



Vesa Kulkki

Detektorituotannon testausaseman automatisointiprojekti

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

12.10.2021

Tiivistelmä

Tekijä: Vesa Kulkki
Otsikko: Detektorituotannon testausaseman automatisointiprojekti
Sivumäärä: 39 sivua
Aika: 12.10.2021

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine: Automaatiotekniikka
Ohjaajat: Team Leader Teemu Latonen
Lehtori Timo Tuominen

Opinnäytetyön tavoite oli päivittää detektorituotannon testausasema Hitachi High-Tech Analytical Science Finland Oy:lle. Tehtävä oli suunnitella uusi testausaseman mekatroniikka tuotannonvirtauksen optimoimiseksi. Vaatimustenmäärittely vaati turvallisuussäädöksiä täyttymisen, tuoteversioiden huomioimisen ja option laajemmasta automatisoinnista seuraavassa vaiheessa.

Opinnäytetyö sisältää mekatroniikan suunnittelun ja ohjauksen määrittelyn. Teoriaosuus esittelee turvallisuussäädöksiä, vaatimuksia pneumatikan käytölle puhdistilassa ja projektissa käytettyjä suunnittelutyön menetelmiä.

Uusi testausasema korvaa vanhan manuaalisen testausaseman. Suunnittelutyö suoritettiin Solidworks 3D CAD -ohjelmistolla ja versiohallinta toteutettiin PDM-ympäristössä. Sopivat toimilaitteet valittiin täyttämään suunnitellut liikeradat nopeus- ja voimaominaisuudet huomioiden. Mekaanisella ratkaisulla saavutettiin vaadittu liiketarkkuus ja estetään virhesyöttö.

Lopuksi hankittiin komponentit, suoritettiin kokoonpano ja testaus.

Opinnäytetyön tuloksena toimitettiin vaatimustenmukainen ja täysin toimiva testausaseman mekatroniikka seuraavaan vaiheeseen. Testausasema on yhteensopiva tulevaisuuden automaatiohankkeisiin.

Avainsanat: automaatio, tuotannonkehitys, mekatroniikka

Abstract

Author: Vesa Kulkki
Title: Automation Project of a Detector Production Testing Station
Number of Pages: 39 pages
Date: 12 October 2021

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and automation engineering
Professional Major: Automation engineering
Supervisors: Teemu Latonen, Team Leader
Timo Tuominen, Senior Lecturer

The purpose of the thesis project was to update a detector production testing station for Hitachi High-Tech Analytical Science Finland Ltd. The goal was to design testing the station mechatronics for optimizing production flow. System functional requirements demanded fulfilment of safety regulations, consideration of product variety and an interface for further automation.

The thesis includes design and control definition of mechatronics. Theory section presents introduction of safety requirements, requirements for use of pneumatics at clean room environment and methods used for design work.

The novel testing station replaces former manual testing station. Design work was carried out with Solidworks 3D CAD program including revision control in PDM environment. Actuators were selected to fulfill the required degrees of freedom with observation of characteristic velocity and force features. Mechanical solution was created to achieve required accuracy and prevent misfeed. Finally, components were sourced, assembled and tested.

As a result of the thesis project, a fully operational testing station mechatronics subsystem that meets the specified requirements was delivered for the next project phase. Also, the testing station design is future proof for upcoming automation development projects.

Keywords: Automation, R&D Production Engineering, Mechatronic

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Turvallisuusvaatimusten perusteet	3
2.1	Työturvallisuuslaki	4
2.2	Käyttöasetus	6
2.3	Konelaki	6
2.4	Koneasetus	6
2.5	Yhdenmukaistetut standardit	8
2.6	Konedirektiivin edellyttämä suunnittelumetodi	9
2.7	Säteilyturvallisuus	10
3	Pneumatiikan käyttö puhdastilassa	11
3.1	Paineilman valmistelu	11
3.2	Pneumaattinen toimilaite puhdastilassa	12
4	Empiirinen menetelmien hyödyntäminen suunnittelutyössä	13
4.1	Kelluva spesifiointi	14
4.2	Tiedostamaton oivallus tietoisesti	15
4.3	Ohjaavan analyysin käyttö	15
5	Suunnittelutyö	17
5.1	Projektinohjaus ja vaatimusmäärittely	17
5.2	Vakuumikammio	18
5.3	Työkannan suunnittelu	19
5.4	Syöttömekaniikan ensimmäinen versio	21
5.5	Pneumaattinen vertikaalisyöttö	23
5.6	Kappaleeseen tarttuminen ja kohdistaminen	26
5.7	Automaattinen signaalikytkentä	28
5.8	Testattavien kappaleiden tuotantoversioiden huomioiminen	29
5.9	Turvaominaisuudet	29
5.10	Suunnittelutyön tuotos	33
6	Yhteenveto	36

Lyhenteitä ja käsitteitä

HHA:	<i>Hitachi High-Tech Analytical Science Finland Oy.</i> Hitachi High-Tech Analyticalin Suomen toimipiste, osa Hitachi Ltd:n omistamaa Hitachi High-Tech -konsernia.
PDM:	Product Data Management, Tuotetiedon hallinta ohjelmistoympäristössä, tuotetietojen ja -tiedostojen keskitetty tallennus ja versionhallinto.
SFS:	Suomen Standardoimisliitto Ry.
STUK:	Säteilyturvakeskus.
Säteilylähde:	Säteilylaki (859/2018) 4 § <i>Määritelmät</i> määrittää, että laissa säteilylähde tarkoittaa säteilylaitetta sekä radioaktiivista ainetta, jota käytetään sen radioaktiivisuuden vuoksi.

1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön aiheena on päivittää Hitachi High-Tech Analytical Science Finland Oy:n puhdastiloihin määritysten mukainen detektorituotannon testausasema. Luotettavan röntgen-detektorin valmistaminen on tarkkaa työtä. Se sisältää useita työvaiheita automatisoidusti ja operaattorityönä. Automaatio tuotannontestauksessa mahdollistaa testauskyvyn kehittämisen sekä resurssien optimoinnin tuotannon kasvuun ja laajenemiseen.

Tarve tuotannon testausaseman päivitykselle on muodostunut tuotantomäärien kasvaessa. Testaukseen käytettävä työaika tulee minimoida resurssien optimoimiseksi. Lisäksi vanhan, täysin manuaalisen, testausaseman komponentit ovat elinkaaren lopussa, mikä vaikuttaa tuotantoon ennalta arvaamattomin korjaustarpein. Suunnittelutyö kohdistuu testattavien kappaleiden käsittelyn automatisointiin ohjausvaatimuksineen. Elektroniikka, ohjelmointi ja testilaitteisto mittalaitteineen ei ole päivityksen alaisena tässä projektissa.

Kehitystyön tavoite on ylläpitää testauskykyä ja poistaa manuaaliset asetusajat. Toissijaisesti poistetaan testausaseman komponenttien tyhjiövaatimukset ja läpivientien tarve siirtämällä signaalinkäsittely vakuunikammion ulkopuolelle. Lisäksi käyttöön otettavan testausaseman tulee olla turvallinen, modulaarinen ja nopeasti huollettavissa. Testauskyky täytyy olla saavutettavissa jokaiselle tuotanto- ja kehitysversiolle.

Opinnäytetyössä esitellään suunnitteluun ja käyttöön vaikuttavia säädöksiä, käyttöympäristön vaatimuksia ja työn onnistumiseen vaikuttavia suunnittelumetodeja. Raportoinnissa keskitytään määrityksien toteuttamiseen sopivin liikeradoin, toimilaittein ja mekaanisin ratkaisuin. Vastaavaa laitetta ei ole yleisesti markkinoilla, suunnittelutyö suoritetaan vailla viitettä vastaavaan laitteeseen. Suunnittelutyön ensimmäisessä ideassa ja lopullisessa tuotoksessa

on havaittavissa yhtäläisyyksiä yleiseen teollisuuden kappaleen käsittelyyn ja työstökoneisiin.

Uusi tuotannon testausasema tulee olla mahdollista täysautomasoida seuraavassa vaiheessa lisäämällä kokonaisuuteen esimerkiksi Universal Robotsin yhteistyörobotin.

Hitachi High-Tech Analytical Science Finland Oy (HHA) on osa Hitachia. Ydinosaaminen on vaativissa materiaalianalyysisovelluksissa. HHA kehittää ja valmistaa luotettavia ratkaisuja alkuaineiden analysointiin vaativissa olosuhteissa. Suomen toimipiste keskittyy pääsääntöisesti röntgen- ja laserlähteitä hyödyntäviin alkuaineanalyysointilaitteisiin ja niiden valmistusmenetelmien tutkimus- ja kehitystyöhön. Organisaatiolla on Suomessa yli 50 vuoden kokemus alkuaineiden analysoinnista ja menetelmien kehittämisestä. Organisaatio on ollut osa Hitachia vuodesta 2017.

2 Turvallisuusvaatimusten perusteet

HHA:n strategian mukaisesti kaikkea toimintaa ohjaa työhyvinvointi, turvallisuus ja eettisyys. Turvallisuuden toteutuminen järjestetään standardien mukaisella toiminnalla, ohjeistuksella ja sidosryhmiin tukeutuvalla säännöllisellä koulutuksella. Lisäksi aktivoidaan työntekijöitä jatkuvaan riskien tunnistamiseen ja turvallisuuden kehittämiseen.

Uusi tuotannon testausasema täyttää lain tarkoittaman koneen tunnusmerkit. Se suunnitellaan ja valmistetaan omaan käyttöön. Lainsäädäntö ei erottele myytäväksi tarkoitettua konetta omaan käyttöön valmistetusta. Säädöksissä vastuu koneturvallisuudesta kohdistuu suunnittelijoihin, valmistajiin ja käyttäviin työnantajiin (1). Suunniteltua konetta ei ole tarkoitettu saatettavaksi markkinoille. Valmistaja ja käyttöön ottava organisaatio ovat sama oikeushenkilö.

Mekatroniikan suunnittelu oli osa testausaseman päivitysprojektia. Työ tehtiin niin, että työnantajalla on edellytykset täyttää velvoitteensa. Säädöstenvastaista konetta ei voida ottaa käyttöön. Säädösten ja velvoitteiden täytyminen varmistuu käyttöönottovaiheessa. Koneen riskien arvioinnissa huomio on kiinnitettävä esimerkiksi liikkuviin osiin, jännitteellisiin osiin, terveydelle haitallisiin kaasupäästöihin, säteilyyn ja automaattisiin toimintoihin (1).

Koneen suunnittelua ja valmistusta ohjaa EU:n konedirektiivi. Konedirektiivi varmistaa koneiden korkean turvallisuustason, se sisältää vain olennaiset vaatimukset. (2.) EU:n määrittelemät direktiivit astuvat voimaan ja pannaan täytäntöön kansallisin säädöksin joita tarkennetaan asetuksin. Suomi julkaisee säädöskokoelman sähköisenä kaikille avoimessa Finlex-tietokannassa. Säädöksiä ovat esimerkiksi lait, valtioneuvoston asetukset ja viranoimaisten määräykset. (3.)

Työturvallisuuslaki astuu voimaan koneen käyttöönotosta. Lainsäädännön tunteminen on tärkeää. Tietämättömyys velvoitteista on huolimattomuutta. Huolimattomasti tehdyt tai tekemättömät asiat täyttävät työturvallisuuslain

tarkoittaman rikkomuksen tuntomerkit, joista rangaistus säädetään rikoslaissa Työturvallisuuslaki 738/2002, 63§. (4.)

Säädöksiä ymmärtämiseksi tutustuttiin koneiden turvallisuutta koskeviin säädöksiin ja standardeihin, esitellään niistä suunnittelun ja käytön (työnantajan velvollisuudet) kannalta oleellimmat.

2.1 Työturvallisuuslaki

Uusi työturvallisuuslaki (738/2002) on astunut voimaan 1.1.2003. Viimeisimmät muutokset siinä ovat astuneet voimaan 1.10.2021. Työturvallisuuslain (738/2002) tarkoitus on määritelty lain ensimmäisessä pykälässä. Tarkoituksista vähintään työtatapaturmien ja terveyshaittojen torjunta on huomioitava konesuunnittelussa. (4.) Turvallinen kone auttaa työnantajaa täyttämään velvollisuutensa.

Toisen luvun 8 § *Työnantajan yleinen huolehtemisvelvoite* muun muassa velvoittaa tarpeellisin toimenpitein huolehtimaan työntekijöiden turvallisuudesta ja terveydestä työssä, sekä jatkuvaan työympäristön ja toteutettujen toimenpiteiden vaikutusten tarkkailuun. (4.) Toisen luvun 10 § *Työn vaarojen selvittäminen ja arviointi* edellyttää momentin yksi mukaisesti työnantajaa riittävän järjestelmällisesti selvittämään ja tunnistamaan työn ja työympäristön haitta- ja vaaratekijöiden merkitys työntekijälle. Toiminta on suoritettava riittävällä asiantuntemuksella, kyseinen selvitys ja arviointi tulee olla työnantajan hallussa. (4.) Toisen luvun 11 § *Erityistä vaaraa aiheuttava työ* määrää, että jos lain 10 §:ssä tarkoitettu työn vaarojen arviointi osoittaa erityistä tapaturman vaaraa, niin työn suorittamiselle ja tekijälle on rajoitteensa ja muiden henkilöiden pääsy vaara-alueelle estettävä. (4.)

Viidennen luvun 24 § *Työpisteen ergonomia, työasennot ja työliikkeet* säättää työpisteen ja käytettävien työvälineiden ergonomian asianmukaisuudesta. (4.) Viidennen luvun 32 § *Työpaikan rakenteellinen ja toiminnallinen turvallisuus ja terveellisyys* määrää laitteiden turvallisuudesta ja terveellisyydestä työntekijälle,

sekä käsiteltävyydestä ja turvallisesta puhdistettavuudesta. (4.) Viidennen luvun 39 § *Fysikaaliset tekijät ja sähköturvallisuus* säättää esimerkiksi terveydelle haittaa tai vaaraa aiheuttavan melun ja säteilyn rajoittamisesta riittävän vähäiseksi. Ne eivät saa aiheuttaa haittaa tai vaaraa työntekijän turvallisuudelle, terveydelle tai lisääntymisterveydelle. Lisäksi sähkölaitteista johtuvan vaaran tulee olla mahdollisimman vähäinen. (4.)

Työturvallisuuslaki säättää Koneiden, työvälineiden ja muiden laitteiden turvallisuudesta esimerkiksi 41 § *Koneiden, työvälineiden ja muiden laitteiden käyttö* rajaa käytettävät laitteet säännösten mukaisiksi ja tarkoituksenmukaisiksi. Velvoittaa huolehtimaan oikeasta asennuksesta, tarpeellisista suojalaitteista ja merkinnöistä, vaara-alueelle pääsyn rajoittamisesta sekä asianmukaisesta huollosta. Lisäksi 43 § *Työvälineen käyttöönotto- ja määräaikaistarkastukset* säättää turvallisuuteen vaikuttavan koneen turvallisen toimintakunnon varmistamisesta ennen ensimmäistä käyttöönottoa ja tarkastuksen suorittajan pätevyydestä sekä tarkastamisesta annettujen säädöksien noudattamisesta. Huomioitava yksityiskohta on, että tämän lakipykälän mukaisesti vaarallisen koneen tarkastuksen saa suorittaa vain asiantuntijayhteisö tai riippumaton asiantuntija. (4.)

Seitsemäs luku työn turvallisuuteen vaikuttavien muiden henkilöiden velvollisuuksista sisältää esimerkiksi 56 § *Tuotteen valmistajan ja luovuttajan velvollisuudet* määrää, että koneelle asetettavista turvallisuusvaatimuksista, merkinnöistä ja tällaisen tuotteen valmistajan tai käyttöön luovuttajan velvollisuuksista ja tuotteiden valvonnasta säädetään erikseen. Seuraavan 57 § *Suunnittelijan velvollisuudet* mukaan konetta koskevan suunnitelman luovuttajan vastuulla on, että suunnitelmassa on ilmoitetun käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla huomioitu työturvallisuuslain säännökset. (4.)

Työturvallisuuslain kahdeksannessa luvussa todetaan 63 § *Työturvallisuusrikkomus* mukaisesti, että ”*Rangaistus työturvallisuusrikkoksesta säädetään rikoslain (39/1889) 47 luvun 1 §:ssä.*” Samassa lain pykälässä on huomionarvoista, että työturvallisuuslain tai siihen tukeutuvan säädöksen

säättämänä tuomittavaksi tulee esimerkiksi huolimattomuudesta johtuva laiminlyönti pakollisen suunnitelman laatimisessa tai koneen käytössä tarvittavan ohjeen luovuttamisessa. (4.)

2.2 Käyttöasetus

Valtioneuvoston asetus työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta (403/2008) määrittelee työnantajan velvollisuuksia. Ensimmäisen luvun *Yleiset säännöksen* 1 § *Soveltamisala* ilmoittaa asetusta sovellettavan työturvallisuuslaissa (738/2002) tarkoitetussa työssä käytettävien koneiden käyttöön ja tarkastamiseen. Esimerkiksi 3 § *Työvälineen käyttöohjeet* velvoittaa työnantajaa riittävien ja ajantasalla olevien ohjeiden ylläpidosta. (5.)

2.3 Konelaki

Laki eräiden teknisten laitteiden vaatimustenmukaisuudesta (1016/2004) astui voimaan 1.1.2005. Laissa on kaikkiaan 14 pykälää. Lain tarkoitus on 1 § *Lain tarkoitus* mukaisesti varmistaa käyttöön luovutettavan koneen vaatimusten mukaisuus ja asianmukainen suunnittelu, estää terveyshaitta ja tapaturmavaara koneelle tarkoitetussa käytössä. 2 § mukaisesti lakia sovelletaan valmistajaan ja muuhun käyttöön luovuttajaan. Lisäksi konelaki säättää esimerkiksi valmistajan huolehtemisvelvollisuudesta, vaatimustenmukaisuusolettamasta ja vaatimustenmukaisuuden osoittamisesta. (6.)

2.4 Koneasetus

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta (400/2008) vastaa EU:n konedirektiiviä (2006/42/EY) Suomessa (7, s. 19). Asetus sisältää kaikkia koneita koskevat vaatimukset. Koneasetusta voidaan soveltaa kaikkiin koneisiin ja niiden yhdistelmiin.

Kuitenkin ainoastaan konedirektiivin (2006/42/EY) liite I *Koneen suunnittelua ja rakentamista koskevat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset* ovat

tosiasiallisesti pakollisia (8, s. 7). Konedirektiivin Liite I on yhteneväinen asetus 400/2008 liite I kanssa. Liite I esimerkiksi jakaa terveys- ja turvallisuusvaatimukset kuuteen luokkaan. Ensimmäinen luokka on kaikille koneille, loput tarkennuksia tiettyjen koneryhmien erityisvaaroille. (9, liite 1.)

Liitteen I yleisten periaatteiden neljän kohdan sisäistäminen on oleellista turvallisen lopputuloksen saavuttamiseksi. Ensimmäinen kohta velvoittaa ja ohjeistaa riskien arvioinnin suorittamiseen, jotta terveys- ja turvallisuusvaatimukset voidaan määrittää. Toinen kohta ilmoittaa:

Olennaisissa terveys- ja turvallisuusvaatimuksissa asetettuja velvoitteita sovelletaan ainoastaan, jos vastaava vaara on olemassa kyseisessä koneessa, kun sitä käytetään valmistajan tai tämän valtuutetun edustajan ennakoimissa olosuhteissa, tai ennakoitavissa olevissa epätavallisissa tilanteissa. (9, liite 1.)

Joka tapauksessa sovelletaan kohdan 1.1.2 turvallistamisen periaatteita sekä kohdassa 1.7.3 – 1.7.4 sijaitsevia velvoitteita merkintöihin ja ohjeisiin. Kolmas kohta:

Tässä liitteessä säädetyt olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset ovat pakottavia. Ottaen huomioon tekniikan tason voi kuitenkin olla mahdollista, ettei niissä asetettuja tavoitteita voida saavuttaa. Tällöin kone on suunniteltava ja rakennettava vastaamaan mahdollisimman pitkälle näitä tavoitteita. (9, liite 1.)

Neljäs kohta ohjeistaa liitteen tarkasteluun kokonaisuutena merkityksellisten vaatimusten täyttymisen varmistamiseksi. (9, liite 1.)

Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta (400/2008) 3 §
Soveltamisalan rajaukset määrittelee poikkeukset, esimerkiksi tilapäistä laboratoriokäyttöä varten erityisesti tutkimukseen suunniteltuihin ja rakennettuihin koneisiin ei sovelleta konedirektiiviä. Tilapäisyys tarkoittaa tietyn

tutkimusprojektin ajaksi rakennettua konetta. Käyttöasetuksen turvallisuusvaatimuksia poikkeus koneasetuksessa ei poista. (10, s. 41.)

2.5 Yhdenmukaistetut standardit

Koneturvallisuuden standardeja käyttävät esimerkiksi koneiden suunnittelijat, kansalliset viranomaiset ja koneiden käyttäjäorganisaatiot. Standardit eivät ole sitovia, mutta niiden pakollista noudattamista voi vaatia esimerkiksi työnantaja käyttöön otettavalle koneelle tai valvova viranomainen voimassa olevan lainsäädännön nojalla. (11, s. 8.)

EU:n yhdenmukaistettu standardi saa oikeudellisen aseman, kun sen viitetiedot on julkaistu EU:n virallisessa lehdessä tai kansallisten lakien ja asetusten kautta. Lehdessä julkaistuna aktivoituu olettamusvaikutus, jolloin standardin käyttäjä voi olettaa toimivansa lakien ja direktiivien mukaisesti. (12.) Esimerkiksi Konedirektiivin 7. artiklan kohdassa 2 sanotaan, että jos kone on valmistettu yllämainitun kaltaisen julkaistun yhdenmukaistetun standardin mukaisesti, niin sen oletetaan täyttävän standardin kattamat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset. (11, s. 5.)

Suomen Standardisoimisliiton (SFS) päätehtävinä on standardien laadinta, vahvistaminen ja julkaisu. SFS:n mukaan standardit tarjoavat teknisiä yksityiskohtaisia ratkaisuja turvallisuusvaatimusten mukaisuuden varmistamiseen ja keinoja konedirektiivin noudattamiseen. Ne eivät kuitenkaan kokonaan korvaa konedirektiivin (2006/42/EY) liitettä I. (8, s. 7.)

Konedirektiiviä (valtionneuvoston koneturvallisuusasetusta) täsmentävät turvallisuustandardit jaetaan kolmeen tyyppimukaiseen hierarkiseen portaaseen A, B ja C. (7, s. 59.)

A-Tyyppi, koneturvallisuuden perusstandardi. Ainoa A-tyypin standardi SFS-EN ISO 12100 *Koneturvallisuus* täsmentää peruskäsitteet ja suunnitteluperiaatteet. A-tyypin standardia voidaan käyttää kaikkiin koneisiin.

B-Tyyppi, turvallisuuden ryhmästandardi. Käsitellään yksittäistä turvallisuusnäkökulmaa tai useissa koneissa käytettävää suojateknistä laitetta. Kuten SFS-EN ISO 4414 *Pneumaattinen tehonsiirto*. Järjestelmiä sekä niiden komponentteja koskevat yleiset periaatteet ja turvallisuusvaatimukset.

C-Tyyppi, konekohtainen turvallisuusstandardi. Käsittelee tietyn koneryhmän yksityiskohtaisia turvallisuusvaatimuksia.

Hierarkialla esitetään päällekkäiset standardit. Suunnittelussa on selvitettävä mahdollinen konetta koskeva määräävä C-tyypin standardi. C-tyyppi ohjaa suunnittelutilanteen tarvittavat ja noudatettavat A- ja B-tyypin standardit. C-tyypin standardin noudattaminen ei yksin poista vaatimusta riskin arvioinnin suorittamista ja dokumentointia. (8, s. 5.)

2.6 Konedirektiivin edellyttämä suunnittelumetodi

Konedirektiivin edellyttämä suunnittelumenetelmä esitetään standardissa SFS-EN ISO 12100 Koneturva. Ensisijaisesti poistetaan vaarat ja pienennetään riskejä. Toisekseen jäljelle jääneiden riskien minimoimiseksi käytetään suojausteknisiä toimenpiteitä, kuten turvalaitteet, suojukset ja hätäpysäytys. Jäljelle jääneet vaarat ja riskit ohjeistetaan käyttäjälle merkinnöin, ohjein ja henkilösuojainten käyttövaatimuksilla. (7 s. 65.)

Koneturvallisuus toteutuu tehokkaalla riskien arvioinnilla ja hallinnalla. On erityisen tärkeää tunnistaa kaikki vaarat koneen koko elinkaarella. Riskien arviointi on sarja loogisesti eteneviä tapahtumia joilla on mahdollisuus tutkia järjestelmällisesti koneeseen liittyviä vaaroja. Riskin arviointi on suositeltua tehdä ryhmätyönä. Riskin arviointi toteutetaan kaaviolla. Tunnistettuja riskejä poistetaan ja pienennetään, kunnes poistuneet tai hyväksyttävä taso on saavutettu. Vaaratekijöiden tunnistamiseen voi käyttää standardin SFS-EN ISO 14 121-1 liitteessä A olevia luetteloita vaaratekijöistä (7, s. 67). Aloittamalla arvioinnin vailla turvalaitteita pystytään osoittamaan riskit ja riskien pienentämisen keinot. Suunnittelutyön päätteksi tulisi arvioida jäännösriskit.

2.7 Säteilyturvallisuus

Uusi säteilylaki (859/2018) astui voimaan 15.12.2018. Laki on tarkoitettu terveyden suojeluun säteilyn aiheuttamilta haitoilta, STUK toimii valvovana viranomaisena (säteilylaki 859/2018, 1§ & 14§). Turvallisuuslupaa edellyttävässä toiminnassa toiminnanharjoittajan on käytettävä säteilyturvallisuusasiantuntijaa. (13.) Säteilyturvallisuuteen liittyvät vaatimukset säännökset ja STUKin määräykset löytyvät verkosta kootusti STUKin ylläpitämästä Sammio-palvelusta (14).

3 Pneumatiikan käyttö puhdastilassa

Testausaseman käyttöpaikka on puhdastilassa. Puhdastilaan vietävän esineen on oltava puhdastilaan sopiva. Sopimattomasta esineestä saattaa irrota hallitsematon määrä hiukkasia. Sopimaton esine puhdastilassa vaarantaa kaikki tilassa suoritettavat prosessit. Toimiva puhdastila mahdollistaa hiukkasille herkän tuotteen laadukkaan valmistuksen.

Clean Room Tech määrittelee tiivistetysti:

Puhdastila on tila jossa ilmassa esiintyvien partikkeleiden määrää kontrolloidaan, minimoimalla niiden sisäänpääsy, syntyminen ja viipymä tilassa. Lisäksi tilassa kontrolloidaan asetetun luokituksen mukaisesti lämpötilaa, kosteutta ja ilmanpaineen suhdetta. (15.)

Puhdastila luokitellaan hiukkaspitoisuuden määrällä standardin SFS-EN ISO 14644-1:2015 mukaisella puhdastilan tasoilla 1-9. Luokituksessa huomioidaan hiukkaspopulaatiosta vain kumulatiivisen jakauman 0,1 µm...5 µm väliset pitoisuudet. (16.)

Puhdastilaan sijoitettavien laitteissa tulisi hiukkasten irtoaminen olla minimoitu ja niiden tulisi olla mahdollisuuksien mukaan pinnoiltaan helposti puhdistettavissa.

3.1 Paineilman valmistelu

Luonnollinen ilma ei ole riittävän puhdas toimilaitteille. Ilmaan sitoutuneen kosteuden pienentäminen on valmistelun tärkein tehtävä. Paineilma valmistellaan prosessoinnilla vaaditulle puhtaustasolle. Muut prosessissa poistettavat epäpuhtaudet ovat öljy, terva, ruoste ja noki (17, s. 7). Teollinen ilmanlaatu määritellään ISO 8573 -standardin mukaisesti. Käytettävä ilma tulisi aina testata käyttöpaikassa ISO 12500 -standardin mukaisesti. Standarditaulukon korkeimman tason 1 yläpuolella taso 0 merkitsee yli taulukon, määrittäjä käyttäjän tai toimittajan toimesta. (17, s. 8.)

Esitetään eräs laitevalmistajan luettelema tapa puhtaimman paineilman saavuttamiseksi:

- Paineistettu ilma karkeasuodatetaan päävirtasuodattimella ja johdetaan vedenerottimeen, jolloin 99 prosenttia vesipisaroista poistuu. Tämä on minimivaatimus teollisuudessa.
- Jäähdyttävän ilmankuivaimen käytöllä saavutetaan 700 kPa:n paineessa kastepisteeksi 3 °C. riski kastepisteen saavuttamisesta on pienennetty. Ilmanlaadun laatutaulukossa on saavutettu taso 4, 4, -. Saavutettu taso ei riitä paineilmasylinterin toimintavarmuuden saavuttamiseen, toimilaittevalmistajan mukaan käyttäminen olisi vakava työturvallisuusriski.
- Prosessi vaatii sumuerottimen käytön. Sumuerotin erottelee öljyn ja poistaa 1/3 µm suuremmat hiukkaset. Lisäämällä mikrosumuerotin täytetään ISO-standardin korkeimmatkin hiukkasvaatimukset ja öljypitoisuus asettuu 100 µg kuutiossa.
- Lisätään kalvoilmakuivain kosteuden ISO-standardin korkeimman tason saavuttamiseksi. Tämän jälkeen kuutiometristä ilmaa löytyisi alle 100 kappaletta yli 100 nm kokoista hiukkasta ja alle 3 molekyyliä vettä miljoonaa ilmahiukkasta kohden.
- Puhtaimman mahdollisen ilman valmistamiseksi voisi käyttää vielä hajunpoistinta, puhdasilmasuodatinta ja puhdaskaasusuodatinta. 100 m³ ilmaa sisältäisi 1 epäpuhtaushiukkasen. (17, s. 10-18.)

Voidaan todeta, että paineilma on valmisteltavissa määritellylle tasolle.

Tärkeintä on sovittaa sovelluksen määritysvaatimus todelliseen tarpeeseen.

3.2 Pneumaattinen toimilaitte puhdastilassa

Pneumaattisen toimilaitteen toimittajalla on tarjoamassa puhdastilaan yhteensopivia komponentteja. Puhdastilaan soveltuvan pneumaattisen toimilaitteen ominaisuudet määrittävät täytettävän puhdastilaluokan.

Materiaalivalinnoilla on vähimmäistetty irtoavat hiukkaset. Alemmille puhdastilatasoille soveltuu puhdastilassa puhdistettu, kokoonpantu ja pakattu toimilaitte. Vaativampien tasojen täyttämiseksi toimilaitteissa on passiivisia ja aktiivisia ominaisuuksia käytössä vapautuvien hiukkasten keräykseen.

Puhdastilan tasosta ja käytetyistä komponenteista riippuen käytetty paineilma suodatetaan puhdastilan tason vaatimalla tehokkuudella tai rakennetaan kanava irronneiden hiukkasten johtamiseksi pois puhdastilasta. (18, s. 15.)

4 Empiirinen menetelmien hyödyntäminen suunnittelutyössä

Suunnittelutyö on osa tuotekehitystä. Onnistunut tuotekehitysprojekti saavuttaa asetetun minimitavoitteen ja tuottaa tietoa. Epäonnistunutkin projekti tuottaa hyödynnettävissä olevaa tietoa. Tuotekehityksen lisäarvo on organisaation ja yksilön oppiminen. Aikaisemmin toteutetut projektit vaikuttavat resurssien kykyyn luoda arvoa.

Riittävä resurssointi on tuotekehityksen onnistuminen edellytys.

Tuotekehityksen tarkka tulos on etukäteen tuntematon. Tuotekehitysprojektin aloittamiseksi on asetettava selkeä saavutettava minimitavoite ja arvioida resurssitarve tavoitteen saavuttamiseksi. Saavutettavan tavoitteen arvo asettaa rajoituksen resurssoinnille.

Tuotannonkehitys on organisaation sisäistä tuotekehitystä. Suunnittelu-, valmistus-, testaus- ja mittausmenetelmien tutkimus ja kehitys parantavat tuottavuutta ja luovat kilpailuetua. Parannettu tuotantokyky avaa mahdollisuuden tuotannon kasvattamiseen ja laajentamiseen. Uusi tuote tarvitsee oman tuotannon kehityksen saavuttaakseen valmistettavuuden. Tuotannon kehityksessä tavoiteltu lopputulos voi olla uudenlaisen valmistuskyvyn saavuttaminen tai tuotantovirtauksen tai -saannon tehostaminen. Toimivan prosessin muuttaminen ei ole riskitöntä. Muutosten toteutuminen vaatii vankat perustelut.

Tuotantotyökalujen kehitystyössä korostuu luotettavuus. Inkompetentin työkalun käyttö ei ole vaihtoehto. Tuotantotyökalujen vaatimusmäärittely on ylätasolla yhteneväinen. Yhteinen nimittäjä on suoriutua vaaditusta toimenpiteestä turvallisesti, luotettavasti ja taloudellisesti kannattavasti.

Opinnäytetyön suunnittelutyö on osa tyypillistä tuotannonkehitysprojektia. Projektin toteuttamisesta tehty päätös perustuu tavoitteen saavuttamisesta saatuun arvoon käytetyn resurssin suhteen. Uuden, määriksen mukaisen testausaseman käyttöönotolla operaattoriresursseja vapautetaan, joka kokonaisvaltaisesti poistaa tuotannonvirtauksien ahtaumia.

Opinnäytetyön suunnittelutyö toteutettiin asymmetrisin resurssein. Opinnäytetyön tekijä suoritti suunnittelutyön ja ongelmanratkaisun tarjoten ratkaisuvaihtoehtoja. Projektijohto ja sidosryhmät ohjasivat määrittelyin ja päätöksin. Yleisesti vastaavissa projekteissa operatiivinen työ ja resurssien käyttö on tasaisemmin jakautunut. Aikataulut ja rajoitetut ohjausresurssit edellyttivät laajaa itsenäistä työskentelyä. Suunnittelutyön onnistumista edesauttoi kyky itsenäiseen proto-osien valmistamiseen testien suorittamiseksi. Käytännön testaus ja kokeilu mahdollistivat ohjauksen tietoperusteisen päätöksenteon kehityssuunnan varmennuksessa.

Laaja itsenäinen työskentely mahdollisti poikkeavienkin menetelmien soveltamista suunnittelutyön edistämiseksi. Yksilön toteuttamien keinojen käsittely objektiivisesti on haastavaa. Seuraavissa luvuissa on pyritty kuvailemaan suunnittelutyössä hyödynnettyjä ja sovellettuja menetelmiä. Esitetyt menetelmät ovat kehittyneet kokemusten summasta, mutta viitteitä yleisesti määriteltyihin menetelmiin on tunnistettavissa.

4.1 Kelluva spesifointi

Spesifointi toimi tässä projektissa erityisesti kommunikaatiotyökaluna suunnittelutyön ja ohjauksen välillä. Taideteollisen korkeakoulun Tuotetiedekurssin materiaalissa kiteytetään peruste spesifioinnin käytölle:

Spesifointi (specification) eli tuotteen ominaisuuksien määrittely on lähes ainoa mahdollinen metodi silloin, kun ei löydy yhtään soveliasta esikuvaa tai viitekohdetta. Se on tehokas menetelmä silloin, kun halutaan tuottaa jotakin todella uutta.

Uusien tuotteiden kehittämisessä mahdollisesti esiin tulevia ominaisuuksia on ääretön joukko. (19.)

Täysin uuden laitteiston suunnittelutyön aloittamiseksi on ensiarvoista määrittää ja eritellä pakolliset vaatimukset. Kelluva spesifointi mahdollisti tehokkaan kommunikaation ja tarkentavia määrittelyjä suunnittelutyön edetessä, painavin

perustein myös muutoksia pakollisiin vaatimuksiin. Suunnittelutyö eteni prioriteettijärjestyksessä kelluvan spesifioinnin ohjaamana ratkaisten ensin fundamentaalisimmat ongelmat pakollisten vaatimuksien täyttämiseksi.

4.2 Tiedostamaton oivallus tietoisesti

Paras idea on epätodennäköisesti saavutettavissa pakottaen. Tietoisesti hyödynnetään alitajuista ongelmanratkaisukykyä. Saavutettava ratkaisu perustuu käytettävissä olevan tiedon passiiviseen työstämiseen. Odotusarvo on oivalluksen kehittyminen taustalla. Pakottamattomalla etenemisellä vältetään ratkaisuidean rajoittuneisuutta.

Suunnittelutyötä pysäyttävät ratkaisemattomat ongelmat siirretään passiiviseen käsittelyyn tauottamalla työ levolla tai siirtymällä seuraavaan tehtävään. Myöhäisemmässä vaiheessa tarkastellaan, onko ratkaisuehdotus kehittynyt aktiivisesti edistettäväksi.

Menetelmä on hyödynnettävissä myös suunnittelun esivaiheessa. Kerätään lopputuotosta määrittävä tieto mahdollisimman laajasti ja tunnistetaan etukäteen mahdollisimman suuri osa ratkaistavista ongelmista. Tehdään tietoinen päätös jättää asia pöydälle ajatusvirran mahdollistamiseksi.

4.3 Ohjaavan analyysin käyttö

Valmis suunnittelutyö on pienien päätöksien tulo. Ohjaavassa analyysissä suunnittelutyössä syntyvä tieto analysoidaan suunnittelutyön edistämiseksi. Kokonaisuus ratkeaa osatuotos kerrallaan. Ohjaavan analysoinnin toteutumiseksi on ymmärrettävä tapauksittain tehtävä päätös ja päätökseen tarvittava tieto.

Menetelmän onnistumiseksi oli luotu karkea malli kokonaisuudesta inkrementoitavaksi. Priorisoidaan ongelmienratkaisujärjestys. Pelkistetään yksittäinen ongelma, mahdollisimman tarkan määrittämisen tulkitsemiseksi.

Määritetyn ongelman ratkaisuksi ja karkean mallin luomiseksi visualisoidaan yksinkertaisin toteutettavissa oleva ratkaisu. Analysoidaan ratkaisun tyydyttävyyden ja arvioidaan ratkaisusta syntyneiden ristiriitojen ratkaistavuus tai hyväksyttävyyden. Päätetään hyväksyä tai hylätä ratkaisu. Siirrytään prioriteetin mukaisesti seuraavan ongelman työstämiseen, toistetaan, kunnes kokonaisuus on ratkaistu.

Menetelmässä voi syntyä tilanne, että tehdään päätös olla ratkaisematta ongelma, erityisesti jos ongelman määrittäminen ei onnistu, siirrytään seuraavaan ja myöhemmässä vaiheessa palataan tarkistelemaan ongelman määrittämistä tai ratkaisun tarpeellisuutta.

5 Suunnittelutyö

Suunnittelutyö sisältää testausaseman mekatroniikan suunnittelun ja ohjausvaatimuksen sekä välittömät oheissuunnittelutarpeet. Suunnittelutyö suoritettiin sovelletuin tuotekehitystyömenetelmin, perustavoite oli kehittää määritysten mukainen testausasema. Teema oli nopea vaihtoehtojen ideointi karkealla mallinnuksella. Ohjauspalaveri valitsi vaihtoehdoista sopivimman jatkokehitykseen konfliktien selvittämiseksi ja mallin tarkentamiseksi.

Raportointi suunnittelutyöstä on jaoteltu osiin toimintoperusteisesti. Tosiasiallisesti yksittäisen muutoksen moniulotteisten seurauksien kompensointi toteutui jatkuvalla limittäisellä suunnittelulla spesifikaation mukaisessa tärkeysjärjestyksessä. Ratkaistaviksi tulleiden ristiriitojen mittavaa määrää ei ollut mielekästä käydä erittelemään. Esimerkinomaisesti muutoksia suunnitelman edistyessä seurataan työkannan kehityksenä.

Suunnittelutyöstä suorituminen vaati ymmärrystä lainsäädännöstä, käyttöolosuhteista, testattavista röntgendetektoreista ja testauksen tavoitteista. Lisäksi oli tehty tunnetuksi vanhan laitteiston käyttö ja ominaisuudet.

Testausaseman mittalaitteet, elektroniikka- ja ohjelmistosuunnittelu eivät sisälly opinnäytetyöhön. Lisäksi testattavan kappaleen muotoilu, ominaisuudet ja komponentit jäävät käsittelemättä. Suunnittelussa ratkaistiin esimerkiksi testauksessa käytettävien signaalien kulku, tarvittava vahvistus ja häiriösuojaus. Suuri osa teknisten yksityiskohtien perusteista, kuten ratkaisut kohinan ja muiden huomioitavien häiriöiden minimoimiseksi jäivät tämän raportin ulkopuolelle.

5.1 Projektinohjaus ja vaatimusmäärittely

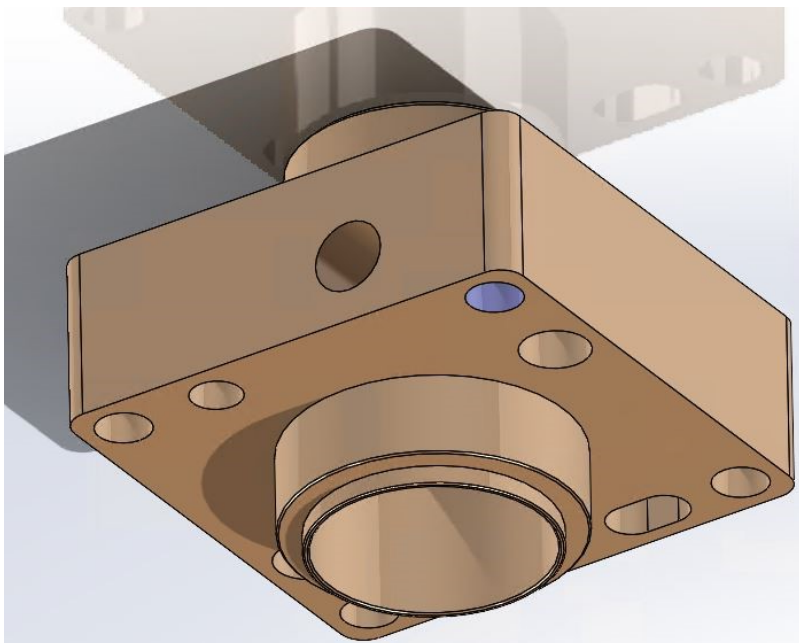
Esivaiheessa käytyjen keskusteluiden pohjalta oli aloituspalaverin pohjaksi ideoitu ensimmäinen karkea malli. Aloituspalaverissa käsiteltiin ensimmäiset ideat ja luotiin alustava testausaseman ominaisuuksien vaatimusmäärittely, joka

sisälsi tavoitteita ja vaatimuksia. Ohjauspalaverien kokoonpano oli vakiintumaton. Suunnittelutyön edetessä tavoite- ja vaatimuslistan sisältöä oli mahdollista muuttaa uuteen tietoon perustuen tai muuten riittävin perusteluin. Kehityssuuntaa tarkasteltiin proto-osin suoritetuin kokein ja testein. Esimerkiksi mahdollisuus vakuumikammion korvaamisesta vakuumisuulakkeella varmistettiin testein projektin alussa. Toimintatapa mahdollisti vaatimusmäärittelyn päivittämisen tiedon lisääntyessä nopean etenemisen ja reagoinnin muutostarpeisiin.

Vaatimustenmäärittelyn tavoitteet ohjasivat kehitystyötä. Vaatimuspuolen sisältö painottui automatisointiin, turvallisuuteen ja eräisiin muuttumattomuus vaatimuksiin testauksen suhteen. Esimerkiksi asetusajkojen tulee pienentyä, testaus ei saa vaurioittaa testattavaa kappaletta, testaus suoritettava pystyasennossa, vakuumitaso ei saa heikentyä, testilaitteiston etäisyys testattavasta kappaleesta tulee pysyä muuttumattomana eikä uusi testausasema saa lisätä ympäristön vaikutusta testitulokseen.

5.2 Vakuumikammio

Testattavat kappaleet ovat pieniä. Vakuumikammion suuri koko oli perusteeton ja vaikutti vaaditun vakuumitason asettumisaikaan ja pumpputekniikan vaatimukseen. Muodostettaessa vaadittu tyhjiötaso vakuumisuulakkeella (kuva 1 s. 19) testattavan kappaleen reunaan, poistettava ilma supistui 1:500-osaan. Testattava kappale suojataan hallitsemattomalta painenvaihtelulta virtaussäätimin. Ilmanpoistoa ohjataan suulakekohtaisella aukeavalla vakuumiventtiilillä. Turvallisuuden ja riskien minimoinniksi ilmanpaneelin palautus suoritetaan kootusti sulkeutuvalla vakuumiventtiilillä. Laitteiston neutralisointi energialähteistä palauttaa normaalin ilmanpaineen hallitusti.



Kuva 1. Erään tuotantoversion vakuumisulake

Vakuumisulakkeen yläosan muoto ja kiinnitys testausasemaan on vakioitu. Sulakepuoli vastaa testattavan tuotantoversion tiivistuspintaa. Modulaarisuudella saavutetaan vaatimus tuotantoversioiden huomioimisesta. Vaaditun vakuumitason muodostaminen ja tiiviyden ylläpito on onnistuneen testin edellytys. Vaadittu tiivys varmistettiin vuototestauslaitteella. Testattavan kappaleen tiivistykseen käytettävissä oleva koko ja muoto tuottavat kohtaamiselle tarkkuusvaatimuksen. Kohtaamispintojen vertikaalitasot tulee olla yhteneväiset, mittauskyvyn puitteissa. Testein määritettiin syötön keskiöinnille 180 μm :n tarkkuusvaatimus. Vakuumisulake poistaa komponenttien tyhjiövaatimukset. Lisäksi uusi vakuumilinjasto täyttää vaatimustenmäärittelyn toiveen typpihuuhtelun mahdollisuudesta.

5.3 Työkannan suunnittelu

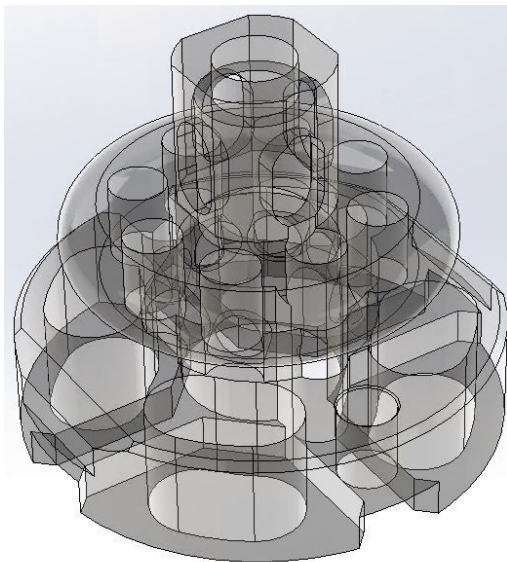
Määrittelyssä oli vaatimus suorittaa testaus pystyasennossa. Testattavan kappaleen muoto edellyttää vertikaalisuuntaista syöttöliikettä vakuumisulakkeeseen ja tuen pystyssä pysymiseksi. Tuotannolla on käytössä tuotantoversioille jalusta- ja tarjotinratkaisuja kokoonpanoon, siirtelyyn,

testaamiseen ja säilytykseen. Mikään näistä ei mahdollista riittävää asemointia tai signaalikytkentöjä ilman työkaluja. Lisäksi ne vaativat uudelleenkiinnitystä tuotantovaiheen mukaisesti. Tuotannossa on samanaikaisesti useita tuotantoversioita. Jokainen tarvitsee yhteensopivan kannan.

Ohjeistusta työkannan suunnitteluun:

- mahdollistaa signaalikytkennät
- automattisesti liikuteltavissa
- testattavan kappaleen keskiöivä
- tuotantoversiot huomioitu, asemointi- ja käsittelypinnat yhteneväiset
- mahdollistaa valmistettavan komponentin kantaosalle läpikulun koko tuotantoketjusta ilman välikiinnittelyä
- optio tunnistelle (esimerkiksi viivakoodi, QR tai RFID)
- sarjavalmistettavissa.

Ohjeistuksen pohjalta aloitettiin työkannan (kuva 2) suunnittelu.



Kuva 2. Työkannan ensimmäinen versio.

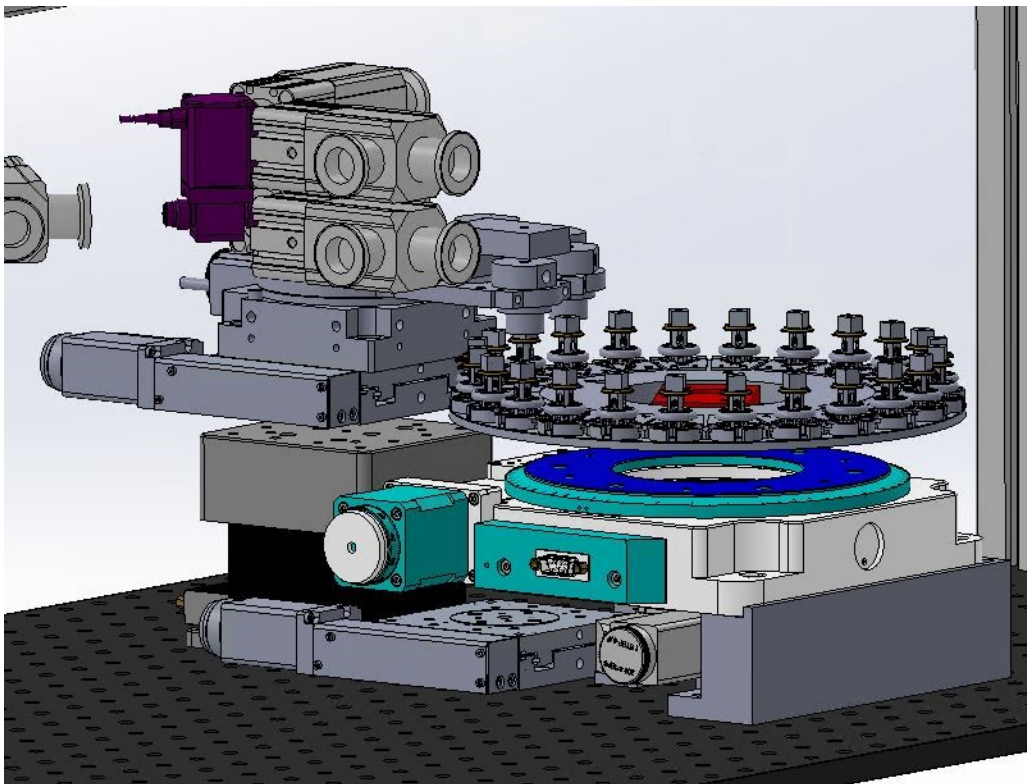
Työkantaa päivitettiin suunnittelutyössä kehittyvien vaatimusten mukaan ja muutamasta versiosta koneistettiin fyysiset kappaleet arvioitaviksi.

5.4 Syöttömekaniikan ensimmäinen versio

Ensimmäinen versio (kuva 3) oli liukuhihnalinjastoon sovitettava. Testattavat kappaleet asetetaan revolverimalliseen pyörivään syöttöpöytään, joka pyöräyttää kappaleen kiinteään testipaikkaan. Testauksen jälkeinen siirto toimilaitteella testituloksen mukaiseen linjaan. Täysautomaattivaiheessa testausasema varustettaisiin liukuhihnoin. Kaikki liike on horisontaalista. Niillä ei ole kykyä siirtää testattavaa kappaletta vertikaalisti.

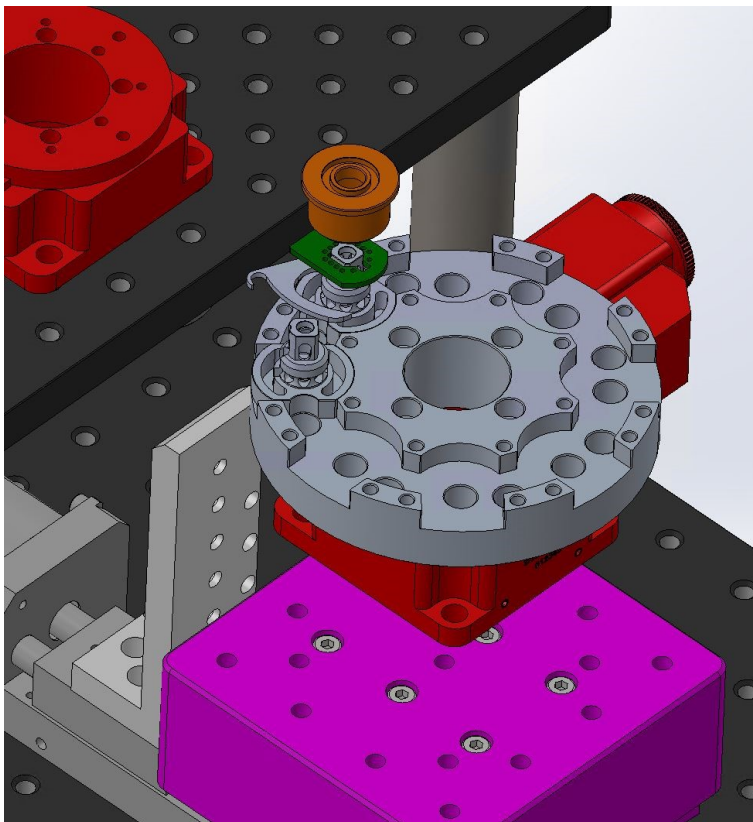
Tässä kokoonpanossa muun muassa:

- liikkeet askelmoottorein, Vastaavien toimilaitteiden käytöstä puhdastiloissa oli aikaisempaa kokemusta
- turvaominaisuudet voima-anturein
- testattava kappale paikoillaan, vakuumin muodostus tornia liikuttamalla
- tuotantoversiot huomioitu vakuumisulakkeen vaihtajalla, CNC-jyrsimen työkalunvaihtaja yksinkertaistettuna.



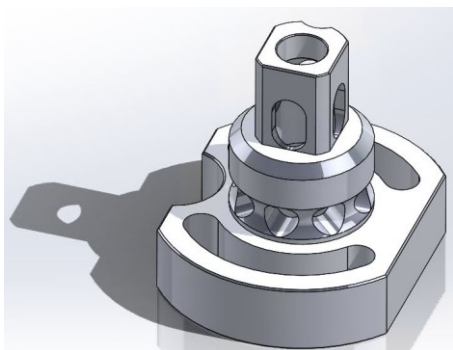
Kuva 3. Testausaseman ensimmäinen karkea malli.

Suunnittelutyö kehittyi ensimmäisen version pohjalta. Seuraavassa versiossa (kuva 4) rulettisyöttäjässä oli huomioitu tarkka asemointivaatimus ja arvioitu toteutuskelpoisuutta.



Kuva 4. Toteutuskelpoisempi versio rulettisyöttäjästä.

Työkantaa (kuva 5) päivitettiin suunnitelman mukaiseksi. Oli tunnistettu tarve ohjata haitalla työkannan asettumista.



Kuva 5. Työkanta sivuhaitalla.

Tarkastelussa todettiin tuotantoversioiden korkeusvaihtelun aiheuttavan vaatimuksen tarkalle ja muuttuvalle korkeusasemoinnille. Jokainen tuotantoversio vaati oman ohjausohjelman vertikaalisyötölle vakuumin muodostamiseksi. Päätettiin kartoittaa yksinkertaisempi vaihtoehto. Tehtiin lisäys vaatimustenmäärittelyn toivelistalle: Syöttöliike tulee olla ohjelmallisesti sama kaikille tuotantoversioille.

Lisäselvitys osoitti mahdollisuuden täysautomatisointiin myöhemmässä vaiheessa yhteistyörobotilla. Esimerkiksi Universal Robotsin cobotti on nopeasti implementoitavissa. Lisävarusteilla saavutetaan monipuoliset tartuntamahdollisuudet. Cobotin liikeratamahdollisuudet laajensivat suunnittelutyön vaihtoehtoja.

5.5 Pneumaattinen vertikaalisyöttö

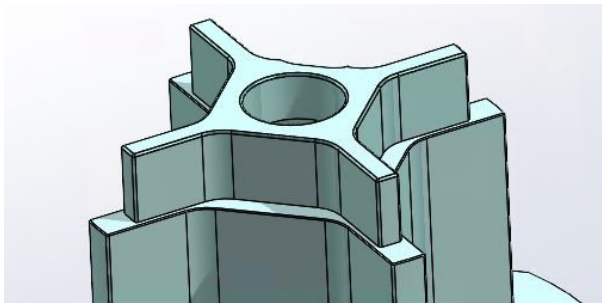
Pneumaattisen toimilaitteen käytöllä saavutettiin vakiovoima koko liikealueella, mikä mahdollistaa luotettavan vakuumin muodostuksen jokaiselle tuotantoversiolle. Pneumaattisen vertikaalisyötön käyttö johti syöttöliikkeen kääntämiseen laskevasta nousevaksi. Yksisuuntaisen toimilaitteen palautussuunnan liike on epämääräinen ja kaksisuuntaisella toimilaitteella liikkeet on hallittavissa molempiin suuntiin kohtalaisella kuormalla.

Turvallisuusvaatimus puristuksen vapautuksesta ja voimien neutralisoinnista vahingotilanteessa oli toteutettavissa kääntämällä syöttösuunta. Ylöspäin suuntautuva syöttöliike poistaa riskin puristumisesta välittömästi paineilman syötön katkaisusta. Mekaanisin ratkaisuin jäljelle jäänyt puristumisriski rajoittuu ainoastaan sormiin. Suhteellisen hidas iskunopeus, pieni liikerata, muotojen mahdollisuuksien mukainen tylppyytys ja luita rikkomaton voimankäyttö rajoittavat vahingon konkretisoitumisen riskin siedettäväksi. Ilman ulkoisia turvaominaisuuksia riskit liittyvät väliaikaiseen kipuun ja ihon rikkoutumiseen sormissa. Pysyvä haitta puristumisen seurauksena on hyvin epätodennäköinen. Suojauksella riskit ovat kokonaan poistettavissa.

Pneumaatiikan käyttö aiheuttaa testattavaan kappaleeseen vakuumsuulakkeen tiivistyspinnan alueella jatkuvan syötönsuuntaisen voiman. Toimilaitteen voima on suoraan verrannollinen käytettyyn paineeseen ja toimilaitteen männän pinta-alaan (Voiman kaava).

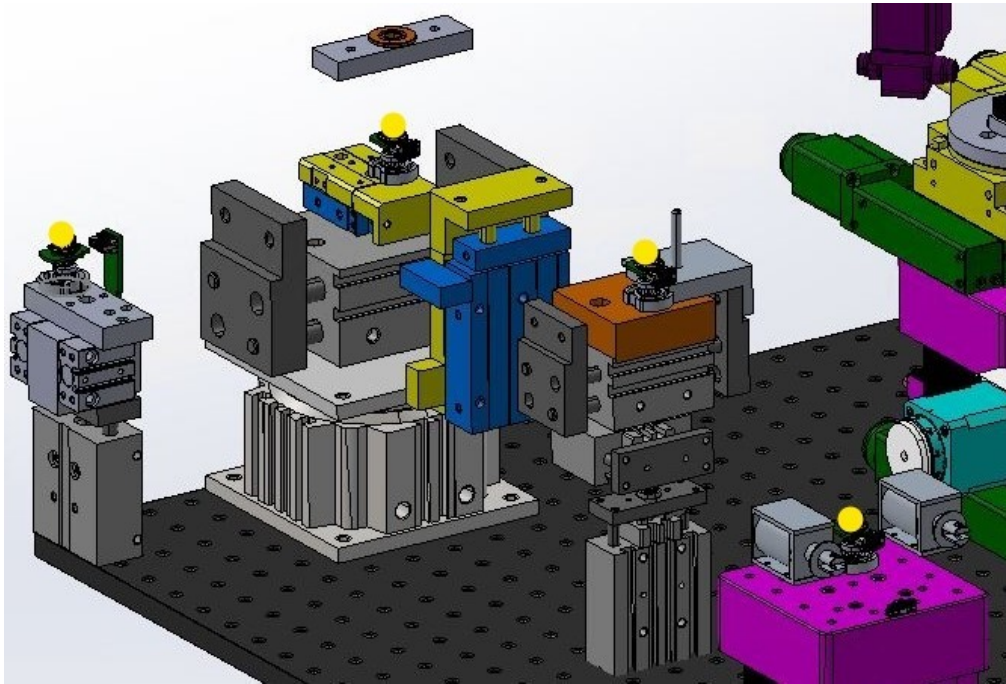
$$F = p * A$$

Tuotannon testausasema ei saa aiheuttaa jälkiä tai pysyviä muodonmuutoksia testattaviin kappaleisiin. Hyväksyttävä voimavaikutus varmistettiin simuloimalla Solidworks-ohjelman simulointilisäosalla ja käytännön testillä, jossa kappale altistettiin syöttöliikkeen kymmenkertaiselle voimalle. Mikroskoopilla todettiin muuttumattomuus ja jäljettömyys. Työkantaan suunniteltiin tukisakarot (kuva 6) testattavan kappaleen jänniteitä pienentäväksi. Simuloinnin mukaisesti muutoksella pienennettiin voimavaikutuksen taipuma viidesosaan, 250 newtonin voimalla kappaleen taipuma on alle 1/3 µm.



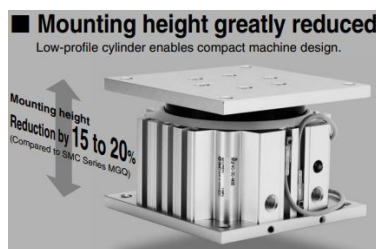
Kuva 6. Työkantaan suunniteltu tukisakara.

Tavarantoimittajien mallikirjastot tukivat nopeaa, karkeaa mallintamista. Esimerkiksi vertikaalisyöttöön, tarttujaan ja signaalinkytkentään sovitettiin useaa toimilaitetta sopivimman kokonaisuuden löytämiseksi. Ohjauspalaveriin saattoi olla esittää useita vaihtoehtoja valittavaksi (kuva 7 s. 25) ja suunnittelutyössä jo pois suljetut ideat esitettiin kehityskulun perusteluiksi.



Kuva 7. Kuvassa kolme vaihtoehtoa ohjauspalaveriin ja yksi jo hylätty versio.

Lopullisessa suunnitelmassa käytetty toimilaite vertikaalisyötölle on puhdastilayhteensopiva johdepöytä SMC 10-MGF40TF-50 (kuva 8). Valittu toimilaite mahdollistaa laajat vaihtoehdot muille ratkaisuille ja tukee kohdistusvaatimuksia.

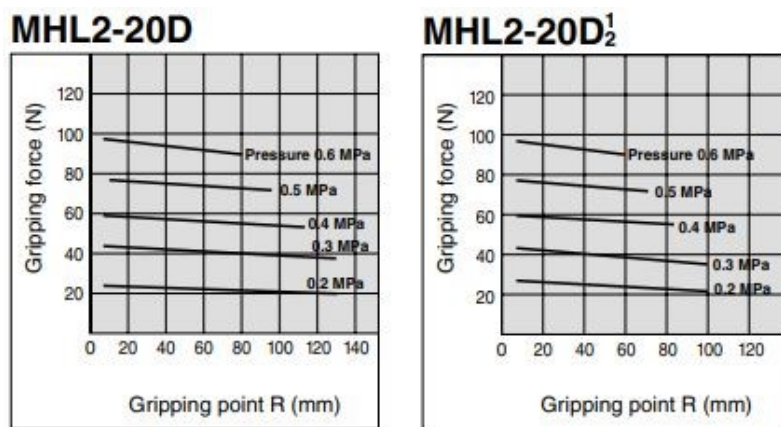


Kuva 8. MGF-sarjan johdepöytä (18, s. 844.).

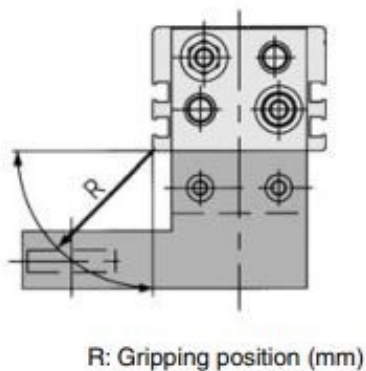
Pneumaattisten toimilaitteiden käyttö mahdollisti ohjauksen yksinkertaistamisen. Paikka-anturi tuottaa tiedon onnistuneesta liikkeestä. Ohjausventtiilit valikoitiin passiivisena paineet vapauttaviksi niin, että turvallisuusvaatimus käyttöenergian neutralisoinnista hätätilanteessa täyttyy. Liikevoima ja -nopeus on vakioitu säätimin.

5.6 Kappaleeseen tarttuminen ja kohdistaminen

Signaalikytkentäominaisuus kohdistaa horisontaalista voimaa testattavan kappaleen työkantaan. Päävaatimukset tarttujan valintaan olivat suuri toistettavuus suljettu-asennon sijainnissa ja riittävä puristusvoima signaalikytkennän mahdollistamiseksi. Vaatimukset oli täytettävissä valitsemalla lineaaritarttuja SMC 11-MHL2-20D. Valmistaja on määrittänyt efektiivisen tartuntavoiman käyttöpaineen suhtena tarttumisetäisyyteen (kuva 10). Tarttumisetäisyys lasketaan säteenä toimilaitteen rungon reunasta (kuva 11).



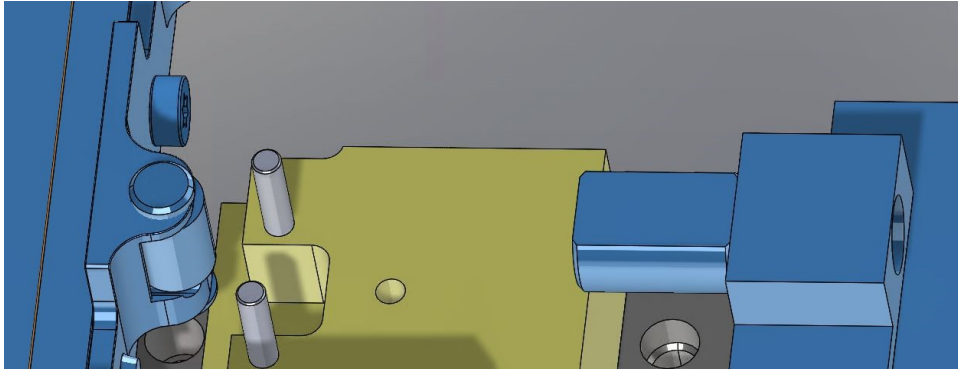
Kuva 9. Lineaaritarttujan efektiivinen voimataulukko. (20, s. 476.)



Kuva 10. Tarkennus taulukon R-säteen mittauspisteestä. (20, s. 476.)

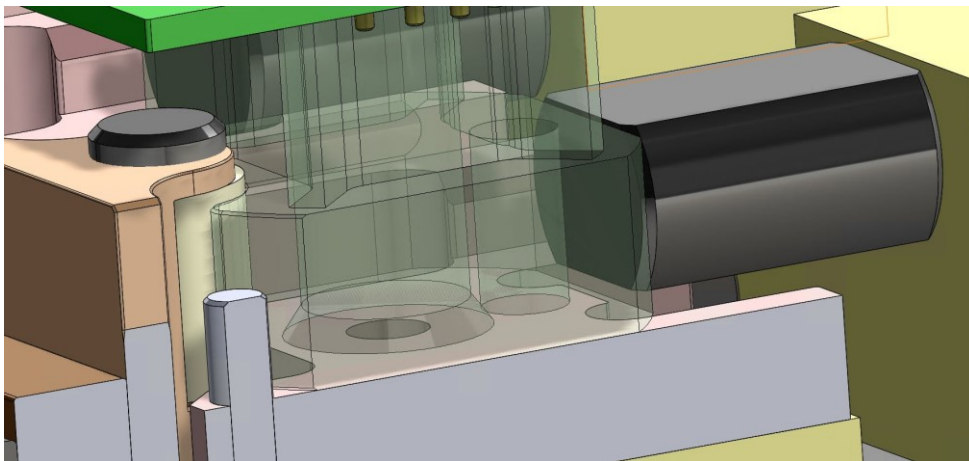
Valitun tarttujan riittävä puristusvoima laajalla toimialueella mahdollisti usean testipaikan toteuttamisen rinnakkain yhteisin syöttö- ja tarttujatoiminnoin.

Määritetyn vakuumitason muodostaminen vaatii vuotamattoman tiivistymisen vakuumisulakkeeseen. Signaalikytkentä asettaa vaatimuksia testattavan kappaleen rotaatioon. Suunnitellut tarttujanleuat (kuva 11) vastaavat kohdistuksen rotaatio-, keskiö- ja translaatiovaatimuksia.



Kuva 11. Määrittelyvaatimukset täyttävät tarttujanleuat sinisenä.

Työkannan (kuva 12) ja leukojen muodot päivitettiin yhteensopiviksi. Leukojen geometria asemoi työkannan sijaintivaatimusten mukaisesti.



Kuva 12. Erään tuotantoversion työkanta tarttujan otteessa.

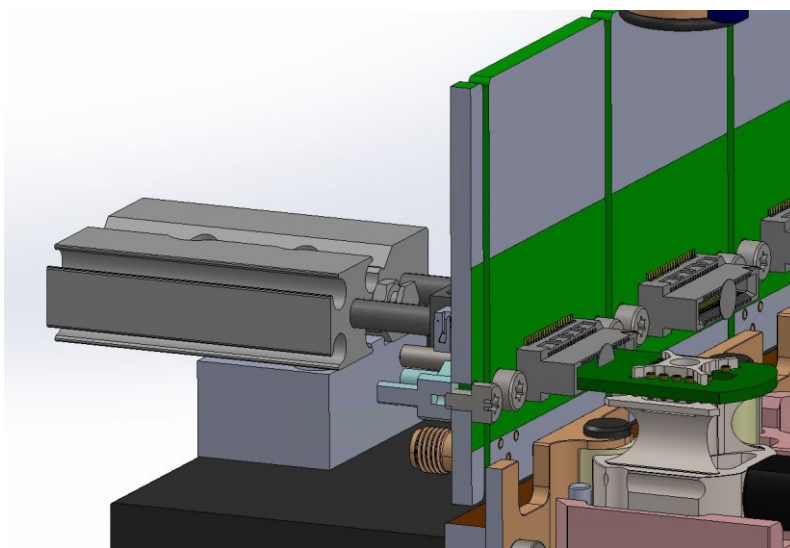
Leukojen ja työkannan tartunta, suoristus ja asemointi osoittautuivat luotettavaksi. Syöttökoetilanteessa työkanta asetettiin leukojen avauman alueelle epätarkasti. Sadassa toistossa ei todettu yhtään epätoivottua tilannetta.

5.7 Automaattinen signaalikytkentä

Signaalikytkennän mahdollistamiseksi suunniteltiin työkantaan lisättävä passiivinen liitinkortti yhteensopivaksi Samtec MEC8 -sarjan kortinreunaliittimelle. Liitinkortti asettuu paikoilleen, kun valmistettavan kappaleen kantaosa kiinnitetään työkantaan tuotannon alkuvaiheessa. Liitinkortti mahdollistaa signaalien kytkennän koko tuotantoketjun läpi. Liitinkortissa on tuotantoversiokohtaisella vastuksella varustettu väylä onnistuneen kytkennän varmistamiseksi. Testattavan kappaleen tuotantoversio tarkastetaan väylän resistanssista. Liitinkorttiin on optio suunnitella älyä, kuten aktiivisia tunnistuskeinoja ja datankeräysmahdollisuuksia.

Automaattisen signaalikytkennän toimilaitteeksi valikoitui kompakti sylinteri SMC 21-CXSJL6-10, joka täyttää vaatimuksen pienestä voimasta ja sopii rajalliseen tilaan.

Kuvassa 13 on toimilaitteen lisäksi reunaliittimen tukikortti ja työkanta. Tukikorttiin on määritetty liittimet ja värialuein suunnittelurajoitteita elektroniikkasuunnittelijalle. Harmaalle alueelle sijoitettavat komponentit muodostavat riskin törmäykselle ja vaativat tarkemman sovituksen. Esimerkiksi yhden alueelle sijoitetun liittimen jalkojen läpivienti on huomioitu mekaniikassa.



Kuva 13. Signaalinsyöttömekaniikka liitinkortteineen.

5.8 Testattavien kappaleiden tuotantoversioiden huomioiminen

Määritysvaatimuksen mukaisesti jokaiselle tuotanto- ja kehitysversiolle on yhteensopiva vakuumisuulake. Ensimmäinen mallinnettu versio sisälsi vakuumisuulakevaihtajan kiinteässä testipaikassa. Vakuumisuulakevaihtajan käyttö olisi vaatinut tarkkaa sijainnin ohjausta. Suunnittelutyön edetessä toimilaitteiden valinnat mahdollistivat usean vierekkäisen testipaikan. Tuotantoversiokohtainen testipaikka poisti tarpeen signaalikytkennän aktiiviselta korkeussäädöltä.

Useamman testipaikan käyttö vaati testilaitteiston siirtokykyä. Testilaitteiston siirtämiseen valittiin puhdistilayhteensopiva, lineaarinen sähkötoimilaite SMC 11-LEFS16B-200R-S36N3D. Vakuumilinjasto laajennettiin ryhmälaatalla SMC VVX224A10 ja SMC VX2B4AA-venttiilein.

5.9 Turvaominaisuudet

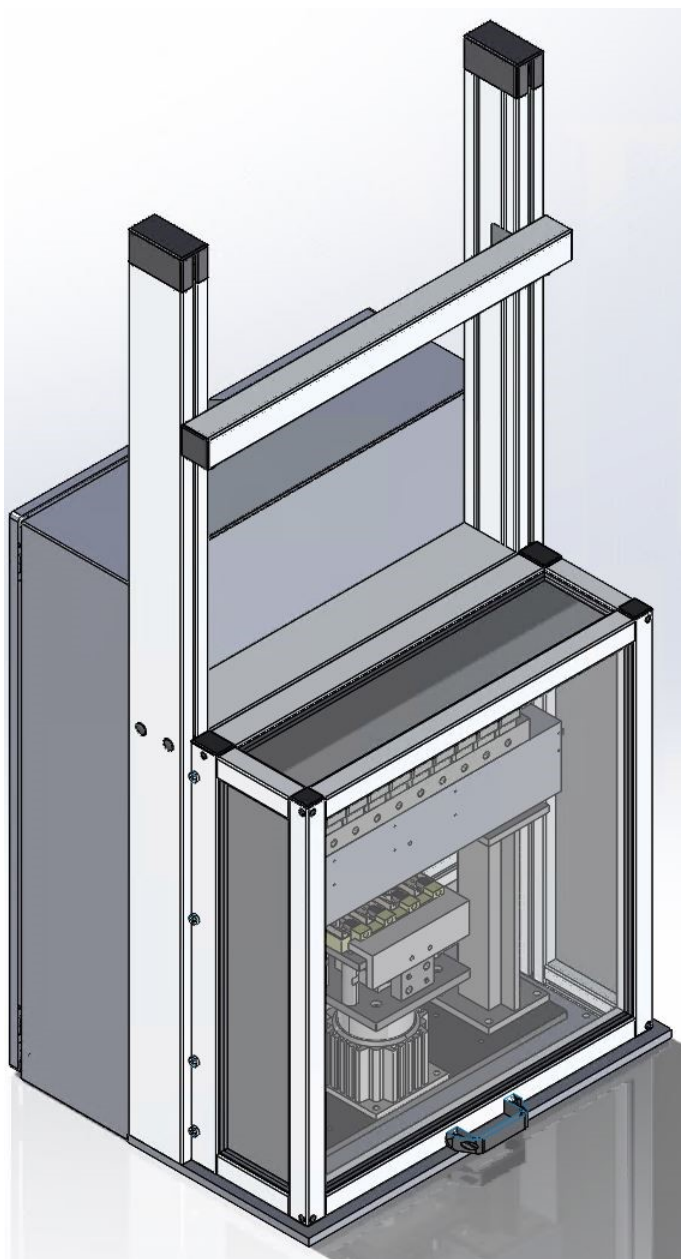
Koneturvallisuuden käsikirjan mukaisesti:

Koneen turvallisuuden lähtökohtana on vaarojen tunnistaminen ja niistä aiheutuvien riskien arviointi ja pienentäminen jo koneen suunnittelu vaiheessa. (10 s. 42.)

Testausaseman riskejä on arvioitu projektin alussa ja suunnittelutyön edetessä. Riskien arviointi ja hallinta on ryhmätyötä. Ohjauspalaveri on suorittanut arviointia ja hyväksynyt suunnittelijan ehdotukset turvallisuuden toteutumiseksi.

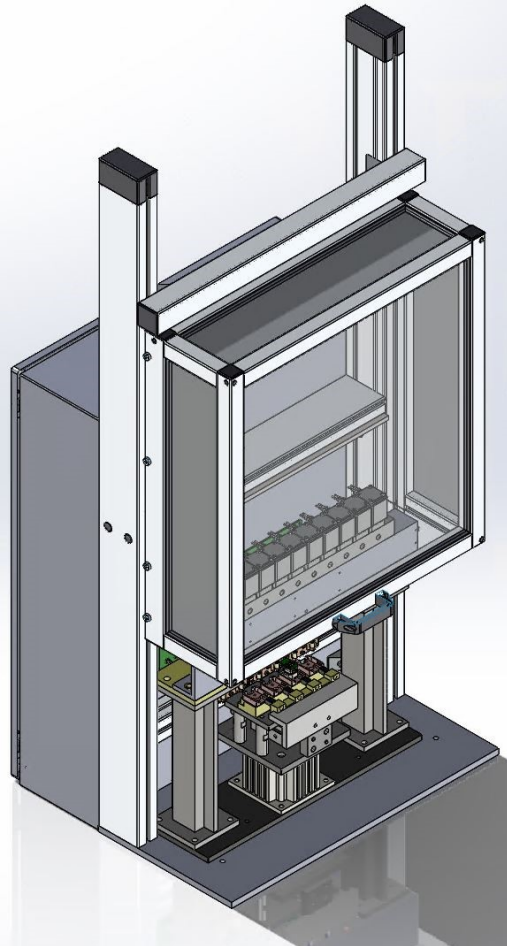
Testausaseman pneumatiikka- ja vakuumilinjastoiden ohjausventtiilien valinnoilla mahdollistetaan turvallisuuden toteutuminen vikatilanteessa. Ennakoimattomassa vikatilanteessa, kuten sähkökatkos, kaikkien energialähteiden vaikutusvoimat neutralisoituvat. Neutralisointi tapahtuu myös turvapiirin katkaisulla esimerkiksi aktivoimalla hätä-pysäytin.

Testausasema on koteloitu turvallisen käytön ja riskien poistamiseksi. Mekatronikka on sijoitettu suojaluukun alle (kuva 14), suojaluukku lukittuu turvapiiriin kytkeytyvällä turvalukolla. Ohjauslaitteet ja elektroniikka on sijoitettu lukittavaan kytkentäkaappiin.



Kuva 14. Kuvassa suojaluukku lukittu ja syöttöliikkeet suoritettu.

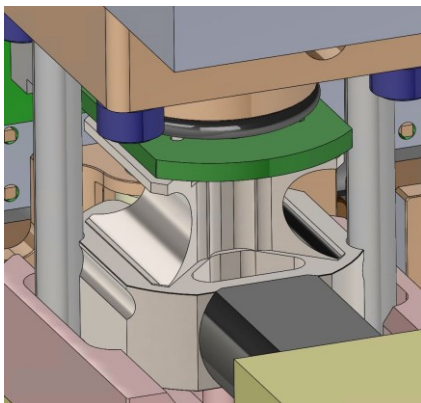
Testausaseman toimilaitteille ei ole käsikäyttöä. Kaikki liike toteutuu testausohjelmiston ohjauksessa. Testausohjelmistoa käytetään päätteeltä. Turvaominaisuudet estävät kaikki toiminnot suojaluukun ollessa auki (kuva 15).



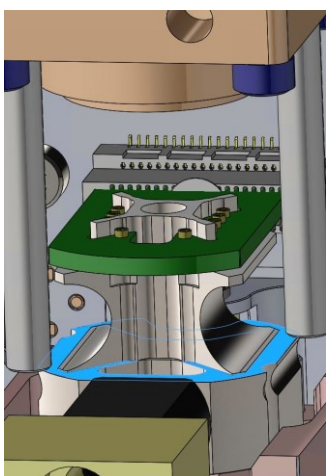
Kuva 15. Suojaluukku auki toiminnot eivät ole käytössä.

Testilaitteisto sisältää säteilylain (859/2018 4§ kohta 22) tarkoittaman säteilylähteen. Säteilyturvallisuuden ja STUK:in määräysten toteutumisesta vastaa Turvallisuusluvan mukaisesti STUK:in oikeuttama säteilyturvallisuusasiantuntija. (13.) Säteilylle altistuminen on estetty suojamateriaalein ja mekaanisella säteilysulkijalla. Mekaaninen sulkija on passiivisena jousisulkeutuva. Avaus toteutuu pneumaattisesti testaustarpeen mukaisesti, jos jokaisen venttiilin ja anturin tilatieto hyväksyy turvallisen käytön. Jo yksi väärä tilatieto epää säteilylähteen käytön.

Testattava kappale on herkkä ulkoiselle kosketukselle. Virheelliselle testipaikalle asetetun testattavan kappaleen rikkoutuminen estettiin mekaanisilla haitoilla. Törmäysriskin poistamiseksi kehitettiin vakuumisuulakkeeseen ja työkantaan tuotantoversiokohtainen avainkuvio (kuva 16). Vakuumisuulakkeen yksilöllinen avain pysäyttää syötön työkannan haittaan (kuva 17) virheellisessä testipaikassa.



Kuva 16. Oikea asemointi ja testipaikka toteuttaa onnistuneen syötön.



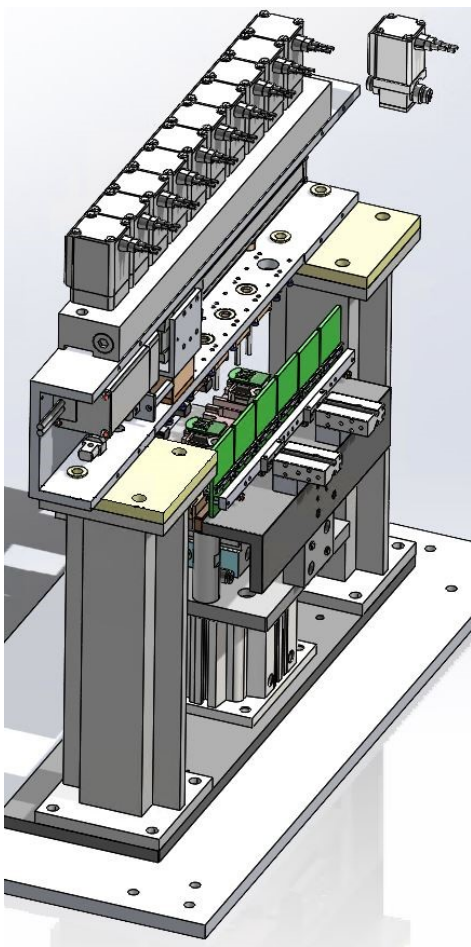
Kuva 17. Väärällä testipaikalla avainhaitta aiheuttaa syötönkeskeytyksen.

Väärinsyöttö pysähtyy ennen vahinkoa kaikissa tilanteissa. Mekaaninen haitta on osa moniportaista suojausta ja haittaan törmäyksen ei pitäisi realisoitua missään tilanteessa. Syöttöliikkeen toteuttaminen vaatii työkannan tunnistamisen lisäksi oikeita tilatietoja tarttujan ja signaalikytkennän paikkaantureilta.

5.10 Suunnittelutyön tuotos

Suunnittelu toteutettiin säädöksen mukaisesti. Suunnittelutyössä suositettiin konfiguroitavien valmisosien käyttöä ja vältettiin mittatilausosia. Valmiin suunnitelman pohjalta, valmistettiin tekniset piirustukset teetettävistä osista ja hankittiin kaikki tarvittavat osat mekatroniikan kokoonpanoon toimivuuden varmistamiseksi.

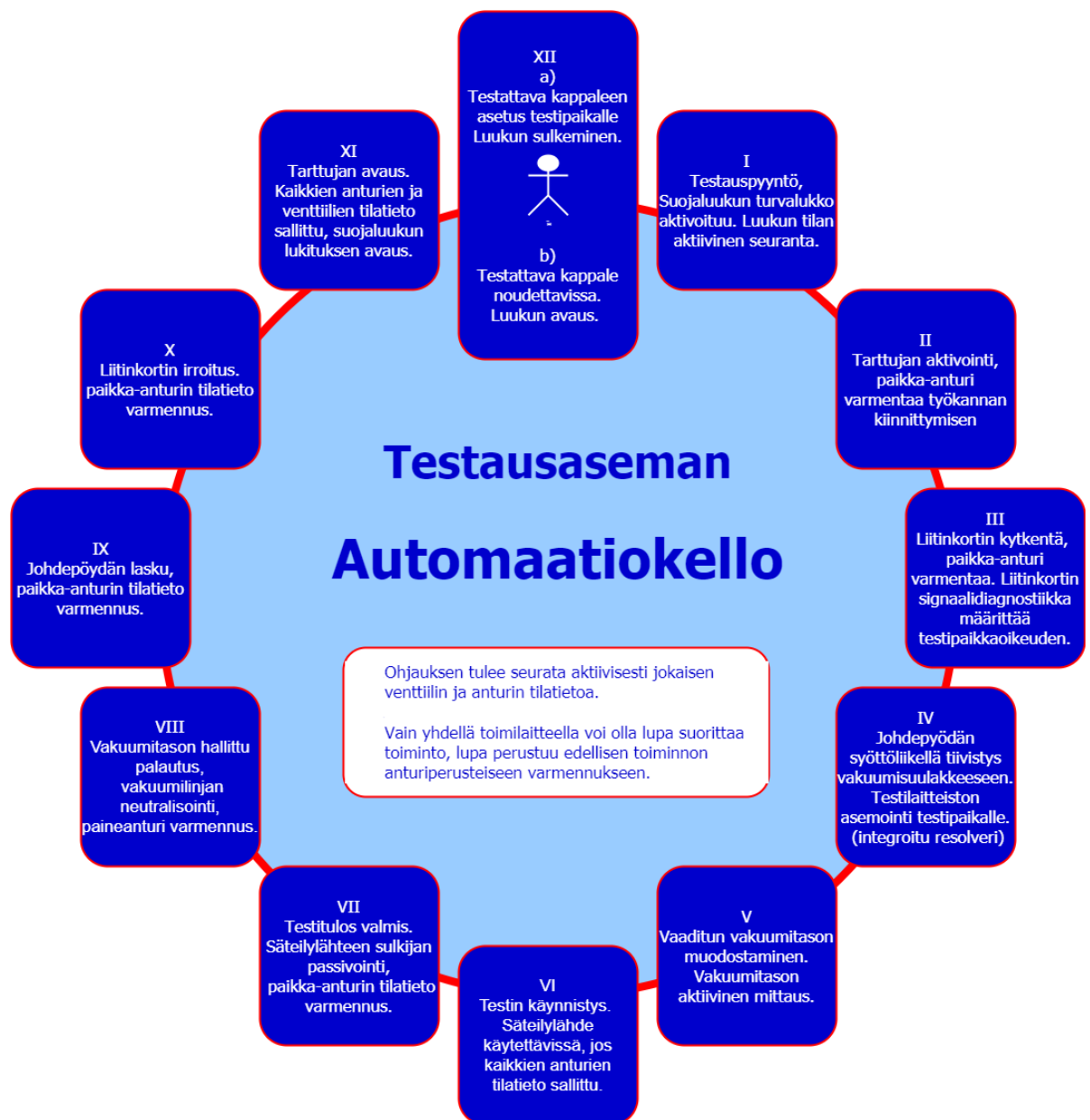
Uuden testausaseman suunnittelutyö onnistui erinomaisesti ja lopputuloksena on toimivaksi todettu määrätykset täyttävä laitteisto, dokumentoituna PDM-ympäristöön. Valmis mekatronikka (kuva 18) luovutettiin seuraavaan, analyttisempaan testaukseen. Testit osoittivat uuden testausaseman kykenevän vähintään korvattavan laitteiston testitasoon.



Kuva 18. Valmis kokoonpano mekatroniikasta.

Testausaseman mekatronikka vaatii ohjauksen neljälle paineilmatoimilaitteelle ja yhdelle sähkötoimilaitteelle. Ohjauksen yksinkertaistaminen mahdollistui suunnittelutyön edetessä. Ensimmäisessä versiossa oli askelmoottorien ohjaustarve kolmelle pyöröpöydälle ja neljälle lineaarijohteelle.

Onnistunut suunnittelutyö mahdollistaa yksinkertaisen ohjausvaatimuksen (kuva 19). Ohjausvaatimus määrittää tilatietojen käytöstä liikkeen oikeutukseen ja kieltää usean toimilaitteen yhtäaikaisen käytön.

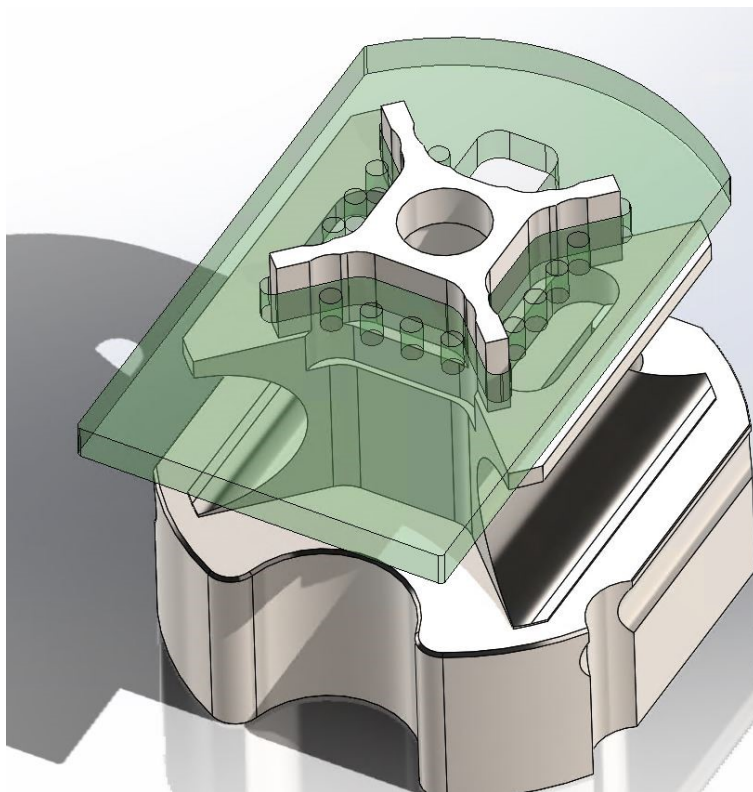


Kuva 19. Testausaseman automaatiokello sisältää vaatimukset ohjaukselle.

Testausasema on modulaarinen, mikä mahdollistaa joustavan sovituksen tuotantoversiomuutoksille ja ennakoivan huolto-ohjelman määrittämisen jatkuvan testauskyvyn ylläpitämiseksi.

Vakuuminlinjasto on vaatimusmäärittelytoiveen mukaisesti typpihuuhtelussa. Pneumaattisten toimilaitteiden käyttövoimanotto yhteisestä typpilinjasta poistaisi tarpeen paineilman valmistelulta.

Sivutuotoksena kehitetty työkanta (kuva 20) mahdollistaa testattavien kappaleiden laajemmankin automaattisen käsittelyn ja asemoinnin tulevaisuudessa. Työkannan sarjavalmistus on toteutettavissa jyrksyksiköllä varustetulla automaattisorvilla yhdellä kiinnityksellä.



Kuva 20. Valmis versio työkannasta ja liitinkortti.

Testausasema on täysautomatoitavissa yhteistyörobotilla. Suojaluukussa on huomioitu optio pneumaattisesta käytöstä yhteistyörobotin käyttöönoton yhteydessä.

6 Yhteenveto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli päivittää tuotannontestausasema puoliautomaattiseksi Hitachi High-Tech Analytical Science Finland Oy:lle. Tarve oli asetusaijoja poistaen optimoida tuotantoresursseja tuotannon kasvuun ja laajentumiseen.

Suunniteltu testausasema on määrityksen mukainen. Se huomioi lainsäädännön velvoitteet, on modulaarinen, huollettavissa ennakoivasti ja päivitettävissä tuleville tuotantoversioille. Suunnittelutyössä päivitettiin vakuumikammion toimintaperiaate. Suunnittelemalla testattavaan kappaleeseen tiivistyvä vakuumisulake poistettiin komponenttien tyhjiövaatimukset. Insinööriyöhön kuului testausaseman mekatroniikan suunnittelutyö ja ohjausvaatimuksen määrittäminen. Lopuksi suoritettiin ensimmäisen version kokoonpano ja testaamalla varmistettiin toiminnallisuus. Seuraava vaihe on suunnata resurssit elektroniikan ja ohjelmiston suunnitteluun. Suunniteltu tuotannontestausasema on yhteensopiva yhteistyörobotille täysautomatoisoinnin ollessa ajankohtainen.

Opinnäytetyön sivutuotteena suunniteltiin valmistettavien kappaleiden rungolle tuotantoketjun läpikulkeva työkanta. Työkanta poistaa välikiinnitystarpeet ja mahdollistaa signaalikytkennän ilman työkaluja.

Suunnittelutyössä sovellettiin useita menetelmiä. Kehityssuuntaa ohjattiin ja varmistettiin lukuisin testein. Toimintatavalla saavutettiin toimiva, innovatiivinen ja määritysten mukainen lopputulos. Sovellettu suunnittelutyö onnistui yksinkertaistamaan mekatroniikkaa huomattavasti alkuperäisestä ideasta. Ongelmakohdat saatiin ratkaistua systemaattisella lähestymistavalla. Projekti tehosti testauskykyä poistaen välikiinnitystarpeet ja asetusajat.

Tämä projekti valikoitui opinnäytetyön kohteeksi monipuolisuutensa vuoksi. Työ sisälsi tiedonetsintää, uuden oppimista, ongelman ratkaisua, itsensä kehittämistä ja osaamisen osoittamista. Parasta projektissa oli monisyisen

ongelmanratkaisun tuottama yksinkertainen lopputuotos ja oivallukset pienissä yksityiskohdissa suurin vaikuttein.

Kiitän erityisesti työpaikkaohjaajaani, kollegoita sekä työnantajaani tuesta ja mahdollisuudesta projektin toteuttamiseen. Kiitän myös SMC Pneumaticsin Ari Salmista hienosta asiakaspalvelusta.

Lähteet

- 1 Koneturvallisuus. Verkkoaineisto. Työturvallisuuskeskus Ry. <https://ttk.fi/tyoturvallisuus_ja_tyosuojelu/tyoturvallisuuden_perusteet/tyoymparisto/koneturvallisuus#3beb2ab1> Luettu 3.10.2021.
- 2 Koneita koskevat vaatimukset. Verkkoaineisto. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). <<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/koneet#9379d6b4>> Luettu 3.10.2021.
- 3 Lainsäädäntö. Verkkoaineisto. Eduskunta. <https://www.eduskunta.fi/FI/naineduskuntatoimii/kirjasto/aineistot/kotimainen_oikeus/kotimaiset-oikeuslahteet/Sivut/Lainsaadanto.aspx> Luettu 3.10.2021.
- 4 Työturvallisuuslaki (738/2002). Verkkoaineisto. Oikeusministeriö. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>> Luettu 3.10.2021.
- 5 Valtioneuvoston asetus työvälineiden turvallisesta käytöstä ja tarkastamisesta (403/2008). Verkkoaineisto. Oikeusministeriö. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080403>> Luettu 3.10.2021.
- 6 Laki eräiden teknisten laitteiden vaatimuksenmukaisuudesta (1016/2004). Verkkoaineisto. Oikeusministeriö. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20041016>> Luettu 3.10.2021.
- 7 Siirilä Tapio. 2008. KONETURVALLISUUS EU-määräysten mukainen koneiden turvallisuus. Inspecta Koulutus Oy. Otavan kirjapaino Oy.
- 8 SFS Koneturvallisuuden standardit esite 09/2019. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.
- 9 Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta (400/2008). Verkkoaineisto. Oikeusministeriö. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400>> Luettu 3.10.2021.
- 10 Siirilä Tapio & Tytykoski Katri. 2016. KONETURVALLISUUDEN KÄSIKIRJA. Inspecta Oy. Otavan Kirjapaino Oy.
- 11 Junno Kristian. 2021 Luento Turva-automaatio Standardit osa 2. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 12 Perusteet – yhdenmukaistetut standardit, direktiivit ja lait EU:ssa. Verkkoaineisto. Pilz Skandinavien K/S <<https://www.pilz.com/fi-FI/support/knowhow/law-standards-norms/standards>> Luettu 3.10.2021.

- 13 Säteilylaki (859/2018). Verkkoaineisto. Oikeusministeriö.
<<https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20180859>> Luettu 3.10.2021.
- 14 Säteilyn käyttäjälle. Verkkoaineisto. Säteilyturvakeskus (STUK).
<<https://www.stuk.fi/stuk-valvoo/sateilyn-kayttajalle>> Luettu 3.10.2021.
- 15 Puhdastilat. 2021. Verkkoaineisto.
<<http://crtoy.com/cleanroom/puhdastilat/>> Luettu 3.10.2021.
- 16 SFS-EN ISO 14644-1:2015/Korjaus:2019 Puhdastilat ja puhtaat alueet. Osa 1: Hiukkaspitoisuuden perusteella tehtävä puhtausluokitus. Suomen standarditoimislaitos SFS ry.
- 17 Teollisuuden ilmanlaadun tiekartta. Tuotekuvasto CAT.FI19B. SMC Pneumatics.
- 18 Pneumatic Clean Series. 2016. Tuotekuvasto CAT.E02-23B. SMC Pneumatics.
- 19 Routio Pentti. Teollisen tuotteen kehittäminen sivu 2 luentomateriaali . 2007. Verkkoaineisto.
<<http://www2.uiah.fi/projects/metodi/03a.htm#ominais>> Luettu 3.10.2021.
- 20 Parallel Type Air Gripper: Wide Type MHL2 series. Verkkoaineisto.
<https://ca01.smcworld.com/catalog/en/rotary_airchuck/MHL2-E/6-3-p0497-0513-mhl2_en/data/6-3-p0497-0513-mhl2_en.pdf> Luettu 3.10.2021.