



Tuomas Kakkonen

Automatisoidun kuivauslaitteen konseptointi ja suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

19.8.2024

Tiivistelmä

Tekijä:	Tuomas Kakkonen
Otsikko:	Automatisoidun kuivauslaitteen konseptointi ja suunnittelu
Sivumäärä:	21 sivua
Aika:	19.8.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine:	Koneautomaatio
Ohjaajat:	Lehtori Maria Sjöholm Projekti-insinööri Iiro Björk

Insinööritö toteutettiin Bluefors Oy:lle tuotannonkehitysprojektina. Työn tavoitteena oli suunnitella ja konseptoida automatisoitu kuivauslaite, joka tehostaa kryostaateissa käytettävien komponenttien kuivausprosessia. Nykyinen manuaalinen kuivausprosessi on aikaa vievä ja ergonomisesti haasteellinen, joka asetti tarpeen automaation kehittämiseksi. Automatisoimalla kuivausprosessi pyritään vähentämään manuaalisen työn määrää, parantamaan prosessin tarkkuutta ja laatua sekä varmistamaan kuivauksen tasalaatuisuus.

Insinööritö kattaa laitteen tekniset vaatimukset, runkorakenteen vaihtoehdot, suutinjärjestelmän valinnan sekä kannattavuus- ja kustannusarvioinnin. Työssä käsitellään myös koko projektin rakennetta ja laitteen vaikutusta tuotannon kehittämiseen.

Projektin tuloksena saatiin yritykselle kattava esitutkinta laitteen vaatimuksista, komponenteista sekä virtuaalinen malli automaattisesta kuivauslaitteesta. Tämä esitutkinta ja malli tarjoaa vahvan perustan jatkokehitykselle, mahdollistaen koko laitteiston jatkosuunnittelun ja kehityksen tarkkojen lähtötietojen pohjalta. Lisäksi työ tarjoaa arvokasta tietoa yrityksen tulevien kehitysprojektien suunnitteluun ja toteutukseen.

Avainsanat: Automaatio, kuivauslaite, pneumatiikka

Abstract

Author: Tuomas Kakkonen
Title: Conceptualization and Design of an Automated Drying System
Number of Pages: 21 pages
Date: 19 August 2024
Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Mechanical Engineering
Professional Major: Machine Automation
Supervisors: Maria Sjöholm, Senior Lecturer
Iiro Björk, Project Engineer

The thesis was carried out for Bluefors Oy as a production development project. The objective of the work was to design and conceptualize an automated drying device that enhances the drying process of components used in cryostats. The current manual process is time-consuming and ergonomically challenging, which created a need for the development of automation. The goal of the automation of the drying process is to reduce the amount of manual workload, improve precision and quality of the process, and ensure uniform drying quality.

The thesis covers the technical requirements of the system, alternative frame designs, selection of the nozzle system, as well as profitability and cost assessments. The work also addresses the project structure and the impact of the system on production development.

As a result of the project, a comprehensive preliminary study of the device's requirements and components was produced for the company, along with a virtual model of the automated drying device. The preliminary study and model provide a strong foundation for further development, enabling the continued design and development of the entire system based on initial data. Additionally, the work offers valuable insights for the planning and execution of the company's future development projects.

Keywords: Automation, drying machine, pneumatics

Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet

1	Johdanto	1
2	Kryostaatti ja sen käyttötarkoitukset	2
3	Projektin tausta ja tavoitteet	3
3.1	Kannattavuus ja kustannusarvio	4
3.2	Tavoitteet ja vaatimukset	5
4	Konseptointi	6
4.1	Ensimmäinen runkokonsepti	7
4.2	Toinen runkokonsepti	8
4.3	Lopullinen runkokonsepti	10
5	Toteutussuunnitelma	12
5.1	Mekaniikka ja rakenne	12
5.2	Pneumatiikka	14
5.3	Automaatio	16
5.4	Turvallisuus ja turvarajat	16
5.5	Projektin vaiheet	17
6	Jatkokehitys	19
7	Yhteenveto	19
	Lähteet	21

Lyhenteet ja käsitteet

CAD: *Computer Aided Design*. Tietokoneavusteinen suunnittelu.

BOM: *Bill of Material*. Komponenttilista / osalista.

Kvanttitekniikka: Tieteenala. Hyödyntää kvantti-ilmiöitä, jotka tapahtuvat atomien, hiukkasten ja fotonien tasolla.

Ultraääni: Lähettää korkeataajuuksisia (~40 kHz) ääniaaltoja nesteen läpi puhdistuksen tehostamiseksi.

Beckhoff: Teollisuusautomaation toimittaja. Toteuttaa avoimia automaatiojärjestelmiä, jotka pohjautuvat PC-pohjaiseen ohjausteknologiaan. Tuotevalikoima kattaa teollisuus PC:t, I/O- ja kenttäväyläkomponentit, liikkeenohjaustuotteet, automaatio-ohjelmistot, ohjauskaapittoman automaation sekä konenäkölaitteistot.
[10]

Riskianalyysi: Käsittää riskien tunnistamisen, arvioinnin ja hallinnan.

Proof Of Concept: Konseptin todentaminen. Konseptin toimivuuden testaus käytännössä, joka auttaa tunnistamaan mahdolliset tekniset haasteet ennen tuotantoa.

1 Johdanto

Opinnäytetyö toteutetaan Bluefors Oy:lle kehitysprojektina. Bluefors Oy on vuonna 2008 perustettu kryostaattivalmistaja. Kryostaatteja käytetään laajalti kvanttiteknologiassa sekä erilaisissa tutkimustöissä. Yrityksen liikevaihto oli 162,1 miljoonaa euroa (2023/12) [11] ja työntekijöitä on noin 600 kuudessa eri paikassa ympäri maailmaa. Pääkonttori sijaitsee Helsingin Pitäjänmäessä. [1.]

Yrityksen kasvaessa ja tuotekehityksen edetessä on tullut tarve tehostaa ja automatisoida tuotantoprosesseja. Työn tarkoituksena on kehittää yrityksen komponenttien valmistusprosessia automatisoimalla kryostaateissa käytettävien pestyjen osien kuivausprosessi.

Opinnäytetyö valittiin kahden kehitysprojektin ja osaston väliltä:

1. Kuivausautomaatio (Quality & Finishing -osasto)
2. Robotisoitu dipauslaite (Fine Assembly -osasto)

Näistä päädyttiin kuivausautomaatioon sen kannattavuuden vuoksi. Projektin avulla yritykselle voidaan tuoda suuria säästöjä vuositasolla sekä kehittää henkilöstön ergonomiaa ja työolosuhteita [3].

Opinnäytetyö on rajattu automatisoidun kuivauslaitteen konseptointiin ja suunnitteluun. Käyttövalmiin kuivauslaitteen suunnittelu ja rakentaminen tyhjästä on pitkä ja työläs prosessi, jonka vuoksi opinnäytetyö keskittyy pelkästään kehitysprojektin alkuvaiheen osuuksiin. Tekstissä kerrotaan havaintoja ja suunnitelmia laitteen komponenttivalinnoista ja suunnitelmista laitteelle. Työssä käsitellään myös projektin rakennetta ja laitteen vaikutusta tuotannon kehitykseen.

2 Kryostaatti ja sen käyttötarkoitukset

Kryostaatti on jäähdytyslaite, joka tuottaa ja ylläpitää erittäin matalia lämpötiloja, usein lähellä absoluuttista nollapistettä (-273,15°C). Kryostaatteja käytetään laajalti useilla eri aloilla, erityisesti tieteellisessä tutkimuksessa ja teknologian kehityksessä.

Yksi merkittävimmistä käyttökohteista on kvanttiteknologia, jossa tarvitaan erittäin matalia lämpötiloja ilmiöiden tutkimiseen ja hyödyntämiseen. Kryostaatteja käytetään myös erilaisissa tutkimustöissä, joissa matalat lämpötilat ovat välttämättömiä esimerkiksi materiaalitutkimuksessa, fysiikan kokeissa sekä biologisten näytteiden säilytyksessä ja tutkimuksessa.

Kryostaattien merkitys nykyaikaisessa teknologiassa ja tutkimuksessa on huomattava, sillä ne mahdollistavat ilmiöiden tutkimisen, joita ei normaaleissa ympäristön olosuhteissa voida havaita. Kvanttiteknologian kehitys nojautuu vahvasti kryostaattien käyttöön, sillä monet ilmiöt tulevat esiin vasta erittäin matalissa lämpötiloissa. Materiaalitutkimuksessa kryostaatit auttavat ymmärtämään eri aineiden perusominaisuuksia, kun taas biologisten näytteiden tutkimuksessa ne mahdollistavat solujen ja kudosten säilymisen sekä tutkimisen ilman vaurioita.

Kryostaatteja on useita erilaisia, mutta yleisimpiä ovat helium-kryostaatit, jotka käyttävät nestemäistä heliumia jäähdytysaineena. Nestemäinen helium mahdollistaa lämpötilojen saavuttamisen noin 1,2 Kelvinin (K) tasolle, mutta laimentumisjäähdyttimillä voidaan päästä jopa alle 10 millikelviniin (mK).

Toinen yleinen kryostaattityyppi on suljettu kierto, jossa käytetään suljettua heliumin kierrätysjärjestelmää nestemäisen heliumin sijasta. Tämä järjestelmä on kustannustehokas ja käyttäjäystävällinen, sillä se poistaa tarpeen jatkuvaan heliumtäydennykseen ja on täten ympäristöystävällisempi. Bluefors Oy on yksi tällaisten laitteiden johtavista valmistajista.

Kryostaattien kehitys jatkuu ja uudet innovaatiot parantavat niiden suorituskykyä, jäähdytystehoa ja ympäristöystävällisyyttä. Ne tulevat pysymään keskeisinä laitteina tieteellisessä ja teknologisessä kehityksessä edistäen uusien innovaatioiden syntymistä.

3 Projektin tausta ja tavoitteet

Quality & Finishing -osastolla komponentteja pestään pesulinjastolla eri liuoksissa ultraäänen avustuksella, jonka jälkeen laitteistossa oleva automaattinen kuivain kuivaa komponentit puhaltamalla paineistettua ilmaa ja lämmittämällä niitä.

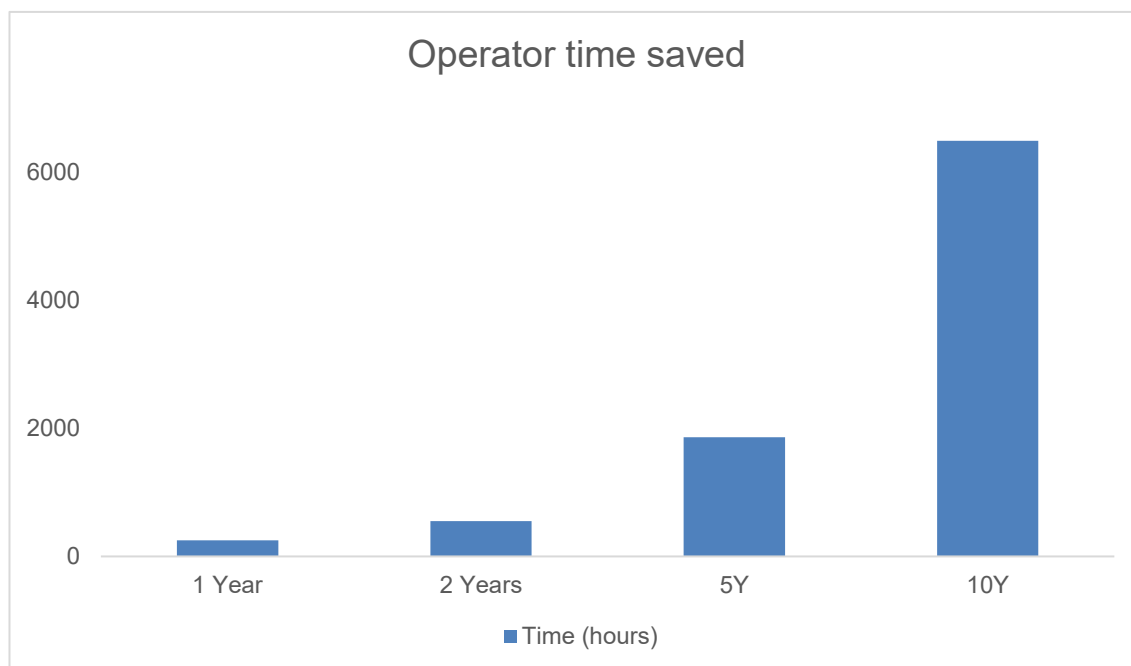
Menetelmä ei ole kuitenkaan tarpeeksi tehokas eikä lämmitystä voida käyttää esimerkiksi kiillotetun kuparin kuivaamiseen pinnan tahrautumisen vuoksi. Tahrautumisen vuoksi uusi kuivauslaite ei voi myöskään käyttää lämmitystä kuivauksen tehostamiseksi.

Nykyinen työmenetelmä vaatii usein jälkikäsittelyn, jossa operaattori kuivaa komponentit käsin käyttäen paineilmapuhallinta tuottaen melua tilassa, jossa ei toistuvasti tule muita meluhaittoja. Erityistä huolellisuutta ja tarkkuutta vaativat etenkin reiät ja kierteet, joihin jää usein kosteutta pesun jäljiltä. Kosteudenpoisto on komponenttien kannalta tärkeä vaihe, sillä se vaikuttaa suoraan komponenttien laatuun ja ulkonäköön.

Automatisoidulla kuivauslaitteella pyritään vähentämään manuaalisen työn määrää, parantamaan prosessin tarkkuutta ja varmistamaan kuivauksen tasalaatuisuus.

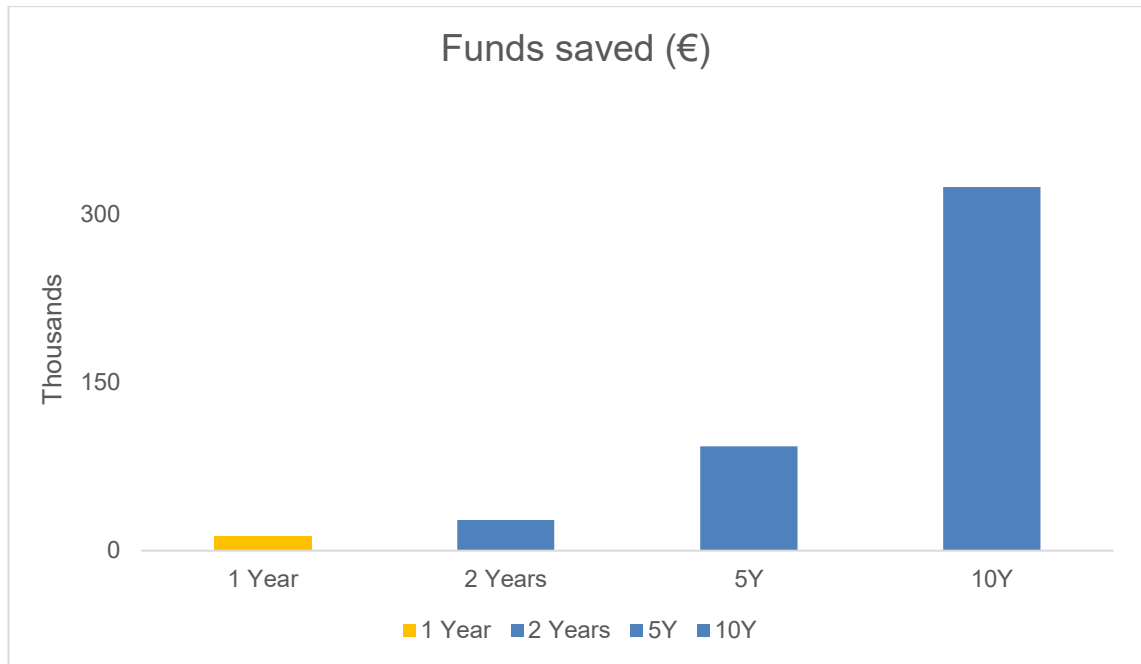
3.1 Kannattavuus ja kustannusarvio

Manuaalinen kuivaustyö kestää komponenttikoon mukaan keskiarvolta noin viisi minuuttia per kärry. Tämä tekee arviolta 250 tuntia/vuosi, joka kasvaa jatkuvasti yrityksen kasvaessa. Kuivauslaitteen tarkoituksena on myös parantaa työergonomiia ja koko osaston hyvinvointia taloudellisten säästöjen lisäksi.



Kuva 1. Kaaviossa on esitettyä manuaaliseen kuivaustyöhön käytetty aika vuositasolla tunteina [2].

Laitteen tuomat säästöt ovat arviolta 12 500 €/vuosi laskelmoituna 50 euron tuntikustannuksella. Projektin karkea kustannusarvio on 12 000 € huomioimatta työtunteja. Laitteen arvioitu takaisinmaksuaika on > 1 vuosi, joka tekee laitteesta kustannustehokkaan ratkaisun ergonomian ja työturvallisuuden kehittämiseksi yritykselle.



Kuva 2. Kaaviossa on havainnollistava kuva laitteen tuomista säästöistä vuositasolla. Kasvuodotukset perustuvat yrityksen keskimääräiseen kasvuun viime vuosina. Kaaviossa ei ole otettu huomioon laitteen huollosta aiheutuvia kustannuksia, eikä käyttökustannuksia. [2.]

3.2 Tavoitteet ja vaatimukset

Projektin tavoitteena on kehittää automaattinen kuivauslaite/-koppi, johon työntekijän on helppo siirtää komponentit pesulinjastolta ja aloittaa kuivausohjelma. Helppokäyttöisyys ja ergonomisuus ovat prioriteetteja laitteen käyttökelpoisuuden kannalta.

Vaatimukset laitteelle:

1. Vähintään kolme säätöä paineilmalle, jotta eri kokoiset komponentit saadaan kuivattua ilman vaurioita.
2. Turvallinen ja luotettava automaatio.
3. Tarkkuus reikien ja kierteiden puhaltamiseen (3 mm – 12 mm halkaisija).

4. Äänieristys, jotta melutaso saadaan alle 85dB(A), huippuarvo 135dB (C) (kuulonsuojausta ei vaadita) [4].
5. Sekvenssi suuttimille, jotta poistuva kosteus ei muutu ilmankosteudeksi ja kondensoidu takaisin materiaalin pinnalle.
6. Yksinkertainen ja kestävä runkorakenne, laitteesta saadaan helposti toistettava ja kustannustehokas.
7. Dokumentointi ja käyttöopas.

4 Konseptointi

Konseptointi aloitettiin Bluefors Oy:n tiloissa aloituspalaverin yhteydessä. Aluksi määriteltiin vaatimukset laitteistolle projektiryhmän kanssa: käyttöaste, laitteen koko, äänitaso, käytettävyys sekä muut laitteen konseptoinnille tärkeät ominaisuudet. Tarkoituksena oli suunnitella useampi vaihtoehtoinen runkokonsepti, joista valitaan käytännöllisin vaihtoehto jatkokehitystä varten. Valintaan vaikuttavia kriteerejä olivat käytettävyys, valmistuskustannukset ja ergonomisuus. Konseptin virtuaalinen malli suunnitellaan käyttämällä Creo Parametric CAD-ohjelmaa. Projektissa toteutettavaa konseptointia voidaan kutsua määritteleväksi konseptoinniksi, sillä tavoitteena on synnyttää tuotteelle kattava perusta, jonka pohjalta laitteen tarkka suunnittelu voi alkaa [6].

Kuivauslaitteen suunnittelun alkuvaiheen haasteellisia osuuksia oli suunnitella ja valita oikea suutinjärjestelmä ja pneumatiikka, jolla pystytään puhaltamaan kierteet ja reiät vaadittavalla tarkkuudella kymmenien senttimetrien päähän ilman konenäköä. Muita teknisiä haasteita oli esimerkiksi komponenttikoon vaihtelu ja komponenttien orientaation vaikutus puhallukseen.

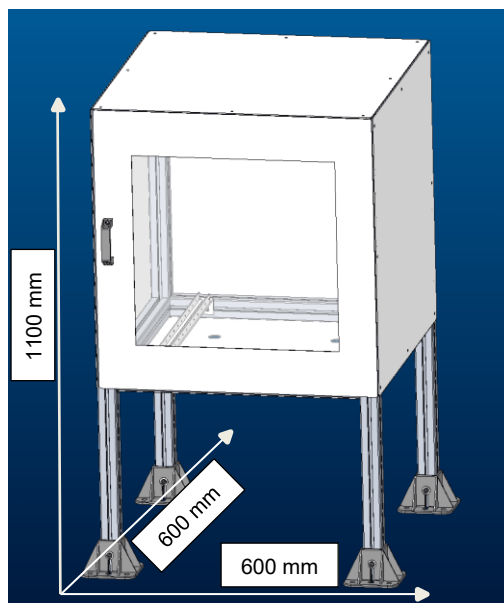
Konseptointivaiheen alkuvaiheella todettiin, että laajan pinta-alan omaavia komponentteja on haastavaa tai jopa mahdotonta puhaltaa täydellisellä tarkkuudella ilman kärryn tai suuttimien liikuttamista. Tämän vuoksi päädyttiin liikuttamaan komponenttikärryä, joka mahdollistaa paineilmaverhon suunnittelun. Tällä

menetelmällä kappaleiden pinta-ala saadaan täysin katettua komponenttikoosta ja reikien sijainnista riippumatta.

4.1 Ensimmäinen runkokonsepti

Ensimmäisessä runkokonseptissa käytettiin rakenteena 45 x 45 alumiiniprofiileja. Pienemmät runkoprofiilit saavat laitteesta kevyen, helposti liikuteltavan ja ergonomisen. Puhalluskopin korkeus maasta on 480 mm, joka vastaa komponenttikärryn korkeutta. Kärrystä on mahdollista työntää komponenttikori kuivauslaitteeseen, jossa on kiskot pyörillä sekä siirtää kori takaisin kärryn päälle tuotannon seuraavaa vaihetta varten.

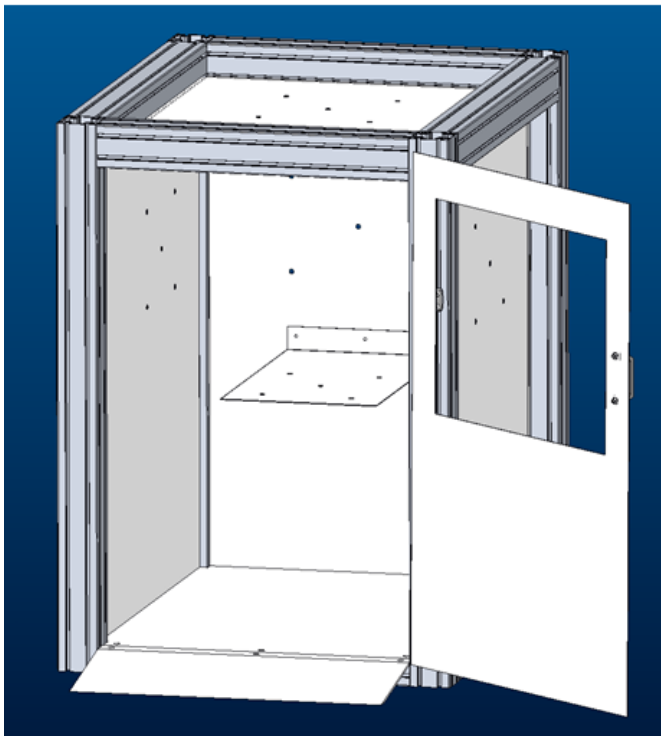
Tämä konsepti osoittautui kuitenkin käytännöllisyyden kannalta heikommaksi, sillä äänieristyksen toteuttaminen ja ergonomisuus eivät olleet halutulla tasolla. Komponenttikorin siirtäminen käsin olisi tuottanut haasteita etenkin raskaiden komponenttien kohdalla.



Kuva 3. Ensimmäinen konsepti rungosta, johon tarkoituksena työntää pelkästään kuvassa 5. näkyvä kärryn päällä oleva kori.

4.2 Toinen runkokonsepti

Seuraava runkokonsepti keskittyi parantamaan äänieristystä ja käytännöllisyyttä, jotka todettiin ensimmäisessä konseptissa puutteellisiksi. Runkorakenteina käytetään paksumpia 90 x 90 profiileita, koska äänieristämisen toteuttaminen on huomattavasti helpompaa. Käytännöllisemmäksi havaittiin koko kärryn työntäminen laitteen sisään pelkän korin sijasta. Tämän vuoksi koppi ulottuu lattiaan asti, joka muuttaa kopin ulkomittoja hieman suuremmaksi.



Kuva 4. Toinen konsepti rungosta, johon tarkoituksena laittaa koko kärryn koriin. Laitteen ulkomitat: Leveys 875 mm, korkeus 1345 mm ja syvyys 1080 mm.

Suuttimet sijoitetaan komponenttikärryn jokaiselle sivustalle 360-asteen puhaltamisen saavuttamiseksi ja niiden ympärille olisi helppoa rakentaa muu pneumatiikka. Tarkoituksena oli puhaltaa komponentit ilman suuttimien tai kärryn liikettä pelkän sekventiaalihajauksen avulla. Työntökärryn on suunniteltu ole-massa olevan pesulinjaston vaatimuksien mukaisesti, jonka vuoksi kuivauslaite tulee suunnitella sen ympärille.

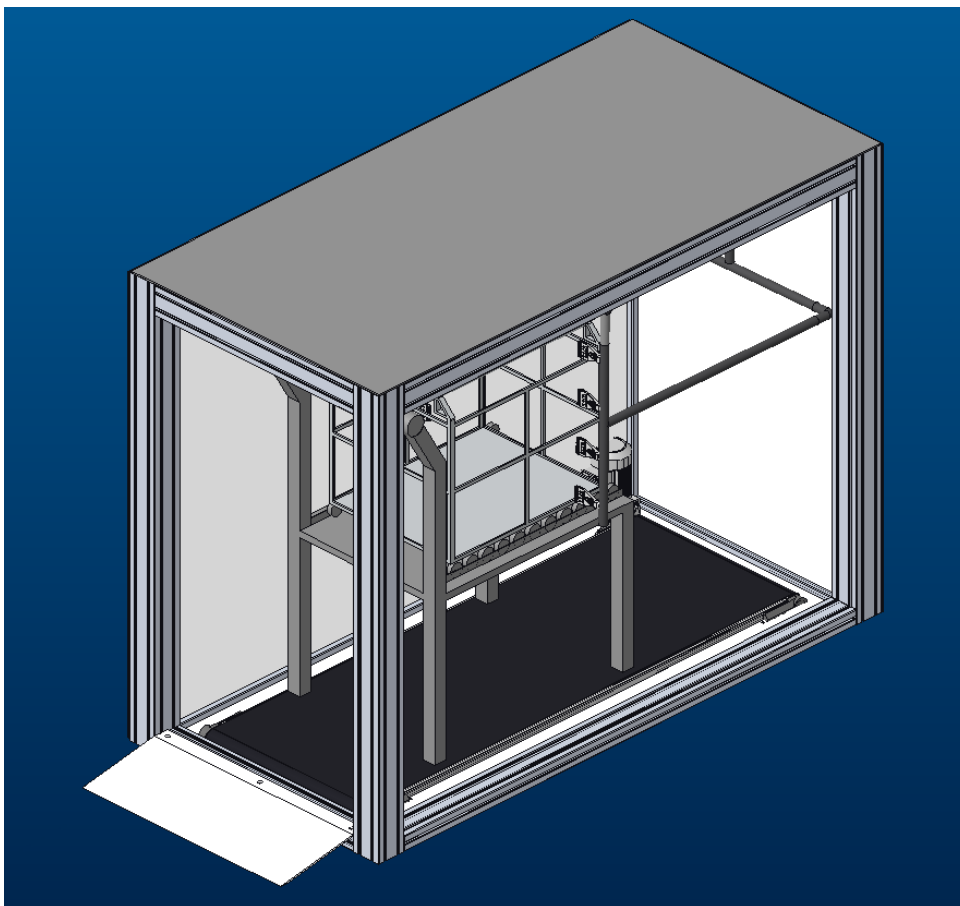


Kuva 5. Työntökärry sekä komponenttikori.

Kärry ja kori on valmistettu ulkoisen toimijan toimesta, jonka vuoksi yrityksellä ei ollut olemassa olevia 3D-malleja. Kärrystä otettiin toiminnan kannalta olennaisimmat mitat ja mallinnettiin yhdistelmä pääpiirteittäin havainnollistamaan asentamista laitteen sisälle. Tarkat ulkomitat olivat kuitenkin tärkeitä mallinnuksessa, sillä sen avulla voitiin havaita ongelmakohtat kärryn asennuksessa kuivauslaitteeseen ja muuttaa virtuaalisen mallin mittoja sen mukaisesti.

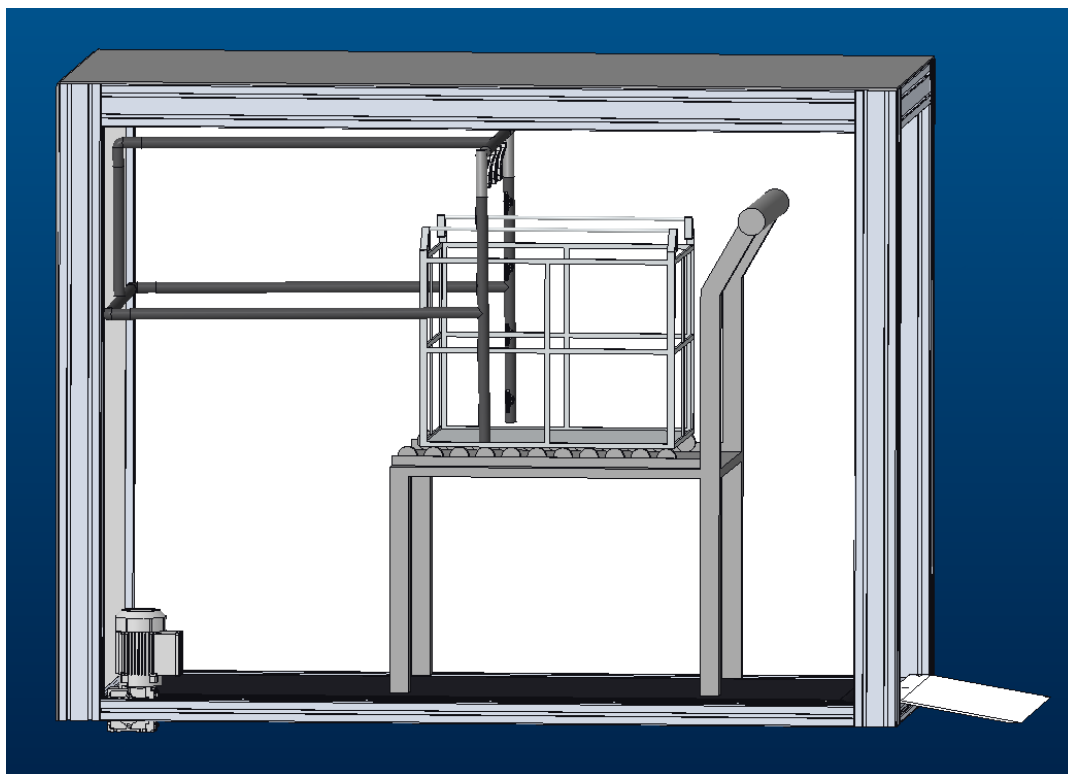
4.3 Lopullinen runkokonsepti

Runko on valmistettu 90 x 90 (mm) alumiiniprofiileista äänieristyksen helpottamiseksi. Pohjan profiilit ovat 45 x 90 (mm), jotta rampin kulma ei vaikuta laitteen käytettävyyteen. Kuivauskopin mitoiksi tuli 1080 x 875 x 2000 (mm), jonka vuoksi laitteesta tuli suunniteltua raskaampi. Puhalluksen toimivuuden sekä ergonomian kannalta paras ratkaisu oli kuitenkin liikuttaa kärryä kokonaisuudessaan, joka määrittäi laitteen mitat. Kuljettimen hihnan täytyy olla erikoisvalmistettu, jotta kärryn pyörät eivät pääse pyörimään kuljettimen liikkuesssa. Nappia painamalla ja puhallusteho valitsemalla kuljetin liikuttaa kärryä paineilmaverhon läpi ja takaisin toistuvasti sopivalla nopeudella. Rajakytkimien avulla ohjelma muuttaa kuljettimen suunnan kärryn edettyä tietyn etäisyyden päähän.



Kuva 6. Kuvakaappaus Creo 3D -kokoontamasta.

Suutinreikien sijasta kuivauslaitteeseen on asennettu kolmeosainen suutinputkisto. Jokaiselle neljän tai kuuden suuttimen putkelle on oma painetulo, sillä putken halkaisija tulisi olla jopa $\frac{3}{4}$ " (noin 19 mm), jotta suuttimia voidaan käyttää maksimipaineella tarvittaessa. Tuloputket saattavat olla yksi puhallustehoja kurostava tekijä, joka tulee ottaa huomioon tarkemmassa pneumatiikkasuunnittelussa. Suuttimet on valmistettu ABS-muovista edullisuuden vuoksi. Suutinkoko on 15 ja ilmankäyttö on paineen mukaan 21–49 Nm³/h (2–6 bar). Lattasuuttimissa on hyvä puhallusteho jopa 300 millimetriin asti ja niiden toimivuus on todettu käytännön kokeiden avulla. Tuotevalmistajalta saa tilattua alumiinista valmistettuja suutinputkia, joihin saa kytkettyä kahdesta kuuteen suutinta.



Kuva 7. Valmiin runkokonseptin vasen orientaatio.

Kuvista poiketen suuttimien kulma ei saa olla kohtisuoraan puhallettavaa kappaletta kohti. Kohtisuoraan puhaltaessa kimmokkeet hidastavat tulevaa ilmavirtausta, jos suutin on asetettu 90 asteen kulmaan puhallettavaa esinettä kohden. Oikea puhalluskulma täytyy todeta käytännön kokeilla, sillä puhallettavat komponentit eivät ole aina samassa orientaatioissa. Yleinen sääntö pintamateriaalin

puhdistukseen tai poistamiseen on kuitenkin asentaa suuttimet noin 75 asteen kulmassa. Hyvä vaihtoehto olisi asentaa suuttimien kantojen yhteyteen pallo-nivelet, joiden avulla suuttimien kulmaa saa muutettua helposti ja nopeasti.

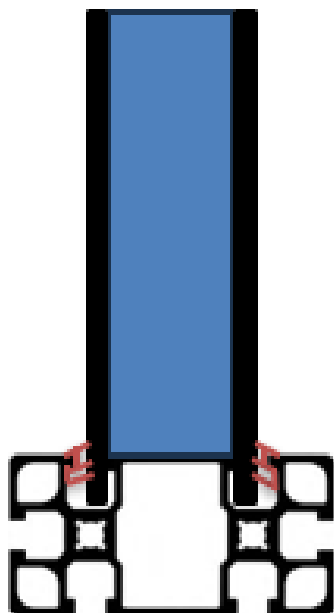
5 Toteutussuunnitelma

5.1 Mekaniikka ja rakenne

Kuivauslaite toimii paineilmalla, johon on valmiiksi saatavilla liitännät tiloissa. Runko valmistetaan alumiiniprofiileista, joihin on helppo kiinnittää sisä- ja ulkoseinät. Alumiiniprofiilit ovat helppoja asentaa, mutta pystyvät silti kantamaan laitteen massan. Ulkoseinät voidaan valmistaa esimerkiksi 5 mm paksusta alumiinilevystä, joka on ruostumatonta ja keventää laitteen kokonaispainoa. Alumiinin käyttö materiaalina takaa laitteen pitkäikäisyyden.

Jokaiselle suutinsarjalle tulee oma venttiili sekä päätuloon paineenrajoitusventtiili suodattimella estämään kosteuden pääsyn suuttimille. Suunnittelussa tulee kiinnittää erityistä huomiota melutason hallintaan ja äänieristykseen. Äänieristyksen ja seinien asentaminen toteutetaan seuraavalla sivulla olevan kuvan mukaisesti. Profiilien välissä on noin 30–35 mm tilaa eristykselle, johon voidaan lisätä yhtä tai useampaa korkealaatuista äänieristysmateriaalia.

Tavoitteena on varmistaa, että laitteen käytönaikainen melutaso jäisi alle 85 dB(A), jolloin kuulonsuojausta ei vaadita samassa tilassa työskenteleville [4]. Laitteen melutason tulisi olla kuitenkin mahdollisimman alhainen. Rakenteessa tulee myös kiinnittää erityistä huomiota äänivuotojen ehkäisyyn ja resonanssien minimointiin. Asentamalla kumitiivisteet seinien ja profiilien väleihin saadaan tiivistettyä eriste kosteudelta sekä vähentämään äänivuotoja.



Kuva 8. Läpihalkaisu seinän ja eristyksen toteuttamisesta.

Melurajat määrittelee työsuojeluliitto, joka saa vaatimukset valtioneuvoston asetuksesta [11]. Kuivauslaitteen käyttöasteen uskotaan olevan 4–8 tuntia päivässä, joten melurajana käytetään matalampaa melutasoa.

Melualtistus mitataan aina niin sanotulla A-taajuuspainotuksella, joka mukailee korvan herkkyyttä äänen eri taajuuksille. Altistuksen suuruuteen vaikuttaa se, miten voimakasta melu työntekijän korvan kohdalla kulloinkin työpäivän mittaan on ja miten kauan työntekijä tällaisessa melussa on. Päivittäinen melualtistus voidaan määrittää annosmittauksella tai laskemalla työntekijän tyypillisen työpäivän aikana kokemien melutasojen keskiarvo. Sitä laskettaessa otetaan huomioon kunkin melujakson aikainen melutaso ja jakson kesto, ja keskiarvo on suhteutettu kahdeksan tunnin altistukseen. Jos melu- altistus vaihtelee merkittävästi päivästä toiseen, melualtistus pitää määrittää viiden työpäivän ajalta. [4.]

Melun kesto	Alempaa toiminta-arvoa vastaava melutaso	Ylempää toiminta-arvoa vastaava melutaso	Raja-arvoa vastaava melutaso korvassa
8 tuntia	80	85	87
4 tuntia	83	88	90
2 tuntia	86	91	93
1 tuntia	89	94	96
30 minuuttia	91	97	99
15 minuuttia	94	100	102
7,5 minuuttia	97	103	105
3,25 minuuttia	100	106	108
97 sekuntia	103	109	111
48 sekuntia	106	112	114

Kuva 9. Taulukosta näkyy melussaoloajan ja melutason vaikutus päivittäiseen meluallistukseen [4].

5.2 Pneumatiikka

Pneumatiikassa vaihtoehtoina oli ilmaveitsien käyttö, pistemäiset suuttimet tai lattamaiset suuttimet. Näistä päädyttiin käyttämään lattamaisia suuttimia, sillä niiden avulla on helpoin toteuttaa ilmaverho, jolla saa katveettoman puhalluksen yhdessä lineaarisen liikkeen kanssa. Toimivuus todettiin käytännön kokeilla, jossa kokeiltiin erilaisten suuttimien toimivuutta eri etäisyyksillä sekä eri paineella yhteistyössä suutinvalmistajan kanssa.

Haasteena valinnassa oli katossa sijaitsevien suuttimien vaihteleva etäisyys kohteeseen ja sen vaikutus puhallusvoimaan kohteessa. Tämä asia tulisi huomioida komponenttien sijoittamisessa kuivauskoriin.

Rakennuksen kompressori on 11kW vaihtonopeuksinen (ECB) hihnakäyttöinen ruuvikompressori, jonka ilmantuotto on 1580 L/min. Paineilmaverkon ilmanpaine on asetettu 7 bar:iin.

Toimittaja on ilmoittanut suuttimien ilmankulutuksen NI/min (Normal air liter per minute). Tämä tarkoittaa ilmankulutusta ”normaaleissa olosuhteissa” eli +20°C ja 1,0135 bar:ssa painetta. Neljän suuttimen sarja ¾” tuuman putkella (L= 520 mm) kuluttaa ilmaa 4896 NI/min 6 bar:lla painetta. Putkia sijoitetaan 3–4 kappaletta laitteeseen, mutta niistä käytetään vain yhtä kerrallaan. Useamman putken ja painetulon käyttäminen on välttämätöntä, jotta painehäviöt eivät ole liian suuret ja suuttimille saadaan jaettava tasainen sekä riittävä paine.

Ideaalikaasun yhtälöllä ($Pv = nRT$) voidaan suhteuttaa kompressorin ilmantuotto L/min → NI/min;

$$V_1 = \left(\frac{P_2 * T_1}{P_1 * T_2} \right) * V_2$$

$$V_1 = \left(\frac{701.325 \text{ kPa} * 273.15 \text{ K}}{101.325 \text{ kPa} * (273.15 \text{ K} + 25 \text{ K})} \right) * 1580 \text{ l/min} = 10\,019.04 \text{ NI/min}$$

Voidaan todeta, että rakennuksen kompressorin tuottama ilma on riittävä jopa kahdelle neljän kappaleen suutinsarjalle jatkuvalla käytöllä. Laskuissa ei huomioida virtaushäviöitä, jotka saattavat vaikuttaa todelliseen ilmantuottoon. Laite ei myöskään tule käyttämään ilmaa jatkuvasti pitkiä aikajaksoja, joten kompressorin tuottama ilma on riittävä yhdelle suutinsarjalle käyttäen noin 50 % kapasiteetista. Mikäli ilmantuoton kanssa ilmenee myöhemmin ongelmia, on mahdollista lisätä laitteen läheisyyteen esimerkiksi 100–250 litran paineilmasäiliö, joka vähentää laitteen käytöstä aiheutuvaa rasitetta rakennuksen paineilmaverkolle.

Standardi SFS-EN ISO 4414 määrittelee pneumaattisten järjestelmien suunnittelua ja spesifikaatiota koskevat perusvaatimukset [7]. Yksi olennaisista asioista on käyttää ainoastaan komponentteja ja putkistoja, jotka ovat suunniteltu kansainvälisten standardien mukaisesti. Tärkeää olisi myös kiinnittää huomioita

laitteiston luotettavuuteen ja kestävyYTEEN sekä varautua järjestelmän mahdollisen vikautumisen aiheuttamaan vaaraan.

Suunnittelussa tulee myös miettiä tuotteen koko elinkaaren hallintaa. Olennaista on muun muassa asentaa komponentit siten, että ne pystytään vaihtamaan helposti ilman koko laitteiston purkamista.

5.3 Automaatio

Laitte automatisoidaan käyttämällä Beckhoff Automation -logiikkajärjestelmää. Tarkoituksena on luoda sekvenssi venttiileille, jossa laatikon yhden sivustan suuttimia ohjataan samanaikaisesti kiertäen kaikki suutinsarjat läpi epäloogisessa järjestyksessä. Samaan aikaan kuljetinmoottorille syötetään käyttövirtaa ja ajetaan kärryä hitaalla nopeudella. Tällä menetelmällä kosteus saadaan suunnattua haluamaan paikkaan, eikä jää ilmaan palaten takaisin kappaleen pinnalle.

Automaation osuus laitteen toiminnan kannalta on suuri. Seuraava kehitysvaihe automaation osalta on laatia perusteellinen automaatio suunnitelma, jossa käsitellään toiminnalliset vaatimukset (kaavio), laitteistovaatimukset ja komponentit sekä turvatoiminnot. Automaatio on prosessin pitkäkestoisin vaihe, koska sitä kehitetään ja parannetaan jatkuvasti laitteen valmistumisen jälkeen saadun käyttäjäpalautteen perusteella.

5.4 Turvallisuus ja turvarajat

Laitteen paineilman sulkuventtiili tulee olla helposti saatavilla, jotta työntekijä voi helposti sulkea paineilman vaaratilanteen sattuessa tai laitteiston mennessä epäkuuntoon. Tämä on erityisen tärkeää, jotta voidaan nopeasti reagoida mahdollisiin vaaratilanteisiin ja minimoida vahingot henkilöstölle ja laitteistolle.

Rajakytkin asennetaan oven yhteyteen, jotta laitetta ei saada käyntiin oven ollessa auki. Hätäseis-nappi on myös sijoitettava helposti saataville, jotta

operaattorin on helppo sammuttaa laitteen toiminta hätätilanteessa. Hätäseisnapin tarkoituksena on mahdollistaa nopea reagointi vaaratilanteissa, mikä voi estää vakavat onnettomuudet ja vahingot. Napin tulee olla selkeästi merkitty ja sen käytön tulee olla intuitiivista, jotta operaattorit voivat käyttää sitä ilman epärointiä. Lisäksi painikkeiden toimivuus tulisi varmistaa säännöllisesti osana kunnossapito-ohjelmaa, jotta varmistetaan niiden toimivuus vaaratilanteissa.

Laitteelle olisi hyvä toteuttaa myös riskianalyysi, jossa arvioidaan komponenttien vaikutus järjestelmän toimivuuteen sekä turvallisuuteen. Riskianalyysit perustuvat usein koneturvallisuusstandardiin ISO 12100 [5]. Riskianalyysi auttaa tunnistamaan ja arvioimaan mahdolliset vaaratekijät sekä määrittämään tarvittavat toimenpiteet riskien vähentämiseksi hyväksyttävälle tasolle. Analyysin tuloksia on hyvä käyttää hyödyksi laitteiston suunnittelussa ja kehittämisessä, jotta voidaan toteuttaa ennakoivia toimenpiteitä. Tämä voi sisältää esimerkiksi lisäsuojien asentamista, turvallisuusohjeiden parantamista ja käyttökoulutuksen tarjoamista henkilöstölle.

5.5 Projektin vaiheet

Projektin hallinnasta vastaa projektipäällikkö, jonka vastuulla on projektin eteneminen kokonaisuudessaan. Päällikkö vastaa myös yrityksen sisäisestä dokumentoinnista sekä projektinhallinnasta ja kommunikoinnista yrityksen muiden osastojen kanssa. Projektikaava seuraa yrityksen sisäistä kaavaa, joka on riippuvainen projektin laajuudesta.

1. LAITTEISTON MÄÄRITYS	2. LAITESUUNNITTELU	3. KOKOONPANO JA TESTAUS	4. PALAUTE JA KEHITYS
<ul style="list-style-type: none"> Määritelmät ja vaatimukset laitteistolle sekä taustatutkimukset 	<ul style="list-style-type: none"> Konseptisuunnittelu komponentteineen ja BOM 	<ul style="list-style-type: none"> Lähetysten vastaanotto 	<ul style="list-style-type: none"> Kerätään palaute laitteiston toiminnasta
	<ul style="list-style-type: none"> Automaatiosuunnittelu 	<ul style="list-style-type: none"> Kokoonpano 	<ul style="list-style-type: none"> Laitteiston kehitys
	<ul style="list-style-type: none"> Valmistajien vertailu ja tilaukset 	<ul style="list-style-type: none"> Ohjelmointi FBD/ST/LD/SFC 	
		<ul style="list-style-type: none"> Testin tulokset ja analyysi 	

Kuva 10. Lohkokaavio projektin vaiheista.

Ensimmäisessä vaiheessa määritellään projektiryhmän kanssa laitteen vaatimukset sekä suoritetaan vaadittavat taustatutkimukset. Taustatutkimukseen kuuluu esimerkiksi rakennuksen infrastruktuurin selvitys (kompressori, sähkökytkennät, käytettävä tila sekä pesulinjastoon liittyvät tutkimukset). Samalla selvitetään mitä vaatimuksia tuotteen käyttäjillä sekä laitteella on. Aiheellista on myös selvittää budjetointi sekä luoda kannattavuus ja kustannusarvio.

Ennen toisen vaiheen aloitusta luodaan alustava projektisuunnitelma, jossa käsitellään aikataulu, projektin vaiheet sekä jaetaan työtehtävät projektiryhmälle. Laitesuunnittelussa laaditaan alustavat suunnitelmat laitteistosta käyttämällä CAD-mallinnusohjelmaa ja luodaan BOM (Bill of Materials), jonka avulla voidaan toteuttaa laitteen komponenttitilaukset. Automaatiosuunnittelu sekä tuotevalmistajien kilpailutus voidaan aloittaa samanaikaisesti. Vaiheen viimeinen tehtävä on tilata komponentit ja viimeistellä kaikki seuraavia vaiheita valmistavat toimenpiteet. Toimitiloissa valmistettavien osien valmistus voidaan aloittaa. Ennen vaiheen loppua on aiheellista varmistua projektin toteutuskelpoisuudesta ja komponenttien toimivuudesta sekä soveltuvuudesta laitteelle.

Tilauksen saavuttua alkaa kokoonpanovaihe, jossa laitteen mekaaninen osio valmistetaan. Ennen kokoonpanoa varmistetaan tilattujen tuotteiden laatu ja määrä. Laitteen kokoonpano tulee suorittaa huolellisesti, jotta vältetään ongelmilta myöhemmässä vaiheessa. Ohjelmointi voidaan aloittaa heti, kun se on mahdollista. Kokoonpanovaiheen lopputuloksena syntynyt laite on käyttövalmis vailla pieniä kehitysmuutoksia.

Viimeisessä vaiheessa kerätään käyttäjiltä ja sidosryhmiltä palaute laitteen toiminnasta. Tämä voi sisältää käyttökokemuksia, havaittuja ongelmia ja ehdotuksia parannuksista. Lopuksi analysoidaan palaute ja tehdään vaadittavat muutokset ja parannukset laitteistoon.

6 Jatkokehitys

Tarkoituksena on seuraavaksi saada Proof of Concept laitteesta, jonka avulla pyritään tunnistamaan mahdolliset tekniset haasteet ennen tuotantoa. Toimittajalta on tilattu kuusi lattasuutinta, joiden avulla pyritään todentamaan puhalluksen riittävä tarkkuus ja toiminta. Suuttimille voidaan rakentaa koepenkki saatavilla olevista alumiiniprofiileista, jonka avulla voidaan luoda mahdollisimman tarkka simulaatio suuttimien toiminnasta ja puhallustehosta valmiissa laitteessa.

Toimivuuden todentamisen jälkeen voidaan jatkaa projektin vaiheita edellisessä kappaleessa mainitun kaavan mukaan. Tämä sisältää muun muassa laitteen mekaniikan ja pneumaattisten järjestelmien yksityiskohtaisen suunnittelun, automaatiojärjestelmän suunnittelun ja ohjelmoinnin sekä laitteen testauksen ja virheiden korjaamisen. Lopullisena tavoitteena on luoda laite, joka täyttää kaikki tekniset vaatimukset ja vastaa käyttäjien odotuksia luotettavuuden ja käyttökävyyden osalta.

7 Yhteenveto

Automatisoidun kuivauslaitteen kehittäminen ja suunnittelu on monivaiheinen projekti, joka vaatii tarkkaa suunnittelua ja toteutusta. Projektin lopputuloksena

syntyvä laite parantaa merkittävästi kuivausprosessin tehokkuutta, ergonomiaa ja laatua, tarjoten merkittäviä etuja nykyiseen prosessiin verrattuna. Laitteen käyttöönotto vähentää manuaalisen työn määrää, mikä vähentää työvoimakustannuksia ja parantaa tuotannon kokonaistuottavuutta.

Vaikka laitetta ei suunniteltu loppuun asti, voidaan silti todeta, että pienellä investoinnilla voidaan saada aikaan huomattavia säästöjä ja parannuksia työntekijöiden ergonomiaan pitkässä juoksussa. Lisäksi automaation tuoma tasalautisuus ja prosessin toistettavuus vähentää virheiden määrää ja parantaa lopputuotteen laatua, mikä on erityisen tärkeää korkeaa tarkkuutta ja laatua vaativissa valmistusprosesseissa.

Opinnäytetyön aikana saadut tulokset todensivat, ettei projekti olekaan niin yksinkertainen kuin miltä alkujaan vaikutti. Uutta laitetta kehittäessä suunnitelmat muuttuvat nopeasti ja uusia huomioon otettavia asioita ilmentyy jatkuvasti. Työn tarkoituksena oli tutkia ja suunnitella uuden laitteen mahdollisuuksia. Tuloksena saatiin yritykselle kattava esitutkinta laitteen vaatimuksista, komponenteista sekä virtuaalinen malli automaattisesta kuivauslaitteesta. Tämä esitutkinta ja malli tarjoaa vahvan perustan jatkokehitykselle, mahdollistaen koko laitteiston jatkosuunnittelun ja kehityksen tarkkojen lähtötietojen pohjalta. Lisäksi työ tarjoaa arvokasta tietoa yrityksen tulevien kehitysprojektien suunnitteluun ja toteutukseen.

Lähteet

- 1 Bluefors Oy. 2024. Company story. <<https://bluefors.com/company/story/>> Luettu: 14.3.2024
- 2 Bluefors Oy. 2024. Drying automation – Gate 0. pptx.
- 3 Bluefors Oy. 2024. Thesis topic comparison. pptx.
- 4 Työsuojelu.fi. Melun raja-arvot. <<https://tyosuojelu.fi/tyoolot/fysikaaliset-tekijat/melu/raja-arvot>>. Luettu: 15.3.2024
- 5 SFS-EN ISO 12100. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskien arviointi ja riskien pienentäminen.
- 6 Keinonen, Turkka & Jääskö, Vesa. 2004. Tuotekonseptointi.
- 7 SFS-EN ISO 4414. Pneumaattinen tehonsiirto. Järjestelmiä sekä niiden komponentteja koskevat yleiset periaatteet ja turvallisuusvaatimukset.
- 8 SFS-EN ISO 13850. Koneturvallisuus. Hätäpysäytys. Suunnitteluperiaatteet.
- 9 Beckhoff Automation Oy. Yritys. <<https://www.beckhoff.com/fi-fi/company/beckhoff-group/>>. Luettu: 16.7.2024
- 10 Finlex. Valtioneuvoston asetus työntekijöiden suojelemisesta melusta aiheutuville vaaroille. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2006/20060085>>. Luettu: 16.7.2024
- 11 Finder. Teollisuustuotteet. Teollisuustuotteet Helsinki. Bluefors Oy. <<https://www.finder.fi/Mittauslaitteet+tutkimuslaitteet/Bluefors+Oy/Helsinki/yhteystiedot/1829882>>