

Jere Lähde

Röntgenkuvalevyjen tarkistamisen automaatio konenäkörobotilla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

15.3.2018

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Jere Lähde Röntgenkuvalevyjen tarkistamisen automatisointi konenäkörobotilla 37 sivua + 10 liitettä 21.8.2017
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneautomaatio
Ohjaajat	Olli Rantala, Development manager Antti Liljaniemi, Lehtori
<p>Insinööriyössä selvitettiin röntgenkuvalevyjen visuaalisen laaduntarkistuksen automatisaation mahdollisuuksia. Työssä pyrittiin löytämään kustannustehokas ratkaisu tällaisen tarkastusaseman toteuttamiseen. Tämän vuoksi työssä selvitettiin, mikä lähestymistapa palvelee yrityksen tarpeita parhaiten: ”avaimet käteen”-ratkaisu, osakokonaisuuksien teettäminen, itserakentaminen vai jokin näiden yhdistelmä. Lisäksi selvitettiin, voidaanko yrityksen sisäistä osaamista hyödyntää tässä työssä. Laitteeseen valmistettiin myös osia Kavo Kerr Group:n omassa koneistamossa.</p> <p>Työssä kehitetään laite, jolla helpotetaan ja nopeutetaan kuvalevyjen tarkistusprosessia. Kuvalevyjen tarkistaminen sitoo vähintään yhden operaattorin joka päivä. Vuositasolla menetetty resurssi on jo kohtalaisen suuri. Laite koostuu manipulaattorista ja konenäkö tarkistuspisteestä. Manipulaattori on lineaarirobotti, joka siirtää kuvalevyjä kuvauspisteeseen. Kuvauspisteessä röntgenkuvalevystä otetaan kuva ja konenäköalgoritmi määrittää, onko kuvalevy sallituissa rajoissa, eli onko kuvalevyssä pintavirheitä, jolloin se hylätään. Tarkistusnopeus kasvaa, koska kameralla menee vain sekunnin murto-osa kuvan ottamiseen. Ihmissilmä myös väsyä tämän tyyppisestä työstä ja laadun taso laskee päivän aikana. Konenäköalgoritmi ei ole yhtä tarkka kuin ihmissilmä, mutta konenäöllä taataan tasainen laatu.</p> <p>Projektissa päästiin toteuttamaan prototyyppi tarkistuslaitteesta. Prototyypin manipulaattori rakennettiin Feston lineaariakseleista ja konenäkösovelluksen toteutti RoimaINT. Työn aikana päädyttiin siihen tulokseen, että robotti on toteutettavissa talosta löytyvillä resursseilla, mutta konenäkösovellus vaikuttaa niin merkittävästi asiakkaalle menevään tuotteen, että se teetettiin alihankkijalla.</p>	
Avainsanat	Röntgen, kuvalevy, konenäkö, lineaarirobotti, XYZ-robotti

Author Title Number of Pages Date	Jere Lähde Automated Inspection of Imaging Plates with a Machine Vision Robot 37 pages + 10 appendices 21 August 2017
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Professional Major	Machine Automation
Instructors	Olli Rantala, Development Manager Antti Liljaniemi, Senior Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to find an automated solution for quality inspection of x-ray imaging plates. The project was started with a general research of firms in this field of business and gathering information about conducting inspections with a machine vision. The device can be either made entirely by another company or we can use the resources found inside of KKG or a combination of the two. KKG has its own machine shop, which can be used to manufacture parts for a prototype or the final device.</p> <p>The purpose of the device is to make the visual inspection process of imaging plates easier. At present the imaging plates are inspected by an operator, which is a monotonous job. The quality of the inspection also wavers during the day, because it is hard for the human eye to keep inspecting imaging plates that can have only minimal scratches and imperfections. The device consists of a robot that can take an imaging plate out of the box and move the imaging plate into a machine vision inspection device. The machine vision algorithm then decides if the plate passes or fails. Then the imaging plate is sorted to a pass or fail box. The operator needs only to load the device with new plates and remove the inspected plates. This freed resource can be used in other jobs on the manufacturing line.</p> <p>A working prototype was made with three Festo linear axes. The third axis has a suction cup attached to it, with which it can manipulate the imaging plates. The machine vision inspection device and algorithm were bought from a firm called RoimaINT, which provided the camera, lights, software and machine vision expertise. An expert firm was chosen because the machine vision inspection is a key element in the product and has a major impact on the product.</p>	
Keywords	X-ray, imaging plate, Linear axis, XYZ-robot

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Röntgenkuvalevyjen visuaalinen tarkistaminen konenäöllä	1
1.2	Projektin aikataulun runko	2
2	KaVo Kerr Group	3
2.1	Historia	3
2.2	KaVo Kerr Group tänään	4
2.3	Danaher ja Danaher Business System	4
3	Röntgenkuvalevy	6
3.1	Kuvalevyn käyttö	6
3.2	Kuvalevyn rakenne	7
4	Sopivien alihankkijoiden kartoittaminen	9
4.1	Kartoitus- ja hankintavaihe	9
4.2	SICK oy	9
4.2.1	Yrityksen toiminta	9
4.2.2	Ennakkotestin lähtökohdat	10
4.2.3	Testin kulku	11
4.2.4	Ennakkotestin tulokset	13
4.3	Festo	16
4.3.1	Yrityksen toiminta	16
4.3.2	Feston tarjoamat komponentit	17
4.4	RoimaINT	17
4.4.1	Yrityksen esittely	17
4.4.2	Roiman ehdottama kamera	18
4.5	Bosch Rexroth	18
4.6	Eidtech	19
4.6.1	Yrityksen toiminta	19
4.6.2	Eidtechin ehdotus	19
5	Hankittu manipulaattori ja konenäkösovellus	21
5.1	Päätös laitteen hankinnasta	21
5.2	Robotin mekaniikan suunnittelu	21

5.3	Sovitepalojen koneistaminen	23
5.4	Ohjelman kirjoitus, Feston Motion-kirjaston esittely	25
5.5	Robotin työsykli ja ohjausaliohjelma	29
5.6	Roima Intelligence ja konenäkösovellus	31
5.6.1	Ohjelmitava logiikka CX2030	31
5.6.2	Kamerat ja valot	32
5.6.3	Ohjelman toimintaperiaate ja kommunikointi robotin kanssa	33
6	Yhteenveto	35
6.1	Työn tulos	35
6.2	Robotin jatkosuunnitelma	35
	Lähteet	37
	Liitteet	
	Liite 1. X- ja Y-akseleiden välisen sovitinpalan työkuva	
	Liite 2. Y- ja Z-akseleiden välisen sovituspalan ensimmäisen osan työkuva	
	Liite 3. Y- ja Z-akseleiden välisen sovituspalan toisen osan työkuva	
	Liite 4. Z-akselin ja imukupin välisen sovitinpalan työkuva	
	Liite 5. Kameran ja Bosch Rexrothin 45x45L-profiilin välisen sovitinpalan työkuva	
	Liite 6. Valon ja Bosch Rexrothin 45x45L-profiilin välisen sovitinpalan työkuva	
	Liite 7. Kameran mekaanisen lineaariakselin kelkan aluslevyn työkuva	
	Liite 8. Kameran mekaanisen lineaariakselin kelkka	
	Liite 9. Kameran mekaanisen lineaariakselin kelkan työntötanko	
	Liite 10. Kameran mekaanisen lineaariakselin työntötangon jousto	

Lyhenteet

CAR	Capital appropriation request, eli hakemus pääoman käyttämiselle
DBS	Danaherin käyttämä Danaher Business System
FCT	Festo configuration tool, Feston moottorinohjainten konfigurointiohjelma
HMI	Human machine interface, jonkin koneen graafinen käyttöliittymä
IODD	IO-link device description, IO-link-toimilaitteen laitteen tulkintaohjelma
KKG	Kavo Kerr Group, hammasalan yritys, joka teetti tämän insinööriyön
PDM	Product Data Management, tuotetietojen hallinta järjestelmä
PIM	Placement, inspection ja measurement; paikoitus, tarkastaminen ja mittaminen
PLC	Programmable logic controller, ohjelmoitava logiikka
SOPAS	SICK open portal application specific software, SICKin laitteiden konfigurointityökalu
XYZ-robotti	Robotti, jolla on kolme lineaarista liikesuuntaa X-, Y- ja Z-akseli

1 Johdanto

1.1 Röntgenkuvalevyjen visuaalinen tarkistaminen konenäöllä

Insinööriyön aiheena oli selvittää röntgenkuvalevyjen visuaalisen laaduntarkistuksen automatisaation mahdollisuuksia. Työssä pyrittiin löytämään kustannustehokas ratkaisu tällaisen tarkastusaseman toteuttamiseen. Tämän vuoksi työssä selvitettiin, mikä lähestymistapa palvelee yrityksen tarpeita parhaiten: ”avaimet käteen”-ratkaisu, osakokonaisuuksien teettäminen, itserakentaminen vai jokin näiden yhdistelmä. Lisäksi selvitettiin, voidaanko yrityksen sisäistä osaamista hyödyntää tässä työssä. Kavo Kerr Group:illa (lyh. KKG) on myös oma koneistamo, jossa voidaan valmistaa osia kyseiseen tarkistuslaitteeseen. Omaa koneistamoita voidaan myös hyödyntää alkuvaiheen prototyypin valmistamisessa ja lopullisen koneen osien valmistuksessa.

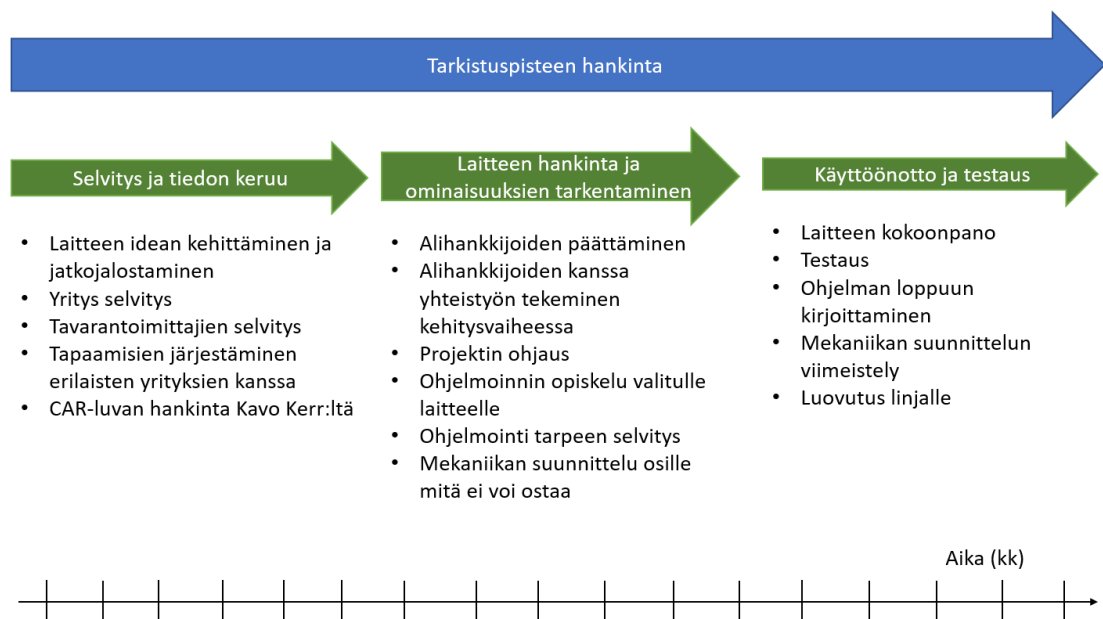
Työssä kehitetään laite, jolla oli tarkoitus helpottaa ja nopeuttaa kuvalevyjen tarkistusprosessia. Tällä hetkellä operaattori tarkistaa kuvalevyt suurennuslasin alla. Kuvalevyjen tarkistaminen sitoo vähintään yhden operaattorin joka päivä. Vuositasolla menetetty resurssi on jo kohtalaisen suuri. Yksinkertaisimmillaan laite koostuisi manipulaattorista ja konenäkö tarkistuspisteestä. Manipulaattori olisi jokin robotti, joka siirtää kuvalevyjä kuvauspisteeseen. Kuvauspisteessä röntgenkuvalevystä otetaan kuva ja konenäköalgoritmi määrittää, onko kuvalevy sallituissa rajoissa, eli onko kuvalevyssä pintavirheitä, jolloin se hylätään. Jos tarkistaminen toteutetaan konenäöllä ja manipulaattorilla, voidaan työntekijä vapauttaa muihin työtehtäviin tarkistuksen ajaksi. Tarkistusnopeus kasvaa, koska kameralla menee vain sekunnin murto-osa kuvan ottamiseen. Ihmissilmä myös väsyä tämän tyyppisestä työstä ja laadun taso laskee päivän aikana. Konenäköalgoritmi ei ole yhtä tarkka kuin ihmissilmä, mutta tarkistamisen laatu ei heittele.

Niin sanotut raakalevyt tilataan alihankkijalta. Ne toimitetaan KKG:lle 250 kappaleen laa-
tikoissa. Kuvalevyt tarkistetaan ja lähetetään toiselle alihankkijalle, missä niihin asennetaan metallinen tartuntanappi ja levyille printataan tunnistekoodi. Tämän jälkeen ne pakataan myyntilaitteisiin ja lähetetään takaisin KKG:lle. Myyntilaitteet avataan uudelleen ja niihin pakatut kuvalevyt tarkistetaan. Tämän jälkeen hyväksytyt kuvalevy-

kaukset voidaan toimittaa asiakkaalle. Tarkistusrobotin olisi tarkoitus nopeuttaa molempia tarkistusvaiheita sekä kerätä tietoa, jonka avulla voitaisiin löytää, missä vaiheessa valmistusprosessia erilaiset pintavirheet syntyvät.

1.2 Projektin aikataulun runko

Projektin aikataulu hahmoteltiin kuvan 1 mukaisesti: Selvitysvaiheessa kartutettiin tietoa erilaisista konenäkösovelluksista ja selvitettiin, millaisia yrityksiä Suomessa toimii konenäkösovelluksien parissa. Tällä tiedolla haettiin KKG:ltä CAR-luvan, jossa perusteltiin hankinnan rahallista kannattavuutta ja saatiin lopullinen päätös laitehankinnan budjetista. Hankintavaiheessa palataan työn alku vaiheessa selvitettyihin vaihtoehtoihin ja valittiin ratkaisu, joka sopii parhaiten budjettiin ja käyttötarkoitukseen. Tämän jälkeen laite kokoonpannaan, otetaan käyttöön ja testataan.

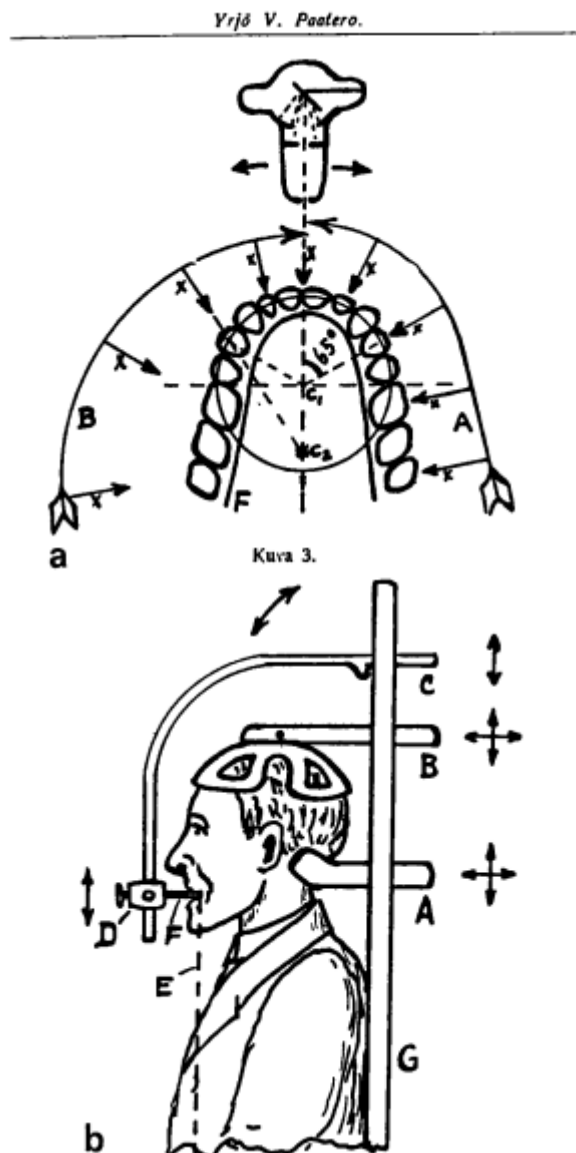


Kuva 1: Projektikaavio

2 KaVo Kerr Group

2.1 Historia

KaVo Kerr on saanut alkunsa tohtori Yrjö Veli Paateron kehittämästä panoraamaröntgenlaitteesta. Paatero julkaisi vuonna 1946 ensimmäisen tutkimuksen aiheesta, jossa hän tutki kapean röntgensäteen käyttöä panoraamakuvauksessa (kuva 2).



Kuva 2: 1947 julkaistu kuva Y.V. Paateron ensimmäisestä panoraamakuvauslaitteesta

1957 Paatero kehitti ensimmäisen version panoraamaröntgenlaitteen insinööri Tero Niemisen kanssa. Laite vietiin testaukseen Helsingin yliopistoon, missä sitä testattiin vuoteen 1960 asti. Tämän laitteen pohjalta lanseerattiin ORTHOPANTMOGRAPH® vuonna 1961.

ORTHOPANTMOGRAPH®:n tuotanto alkoi 1965 Palomexin (Panoramic Layer Observing Machine for Export) tiloissa Tuusulassa. Palomex on käynyt läpi useita nimen muutoksia, myös yrityksen omistaja on vaihtunut vuosien varrella useamman kerran, mutta tehdas on pysynyt samalla paikalla ensimmäisestä laitteesta lähtien.

[2; 3]

2.2 KaVo Kerr Group tänään

Kavo Kerr Group (lyh. KKG) on hammaskuvantamisan yritys, joka valmistaa, suunnittelee ja myy hammaskuvantamislaitteita ja sekä niiden lisäosia Tuusulassa. Suurin osa yrityksen liikevaihdosta tulee kansainvälisiltä markkinoilta, esimerkiksi Suomesta tulee vain noin 2 % liikevaihdosta. KKG:n pääkonttori ja tuotantotilat sijaitsevat Tuusulassa, missä työskentelee yli 400 henkilöä. Tuotannossa on noudatettu Lean-ajattelumallin periaatteita pitkään, ja tämän takia muut yritykset tulevat usein tutustumaan KKG:n tuotantotiloihin ja -tapoihin. KKG:n liikevaihto oli vuonna 2016 150 399 k€ ja liikevoitto oli samana vuonna 22 196 k€. [1]

2.3 Danaher ja Danaher Business System

KKG:n omistaa Danaher, joka on yhdysvaltalainen sijoitusyhtiö, joka ostaa teknologia-alan yrityksiä. Hankinnan jälkeen Danaher pyrkii vaikuttamaan yrityksen toimintaan omilla Danaher Business System (DBS) -työkaluilla ja kouluttaa yrityksessä olevat henkilöt käyttämään niitä. Liiketoimintajärjestelmä perustuu Lean-periaatteiden noudattamiseen ja antaa yritykselle työkaluja tehostaa omaa toimintaansa ja mittareita joilla he voivat aidosti tehostaa toimintaansa. Kuvassa 3 on esitetty DBS-kaavio, joka kuvaa Danaherin ja DBS:n toimintaperiaatteita. Keskiössä ovat laatu, toimitukset, hinta sekä innovaatiot. Tässä insinööriyössä pyritään toimimaan kaikkien näiden periaatteiden mukaisesti. [6]



Kuva 3: Danaher Business System -kaavio

3 Röntgenkuvalevy

3.1 Kuvalevyn käyttö

Röntgenkuvalevyjä käytetään niin sanotussa epäsuorassa digitaalisessa kuvantamisessa, eli potilaan suuhun asetetaan kuvalevy, johon kohdistetaan röntgensäteet posken läpi. Tämän jälkeen kuvalevy asetetaan lukijaan, joka muuttaa analogisen röntgenkuvan digitaaliseen muotoon ja siirtää sen tietokoneelle (kuva 4). Vastaavanlainen kuva saadaan otettua suoran digitaalisen kuvantamisen avulla, missä sensori asetetaan potilaan suuhun ja röntgenkuva siirtyy suoraan anturin (kuva 5) kautta, digitaalisena tietokoneelle.



Kuva 4: Kuvalevyskanneri ja kuvalevyjä

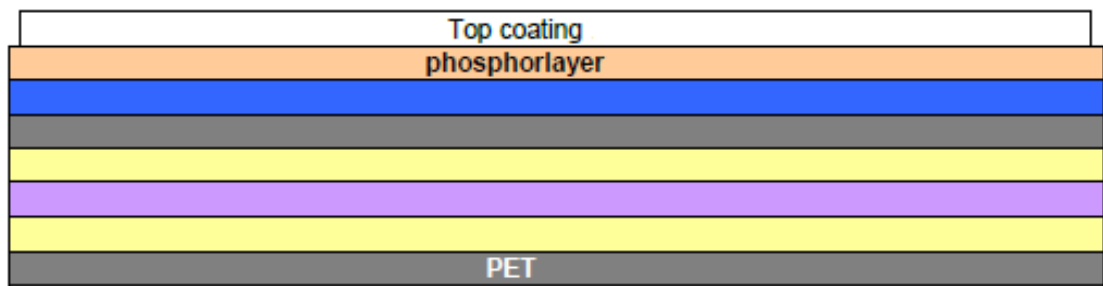


Kuva 5: Digitaalinen röntgenanturi

3.2 Kuvalevyn rakenne

Kavo Kerrin kuvalevylukijassa (kuva 4) voidaan käyttää viittä erikokoista kuvalevytyyppiä. Ne on numeroitu 0, 1, 2, 3 ja 4, missä 0-koko on pienin ja 4-koko on suurin. Numeroita vastaavat koot ovat: 22 x 33 mm, 24 x 40 mm, 31 x 41 mm, 27 x 54 mm ja 48 x 54 mm. Kuvalevyt ovat noin mm:n paksuisia ja painavat koosta riippuen 15–30 g.

Kuvalevy koostuu useasta kerroksesta (kuva 6). Alimpana on musta polyetyleeniteref-talaattikerros, joka toimii levyn runkona, johon muut kerrokset laminoidaan. Runkokerroksen päällä on useampi toiminnallinen kerros, johon säteilytetty kuva muodostuu.



Kuva 6: Havainnollistava esimerkki röntgenkuvalevyn kerroksista

Kuvalevyn pintaan jää helposti naarmuja ja muita jälkiä, jotka saattavat näkyä röntgenkuvassa. Tämä saattaa vaikeuttaa diagnoosin tekemistä. Manipulaattorin tarttuja ei saa jättää jälkiä kuvalevyihin.

4 Sopivien alihankkijoiden kartoittaminen

4.1 Kartoitus- ja hankintavaihe

Ensimmäisenä selvitettiin, mistä tarvittavat osat voitaisiin hankkia. Selvityskierroksen aikana hankittiin lisätietoa alalla toimivista yrityksistä sekä ideoita, miten tarkistuslaitteen voisi toteuttaa. Tarkoituksena oli hankkia riittävä määrä erilaisia tarjouksia, joita voitaisiin vertailla keskenään. Tarjouksia pyydettiin sekä ”avaimet käteen” -tyyppisistä ratkaisuista, että osakokonaisuuksista. Tarkoituksena oli selvittää, onko laite järkevä rakentaa itse kokonaan tai osittain, vai onko kustannustehokkainta hankkia koko laite ohjelmistoinen ulkopuolelta. Irrallisia osia pyydettiin myös koekäyttöön, tällöin ymmärrys tarvittavasta laitteistosta lisääntyisi, ja samalla koko projektin laajuus hahmottuisi paremmin.

4.2 SICK oy

4.2.1 Yrityksen toiminta

SICK on antureita, turvalaitteita ja kameroita valmistava yritys Saksasta. Heidän ydinosaamistaan on erilaisten teollisten ja logististen prosessien automatisointi. Liikevaihto vuonna 2016 oli 168 miljoonaa euroa ja henkilökuntaa heillä oli maailmanlaajuisesti 8044. He tarjoavat omien laitteiden käyttöönottokoulutuksia sekä omien ohjelmistojen käyttökoulutuksia. [10; 11]

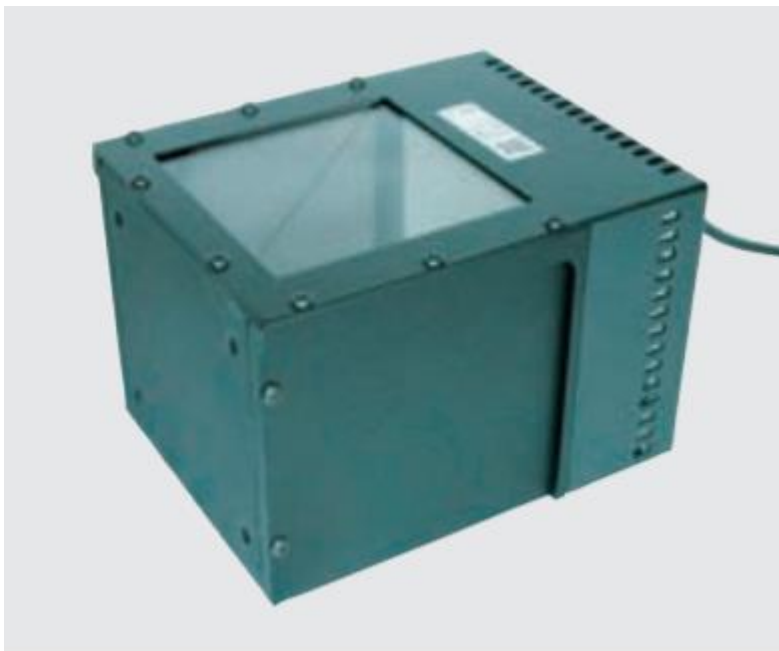
SICKin myyntiin otettiin yhteyttä ja SICK ehdotti kahden viikon pituista laitteiston testausta. Tällöin päästiin itse kokeilemaan kameran tarkkuuden riittävyttä, SICKin SOPAS-konenäköohjelmistoa ja erilaisia valoja. Tämä kerrytti osaltaan myös omakohtaista kokemusta kuvalevyjen tarkistamisesta konenäköllä.

4.2.2 Ennakkotestin lähtökohdat

SICKltä lainattiin heidän PIM60-konenäkökameraansa kahdella erilaisella valolähteellä. Testin tarkoituksena oli selvittää, riittääkö kameran tarkkuus kuvaamaan röntgenkuvalevyjen pintavirheitä, testata heidän konenäköohjelmistoaan, sekä laajentaa omaa tietämystä konenäköohjelmista. Testiä varten tilattiin kaksi erilaista valovaihtoehtoa testattavaksi. Toinen oli pyöreään muotoinen LED-valo (kuva 7), jossa kuvattavan kappaleen ympärillä on LED-valoja matalassa kulmassa ympyrämuodostelmassa. Toinen valovaihtoehto oli koaksiaalivalo (kuva 8), jossa valo tulee kappaleelle 45° kulmassa olevan puolipeilin kautta. Testit suoritettiin KKG:lla töissä olevan ohjelmistoinsinöörin kanssa, jolla on kokemusta konenäköalgoritmien ohjelmoinnista ja konenäkö sovelluksien laatimisesta.



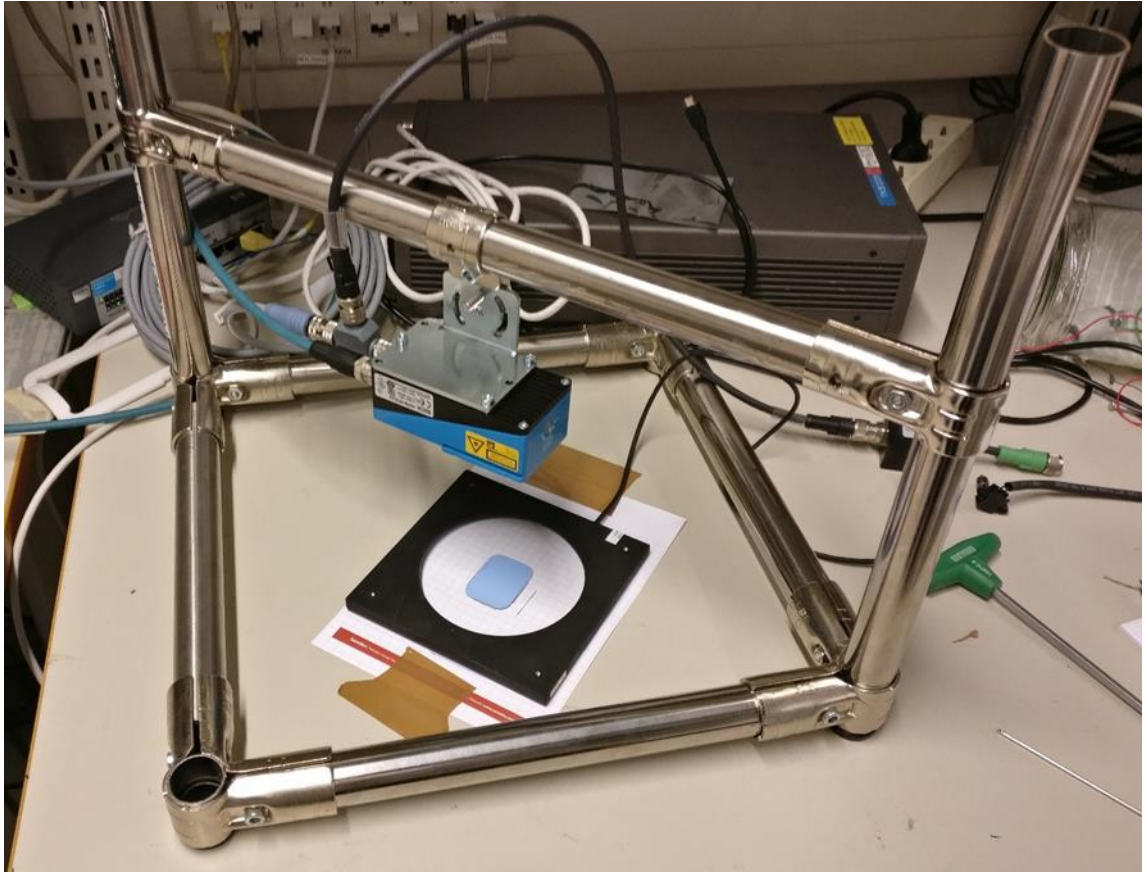
Kuva 7: SICKin pyöreäänmuotoinen LED-valo



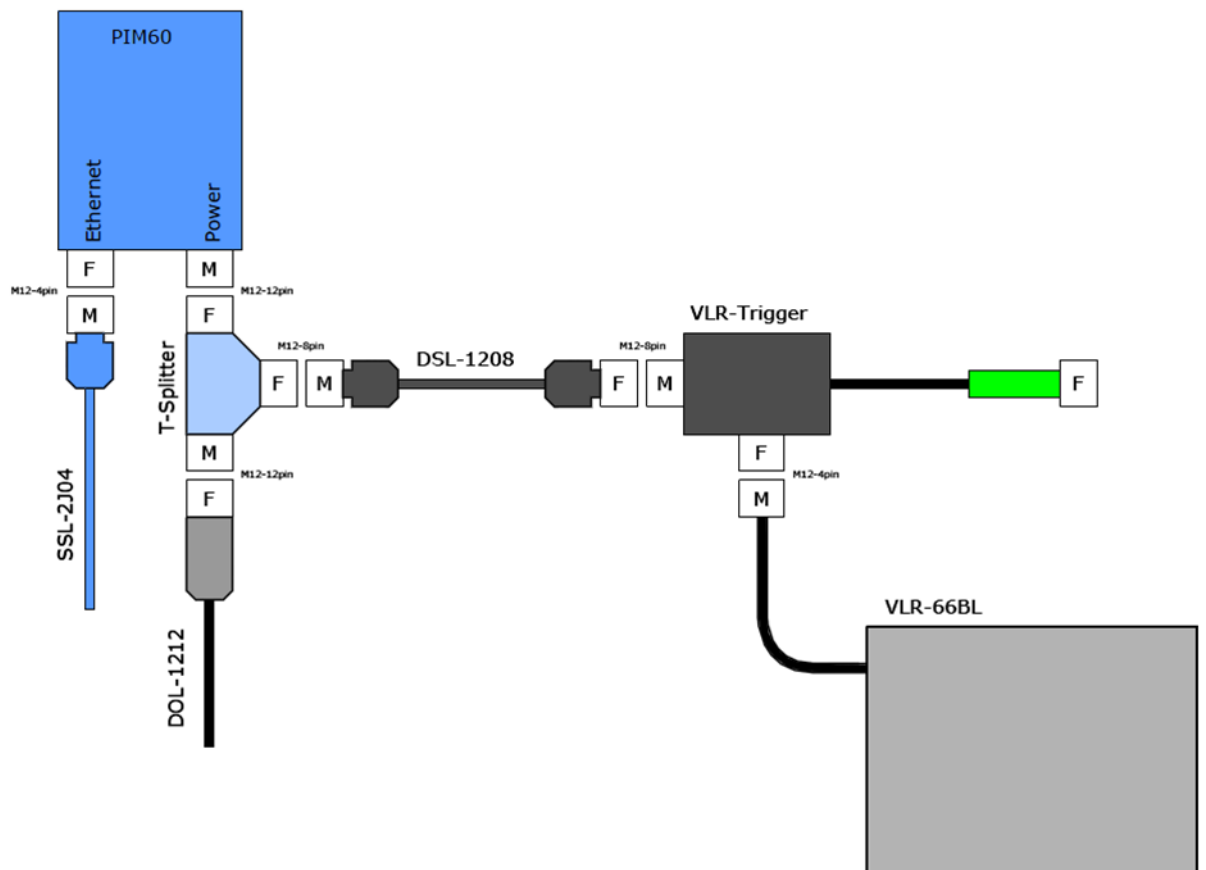
Kuva 8:SICKin koaksiaalivalo

4.2.3 Testin kulku

Kameralle rakennettiin vakaa runko ja kuvalevyissä olevista virheistä otettiin kuvia. Kokeen tarkoituksena oli saada kuvalevyistä näkyviin ennalta määritettyjä virheitä. Runko kuvassa 9 ja viallinen kuvalevy kuvassa 11. Runko auttaa kameran stabiloinnissa, jolloin tarkennuksen sai säädettyä mahdollisimman tarkasti ja laitteistolla pystyi ottamaan useamman kuvan vakioidussa olosuhteissa. Tarkennuksen säätö on erityisen kriittinen, koska virheet, joita etsitään, ovat erittäin pieniä. Kahdella erilaisella valolla päästiin testaamaan, millaiset virheet tulevat näkyviin ja vaikuttaako esimerkiksi pöly otettuihin kuviin. Laitteisto kytkettiin kuvan 10 mukaisesti.



Kuva 9: Testauksessa käytetty omavalmisterunko, kuvassa PIM60-kamera ja ympyrän muotoinen LED-valo



Kuva 10: PIM60-kameran kytkentäkaavio

4.2.4 Ennakkotestin tulokset

Testatusta levystä jäivät pienimmät naarmut havaitsematta. Naarmut oli tehty itse pakkausjärjestykseen. Kuvassa 11 näkyy vain kuusi naarmua, vaikka levyssä on vielä kaksi kapeampaa naarmua. Pistemäiset jäljet ovat todellisuudessa pölyä. Tässä vaiheessa kuvan valottamisessa on vielä parannettavaa, koska kuvassa näkyvät reunat ”palavat kokonaan puhki”, eli ylivalottuvat. Harmaaskaalassa pikselit saavat arvon 0 ja 255 välillä missä 0 on musta, 255 on täysin valkoinen ja kaikki siinä välissä on harmaan eri sävyjä. Valotus pitäisi saada niin hyvin kohdalleen, että kuvan kaikki pikselit saavat arvon väliltä 0-255, eikä toisesta ääripäästä. Aina jos kuvaan tulee 0:n tai 255:n arvoisia pikseleitä, jää jotain tietoa saamatta kuvasta.



Kuva 11: Ensimmäinen kuva

Vaikka testauksessa käytetyssä kamerassa ei ollut montaa megapikseliä (640x480 pikseliä, joka on noin 0,5 megapikseliä), oli yllättävää, että kameralla saatiin näin laadukkaita kuvia. Tämä edellytti sitä, että kamera oli asennettu tukevasti paikalleen, ja kuva oli tarkennettu tarpeeksi lähelle. Saavutettu kuva-alue on noin 35 mm x 45 mm, johon mahtuu koon 2 (31x41 mm) kuvalevy. Tällöin pikselitiheys on 35 mm jaettuna 480 pikseliä pystysuunnassa ja 45 mm jaettuna 640 pikseliä vaakasuunnassa. Tällöin pystysuunnassa yhden pikselin pituus on 0,0729 mm/pikseli ja vaakasuunnassa 0,0703 mm/pikseli. Pikselikoko on erittäin kriittinen pienimmän virheen koon määrittämisessä, koska jos yritetään löytää naarmuja jotka ovat pienempiä kuin kuvan pikselit, jäävät ne kokonaan havaitsematta.

Testissä käytettiin kahdenlaista valonlähdettä. Testaustila, jossa kuvat otettiin, oli täysin pimeä kuvien ottamisen ajan. Ympyrävalo korostaa reunoja voimakkaasti (kuva 12), tällöin reunavirheet näkyvät selkeästi. Peilivalolla otetussa kuvassa (kuva 13) reunat eivät korostu läheskään yhtä selkeästi, mutta kuvassa 13 on reunavirhe edelleen erotettavissa. Ympyrävalo myös korostaa pölyhiukkasia voimakkaasti, kun taas peilivalolla niitä

ei näe. Toisin kuin ympyrävalolla, peilivalolla havaitaan levyn keskellä oleva tumma läikkä. Näin ollen, riippuen valonlähteestä, eri asioita tuli näkyviin kuvissa.



Kuva 12: Reunavirhekuvalevy, kuva otettu ympyrävalon kanssa. Virhe on punaisen ovaalin sisällä



Kuva 13: Reunavirhekuvalevy, kuva otettu koaksiaalivalon kanssa. Virhe on punaisen ovaalin sisäpuolella

4.3 Festo

4.3.1 Yrityksen toiminta

Festo on automaatiokomponentteja myyvä perheyritys Saksasta. Yritys tarjoaa laajan valikoiman antureita, pneumaattisia ja sähköisiä toimilaitteita sekä erilaisia koneen rakennustarpeita. Yrityksen päätoimiala on komponenttien myynti, mutta he tarjoavat kattavan tuen omien laitteiden käyttöönottoon ja käyttämiseen. Tarvittaessa he myös järjestävät koulutuksia tukemaan myytyjen laitteiden käyttöä ja huoltoa.

Festo tarjoaa myös erilaisia konenäköratkaisuja. Kameran soveltuvat erittäin hyvin robotin ohjaamiseen, kuten kappaleen poimimiseen hihnalta, mutta kuvalevyjen pinnanlaadun tarkistamiseen Festolta ei löytynyt suoraan ratkaisua.

[7]

4.3.2 Feston tarjoamat komponentit

Festo tarjoaa myös erilaisia lineaarikomponentteja ja kokonaisia H-portaaleja. H-portaali on käyttöönoton ja ohjelmoinnin kannalta helppo ratkaisu, koska se on valmis kokonaisuus, johon Festolta löytyy valmiita ohjelmointikirjastoja ja esimerkkiohjelmia. Lineaareista valmistetun XYZ-robotin suurin etu on vapaasti valittavat akseleiden pituudet. Esimerkiksi, X-akseli voi olla erittäin pitkä verrattuna Y- ja Z-akseleihin. Tämä mahdollistaisi linjalla pienen lattiapinta-alan, jos laitteen paikka valikoituisi seinän viereen. Koska lineaarit ovat toisistaan itsenäisesti toimivia laitteita, on kohtalaisen helppoa hankkia yksi uusi lineaari, jos esimerkiksi laitteen jotain akselia tarvitsisi tulevaisuudessa pidentää tai lyhentää, tai jos laitteeseen lisättäisiin ominaisuuksia ja toiminnallista-aluetta täytyisi pidentää tai kasvattaa.

Festolta saa myös kaikki vaadittavat komponentit tarttujan toteuttamiseen sekä logiikan ja muut ohjaukseen tarvittavat komponentit. Festo tarjoaa myös valmiita ohjelmointikirjastoja ja valmiita yksinkertaisia ohjelmia moottoreiden ohjaamiseen. Tällöin myös kaikki tekninen tuki löytyisi samasta paikasta, mikäli robotin ohjelmoinnissa tai asentamisessa tulisi jotain ongelmatilanteita. XYZ-robotti olisi kustannustehokas tapa siirtää kuvalevyjä kameran eteen ja lajitella niitä konenäköalgoritmin tekemän päätelmän mukaan. Verrattuna pieneen 7-akseliseen varsirobottiin XYZ:n hinta on noin neljännes. Kaikki osat ovat vakiokomponentteja, joten niihin saisi jatkossa helposti ja luotettavasti varaosia, tällöin hankinnan riski on pienempi.

[7; 8]

4.4 RoimaINT

4.4.1 Yrityksen esittely

Roima Intelligence on IT- ja automaattioratkaisuja tarjoava insinööritoimisto, joka tuottaa asiakkailleen lisäarvoa lisäämällä älykkyyttä asiakkaan toimitusketjuun sekä valmistusprosesseihin. RoimaINT myy ohjelmistoja kuten Aton PDM -ohjelmistoa ja ERP-ohjelmia ja he tarjoavat räätälöityjä konenäkösovelluksia. Komponentit hankitaan alihankkijoilta, kuten logiikat, kamerat, valot ja manipulaattorit näihin sovelluksiin. [13]

Yritystä lähestyttiin kysymällä, kykenisivätkö he toteuttamaan röntgenkuvalevyjen tarkistuspuoleista konenäköä. Lähtökohtana olivat kuvalevyjen virheet ja se, kykeneekö mikään algoritmi toteuttamaan tällaista pintavirheanalyysia luotettavasti.

4.4.2 Roiman kamera esittely

Roiman tiloissa järjestettiin tapaaminen konenäkötiimin edustajan kanssa. Roimalle oli lähetetty etukäteen muutama mallikappale viallisista kuvalevyistä ja heiltä pyydettiin, että tapaamisessa meille esiteltäisiin heillä olemassa olevia kameroita ja valoja. Demossa käytetty kamera oli merkittävästi tarkempi kuin SICKin PIM60 inspector, koska erittäin pienet naarmut saatiin näkyviin, kunhan valo oli kohdistettu oikein. Tämän testin aikana havaittiin, kuinka kriittistä jälkien löytymiseksi on valon oikea kohdistaminen ja säätö.

Tapaamisessa vaihdettiin ajatuksia, miten tämä projekti voitaisiin toteuttaa ja esiteltiin Roiman aikaisempia projekteja ja miten niihin ratkaisuihin oli päädytty.

4.5 Bosch Rexroth

Bosch Rexroth on liikkeenohjauksen, voimansiirron ja liikkeenhallinnan ratkaisujen tuottaja. Heillä on laaja valikoima toteuttamaan erilaisia lineaariratkaisuja. Varsinaisia konenäköratkaisuja yritys ei suoraan tarjoa, joten heidän kauttaan voisi hankkia pelkän robotin. Heidän lineaariratkaisunsa (kuva 14) ovat täysin räätälöityjä asiakkaan tarpeisiin. Bosch tarjoaa myös oman logiikan sovelluksiinsa. Bosch Rexroth tarjoaa myös erilaisia profiiliratkaisuja, mistä voi rakentaa robotille häkin ja pöydän. [12]



Kuva 14: Bosch Rexrothin lineaariakseleista koottu XYZ-robotti

4.6 Eidtech

4.6.1 Yrityksen toiminta

Eidtech on asiakaslähtöisten räätälöityjen automaattoratkaisujen tuottaja. Yritystä lähesyttiin esittelemällä kuvalevyjen tarkistamisessa oleva ongelma, koska Eidtech valmistaa kokonaisia räätälöityjä ratkaisuja. Heille annettiin vapaat kädet lähteä ratkaisemaan kyseistä ongelmaa. [13]

4.6.2 Eidtechin ehdotus

Eidtechin edustajat tulivat KKG:lle esittelemään heidän aikaisemmin tekemiään konenäköratkaisuja. Kokouksessa käytiin läpi heidän projektinsa kulkua ja sitä, miten kuhunkin ratkaisuun oli päädytty. Manipulaattoriksi Eidtech ehdotti pientä 7-akselista robotia, koska sen uudelleen ohjelmointi ja uusien työkiertojen laatiminen on helppoa ja kustannustehokasta, vaikka se onkin lähtöhinnaltaan kalliimpi kuin XYZ-robotti. 7-akselinen

robotti tulee kannattavaksi esimerkiksi siinä vaiheessa, kun kuvalevyä halutaan kääntää erilaisiin asentoihin tai puhdistaa. Eidtech suositteli pientä 7-akselista robottia manipulaattoriksi.

5 Hankittu manipulaattori ja konenäkösovellus

5.1 Päätös laitteen hankinnasta

Projektissa päädyttiin jatkamaan yhteistyötä kahden yrityksen kanssa. Festolta hankitaan manipulaattori ja Roima Intelligenceltä konenäköohjelmisto, kamerat ja valot. Projektissa vertailtiin erilaisia vaihtoehtoja, joista päädyttiin siihen, että olisi kustannustehokainta, jos osa projektista toteutettaisiin hyödyntäen talon sisäistä osaamista, sekä omaa koneistamoaa. Itsetoteutettavat osiot tässä projektissa olivat manipulaattorin suunnittelu ja valmistaminen sekä siihen vaadittava ohjelmointi, testaus ja käyttöönotto.

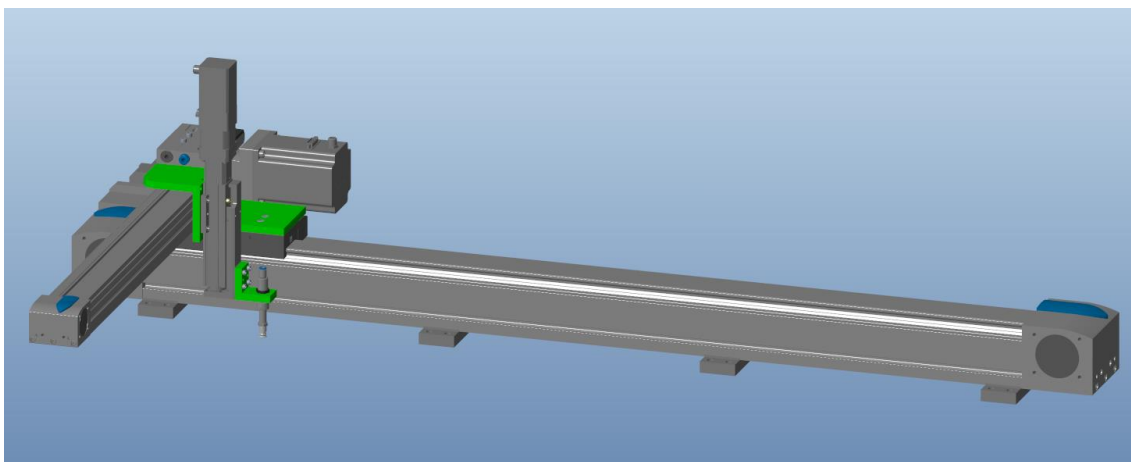
Ratkaisuihin päädyttiin siksi, että haluttiin minimoida projektin aikataululliset ja taloudelliset riskit. Konenäkö on laitteen toiminnallisuuden kannalta kriittisin osakokonaisuus. Roima valikoitui toimittajaksi, koska heillä on vakuuttavaa näyttöä konenäkösovellusten toteuttajana. Manipulaattoriksi valittiin XYZ-robotti, koska sen hinta oli vain neljäsosa 7-akselisen robotin hinnasta. Festo valikoitui XYZ-robotin toimittajaksi toimivimman kokonaisratkaisun tarjoajana. Lisäksi heidän tarjoamansa koulutus ja tuotetuen vasteaika vaikuttivat ratkaisuun.

Laite kootaan profiilista tehdyn rungon sisälle mikä, päällystetään läpinäkyvillä seinillä. Käyttöalueelle pääsee käsiksi turvakytkimellä varustetun liukuoven kautta. Laite ohjelmoidaan siten, että oven ollessa auki laite ei suostu lähtemään liikkeelle ja pysähtyy turvallisesti kesken työsyklin, jos ovi avataan.

5.2 Robotin mekaniikan suunnittelu

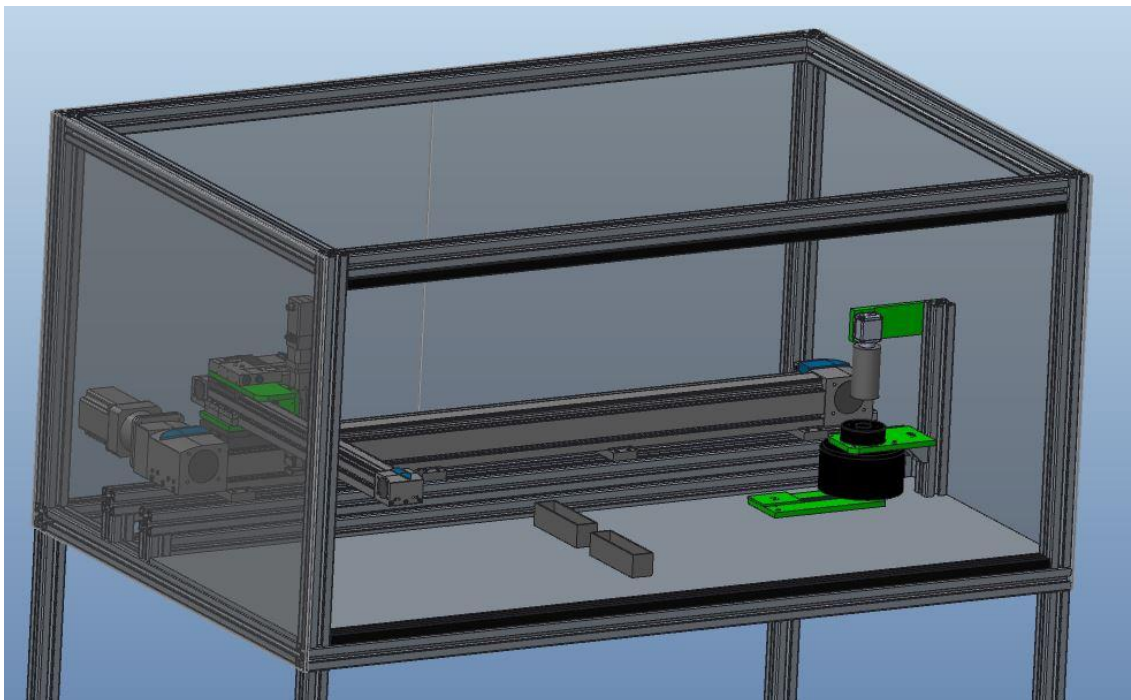
Manipulaattori rakennettiin kolmesta lineaarista. X-akseliksi valikoitui Feston EGC-120-1000-TB-KF-0H-GK, Y-akseliksi Feston EGC-70-500-TB-KF-0H-GK ja Z-akseliksi Feston EGSC-BS-KF-32-100-8P. Tällöin robotin toiminnallinen alue on 1000x500x100 mm. Akseleiden väliin suunniteltiin omavalmistetut adapterit, koska Festo ei tarjoa jokaisen mahdollisen lineaariakselin yhdistävää komponenttia. Adapterit suunniteltiin, piirrettiin ja valmistettiin itse Feston tarjoamien lineaariakselien 3D-mallien ja työkuvioiden pohjalta. Tarttujana käytettiin Feston joustavaa silikoni-imukuppia (EGS-10-BS-HCL-OS), joka mahdollistaa kuvalevyjen poiminnan kasasta.

Suunnittelutyö aloitettiin lataamalla Feston sivuilta viimeisimmän tarjouksen mukaiset komponenttien 3D-mallit. Näistä tehtiin kokoonpano PTC Creo 2.0 -mallinnusohjelmalla. Lineaariakselien väliin piirrettiin erittäin yksinkertaiset lattarautaa muistuttavat kappaleet (Liitteet 1–4). Kappaleessa pitää olla kelkalle sopivat reiät ja seuraavan lineaarin kiinnityksille sopivat kierteet. Adapterimateriaaliksi valikoitui alumiini, koska sitä on helppo työstää ja aihokokoja löytyy valmiiksi KKG:n raakamateriaalivarastosta. Adapterit suunniteltiin valmistettavaksi ohjelmoitavalla 3-akselisella SMX 4000 -jyrsimellä (kuva 17). Omavalmisteiset osat on väritetty vihreällä kuvaan 15.



Kuva 15: Pelkän robotin 3D-malli

Robotille valmistettiin Boschin 45X45L-profiilista runko (Kuva 16). Robotin pöydän korkeudeksi valikoitui reilu metri, koska operaattori käyttää pöytää seisaaltaan. Runkoon voidaan myös tulevaisuudessa lisätä korkeudensäätö, jotta laite saadaan mahdollisimman monelle operaattorille ergonomisesti sopivaksi. Robotti tulee myös suljettuun tilaan, johon pääsee vain turva-anturoidun oven kautta. Jos ovi avataan kesken ajon, robotti pysähtyy ja operaattori voi turvallisesti käsitellä kopin sisällä olevia kuvalevyjä.



Kuva 16: Robotin, konenäköaseman ja rungon 3D-malli

5.3 Sovitepalojen koneistaminen

Sovitepalat valmistettiin SMX 4000 3-akselisella ohjelmoitavalla jyrsinkoneella (kuva 17). Koneetta ei ohjelmoida CAM:llä, vaan laitteessa on valmiita työkaluja yksinkertaisten raitojen toteuttamiseksi. Kaikki kappaleet valmistettiin alumiinilatasta. Kaikista tasoitettiin kontaktipinta ja vaadittavat reiät porattiin kierteille ja ohjaussokille (kuva 18). Lopuksi osat laitettiin täryhiomakoneeseen, mikä poisti kappaleista terävät reunat ja purseet.



Kuva 17: SMX 4000 3-akselinen ohjelmoitava jyrsinkone



Kuva 18: X- ja Y-akselin väliin tuleva sovitinpala koneistettu SMX 4000 -jyrsimellä

5.4 Ohjelman kirjoitus, Feston Motion -kirjaston esittely

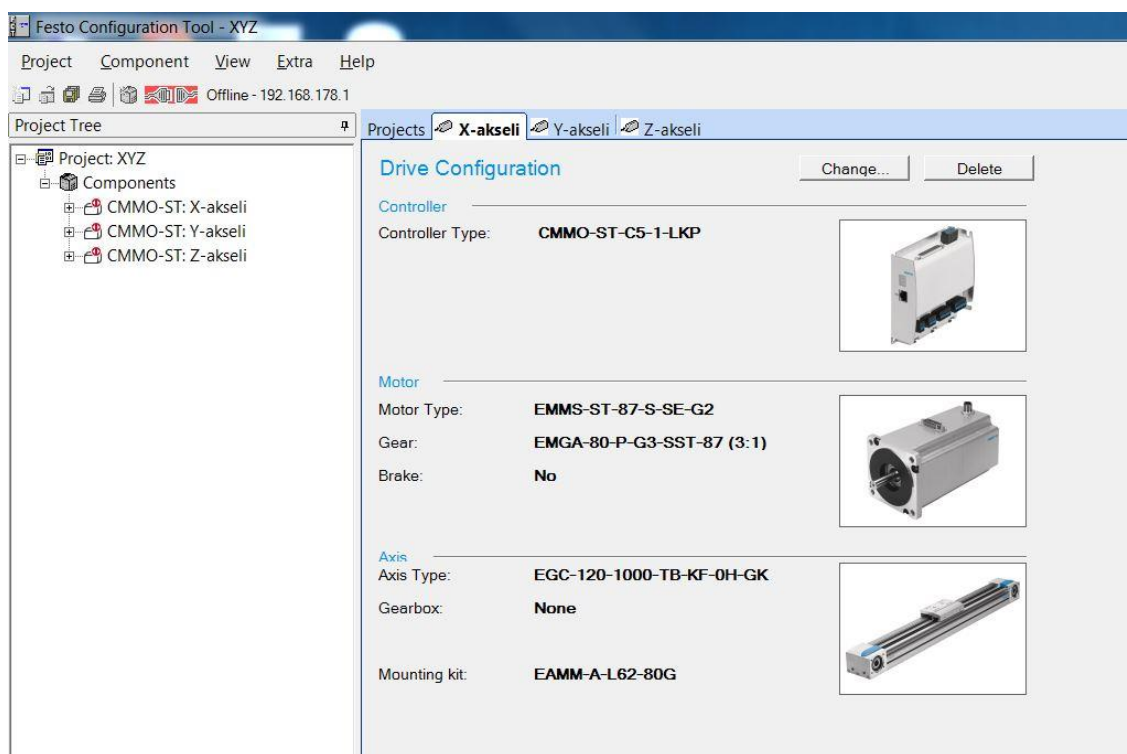
Robotin moottoreita ohjataan Feston CMMO-ST-moottorinohjaimilla. Moottorinohjaimelta lähtee yksi kaapeli, mistä tulee käyttöjännite, ja yksi kaapeli, mistä tulee moottorin paikan takaisinkytkentä. Moottorinohjaimiin tallentuu myös viimeisimmät 200 vikakoodia, jotka ovat luettavissa IO-Linkin kautta. IO-Link on älykkäiden toimilaitteiden tai antureiden ja ohjausjärjestelmän väliseen kahdensuuntaiseen tiedonsiirtoon.

Beckhoffin ohjelmoitava CX2030-logiikka ohjaa robotin akseleiden moottorinohjaimia. Logiikasta liitytään jokaisen akselin moottorinohjaimen IO-Link-väylän kautta. Logiikkaan lisätään EL6224-kortti, missä on neljälle IO-Link-toimilaitteelle terminaali. Jokainen IO-Link-laite vaatii laitekohtaisen IODD:n (IO-Link device description). IODD sisältää lait-

teen tunniste-, parametri-, prosessi- ja diagnosointitiedot, joiden avulla logiikka osaa järjestää toimilaitteelta tulevan datan ja tulkitsee anturilta tai ohjainlaitteelta tulevan tiedon oikein.

[17]

Moottorinohjainten asetuksiin pääsee käsiksi Feston Configuration Tool -ohjelmalla (lyh. FCT) (kuva 19). FCT:ssä moottorinohjaimelle syötetään tieto, mitä moottoria ja lineaaria se ohjaa ja millaista tietoa halutaan lähettää IO-Linkin kautta. Esimerkiksi miten tarkasti halutaan antaa lineaarin paikkatieto (välillä 0–1000 vai 0–10 000) tai moottoreiden käyttöjännitettä voi rajoittaa. Moottorinohjaimen voi luoda myös paikka- ja nopeusohjeita, jota voi kutsua IO-Linkin kautta tallennuspaikan nimellä. Lineaareille voi myös antaa pituusrajoituksia. Vaikka logiikalta annettaisiin sellainen paikka, mitä lineaari ei voi fyysisesti toteuttaa, mutta moottorinohjaimen on asetettu tiukemmat rajat, moottorinohjain pysäyttää lineaarin turvallisesti ja jää odottamaan vikatilän nollausta.



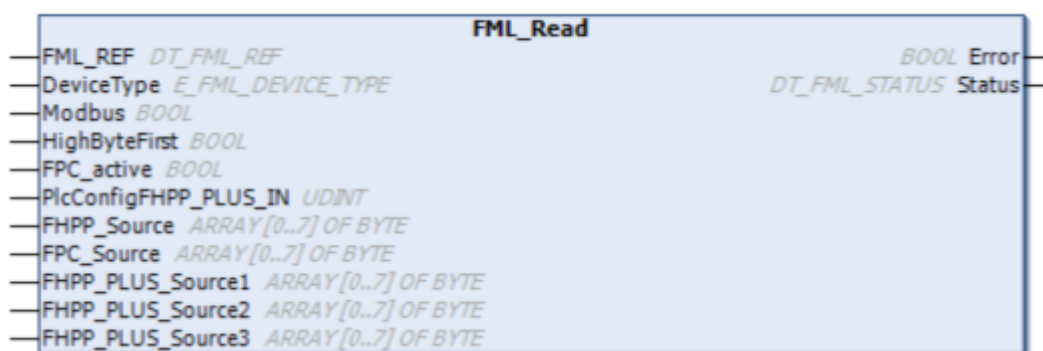
Kuva 19: Festo configuration tool, moottorinohjainten asetus -työkalu

Kun moottorinohjaimet on asennettu, niitä voi ohjata IO-Link-väylän yli, mistä niille annetaan paikka-, nopeus- tai voimaohjearvo. PLC-ohjelmaan luodaan input ja output 8 -bitiset taulukot (kuva 20), mitkä liitetään akselia vastaavaan EL6224-kortin ulostuloon. FHPP_IN1-muuttujan avulla luetaan X-akselin moottorinohjaimelta tuleva tieto ja FHPP_OUT1-muuttujan avulla välitetään paikka- ja nopeusohjeet. FPC_IN1-muuttujan kautta kulkevat muun muassa turvakäskyt ja vikakooditiedot.

```
// IO-Link CMMO_ST_X
FHPP_IN1      AT %I*      :ARRAY[0..7] OF BYTE;
FHPP_OUT1     AT %Q*      :ARRAY[0..7] OF BYTE;
FPC_IN1       AT %I*      :ARRAY[0..7] OF BYTE;
FPC_OUT1      AT %Q*      :ARRAY[0..7] OF BYTE;
```

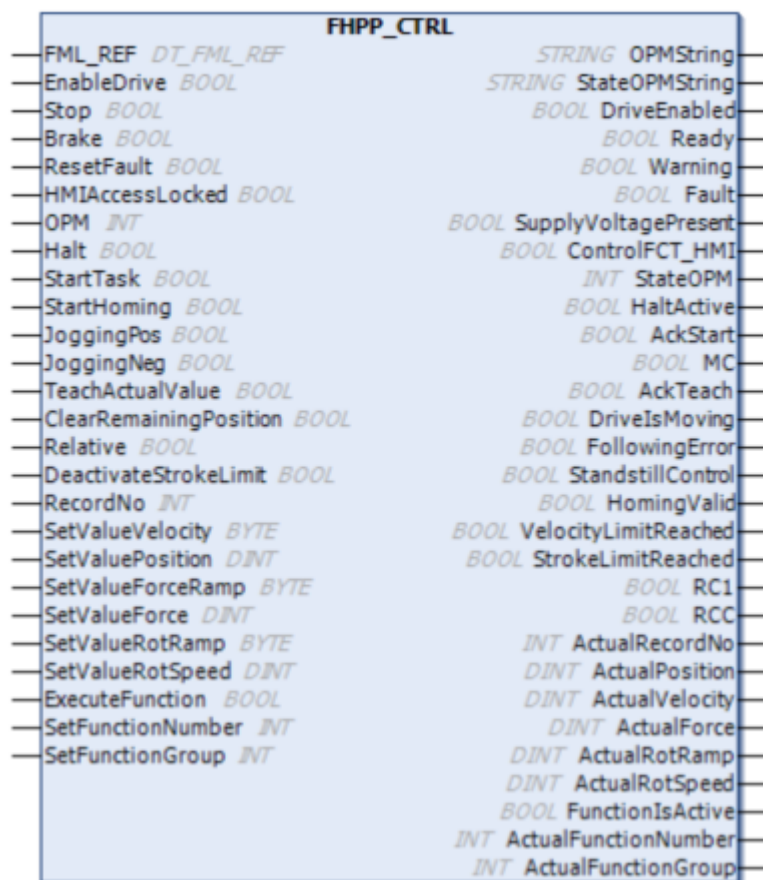
Kuva 20: X-akselin taulukko -muuttujat

PLC-ohjelmaan luodaan myös Read Device (kuva 21), Control Device (kuva 22) ja Write Device (kuva 23) -toimilohkot. Read Device -toimilohkoon linkitetään halutun moottorinohjaimen FHPP- ja FPC-muuttujat. Tämä muuttaa IO-Link-väylästä tulevan datan yhdeksi DATA_REF-muuttujaksi, mitä voidaan käyttää muissa Feston tarjoamissa toimilohkoissa kuten Control Device tai erilaisissa vikatilatoimilohkoissa.



Kuva 21: Read Device -toimilohko -esimerkki.

Control Device -toimilohkoon liitetään kaikki moottoreiden ohjaamiseen liittyvät muuttujat. Näihin muuttujiin kirjoitetaan halutut lineaarin nopeus- ja paikkamuuttujat. Lineaariakseli vaatii toimiakseen enable- stop- ja halt-muuttujat todeksi, sekä paikka- ja nopeustiedon. Start task -muuttujan muuttuessa todeksi lineaariakseli lähtee liikkeelle ja ajaa haluttuun paikkaan. Moottoreita voidaan ajaa nopeus-, paikka- ja voimaohjeella. Käyttötila valitaan OPM-muuttujalla, johon asetetaan ajotilaa vastaava kokonaisluku.



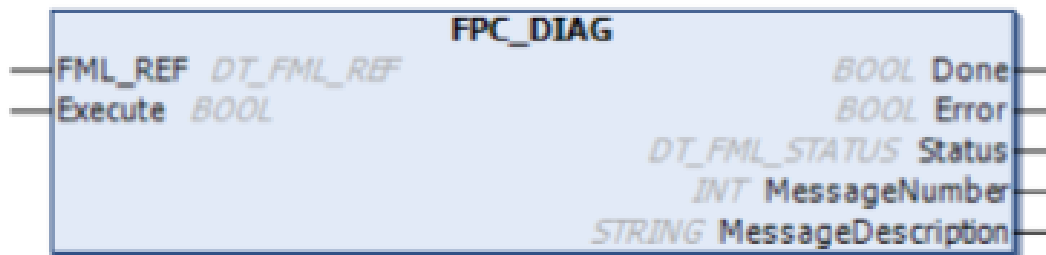
Kuva 22: Control Device -toimilohko

Write device -toimilohkolla kirjoitetaan, Control Device -toimilohkossa muutetut arvot IO-Link-väylään.



Kuva 23: Write Device -toimilohko

Käyttöliittymästä pitää olla myös luettavissa moottoriohjainten vikatiedot. Tämä onnistuu Feston FHP_DIAG- ja FHP_DIAG_BUFFER-toimilohkoilla (kuvat 24 ja 25).



Kuva 24: FPC_DIAG -toimilohko

FPC_DIAG-toimilohko suorittaa viimeisimmän vikakoodin lukemisen execute-käskyllä. Toimilohko antaa takaisin vikakoodin numeron ja vikakoodin kuvauksen MessageNumber ja MessageDescription-ulostuloihin. Nämä voidaan lukea käyttöliittymän näytölle, joka helpottaa ongelman ratkaisua.



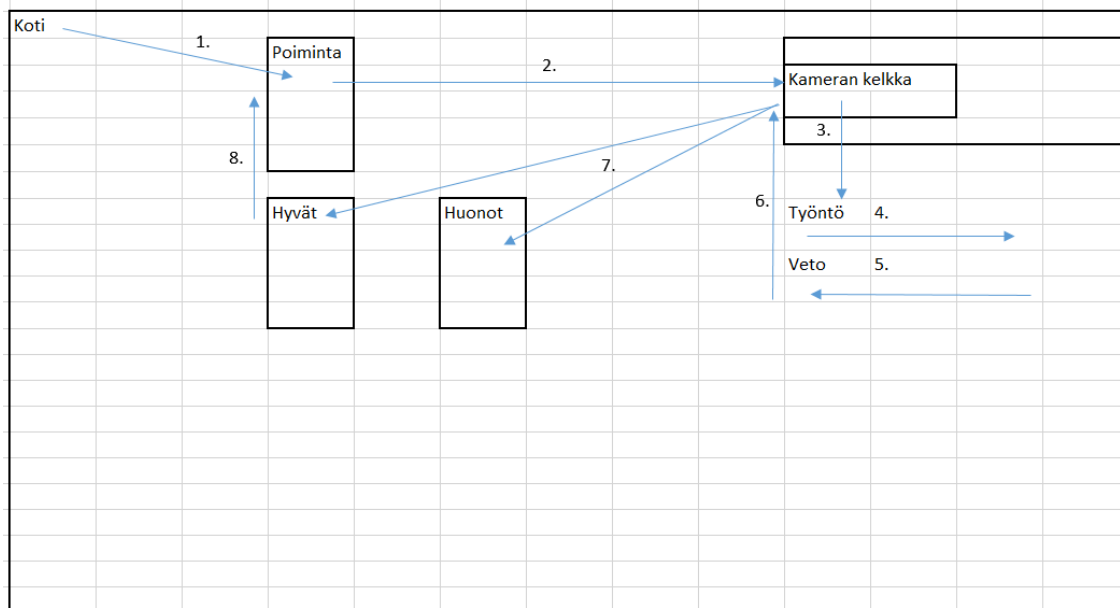
Kuva 25: FPC_DIAG_BUFFER-toimilohko

FPC_DIAG_BUFFER-toimilohko lukee viimeisimmät 200 vikakoodia ja kirjoittaa ne taulukkoon.

[16]

5.5 Robotin työsykli ja ohjausliohjelma

Yhden kuvalevyn hakemiseen robotin tulee suorittaa kuvassa 26. kuvattu työsykli. Robotti aloittaa kotiasemasta ja siirtyy poimintalaatikoille. Poimintalaatikosta otetaan kuvalevy, joka siirretään kameran alle siirtyvälle kelkalle. Kuvalevyn ollessa kelkalla, robotti työntää kameran kelkan kameran alle. Kameran otettua kuvan kuvalevystä, robotti saa tiedon, oliko kuvattu levy hyvä vai huono, ja siirtää kuvalevyn ulos vedetyltä kameran kelkalta haluttuun laatikkoon. Tämän jälkeen robotti aloittaa alusta ja suorittaa noudon niin monta kertaa, kuin laatikossa on kuvalevyjä. Kuvalevyjen määrä voisi olla vakio, eli robottiin syötettäisiin vain täysiä laatikoita, tai operaattori syöttää käyttöliittymään kuvalevyjen määrän.



Kuva 26: Yhden kuvalevyn tarkistustyösykli

Ohjelman voisi toteuttaa esimerkiksi Case-lausekkeella ja kasvavalla integer-muuttujalla. Case-lausekkeessa toteutetaan toimintoja, jotka vastaavat Casen kokonaislukumuuttajan arvoa, eli kokonaisluvun ollessa esimerkiksi 10, suoritetaan aina tietyt rivit koodia (kuva 27). Robottia voidaan ohjata koordinaatteihin käskemällä ohjelman alussa ensimmäisen askeleen, minkä jälkeen seuraavaan askeleeseen päästään vasta kun aikaisempi koordinaatti on toteutunut. Eli askeleen sisällä on yksi If-lauseke, mikä koordinaatin toteutuessa kasvattaa Casen kokonaislukumuuttujaa yhdellä. Kun Case-lauseke on suoritettu kerran, on yksi kuvalevy siirretty laatikosta kameralle ja kameralta joko, hyvään tai huonoon laatikkoon. Koordinaatteihin voidaan käyttää esimerkiksi kokonaislukumuuttujaa mitä kasvatetaan jokaisen syklin jälkeen ja lopuksi päästään ulos Case-lausekkeesta ja valmistumismuuttuja muuttuu todeksi. Esimerkiksi uuden kuvalevyn poiminnassa Z-akselia ajetaan haettujen kuvalevyjen verran alemmas.

```

17 CASE nState OF
18
19 10:
20     GVL.SetValuePositionX:=5000;
21     GVL.SetValueVelocityX:=100;
22     GVL.SetValuePositionY:=86000;
23     GVL.SetValueVelocityY:=100;
24
25
26     IF NOT GVL.StartTaskX AND GVL.DriveReadyX THEN
27         GVL.StartTaskX:=TRUE;
28     END_IF
29
30     IF NOT GVL.StartTaskY AND GVL.DriveReadyY THEN
31         GVL.StartTaskY:=TRUE;
32     END_IF
33
34 IF GVL.MCX AND GVL.ActualPositionX=5000 AND GVL.MCY AND (GVL.ActualPositionY< 86000 AND GVL.ActualPositionY>85990) THEN
35     GVL.StartTaskX:=FALSE;
36     GVL.StartTaskY:=FALSE;
37     nState:=11;
38 END_IF
39

```

Kuva 27: Esimerkki Case-lausekkeen käytöstä

Kuvalevyt ovat 250 kappaleen laatikossa 50 kappaleen pinoissa. Tällöin kun 50 kuvalevyä on haettu, Y-koordinaattia täytyy siirtää seuraavalle pinolle. Hyville ja huonoille tarkistetuille kuvalevyille täytyy myös luoda omat kokonaislukumuuttujat, että robottia voidaan ajaa oikealle syvyydelle laatikkoon ja tiedetään, milloin yksi lokero on täynnä.

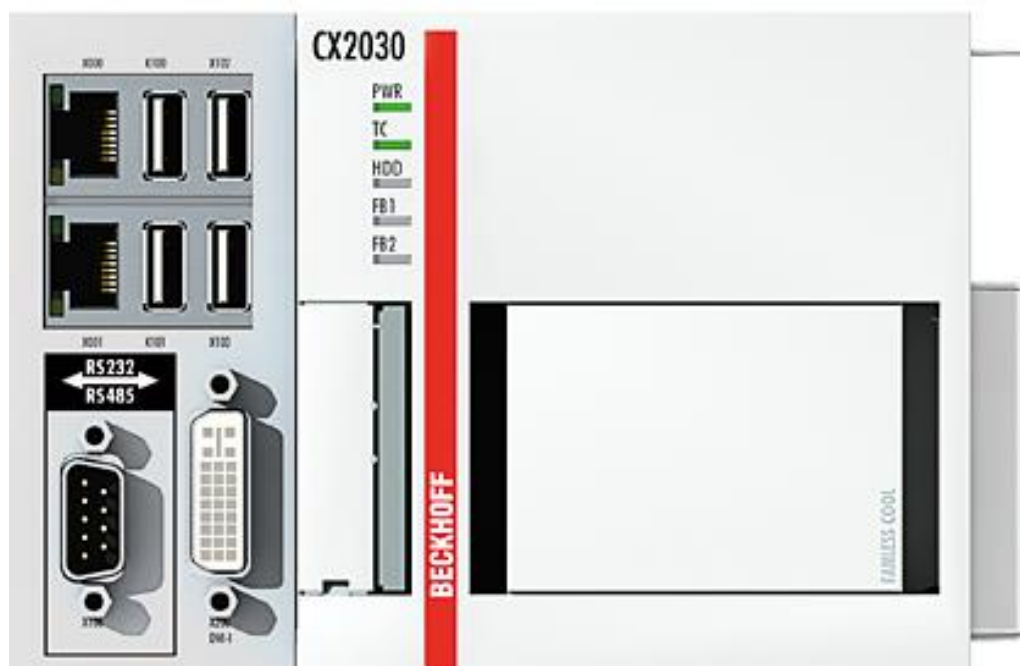
Jokaiselle kuvalevykoolle tehdään oma aliohjelma, mitä voidaan kutsua käyttöliittymästä. Jokaisen ohjelman runko on sama, eli niihin tehdään aloitusehto ja Case-rakenne. Koordinaatit muuttuvat hieman eri kokoisten kuvalevyjen kanssa, koska laatikot ovat erikoisia ja saman kokoiset kuvalevyt pakataan pöydälle aina samaan paikkaan. Tällöin koordinaatteja muutetaan sopimaan tietyn kokoisille kuvalevyille.

5.6 Roima Intelligence ja konenäkösovellus

5.6.1 Ohjelmitava logiikka CX2030

Feston tarjoaman logiikan suorituskyky ei olisi riittänyt pyörittämään Roiman konenäkösovellusta ja XYZ-robotin ajamiseen ei vaadita suuria määriä suorituskykyä, joten tässä tapauksessa hankittiin Roiman suosittelema Beckhoffin CX2030 (kuva 28). Tähän logiikkaan liitetään Beckhoffin USB-terminaali, jolla liitetään kamera logiikkaan. Logiikkaan liitetään myös HDD-terminaali tallentamaan kuvia ja yksi ulostulokortti ohjaamaan

konenäkösovelluksen valoja. Logiikkaan lisätään IO-Link-kortti, joka mahdollistaa XYZ-robotin moottoreiden ja Feston alipaine-ejektorin ohjauksen.



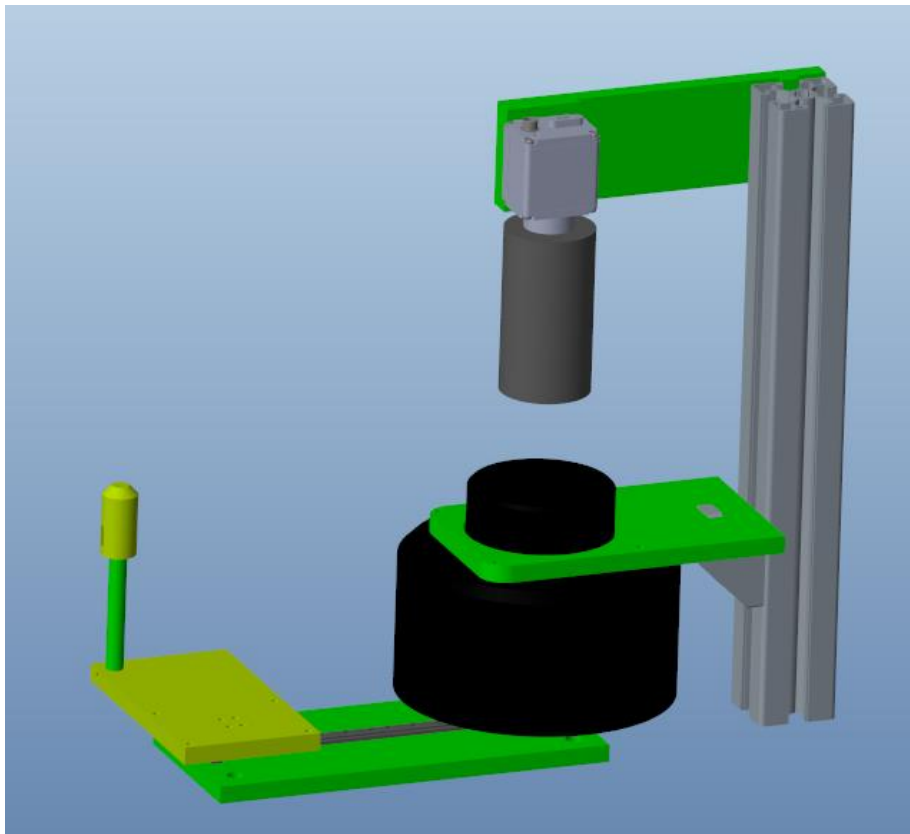
Kuva 28: Beckhoff CX2030

5.6.2 Kamerat ja valot

RoimaINT:n ehdotuksesta, tähän sovellukseen valittiin kameraksi IDS:n USB3.1 uEye. Kamera liitetään logiikkaan USB3-kaapelilla, USB-korttiin. Valoksi valikoitui CCS:n PDM-150-15RD2-valo, missä on erikseen ohjelmoitava koaksiaali-, dome- ja matala LED-valo. Kaikkia valoja voidaan ohjata erikseen, mikä helpottaa erilaisten virhetyyppien löytämistä. Kuten SICK PIM60 -testissä havaittiin, matalalla LED- valolla näkee selvästi reu- navirheet ja koaksiaalivalolla näkee selvemmin naarmut. Valoyhdistelmä on myös erit- täin kompakti ja helposti ohjattava tapa toteuttaa valaistus.

Kameralle suunniteltiin myös teline, mihin kamera ja valo kiinnitetään. Telineessä täytyy olla myös säätömahdollisuus, jotta kameran etäisyys valosta saadaan mahdollisimman hyvin kohdilleen. Kuvalevyt siirretään kameran alle mekaanisella lineaarilla. Mekaaniseen lineaariin kelkkaan suunnitellaan jokin koukku, mistä robotti saa otettua kiinni ja

pystyy liikuttamaan kelkan kameran alle (kuva 29). Kuvaan on väritetty keltaisella ja vihreällä omavalmisteosat.



Kuva 29: Kamera, valo ja kameran kelkka

Kun robotti on laskenut kuvalevyn kameran kelkalle ja ottanut kiinni jousitetusta tangosta, robotin X- tai Y-akselin ohjaaminen siirretään kameralle. Kamera antaa X- tai Y-akselille tuotekohtaisia koordinaatteja, joita robotti toteuttaa, kunnes kamera antaa robotille valmis-käskyn ja kertoo, oliko kuvattu kuvalevy hyvä vai huono. Tällöin kamera voi tarvittaessa pyytää kuvalevyn eri asentoihin ja ottaa kuvia kuvalevyistä, pala kerrallaan.

5.6.3 Ohjelman toimintaperiaate ja kommunikointi robotin kanssa

RoimaINT määrittelee muuttujarajapinnan robotin ja kameran välille. Muuttujien pohjalta suunnitellaan ohjelma, jolla robotti toimii kameran kanssa yhteistyössä. Robotti ilmoittaa

kameralle, kun se on siirtänyt kuvalevyn kameran kelkalle ja on valmis siirtämään kameran kelkkaa. Kamera antaa robotille koordinaatteja kameralle syötetyn tuotetiedon mukaan. Robotti toteuttaa koordinaatteja kameralle siihen asti, kunnes kamera antaa robotille valmistumiskäskyn. Kun valmistumiskäsky on annettu robotille, jolle tulee tieto, oliko kuvalevy hyväksytty vai hylätty. Tällöin robotti siirtää kuvalevyn haluttuun laatikkoon ja poimii uuden kuvalevyn tarkistusta varten.

Ohjelmaan luodaan toimilohko, joka välittää tietoa robotin ja kameran välillä. Koordinaatiohjelmassa annetaan kameralle tieto robotin valmiudesta ottaa vastaan koordinaatteja ja tieto toteutuneesta koordinaatista. Kameralta annetaan toivekoordinaatti ja aloituskäsky. Kun kamera on tehnyt päätöksen, onko kuvalevy hyvä vai huono, robotti lakkaa ottamasta vastaan kameralta koordinaatteja ja palaa ennalta määrättyjen koordinaattien toteuttamiseen.

Koska koko koordinaattien ajo-ohjelma toteutetaan Case-lausekkeella, annetaan kameran ja robotin kommunikoinnin välille yksi lohko Case-lausekkeesta (kuva 30). Eli robotti siirtää kuvalevyn kameran kelkalle ja siirtyy kelkan kiinnikkeelle. Tällöin kameralle kerrotaan, että robotti on valmis ja päästään kameran Case-lohkon sisälle. Lohkosta ei päästä ulos ennen kuin kamera on tyytyväinen. Kamera antaessa valmistumiskäskyn robotti pääsee jatkamaan seuraaviin ennalta määritettyihin koordinaatteihin.

```

17 CASE nState OF
18
19     10:
20         IF GVL.fbImageProcessing.MovementRequest THEN
21             GVL.SetValuePositionY:=gvl.fbImageProcessing.PositionRequest;
22             GVL.SetValueVelocityY:=100;
23         END_IF
24
25         IF GVL.DriveReadyY AND GVL.fbImageProcessing.MovementRequest THEN
26             GVL.StartTaskY:=TRUE;
27             StartTimer:=TRUE;
28         END_IF
29
30         IF TimerReady THEN
31             GVL.StartTaskY:=FALSE;
32             StartTimer:=FALSE;
33         END_IF
34
35         IF (GVL.ActualPositionY>(gvl.fbImageProcessing.PositionRequest-20) AND GVL.ActualPositionY<(gvl.fbImageProcessing.PositionRequest+20)) THEN
36             GVL.PositionAcquired:=TRUE;
37         END_IF
38
39         IF gvl.fbImageProcessing.MeasurementDone THEN
40             nState:=11;
41         END_IF
42
43     11: //Jäädään odottamaan
44
45 END_CASE

```

Kuva 30: Kameran ohjausta varten tehty Case-lauseke

6 Yhteenveto

6.1 Työn tulos

Insinöörityön tavoitteisiin päästiin. Löydettiin kustannustehokas ratkaisu toteuttaa röntgenkuvalevyjen automaattinen tarkistuspiste tekemällä osa laitteesta itse ja teettämällä osa laitteesta alihankkijalla. Talon sisäistä osaamista hyödynnettiin SICKin laitetestissä, robotin mekaniikan ja turvahäkin suunnittelemisessä ja laitteen käyttöönotossa ja osa robotin osista koneistettiin KKG:n omassa koneistamossa.

Työn tuloksena oli toimiva prototyyppi, jossa on toimiva keskustelu robotin ja kameran ohjelmistojen välillä. Robotille on tehty muutamia erilaisia testiratoja, joilla voi testata kuvalevyn poimintaa ja kameran lineaariakselin liikuttamista kameran toiveiden mukaisesti. Ohjelmaan on laadittu tilakone, jolla voidaan määrittää, onko laite automaatti-, manuaalivai vikatilassa. Laitteelle on myös tehty yksinkertainen käyttöliittymä, josta voi ohjata yksittäisiä akseleita käsin, ja automaattitilasta voidaan ajaa kuvalevyn koon mukaisia koordinaattiohjelmaa. Robotin annettua kameralle luvan, voi kamera ohjata robotin Y-akselia haluttuihin kuvauspaikkoihin. Kameran saatua kuvat robotti ajaa kelkan ulos ja siirtää kuvalevyn kameran tekemän päätöksen mukaiseen laatikkoon.

Prototyypillä on tarkoitus kuvata muutama kuvalevysarja, minkä avulla RoimaINT laatii konenäköalgoritmin valmiiksi tuotannon käyttöönottoa varten. Kameralla otetaan kuvia kuvalevyistä siten, että robotille ajetaan useita eri asentoja. Tällöin kuvalevystä muodostuu viipaloitu kuva, jonka algoritmi yhdistää ja tekee päätelmän kuvalevyn kelpoisuudesta.

6.2 Robotin jatkosuunnitelma

Seuraava vaihe projektissa on robotin mekaniikan viimeistely eli seinien, turvaoven ja energiansiirtoketjun asentaminen. Ohjelman runko on valmis, mutta tuotekohtaiset koordinaattiohjelmat ovat vielä tekemättä. Pöydälle määritellään kullekin kuvalevyille oma paikka ja valmistetaan sapluunat, joihin kuvalevylaatikot laitetaan. Ohjelmaan tehdään myös jokaiselle kuvalevykoolle oma koordinaattiohjelma, koska laatikot ovat erikokoisia.

Tämän vuoksi koordinaatit muuttuvat hieman kuvalevyn koon mukaan. Robotille laaditaan myös yksinkertainen käyttöliittymä, jota operaattorin on helppo käyttää. Käyttöliittymässä voisi lukea selkeät käyttöohjeet robotin käytöstä. Vikakoodien pitää myös olla luettavissa ja nollattavissa käyttöliittymästä.

Laitteen käyttösyklissä, käyttöliittymässä ja käyttöystävällisyydessä on vielä paljon parannettavaa, mitä tullaan käymään läpi käyttäjien kanssa ja kehitetään eteenpäin. Laitteen käyttöystävällisyys hiotaan loppuun linjalla toimivien operaattoreiden ja tuotantoinisöörien kanssa, jotta laitteen päivittäinen käyttö olisi mahdollisimman helppoa. Laitteen turvallisuus suunnitellaan loppuun ja toiminta hyväksytetään KKG:n laatuosastolla.

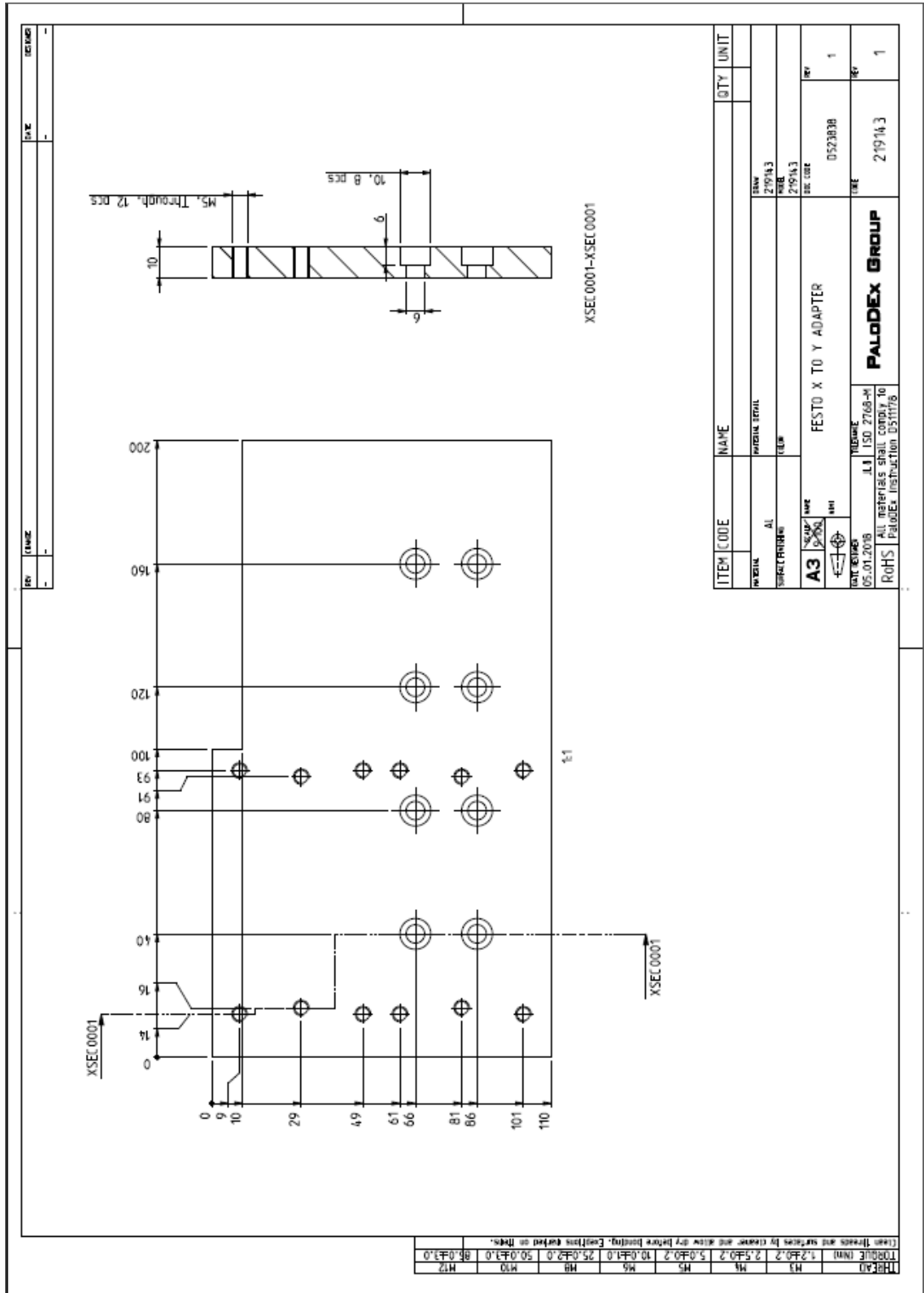
Konenäköalgoritmin loppuun viemiseen vaaditaan todella paljon referenssikuvia, että algoritmi saadaan opetettua tunnistamaan kaikki mahdolliset virhetyypit. Tätä työtä jatketaan, kunnes robotin ohjelmointi on edennyt siihen pisteeseen, että kuvalevylaatikosta saadaan poimittua useiden kuvalevyjen sarjoja. Näistä lähdetään keräämään virhetietoja, joilla konenäköalgoritmi hiotaan valmiiksi. Konenäköalgoritmia hiotaan niin pitkään, kunnes päästään KKG:n pintalaatuvaatimuksiin.

Lähteet

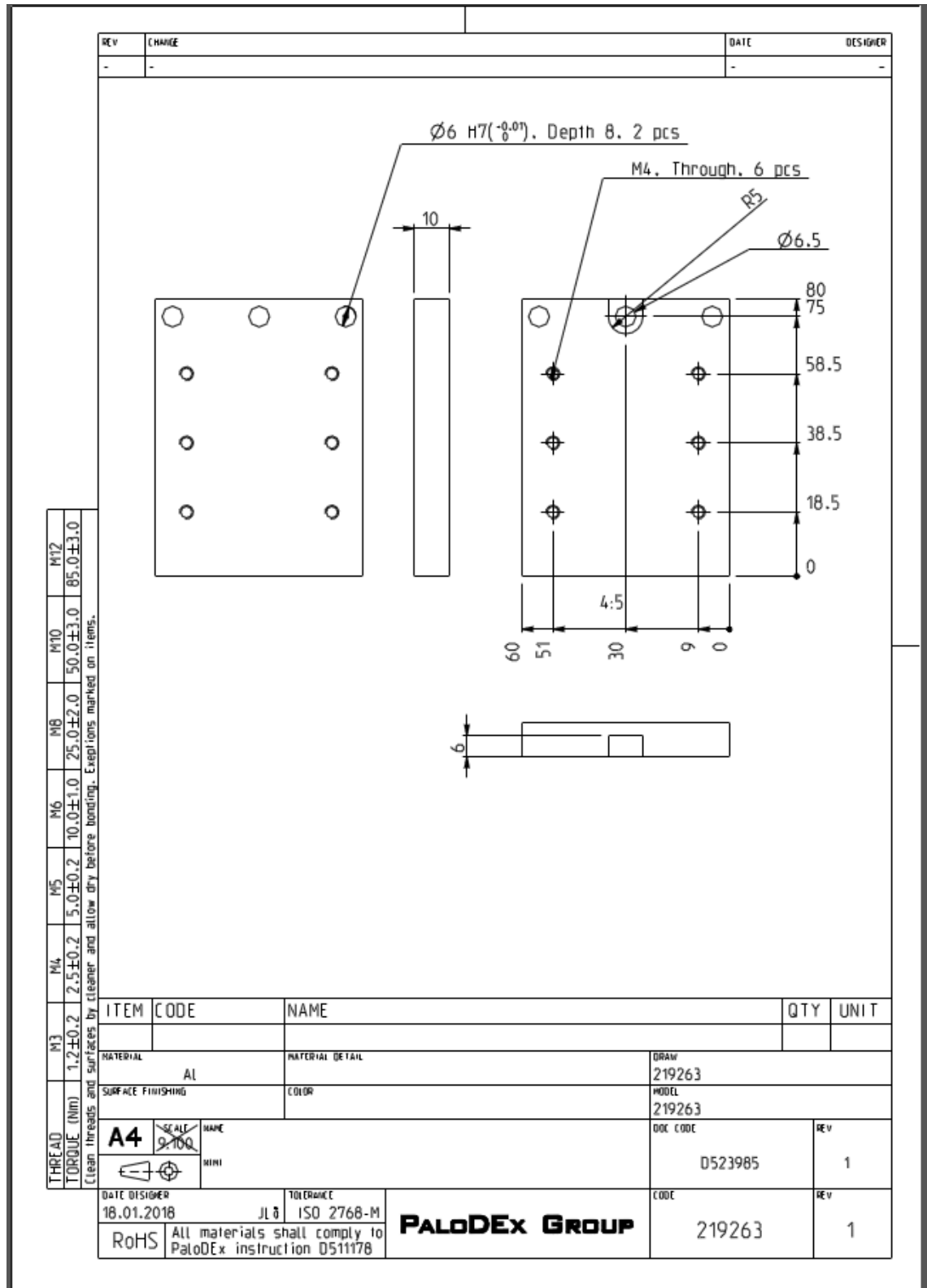
- 1 Kavo Kerr Group. 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.kavokerr.fi/fi/#yritys>> Luettu 27.11.2017
- 2 Erkki H. Tammisalo. 1975. Tutkimus.<<http://www.birpublications.org/doi/abs/10.1259/dmfr.1975.0010>> Luettu 27.11.2017
- 3 Acta radiologica. 1996. Verkkoartikkeli. <<http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3109/02841859609177678>> Luettu 28.11.2017
- 4 Fonecta Finder. Verkkodokumentti. <<https://www.finder.fi/Terveystieteidenlaitteita+ja+tarvikkeita/KaVo+Kerr+Group+Finland/Tuusula/yhteystiedot/782485>> Luettu 10.12.2017
- 5 SICK. 2018. Verkkodokumentti. <<https://www.sick.com/fi/fi/sick-agn-yritysesittely/w/about/>> Luettu 12.2.2018
- 6 Danaher. 2017. Verkkodokumentti. <<http://www.danaher.com/>> Luettu 27.11.2017
- 7 Festo 2017. Verkkodokumentti <https://www.festo.com/cms/fi_fi/index.htm?kw=festo&qclid=CjwKCAiA9rjRBRAeEiwA2SV4Zds-dwiTw2me3oV4xQaP56x7pHhu2egYDiBSEYi7-9iLHsRRWm7LAbxoC-BiUQAvD_BwE> Luettu 11.12.2017
- 8 Festo 2017. Verkkodokumentti <https://www.festo.com/PDF_Flip/trends_in_automation/2_2017/HQ/html5/index.html#1/z> Luettu 11.12.2017
- 9 Six Sigma. Verkkodokumentti. <<http://www.sixsigma.fi/index.php/fi/lean/>> Luettu 18.12.2017
- 10 Sick. 2018. Verkkodokumentti. <<https://www.sick.com/fi/fi/w/sick/>> Luettu 5.2.2018
- 11 Sick vuosikertomus 2016. Verkkodokumentti. <<https://www.sick.com/medias/sick-gb2016-e.pdf?context=bWFzdGVyfHJvb3R8NDc1MzU3MXxhcH-BsaWNhdGlvbI9wZGZ8aDNIL2g5Yy85MjI0MTc4NzYxNzU4LnBkZn-wyY2U3MmE1YTYzYzQ0NGI2Yzg3MGI3NWYwNzRiODVIZjE0YTM5ZWU1MzJmYiMzZjBjM2ZiZmFkNDVmMjhhNzFj>> Luettu 5.2.2018
- 12 Bosch Rexroth. 2018. Verkkodokumentti. <<https://www.boschrexroth.com/fi/fi/yritys/tietoa-bosch-rexrothista/about-bosch-rexroth-4>> Luettu 12.2.2018

- 13 Eidtech. 2018. Verkkodokumentti. <<https://www.eidtech.fi/eid/en/>> Luettu 13.2.2018
- 14 Roima intelligence. 2018. Verkkodokumentti. <<https://roimaint.fi/yritys/>> Luettu 12.2.2018
- 15 Festo. 2018. Verkkotietokanta. <https://www.festo.com/net/fi_fi/SupportPortal/default.aspx> Luettu 15.2.2018
- 16 Festo. Festo Motion FHPP EN. 2018. Verkkodokumentti. Dokumentti on liitetiedostona Codesys 3.5 function blockien latauksen yhteydessä. <https://www.festo.com/net/fi_fi/SupportPortal/default.aspx?q=1512320&tab=4&s=t#result> Luettu 12.2.2018
- 17 SICK. IO-Link – automaatiojärjestelmiin liittyminen. <<https://www.sick.com/fi/fi/io-link-automaatiojaerjestelmiin-liittyminen/w/io-link-integration/>>Luettu 4.4.201

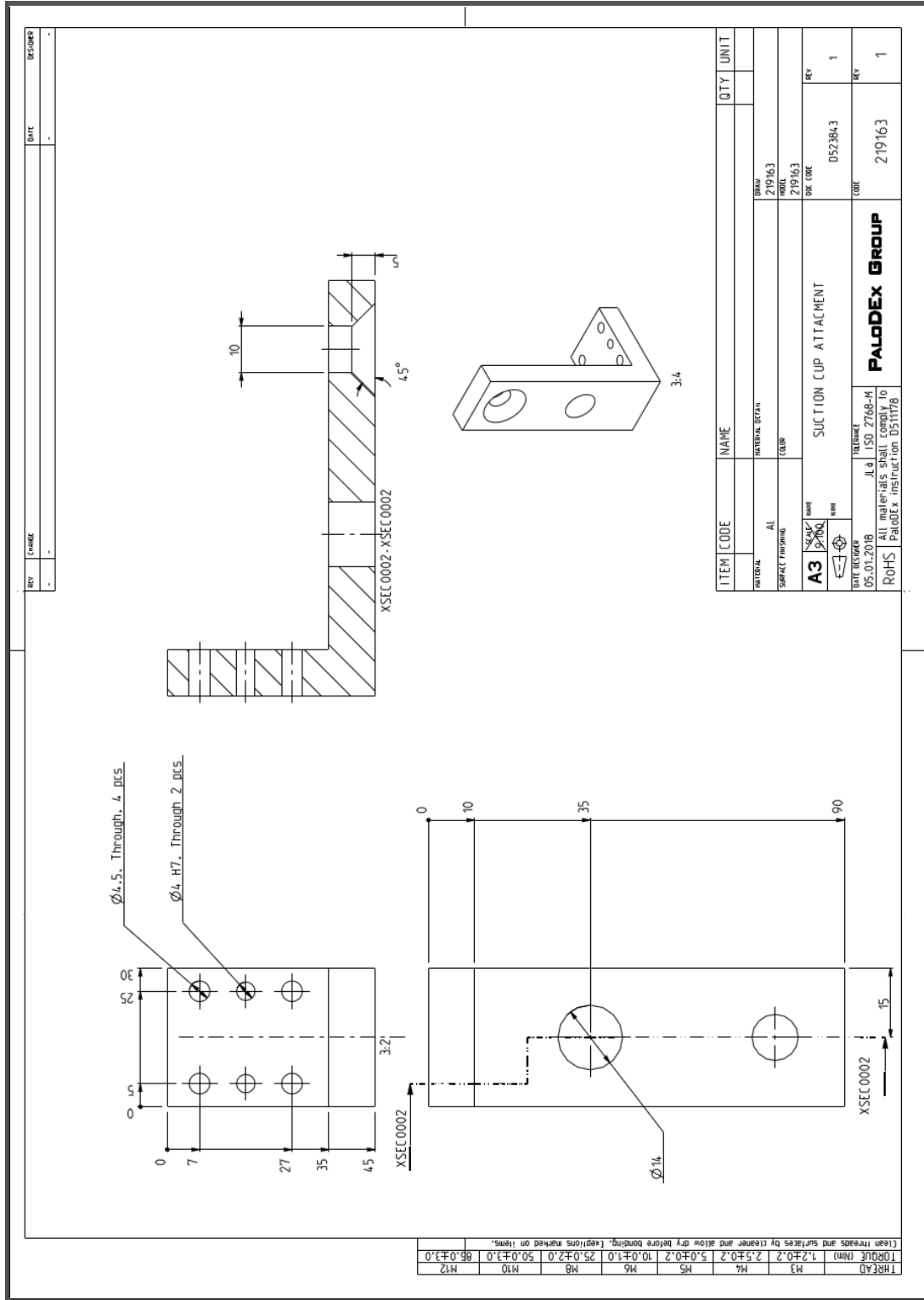
X- ja Y-akseleiden välisen sovitinpalan työkuva



Y- ja Z-akseleiden välisen sovituspalan toisen osan työkuva



Z-akselin ja imukupin välisen sovitinpalan työkuva



ITEM CODE	NAME	QTY	UNIT
XSEC0002	SUCTION CUP ATTACHMENT	1	REV

ITEM CODE	NAME	QTY	UNIT
XSEC0002	SUCTION CUP ATTACHMENT	1	REV
219163	DRAW		
219163	MODEL		
219163	DOC CODE		
D523843	REV		
219163	REV		

PALODEX GROUP

ISO 2768-M
 Palodex -instruction 031117B

REACH
 RoHS

REACH
 RoHS

REACH
 RoHS

REACH
 RoHS

REACH
 RoHS

REACH
 RoHS

REACH
 RoHS

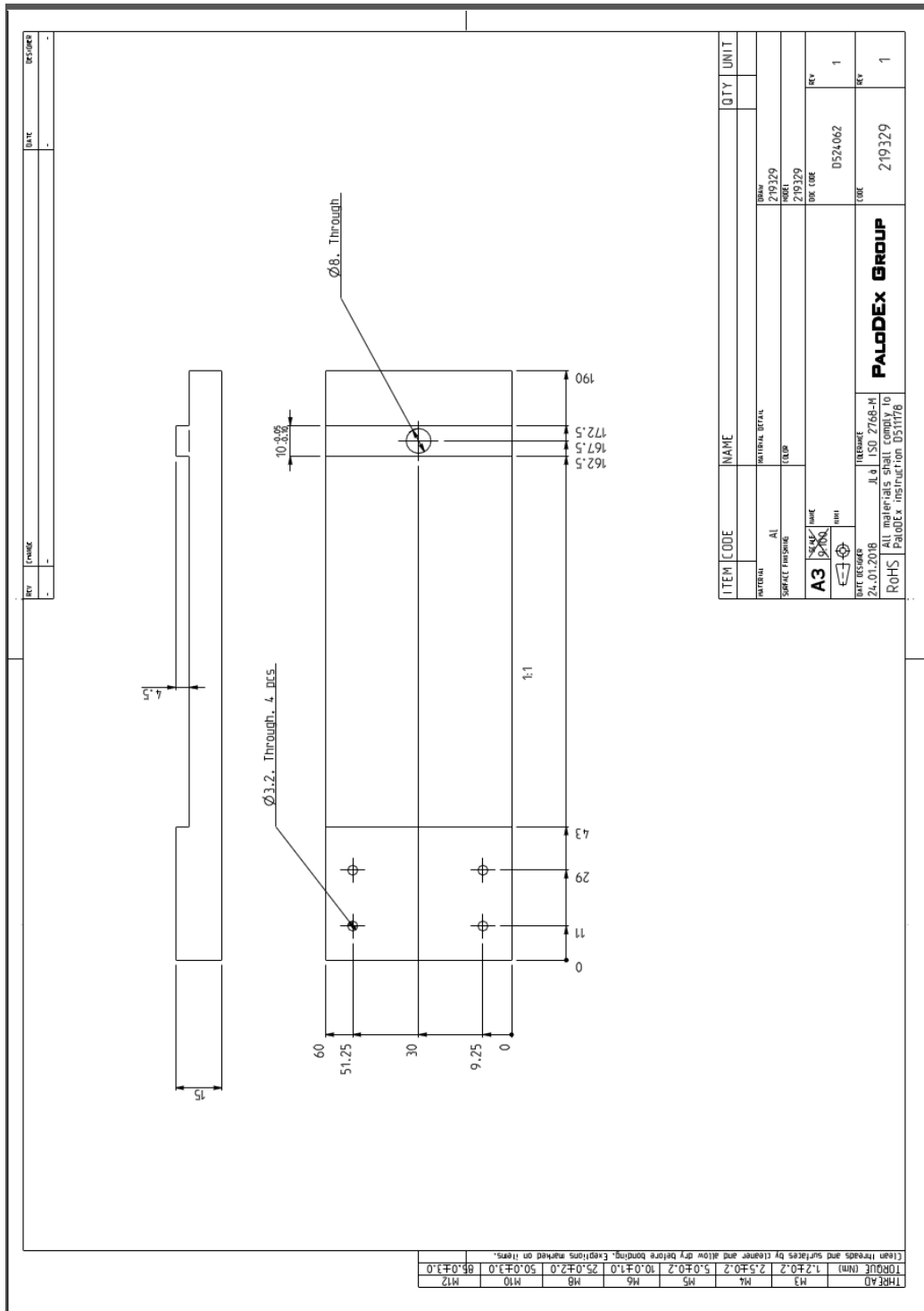
REACH
 RoHS

REACH
 RoHS

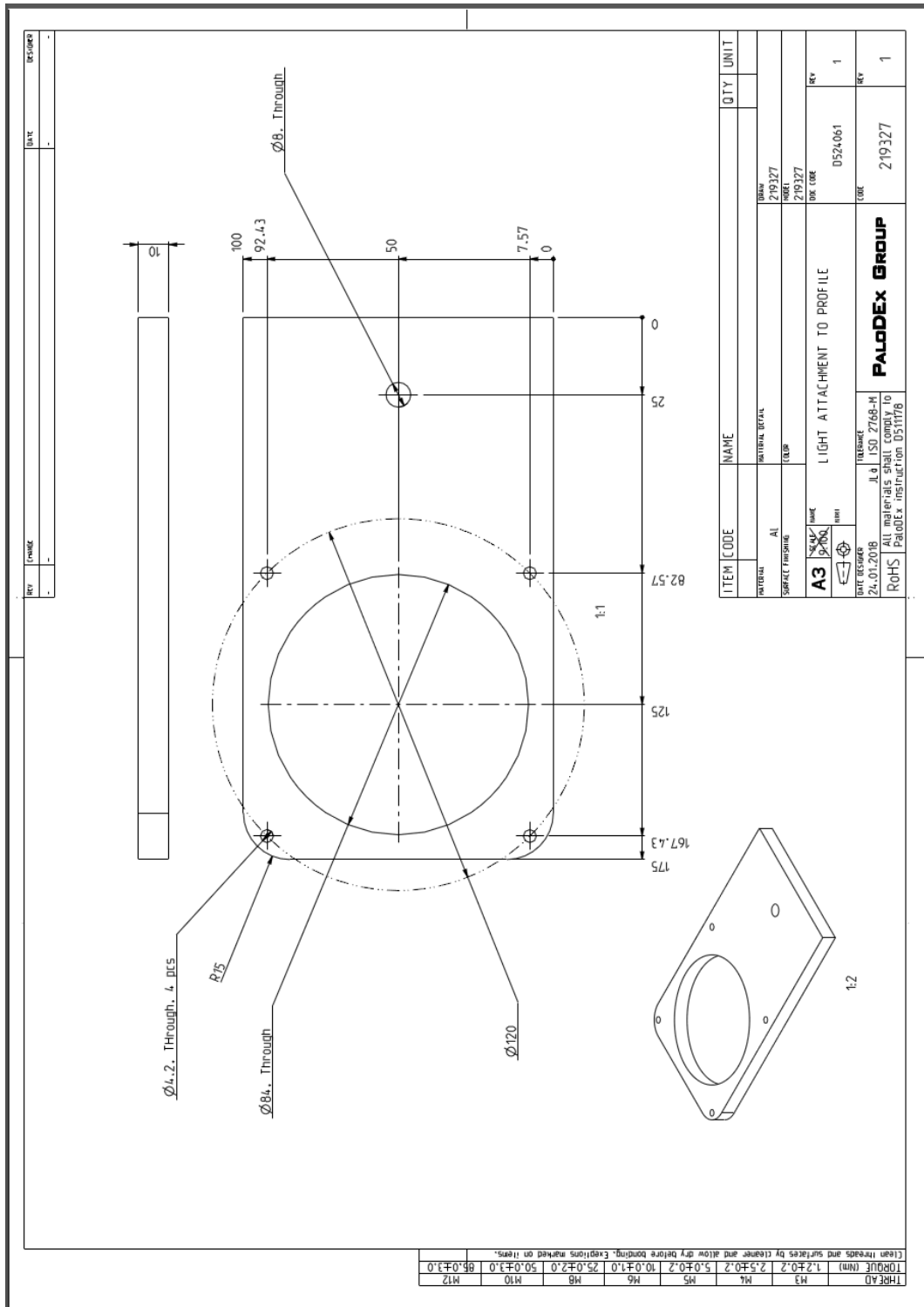
REACH
 RoHS

REACH
 RoHS

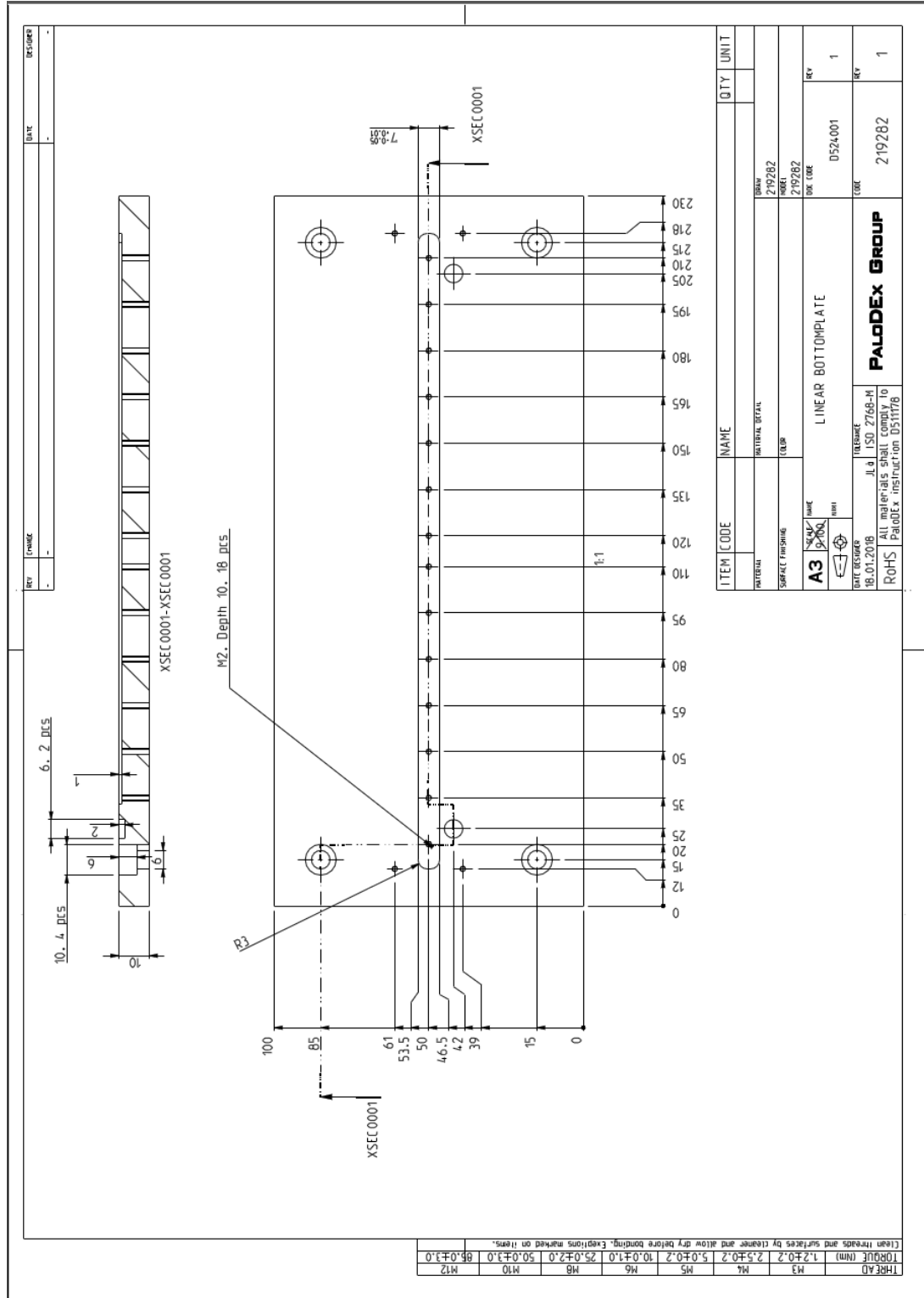
Kameran ja Bosch Rexrothin 45x45L-profiilin välisen sovitinpalan työkuva



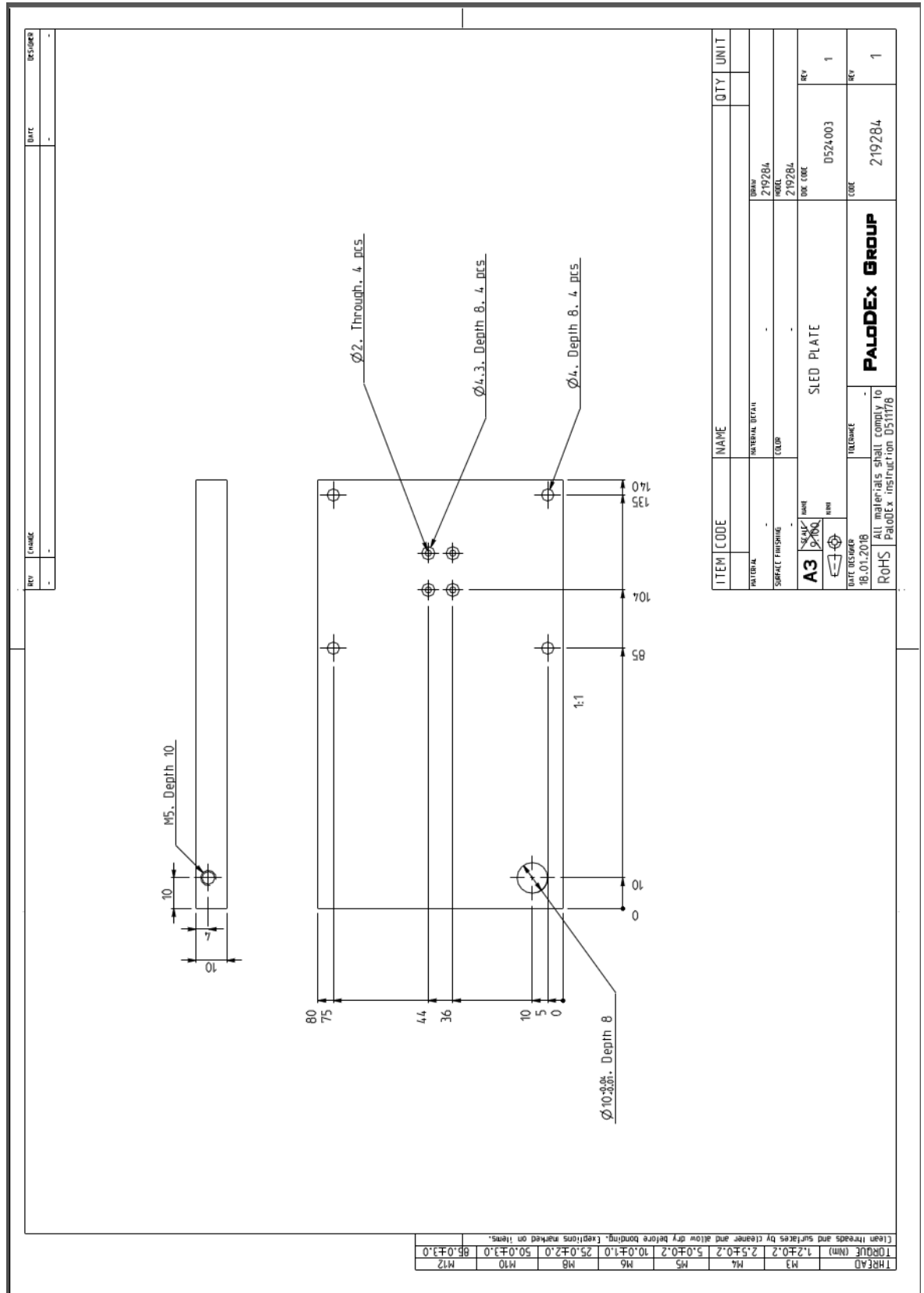
Valon ja Bosch Rexrothin 45x45L-profiilin välisen sovitinpalan työkuva



Kameran mekaanisen lineaariakselin aluslevyn työkuva

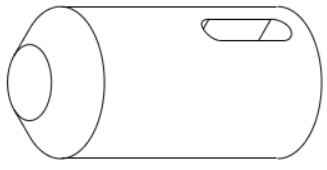


Kameran mekaanisen lineaariakselin kelkka

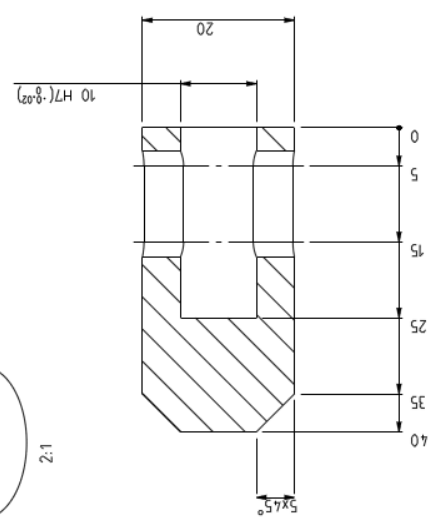


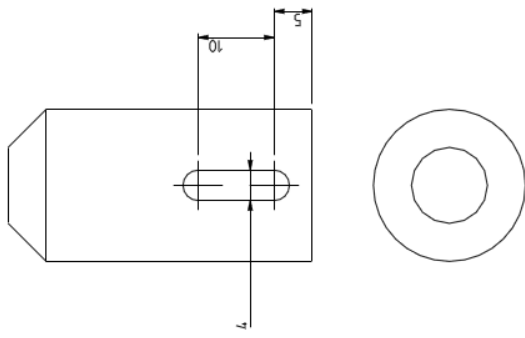
Kameran mekaanisen lineaariakselin työntötangon jousto

REV	CHANGE	DATE	DESCRIBE



2:1





XSEC 0001-XSEC 0001
2:1

ITEM CODE	NAME	QTY	UNIT

DRAW	219558
MODEL	219558
DOK CODE	0524+69
REV	1
CODE	219558

MATERIAL	MATERIAL REFERENCE	GROUP	REVISION	DATE RECEIVED	REVISION
A3				20.03.2018	
ALL materials shall comply to RoHS PalodeX - instruction 0511176					

HEAD	M3	1.2±0.2	2.5±0.2	5.0±0.2	10.0±1.0	25.0±2.0	50.0±1.0	M12
Clean threads and surfaces by primer and allow dry before bonding. (options marked on items.)								