukset omien tarpeiden mukaisesti. Ensimmäinen asia, jota kannattaa säätää on kuvausalue FOV (Field Of View). Se tarkoittaa alueen kokoa, jota kamera tarkastelee (havainnollistettu kuviossa 5). Tämän koko määrittyy sen mukaan kuinka isoja kappaleita halutaan tarkastella. Kuitenkaan ei voi ylittää kameran suurinta sallittua aluetta, koska silloin kuvattavat kappaleet eivät näy kuvissa kokonaan tai ei ollenkaan.



KUVIO 5. Kuvausalueen havainnollistus (SICK AG 2017c, 37)

Kuvauksen asetuksissa minulla oli aluksi jonkin verran ongelmia eikä kuvista tullut niin tarkkoja kuin hyvillä asetuksilla. Kuvauksen asetukset säädetään käyttämällä Grab Setup –työkalua IVC Studiossa. Kuviossa 6 näkyy perusasetukset. Mutta sen jälkeen kun otin SICKille yhteyttä sähköpostilla sain tunnukset heidän Support Portal –verkkosivulleen, jossa

on paljon usein kysyttyjä kysymyksiä ja apua erilaisiin ongelmiin SICKin tuotteiden kanssa. Sieltä löysin kolme opetusvideota, joista sai hyviä neuvoja kuvauksen asetuksiin. Ehjän lankun kappaleen mitat ovat 115 millimetriä kertaa 164 millimetriä ja paksuus 21 millimetriä. Näiden mittojen mukaan säädin kuvausalueen kulkusuunnan mitan (height) 44 millimetriin, profiilin leveyden (profile width) 153,7 millimetriin ja työkorkeuden (Stand-off) 218 millimetriin. Työkorkeus määrittelee, kuinka kaukana kappaleen alataso on kamerasta. Tavoitteena on saada asetusruudussa näkyvästä ikkunasta kuvattava kappale kokonaan ja laserprofiilin täytyy näkyä kokonaan. Lankunpala syötetään kapeampi sivu ensin kameran alle. Seuraava kohta mittaus (Measurement) määrittelee miten nopeasti halutaan kuvata. Yläreunassa oleva mittausmoodi (measurement mode) ja sen vieressä oleva liukusäädin määrittelevät kuvauksen nopeuden helposti.

Maksimiprofiilinopeus auttaa säätämään kuvausta tarkemmin manuaalisesti, etenkin silloin kun ei käytetä pulssianturia. Jos kuvaus on säädetty liian hitaalle, kuvasta saattaa tulla ylivalottunut. Tällöin oikean puoleisessa ikkunassa näkyy profiilin väri punaisena merkkeamaan ylivalottuneisuutta. Jos valitsee vilkkuvan laserin, (Flashed laser) lasergeneraattori pysyy päällä vain tietyn väliajoin ja valoittuneisuus määräytyy laserin päälläoloajan pituudesta.

Profiilin liipaisu (Profile Triggering) määrittää kuinka usein kameran lasergeneraattori tuottaa profiilin. Jos valitaan Free-Running eli vapaakuvaustila, tällöin siihen vaikuttaa ainoastaan maksimiprofiilinopeus, joka valittiin edellisessä kohdassa. Free-Running –tilaa kannattaa käyttää ainoastaan silloin, kun kappaleilla on tietty vakionopeus kameran alta kulkiessa. Muutoin kannattaa valita Encoder controlled –vaihtoehto, joka on pulssianturin mukaan liipaistavat profiilit. Tämä tekee profiilien kuvaamisesta paljon tarkempaa, kun se on sidottu pulssien lukumäärään. Viimeinen kohta perusasetusvälilehdellä (Basic) on analyysi (Analysis). Tästä voidaan määrittellä kuinka monta profiilia halutaan kappaleen kuvauksen aikana ottaa. Mitä enemmän profiileja, sitä tarkempi 3D-malli

kappaleesta saadaan. Varsinkin monimutkaisia muotoja sisältävillä esineillä. Säädin profiilien määrän 750 profiiliin.

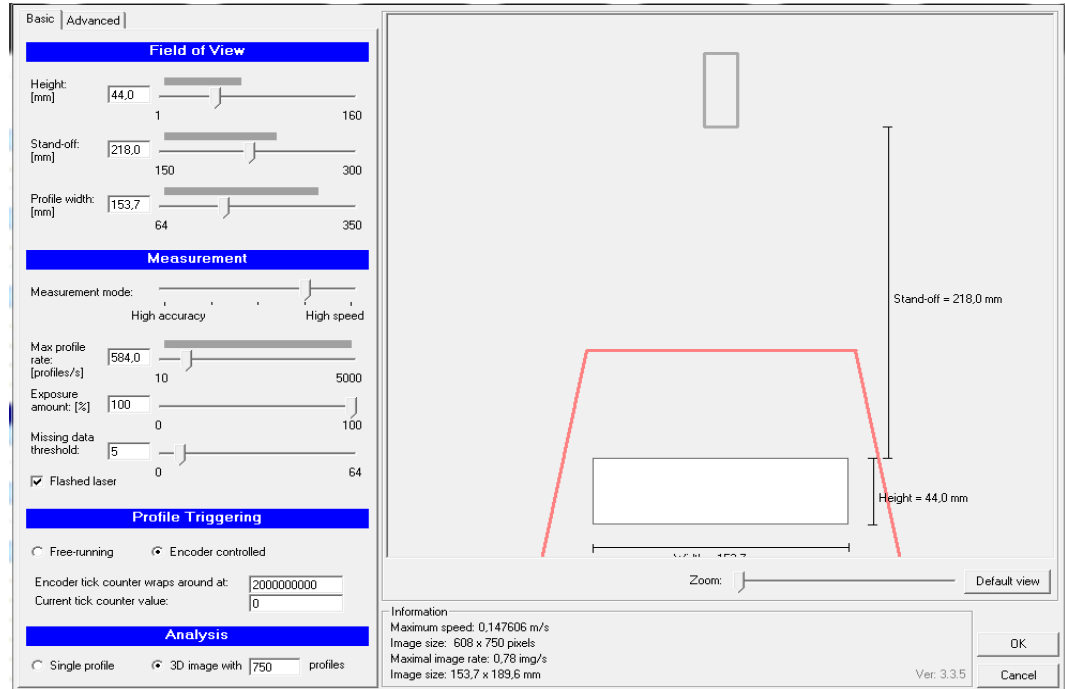
Edistyneet asetukset

Edistyneissä astuksissa (Advanced) voi säätää kameran kuvausta vieläkin yksityiskohtaisemmin (kuvio 7). Leveyden resoluutio (Width Resolution) kertoo, kuinka pitkiä kuvapisteet ovat leveyssuunnassa. Valitsin neliönmuotoiset kuvapisteet (Square Pixels), koska minun ei tarvinnut tehdä niistä eripituisia. Jos kuvapisteet ovat eri suuret leveys- ja pituussuunnassa, kuvasta tulee venytetyn näköinen. Kohdasta heijastuksen käsittely (Reflection Handling) voi säätää liikusäädintä sen mukaan miten paljon ympäristö on valaistu, mutta minun ei tarvinnut koskea siihen.

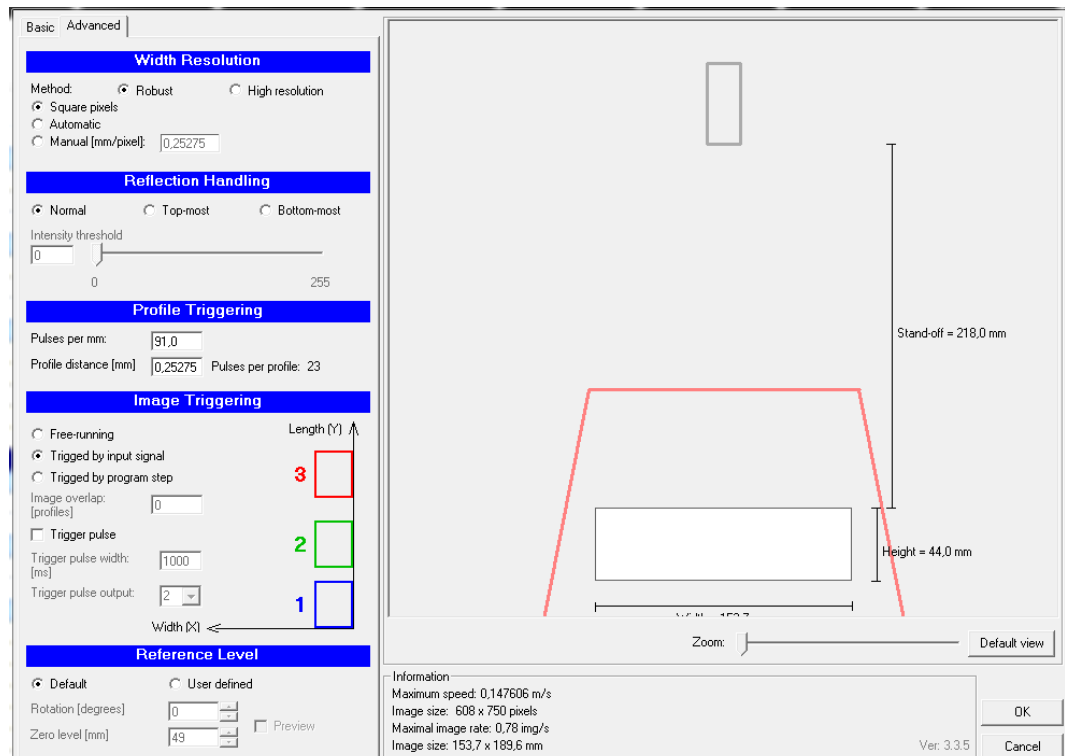
Edistyneemmissä profiilinliipaisuasetuksissa voidaan määrittää, kuinka monta pulssia pulssianturi lähettää kameralle millimetriä kohden. Tässä pitää tietää pulssianturin tiedot käytössä olevalle anturille. Tämä pulssianturi oli tehdasasetuksissa asetettu 8192 pulssiin kierrosta kohti ja anturin halkaisija on tietolomakkeen mukaan 60 millimetriä. Jos oletetaan, että itse pyörivä kiekko anturin sisällä on suunnilleen samankokoinen saadaan 136,5 pulssia jakamalla luku 8192 luvulla 60. Kuitenkin sain tarkemman kuvan käyttämällä arvoa 91 pulssia millimetrillä. Kun pulssien arvo syötetään, alla oleva profiilien etäisyys (Profile distance) kenttä päivittyy automaattisesti vastaamaan syötettyä arvoa pulssien määrää millimetriä kohden, ja asetettua profiilien määrää kuvauksen aikana.

Alareunassa näkyvä tietoruutu (Information) kertoo maksiminopeuden kappaleille, maksimimäärä kuvia sekunnissa ja kuvan mitat. Jos arvot eivät vastaa vaatimuksia, eri arvoja säätämällä näkee tietojen muuttuvan reaaliaikaisesti. Viimeinen kohta, jossa jouduin käymään asetuksia läpi oli kuvan liipaisu. Tähän voidaan käyttää joko vapaajuoksuutilaa (Free-Running), tulosignaaliutilaa (Triggered by Input Signal) tai ohjelman askeleen aiheuttamaa liipaisua (Triggered by Program Step), jossa pitää erikseen käyttää Grab on Command –työkalua halutussa ohjelman vaiheessa. Alin

kohta viitetaso (Reference level) oli sellainen, jota en itse tarvinnut ja jota käytetään lähinnä silloin, kun kappaleita kuljettava kuljetin ja kamera eivät ole suorassa kulmassa toisiaan kohtaan.



KUVIO 6. Kameran perusasetukset (Basic)



KUVIO 7. Kameran edistyneet asetukset (Advanced)

3.5 Askelohjelma

IVC Studio käyttää ohjelmointitapanaan niin sanottua askelohjelmointia, jossa ohjelmaan halutut ominaisuudet laitetaan askeleina peräkkäin siinä järjestyksessä missä niiden halutaan tapahtuvan. Myös C-kielestä tuttuja ohjelmointityökaluja löytyy kuten if-lause, for-silmukka ja while-silmukka. Koko ohjelma löytyy liitteestä 5. Ensiksi ohjelmassani on Enable Ethernet –työkalu, jolla varmistetaan että Ethernet-yhteys säilyy tietokoneen ja kameran välillä. Seuraavana on 100 millisekunnin viive käyttämällä Wait-työkalua (odota).

Kolmas askel käsittelee kaikkia virheitä, joita ohjelmassa voi ilmetä. Jos tulee virhe, tämä askel siirtää ohjelman suoraan askeleeseen 3, joka on kameran asetukset. Askel 4, Grab ottaa viimeisimmän kuvan kameranlta, joka on napattu kappaleen kuljettua kuvanliipaisuvälökennon ohi. Grab-työkalu siirtää kuvan kuvapankkiin, joka määritellään työkalun avulla. Tässä tapauksessa käytin kuvapankkia 0. Seuraavaksi on vuorossa tärkeimmät vaiheet, joita käsitellään ohjelmassa mutta koko ohjelma on myös liitteissä.

3.5.1 Kappaleen yläpinnan määrittäminen


Askeleissa 5 ja 6 määritellään taso, joka sijaitsee kappaleen yläpinnassa. Askeleessa 5 piirretään kuvapankissa 0 olevaan kuvaan suorakulmio, joka kattaa koko kappaleen muodon käyttämällä suorakulmaista kiinnostuksen kohdetta (ROI Rectangle). ROI tulee englannin kielen sanoista Region Of Interest. Askel 6 sovittaa piirretyn kiinnostusalueen kappaleeseen siten, että kaikki joka on suorakulmion sisällä lasketaan tilavuudeksi. Täten taso asettuu sen mukaan mitä valitaan; jos valitaan Constant height surface (vakiokorkeustaso), tasosta tulee xy-tason suuntainen kuten tässä tapauksessa. Esimerkiksi Plane surface suuntautuu pinnanmuotojen mukaan jos siinä on korkeuseroja. Askeleessa 7 käytetään Display-työkalua, jolla saadaan näytettyä kuvapankki 0:ssa oleva kuva Run-tilassa.

3.5.2 Kelkan resetointi

Askeleissa 8-12 odotetaan, että kelkka viedään takaisin alkupisteeseen, koska kyseessä ei ole jatkuvasti pyörivä liukuhuhna. Askeleessa 8 oleva Get Encoder Tick –työkalu hakee sillä hetkellä olevan pulssilukeman, joka on saatu pulssianturilta. Ideana on, että odotetaan pulssilukeman olevan sen arvon alla, joka on ennen kuvan liipaisevaa valokennoa. Askeleessa 9 oleva While-silmukka käskee palaamaan askeleeseen 8 niin kauan kunnes pulssilukema on sallitun alapuolella. Control Expression -kohdassa oleva kaava "=S8R1>65700" ilmaisee, että While-silmukan sisällä olevaa askelta 9 täytyy jatkaa niin kauan kun pulssilukema (askeleen 8 tulos 1) on suurempi kuin 65700. Askeleessa 12 annetaan käyttäjälle reaktioaika, jotta voidaan työntää kappale uudestaan alkuasentoon kameran eteen.

3.5.3 Pinnanvaihtelu

Askeleet 14-17 koskevat pinnanvaihtelun tutkimista. Askeleessa 14 otetaan uusi kuva ja korvataan vanha kuvapankissa 0. Askeleessa 6 tallennettu pinta (Fit Surface) on tallennettu kuvapankkiin 1. Seuraavaksi askeleessa 15 määritellään ROI, jonka sisällä tutkitaan pinnanvaihtelua. Sen jälkeen itse pinnanvaihteluaskel 16 (Deviation). Tähän työkaluun syötetään kuvapankin numero, jossa kuva on, edellinen askel sisältäen kiinnostuskohteen sekä aikaisemmin askeleessa 6 määritelty kappaleen ylätasoa (katso kuvio 8). Outlier distance –kohtaa voidaan käyttää määrittelemään pinnanvaihtelun arvo, jota isommat luvut voidaan jättää huomioimatta, tässä arvona oli 20 millimetriä. Viimeisenä siirretään askeleessa 17 pinnanvaihteluaskeleesta saatu maksimipinnanvaihtelu taulukkoon riville 2. IVC Studioissa ohjelmien ohelle voidaan luoda taulukko, johon tallennetaan arvoja muuttujille, joita halutaan käyttää ohjelmassa useamman kerran ja myös näyttämään laskutoimitusten tuloksia.

Mitataan pinnan epätasaisuus					
 16	Deviation				-
	01 = Source bank	0	-----	-----	-----
	02 = ROI definition step	15	-----	-----	-----
	03 = Surface definition step	6	-----	-----	-----
	04 = Outlier distance (mm)	20	-----	-----	-----
	Time of execution (µs)	0			-
	01 = Mean deviation (mm)	1,490276			
	02 = Max deviation (mm)	9,980692			

KUVIO 8. Pinnanvaihtelutyökalu (Deviation)

3.5.4 Pinnanvaihtelun ehdot

Jotta saataisiin kameran kameralta jokin merkki siitä onko kuvattu kappale sallitun pinnanvaihtelun sisällä, täytyy tehdä ehtolause työkalulla if. Näin on tehty askeleissa 18-24. If-työkalussa sijaitseva kaava "=S16R2>V0" kertoo, että jos askeleesta 16 saatu maksimipinnanvaihtelun tulos R2 (Result 2) on suurempi kuin taulukossa rivillä 0 (V0) oleva arvo (tässä olen asettanut sen arvoon 2 millimetriä) täytyy asettaa lähtö 0 päälle ja jatkamaan askeleeseen 25. Lähdössä 0 ei ole fyysisesti vielä mitään, mutta siihen voi kytkeä vaikka LED-lampun ilmaisemaan virheellistä lankunpätkää tai se voi johtaa logiikalle tulona, jolloin kappale ohjautuu esimerkiksi virheellisten kappaleiden linjalle. Muussa tapauksessa lähtö 0 pysyy poissa päältä ja jatketaan askeleeseen 25.

3.5.5 Tilavuuden lasku

Askeleissa 25-31 lasketaan kappaleen tilavuus. Pinnasta virheitä täynnä oleva kappale on myös vähän lyhyempi kuin ehjä, joten eron näkee hyvin. Ensinnäkin täytyy määritellä nollataso, josta lähtien tilavuutta joudutaan

laskemaan. Kappaleen vasemmalle puolelle tehdään ROI (Askel 25) ja myös oikealle puolelle (Askel 26). Näin varmistetaan, että nollataso on suorassa kummankin puolen osalta. Askeleessa 27 yhdistetään nollatasot käyttämällä ROI Union –työkalua, koska Fit Surface -työkaluun voi laittaa vain yhden ROI-askeleen. Seuraavaksi käytetään tätä kyseistä tasotyökalua. Käyttämällä vaihtoehtoa Constant height surface saadaan nollataso, josta voidaan alkaa laskea tilavuutta. Ensiksi täytyy kumminkin askeleessa 29 määrittää kiinnostusalue (ROI), josta tilavuus lasketaan. Sitten Volume-työkalua käyttämällä syötetään askel, jossa määriteltiin tilavuudenlaskualue ja nollataso, josta tilavuutta lähdetään laskemaan (kuvio 9). Kun tulos on saatu kohtaan R1 askeleessa 30, se siirretään taulukkoon riville 1 (Askel 31).

Lasketaan kappaleen tilavuus					
30	Volume			-	
	01 = Source bank	0	-----	-----	-----
	02 = ROI definition step	29	-----	-----	-----
	03 = Surface definition step	28	-----	-----	-----
	Time of execution (µs)	0			-
	01 = Volume (mm ³)	337620,3			

KUVIO 9. Tilavuudenlaskutyökalu

3.5.6 Loppuaskleet

Lopuksi voidaan laittaa vielä taulukkoon saadut arvot näytölle Run-tilassa. Tämä saadaan Display-työkalua käyttämällä klikkaamalla Table-saraketta muuttujille tarkoitetuissa kohdissa (Variable), ja kirjoittamalla siihen taulukon rivin numero. Askeleeseen 33 laitoin aikaviiveen 2000 millisekuntia, jotta virheellisen kappaleen ilmaantuessa lampun pystyy näkemään olevan päällä. Lopuksi vielä nollataan lähtö 0 ja palataan kelkanresetoimisaskeleeseen 8.

4 YHTEENVETO

Työssä tarkoituksena oli saada aikaan opetusväline Lahden ammattikorkeakoululle, ja mahdollistaa 3D-kameran käyttö käytännössä niille tarkoitettussa kurssissa. Suurin osa tavoitteista tässä opinnäytetyössä täyttyivät. Sekä pinnanvaihtelun mittaus ja tilavuuden lasku onnistuivat odotuksieni mukaan. Aluksi pintojen määrittely oli hankalaa, mutta kokeilun ja virheiden avulla oikeanlaiset tulokset lopulta syntyivät. Tärkein asia, joka ei toiminut, olivat Run-tilaan tarkoitettut näytöt. Näiden näyttötyökalujen oli tarkoitus ilmaista otettujen kuvien tulokset, ja näyttää saadut pinnanvaihtelun ja tilavuuden arvot reaaliajassa. Myös digitaaliselle lähdölle 0 tarkoitettu LED-lamppu puuttuu, joten virhetilaa ei voi muuten nähdä, kuin taulukkoon ilmestyvästä arvosta ja vertaamalla sitä riville 0 asetettuun arvoon. Run-tilan ongelmia yritin selvittää ottamalla yhteyttä SICKin Support Portal –sivulle. Support Portalista otettiin minuun yhteyttä, ja he yrittivät ehdottaa artikkelia, joka koski Run-tilaa IVC Studioissa. Sen jälkeen koitin tehdä tämän artikkelin mukaiset tarkistukset siitä, missä vika saattoi olla.

Pääkohta näissä ohjeissa oli se, että piti tarkistaa oliko tietokoneen palomuuuri sellaisessa tilassa, että se toimisi silloin, kun käytetään suoraa Ethernet-yhteyttä. Tarkistin kaikki asetukset, joita pystyin muuttamaan mutta Run-tila ei silti toiminut. Support Portalista ei tämän enempää pystytty auttamaan tässä asiassa, joten reaaliaikaisia tuloksia ilmaiseva näyttöruutu jäi toimimattomaksi.

LÄHTEET

Cognex Corporation 2016. Introduction to Machine Vision. A guide to automating process & quality improvements. [viitattu 16.04.2018].

Saatavissa:

https://www.assemblymag.com/ext/resources/White_Papers/Sep16/Introduction-to-Machine-Vision.pdf

Cognex Corporation 2017. Machine Vision [viitattu 15.12.2017].

Saatavissa: <http://www.cognex.com/products/machine-vision/?pageid=14404&langtype=2057>

SICK AG 2013. Application Programming IVC 3D. Reference Manual [viitattu 09.12.2017].

Saatavissa:

https://www.sick.com/media/docs/2/22/322/User_manual_Application_Programming_IVC_3D_en_IM0037322.PDF

SICK AG 2017a. 3D-konenäkö. IVC 3D 50 [viitattu 15.12.2017].

Saatavissa: <https://www.sick.com/fi/fi/konenaekoe/3d-konenaekoe/ivc-3d/ivc-3d21111/p/p148161>

SICK AG 2017b. Industrial Vision Camera IVC 3D. Operating Instructions [viitattu 09.12.2017].

Saatavissa:

https://www.sick.com/media/docs/4/04/604/Operating_instructions_Industrial_Vision_Camera_IVC_3D_en_IM0021604.PDF

SICK AG 2017c. SICK Stegmann. DRS 61: Incremental Encoders, number of lines and zero pulse width freely programmable. Data Sheet [viitattu 10.12.2017].

Saatavissa:

https://www.sick.com/media/docs/3/03/203/Product_information_DRS60_DRS61_Incremental_Encoders_en_IM0011203.PDF

SICK AG 2018a. Missiomme [viitattu 14.04.2018].

Saatavissa: <https://www.sick.com/fi/fi/filosofiamme/johtoajatus/w/mission-statement/>

SICK AG 2018b. Sensor Intelligence [viitattu 14.04.2018].

Saatavissa: <https://www.sick.com/fi/fi/tietoa-meistae/sensor-intelligence-organisoitulevaisuuden-tehtaan/w/business-fields/>

SICK AG 2018c. SICKin Historia [viitattu 11.04.2018].

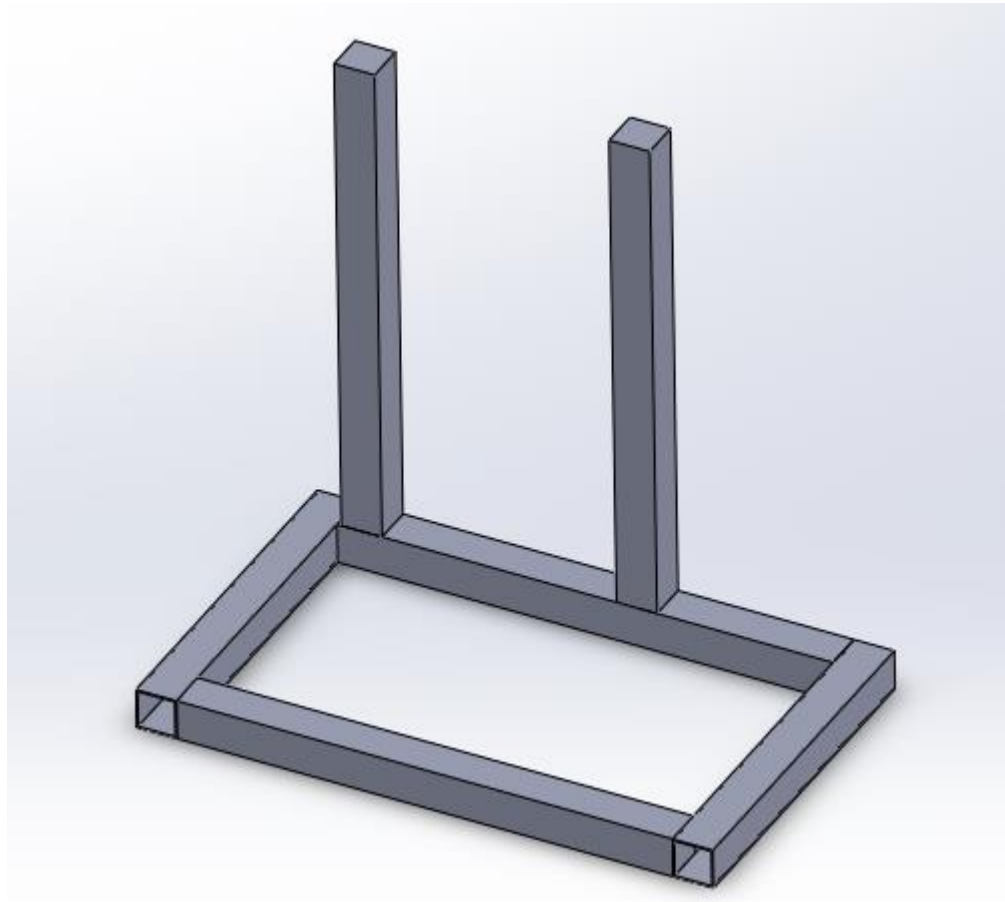
Saatavissa: <https://www.sick.com/fi/fi/tietoa-meistae/sickin-historia/w/the-history-of-sick/>

Thomasnet 2018. An Introduction to Machine Vision Systems [viitattu 16.04.2018]

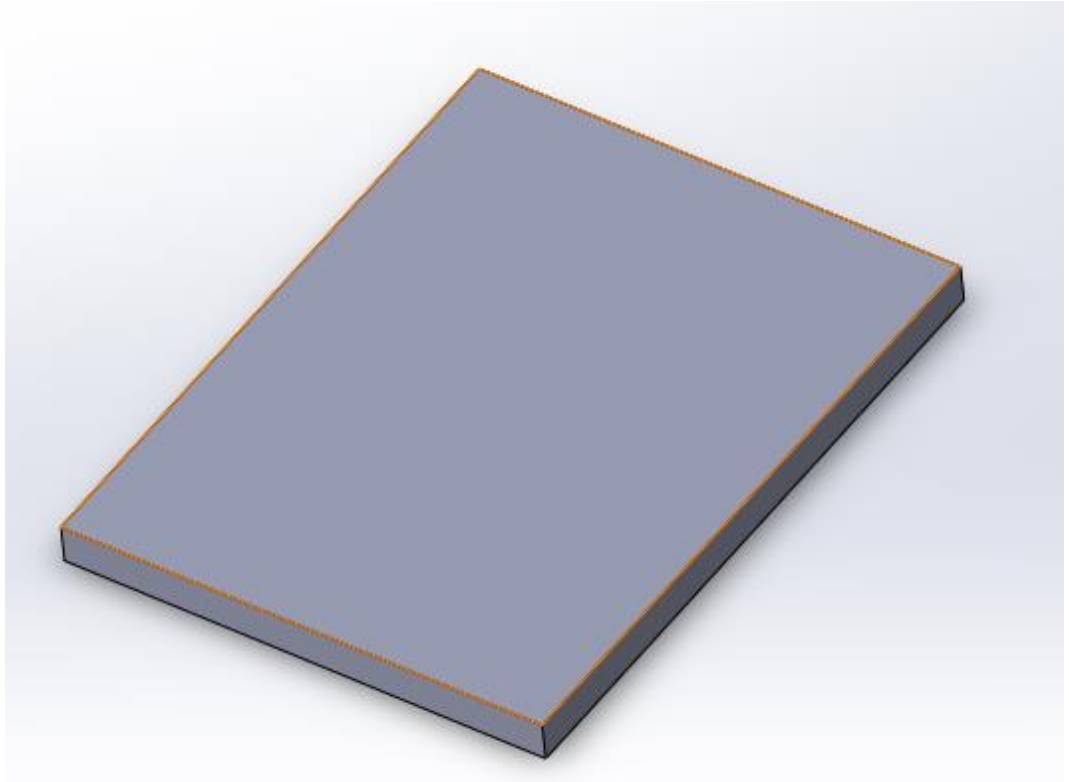
Saatavissa: <https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/machine-vision-systems>

LIITTEET

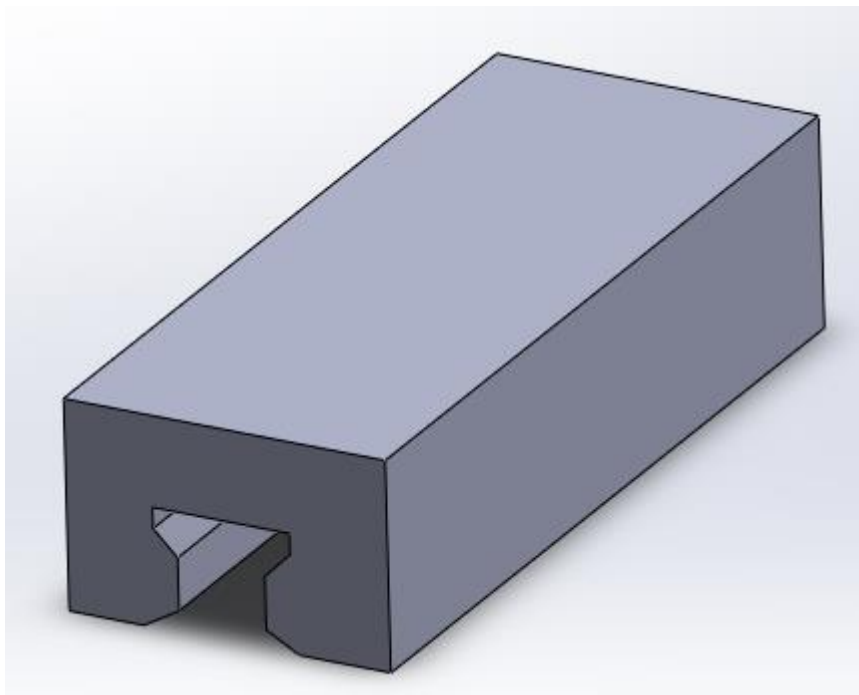
LIITE 1. 3D-mallit



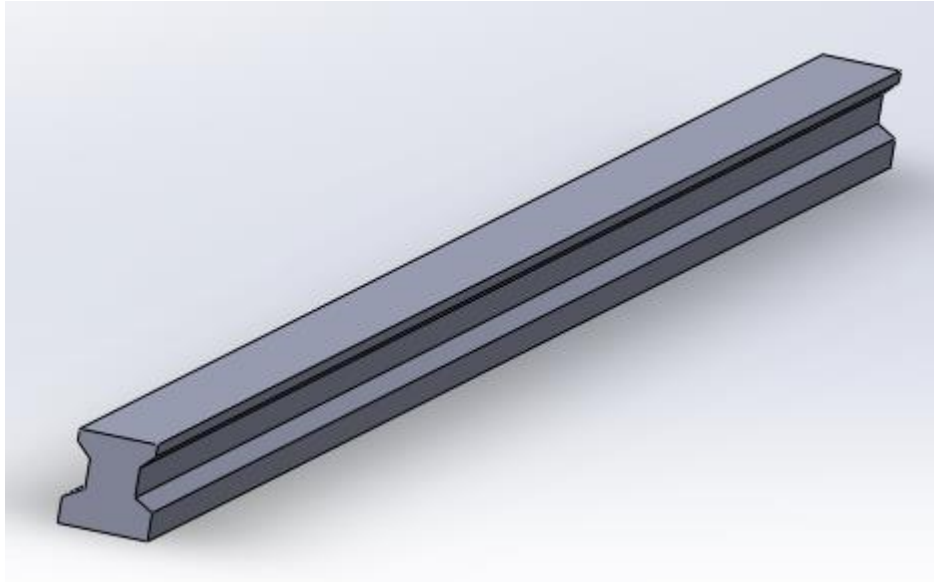
POHJAKEHIKKO



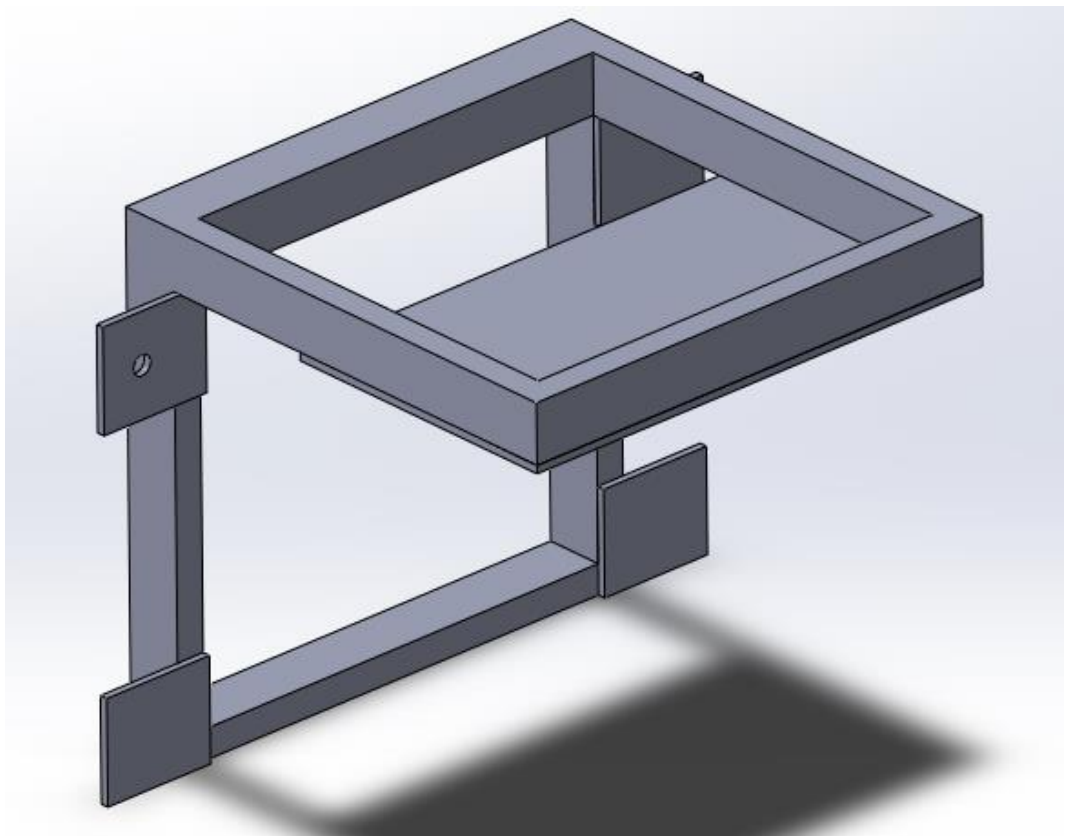
KELKAN ALUSTA



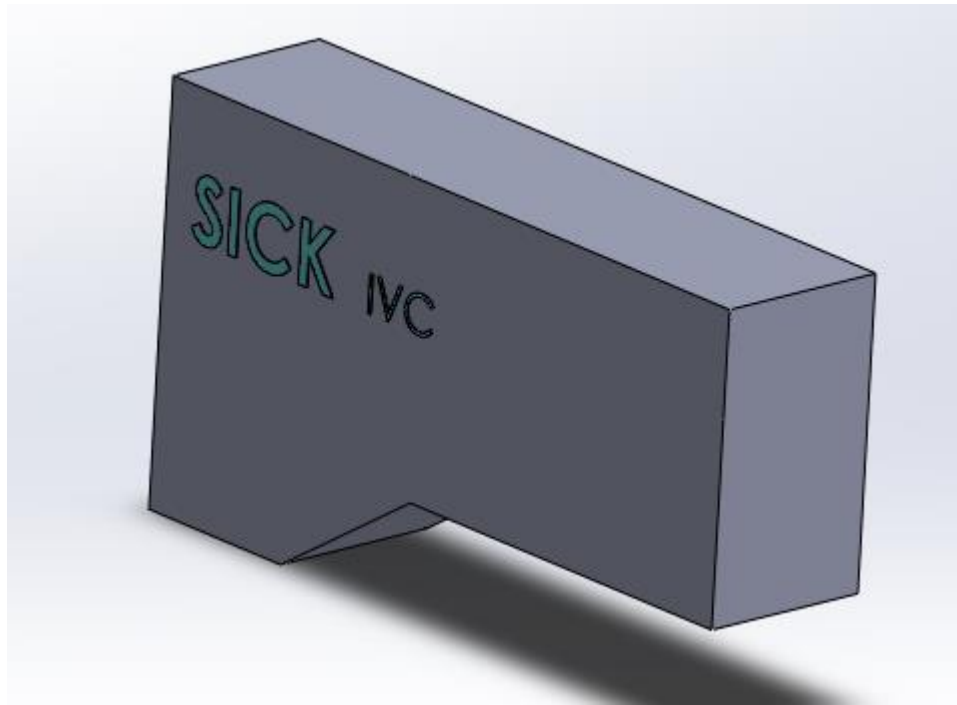
KELKKA



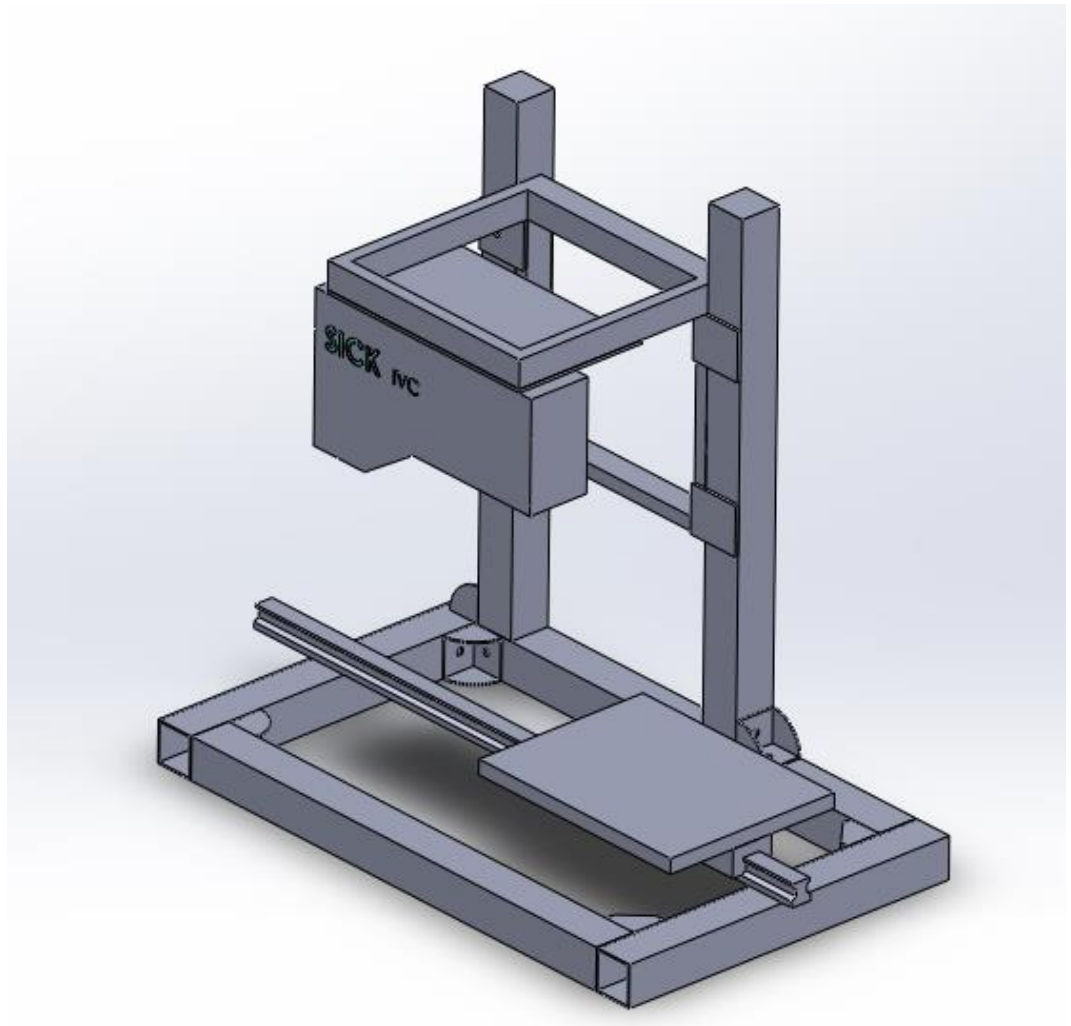
KISKO



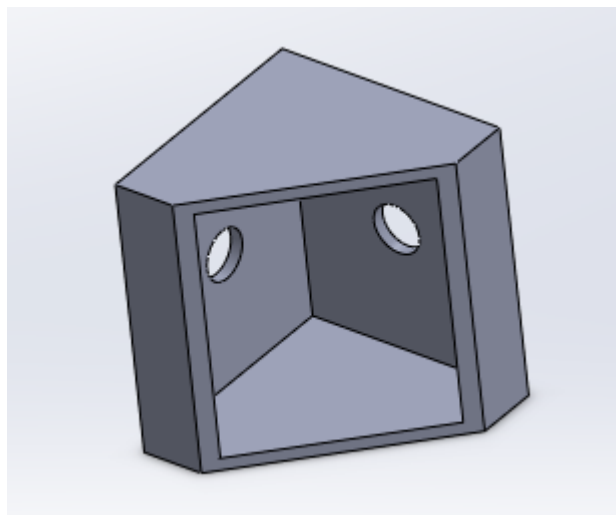
KAMERAN KIINNITYS



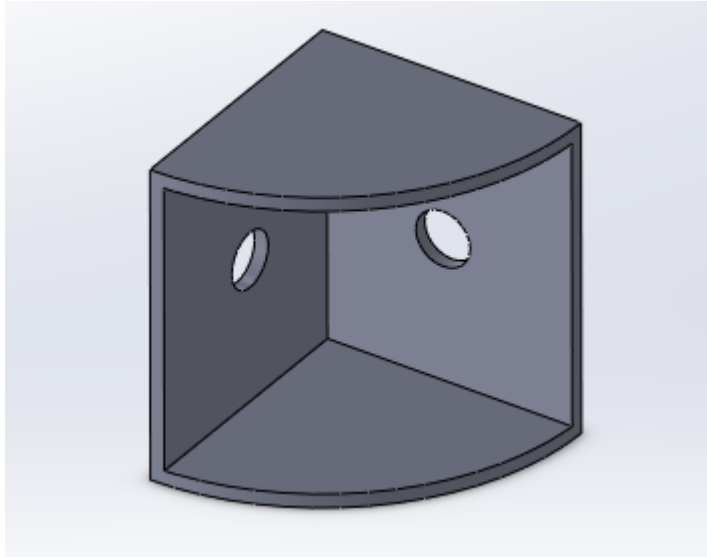
KAMERA



KOKOONPANO



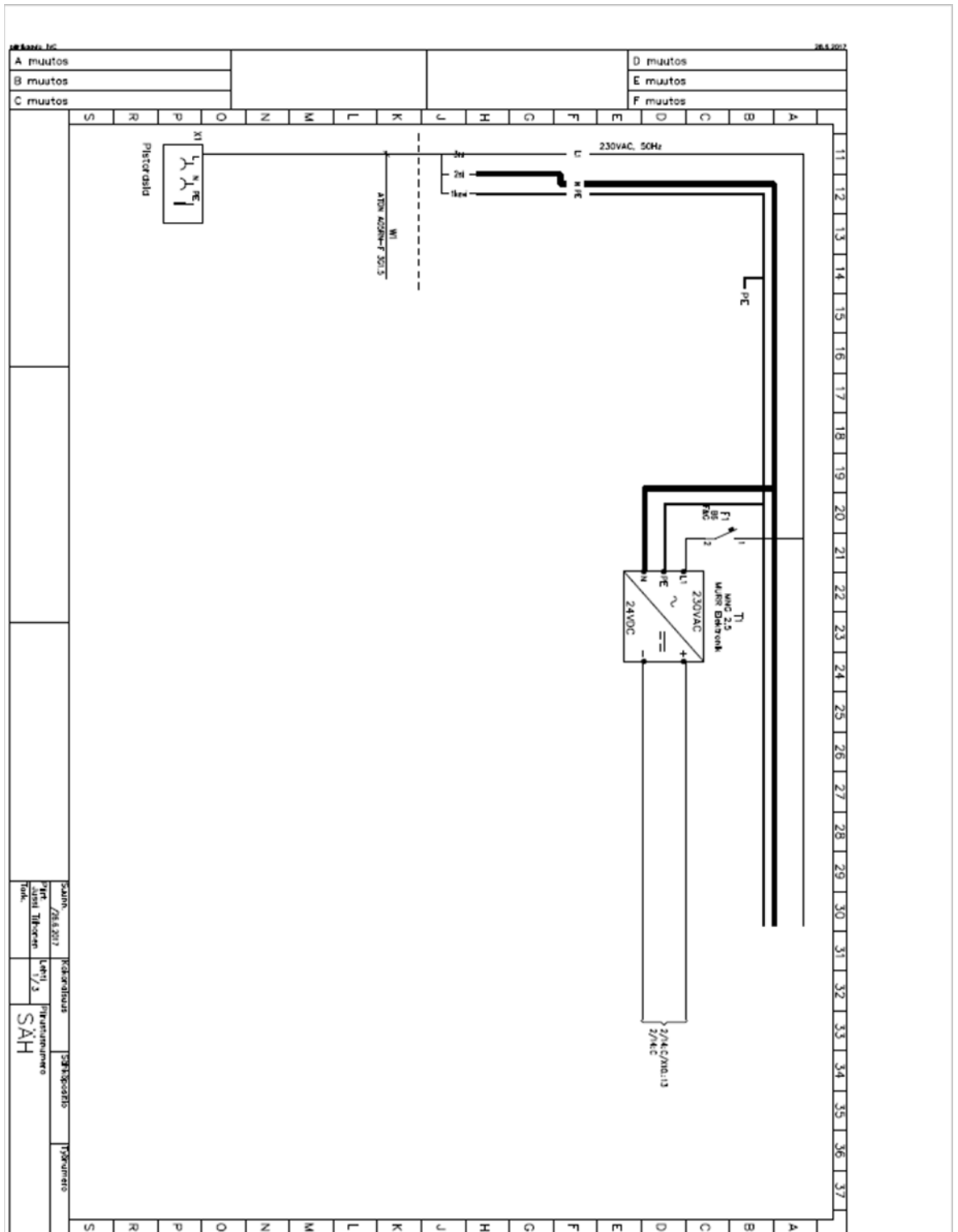
KULMAKIINNIKE

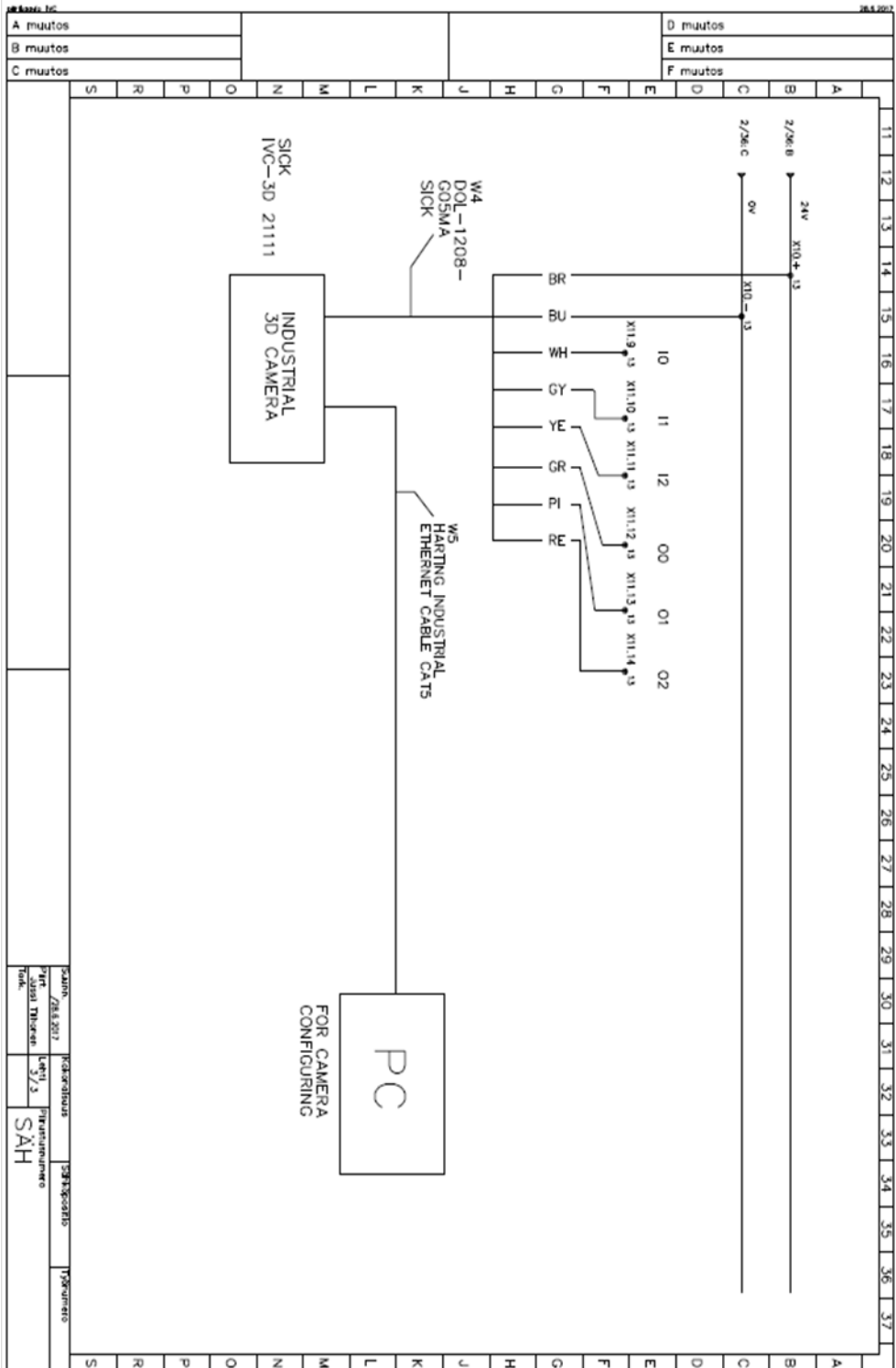


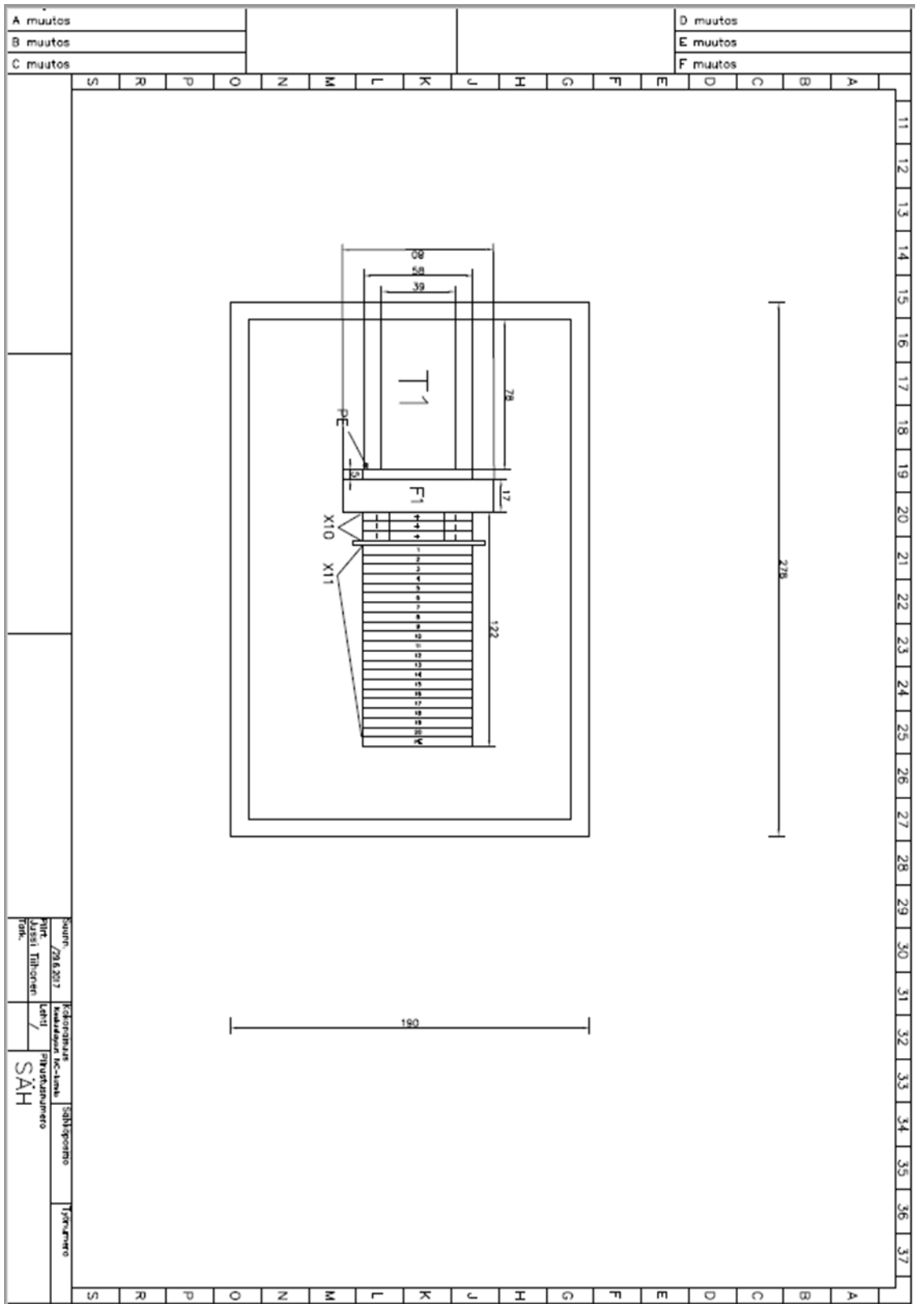
KAARIKIINNIKE

LIITE 2. Tekninen piirustus kamerakokoonpanosta

LIITE 3. Sähkökuvat














KESKUSLAYOUT






LIITE 4. Komponenttilista

No.	KOODI	KOMPONENTTI	MALLI	MÄÄRÄ	VALMISTAJA
1	85 200	Muuntaja	MNG 2,5 - 230/24	1	Murr Elektronik
		Johdonsuojakytkin	B6	1	F & G
	3044636	Riviliitin	UTT B 2,5	3	Phoenix Contact
	3044076	Riviliitin	UT 2,5 3044076	20	Phoenix Contact
	3215915	Riviliitin	UT 16-PE/S	2	Phoenix Contact
		Välilevy		2	Phoenix Contact








LIITE 5. Kameran ohjelma







	Description	Value	Table	Previous Result	
				Step	Result
Ethernet yhteyden salliminen					
	Enable Ethernet				—
0	01 = Status	True	-----	-----	-----
	Time of execution (µs)	0			
Wait					
	Wait				—
1	01 = Wait time (ms)	100	-----	-----	-----
	Time of execution (µs)	0			
Virheen käsittely					
	If Error Goto				—
2	01 = Goto step	3	-----	-----	-----
	02 = Continue to next step	False	-----	-----	-----
	Time of execution (µs)	0			—
	01 = Last step with error	-1			
	02 = Last error code	0			
Kameran asetukset					
	Grab Setup				—
Setup	Time of execution (µs)	0			
Mallikuvan siirto kuvapankkiin					
	Grab				—
4	01 = Destination bank	0	-----	-----	-----
	02 = Timeout (ms)	3000	-----	-----	-----
	Time of execution (µs)	0			—
	01 = Lost images	0			
	02 = Tick count at grab start	65929			
	03 = File Name	.			
	04 = Tick count at grab stop	80929			





Mallikappaleen alueen määrittäminen					
	ROI Rectangle				-
	01 = X offset	0	.....	.....	.....
	02 = Y offset	0	.....	.....	.....
	03 = X coordinate	82	.....	.....	.....
	04 = Y coordinate	75	.....	.....	.....
	05 = Width	452	.....	.....	.....
	06 = Height	466	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0			
Yläpinnan määrittäminen					
	Fit Surface				-
	01 = Source bank	0	.....	.....	.....
	02 = ROI definition step	5	.....	.....	.....
	03 = Surface type	Plane surface	.....	.....	.....
	04 = Outlier distance (mm)	0	.....	.....	.....
	05 = Destination bank	1	.....	.....	.....
	06 = Background ratio [0-100%]	0	.....	.....	.....
	07 = Output	Surface in ROI	.....	.....	.....
	08 = Fill missing data	Disabled	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0			-
	01 = A ₀ (mm)	65,2673			
	02 = A _x (mm/pixel)	-0,003087569			
	03 = A _y (mm/pixel)	0,0009899297			
	04 = A _{xx} (mm ² /pixel ²)	0			
05 = A _{xy} (mm ² /pixel ²)	0				
06 = A _{yy} (mm ² /pixel ²)	0				




	Description	Value	Table	Previous Result		
				Step	Result	
	Display					—
	01 = Source bank	0	.....	.....	.....
	02 = Binarized color	250	.....	.....	.....
	03 = Variable 1	0	.....	.....	.....
	04 = Variable 2	0	.....	.....	.....
	05 = Variable 3	0	.....	.....	.....
	06 = Variable 4	0	.....	.....	.....
	07 = Variable 5	0	.....	.....	.....
	08 = Variable 6	0	.....	.....	.....
	09 = Variable 7	0	.....	.....	.....
	10 = Variable 8	0	.....	.....	.....
	11 = Variable 9	0	.....	.....	.....
	12 = Variable 10	0	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0				
Kelkan sijainti						
	Get Encoder Tick [Not emulated]					
	8	Time of execution (µs)	0		—	
		01 = Encoder tick	48			
Odotetaan, että kelkka on alkupisteessä						
	While					—
	9	01 = Control expression	=S8R1>65700
		02 = END step	11
		Time of execution (µs)	0			
Katsotaan kelkan sijainti uudelleen						
	Goto					—
	10	01 = Goto step	8
			Time of execution (µs)	0		
While: END						
	End					—
	11	01 = Start step	9
			Time of execution (µs)	0		





	Description	Value	Table	Previous Result	
				Step	Result
11	Time of execution (μ s)	0			
Annetaan käyttäjälle reaktioaika					
12	Wait				—
	01 = Wait time (ms)	500	-----	-----	-----
	Time of execution (μ s)	0			
Kameran asetukset					
13	Grab Setup			Setup	
	Time of execution (μ s)	0			
Otetaan uusi kuva pintavertailua varten					
14	Grab				—
	01 = Destination bank	0	-----	-----	-----
	02 = Timeout (ms)	3000	-----	-----	-----
	Time of execution (μ s)	0			—
	01 = Lost images	-1			
	02 = Tick count at grab start	-1			
	03 = File Name	'			
	04 = Tick count at grab stop	15413			
Kuvattava alue pintavertailua varten					
15	ROI Rectangle				—
	01 = X offset	0	-----	-----	-----
	02 = Y offset	0	-----	-----	-----
	03 = X coordinate	79	-----	-----	-----
	04 = Y coordinate	77	-----	-----	-----
	05 = Width	456	-----	-----	-----
	06 = Height	463	-----	-----	-----
	Time of execution (μ s)	0			

	Description	Value	Table	Previous Result	
				Step	Result
 15	06 = Height	463	-----	-----	-----
	Time of execution (µs)	0			
Mitataan pinnan epätasaisuus					
 16	Deviation				—
	01 = Source bank	0	-----	-----	-----
	02 = ROI definition step	15	-----	-----	-----
	03 = Surface definition step	6	-----	-----	-----
	04 = Outlier distance (mm)	20	-----	-----	-----
	Time of execution (µs)	0			—
	01 = Mean deviation (mm)	1,490276			
	02 = Max deviation (mm)	9,980692			
Lisätään pinnanvaihtelun arvo taulukkoon					
 17	Write to Table				—
	01 = Value	=S16R2	-----	-----	-----
	02 = Table index	2	-----	-----	-----
	Time of execution (µs)	0			
Asetetaan ehto pinnanvaihtelulle					
 18	If				—
	01 = Control expression	=S16R2 > V0	-----	-----	-----
	02 = ELSE or END step	21	-----	-----	-----
	Time of execution (µs)	0			
OUTPUT					
 19	Set Output				—
	01 = Output number	0	-----	-----	-----
	02 = Signal value	High	-----	-----	-----
	Time of execution (µs)	0			—
 20	01 = Encoder tick	17879			
	Goto				
 20	Goto				—
	01 = Goto step	25	-----	-----	-----
	Time of execution (µs)	0			

	Description	Value	Table	Previous Result	
				Step	Result
 20	Time of execution (µs)	0			
Else					
 21	01 = IF step	18	.....	.....	.....
	02 = END step	24	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0			
Set Output					
 22	01 = Output number	0	.....	.....	.....
	02 = Signal value	Low	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0			
	01 = Encoder tick	17288			
Goto					
 23	01 = Goto step	25	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0			
End					
 24	01 = Start step	18	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0			
Nollataso vasemmalla puolella					
ROI Rectangle					
 25	01 = X offset	0	.....	.....	.....
	02 = Y offset	0	.....	.....	.....
	03 = X coordinate	9	.....	.....	.....
	04 = Y coordinate	50	.....	.....	.....
	05 = Width	36	.....	.....	.....
	06 = Height	678	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0			

	Description	Value	Table	Previous Result	
				Step	Result
 25	06 = Height	678	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0			
Nollataso oikealla puolella					
 26	ROI Rectangle				—
	01 = X offset	0	.....	.....	.....
	02 = Y offset	0	.....	.....	.....
	03 = X coordinate	562	.....	.....	.....
	04 = Y coordinate	39	.....	.....	.....
	05 = Width	30	.....	.....	.....
	06 = Height	653	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0			
Yhdistetään nollatasot					
 27	ROI Union				—
	01 = ROI A definition step	25	.....	.....	.....
	02 = ROI B definition step	26	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0			
Nollapinta tilavuuden laskua varten					
 28	Fit Surface				—
	01 = Source bank	0	.....	.....	.....
	02 = ROI definition step	27	.....	.....	.....
	03 = Surface type	instant height surface	.....	.....	.....
	04 = Outlier distance (mm)	0	.....	.....	.....
	05 = Destination bank	2	.....	.....	.....
	06 = Background ratio [0-100%]	0	.....	.....	.....
	07 = Output	Surface in ROI	.....	.....	.....
	08 = Fill missing data	Disabled	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0			—
	01 = Ao (mm)	43,93616			
	02 = Ax (mm/pixel)	0			
	03 = Ay (mm/pixel)	0			
	04 = Axx (mm ² /pixel ²)	0			
05 = Axy (mm ² /pixel ²)	0				
06 = Ayy (mm ² /pixel ²)	0				

	Description	Value	Table	Previous Result		
				Step	Result	
Tilavuudenlaskualue						
	ROI Rectangle				-	
	01 = X offset	0	.....	.....	.....
	02 = Y offset	0	.....	.....	.....
	03 = X coordinate	65	.....	.....	.....
	04 = Y coordinate	50	.....	.....	.....
	05 = Width	495	.....	.....	.....
	06 = Height	504	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0				
Lasketaan kappaleen tilavuus						
	Volume				-	
	01 = Source bank	0	.....	.....	.....
	02 = ROI definition step	29	.....	.....	.....
	03 = Surface definition step	28	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0				
	01 = Volume (mm3)	337620,3				
Tallennetaan tilavuuden arvo taulukkoon						
	Write to Table				-	
	01 = Value	=S30R1	.....	.....	.....
	02 = Table index	1	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0				

Näytetään saatu kuva näytöllä						
	Display				-	
	01 = Source bank	0	.....	.....	.....
	02 = Binarized color	250	.....	.....	.....
	03 = Variable 1	35,4472160339355	1	.....	.....
	04 = Variable 2	9,59419441223145	2	.....	.....
	05 = Variable 3	0	.....	.....	.....
	06 = Variable 4	0	.....	.....	.....
	07 = Variable 5	0	.....	.....	.....
	08 = Variable 6	0	.....	.....	.....
	09 = Variable 7	0	.....	.....	.....
	10 = Variable 8	0	.....	.....	.....
	11 = Variable 9	0	.....	.....	.....
	12 = Variable 10	0	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0				
Annetaan outputin olla päällä 2 sekuntia						
	Wait				-	
	01 = Wait time (ms)	2000	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0				
Nollataan Output 0 tila						
	Set Output				-	
	01 = Output number	0	.....	.....	.....
	02 = Signal value	Low	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0				
	01 = Encoder tick	17290				
Palataan uuden kuvan ottamiseen						
	Goto				-	
	01 = Goto step	8	.....	.....	.....
	Time of execution (µs)	0				

Index	DB Value	Value on Device	Description
0	2	2	Sallittu maksimipinnanvaihtelu millimetreinä
1	35,4472...	35,447216...	Kappaleen tilavuus
2	9,59419...	9,5941944...	maksimipinnanvaihtelu millimetreinä
3	0	0	
4	0	0	
5	0	0	
6	0	0	

TAULUKKO IVC STUDIOSSA KÄYTETTYIHIN MUUTTUJIIN