



Niilo Kokki

Työturvallisuutta parantavan suoja- rakennelman suunnittelu ja kompo- nenttivalinnat

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

7.11.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Niilo Kokki
Otsikko:	Työturvallisuutta parantavan suojarakennelman suunnittelu ja komponenttivalinnat
Sivumäärä:	32 sivua + 1 liite
Aika:	7.11.2022
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine:	Materiaali- ja pinnoitetekniikka
Ohjaajat:	Yliopettaja Kai Laitinen Lead Electronics Engineer Saku Lähteenmäki

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Vaisalan tuotekehitykselle valmistettua refraktometrin lämpötilakartoitukseen tehtyä testiasemaa. Testiaseman suunnittelussa ja toteutuksessa huomiota kiinnitettiin työturvallisuuteen. Suojarakennelmalla suojataan operaattoreita roiskuvilta nesteiltä, haitallisilta kaasuilta sekä kuumilta pinnoilta.

Komponenttivalinnoissa painoutuivat suojarakennelman kunkin osan sijoitus, käyttötarkoitus ja niiden saatavuus. Suojarakennelman toteutukseen valitut komponentit kestävät sekä lämpötilavaihteluita että fyysistä rasitusta. Valinnassa huomioitiin myös materiaalien kemiallinen yhteensopivuus.

Suojarakennelmassa öljyn kuljetuksessa käytetyt letkut kulkevat yhdysputken sisällä, mikä estää mahdolliset palovammat. Suojarakennelman rakentamisessa käytettiin ylivuotoaltaita, jotka estivät nesteiden kulkeutumisen rakennelman ulkopuolelle siten, että siitä aiheutuisi operaattorien liukastumisvaaraa. Suojarakennelma myös suojaa operaattoreita altistumasta testiasemalla käytettäville kemikaaleille.

Suojarakennelma muodostuu suojakaapista, ylivuoto- ja haihdutusaltaista sekä ilmanvaihtojärjestelmästä. Liikuteltavuutensa ansiosta suojarakenteen osana olevaa suojakaappia on helppo siirtää toimimaan myös muissa tiloissa olosuhdekaappien yhteydessä. Suojarakenteen materiaalivalinnat tehtiin siten, että sitä voidaan tarvittaessa vähällä muokkauksella yhdistää mihin tahansa suojakaappia tarvitsevaan testirakennelmaan.

Avainsanat: komponentit, materiaalivalinnat, työturvallisuus, suojarakennelma, suojakaappi

Abstract

Author: Niilo Kokki
Title: Design and Component Selection of a Protective Structure that Improves Occupational Safety
Number of Pages: 32 pages + 1 appendix
Date: 7 November 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major: Materials and Surface Engineering
Supervisors: Kai Laitinen, Principal Lecturer
Saku Lähteenmäki, Lead Electronics Engineer

This thesis examines the temperature mapping test station for a refractometer that was produced for the product development of Vaisala. The design and implementation of the test station focused on occupational safety by ensuring the protective structure would protect the operator from splashing liquids, harmful gases as well as hot surfaces.

In the selection of components, emphasis was placed on the location, purpose of use, and availability of each part of the protective structure. The components selected for the implementation of the protective structure can withstand both the required temperature range and the physical stress. The chemical compatibility of the materials was also considered in the selection.

In the protective structure, the hoses used in the oil transport run inside the connecting pipe, to prevent possible burns. Overflow basins were used in the construction of the protective structure to prevent the liquids from flowing outside the structure which could cause the operators to slip. The protective structure also protects operators from exposure to the chemicals used at the test station.

The protective structure consists of a protective cabinet, overflow and evaporation basins, and a ventilation system. Thanks to its mobility, the protective cabinet of the protective structure, can be easily used with any other climate chamber. The material choices for the protective structure were made in such a way that, with a little modification, it can be combined with any test setup that needs a protective cabinet.

Keywords: components, material choices, occupational safety, protective structure, protective cabinet

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Refraktometri	1
3	Työturvallisuus	3
4	Materiaalivalinnassa huomioitavaa	4
5	Vaisalan refraktometrikehitys	7
6	Suojarakennelman suunnittelu	8
6.1	Työturvallisuusriskit testaustilanteissa	10
6.1.1	Lämpötila	11
6.1.2	Haitallisten kaasujen poisto	11
6.2	Materiaalien soveltuvuuden arviointi	12
6.3	Olosuhdekaappi rakenteen mittana	13
6.4	Paikan suunnittelu ja vaatimukset	15
7	Komponenttivalinnat	15
7.1	Suojarakennelma	16
7.1.1	Rakennusalusta	16
7.1.2	Suojakaapin runko	16
7.1.3	Seinämämateriaali	17
7.1.4	Läpiviennit	18
7.2	Tuloilma ja ilmanpoisto	19
7.2.1	Silikoniputki	19
7.2.2	Ilmansuodatin	20
7.2.3	Koneellinen ilmanvaihto ja erillispoisto	21
7.3	Letkut ja venttiilit	22
7.3.1	Prosessinesteletku	22
7.3.2	Takaisinkiertoventtiili	23
7.4	Vuotojärjestelmä	24
7.4.1	Sääkaapin sisäinen vuotoallas	25
7.4.2	Yhdysputki	26
7.4.3	Suojakaapin ylivuotohaihdutusallas	27

8	Yhteenveto	28
8.1	Kestävä ja monikäyttöinen	28
8.2	Työturvallisuuden vaikuttavat tekijät	29
8.3	Käyttöönotto ja jatkokehittäminen	29
	Lähteet	30
	Liitteet	
	Liite 1: Alkuperäinen lista komponenttien vaatimuksista ja tuotevalinnoista	

1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehtiin osana PRISM-nimistä projektia Vaisala Oyj:ssä. Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja toteuttaa työturvallisuutta parantava suojarakennelma uuden refraktometrin tuotekehitykseen testaustiimin käytettäväksi.

Uuden suojarakennelman toteutuksessa oli kiinnitettävä huomiota käytettyjen materiaalien kuumuudenkestoon, haitallisten kaasujen poistoon, mahdollisten vuotavien nesteiden oikeaan paikkaan ohjaamiseen sekä mahdollisten inhimillisten virheiden minimointiin, jotka pahimmassa tapauksessa voivat saattaa testaajan vaaraan tai jopa vammauttaa testiä tekevän henkilön. Tavoitteena oli toteuttaa suojarakennelma, joka mahdollistaa turvallisen työskentelyn testiympäristössä. Lisäksi suojarakennelmaan kuuluvien valuma-altaiden avulla pyrittiin suojaamaan ympäristöä siten, etteivät käytetyt kemikaalit pääsisi esimerkiksi lattiakaivon kautta viemäriverkkoon.

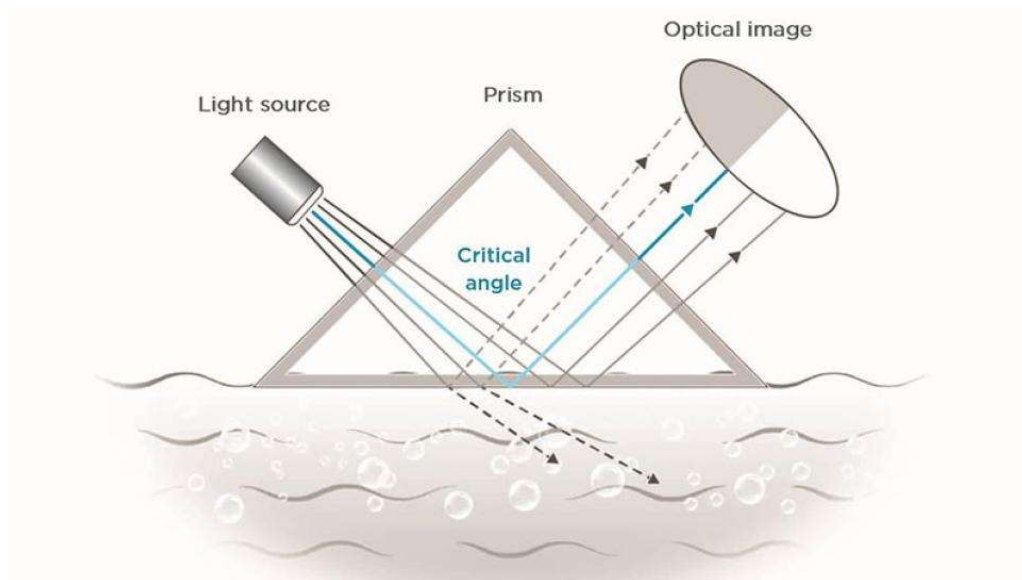
Vaisala on vuonna 1936 perustettu pörssilistattu osakeyhtiö, joka on maailman johtava sään, ympäristön ja teollisuuden mittausratkaisuihin erikoistunut yritys. Sen liiketoiminta on jaettu kahteen osa-alueeseen: sää- ja ympäristöliiketoiminta sekä teollisten mittausten liiketoiminta. Sää ja ympäristöliiketoiminta tuottaa sään ja ympäristön mittaukseen ratkaisuja ja dataa esimerkiksi ilmatieteen laitoksille, lentokentille ja liikenteen toimijoille. Teollisten mittausten liiketoiminta tuottaa mittalaitteita ja mittausdataa teollisten prosessien optimoimiseksi. Vaisalan palveluksessa on yli 2000 työntekijää maailmanlaajuisesti ja sen liikevaihto vuonna 2021 oli 437,9 miljoonaa euroa. [1.]

2 Refraktometri

Refraktometri eli taitekerroinmittari on optinen mittalaite, jota käytetään nesteiden taitekertoimien mittaamiseen (kuva 1). Mittausperiaate on kriittisen kulman mittaus. Refraktometrissä on kolme pääkomponenttia; valonlähde, prisma ja

kamera kuvan tunnistamiseen. Valonlähde lähettää valonsäteitä eri kulmissa prisman ja nesteen rajapintaan. Jyrkässä kulmassa tulevat säteet heijastuvat osittain kameraan ja osittain taittavat prosessinesteeseen. Pienessä kulmassa tulevat säteet heijastuvat täysin kameraan. Kulmaa, josta kokonaisheijastus alkaa, kutsutaan kriittiseksi kulmaksi. Kamera havaitsee kirkkaan kentän ja tumman kentän, jotka vastaavat osittain heijastuvaa valoa ja täysin heijastunutta valoa. Kirkkaan ja tumman alueen välisen rajan sijainti korreloi kriittisen kulman kanssa, joka on taitekertoimen funktio ja siten korreloi liuoksen pitoisuuden kanssa. [1.]

Refraktometrejä käytetään teollisuusprosessien ohjaamiseen ja tuotteiden laadun varmistamiseen, esimerkiksi juomatehtaissa sokerin määrän mittaamiseksi juomassa tai jäteteollisuudessa tutkittaessa loppukäsittelyyn menevän nesteen laatua. Refraktometrejä käytetään myös esimerkiksi lääketeollisuudessa, selluteollisuudessa ja kemianteollisuudessa nesteiden pitoisuuksien analysoimiseen.



Kuva 1. Refraktometrin toimintaperiaate [1].

3 Työturvallisuus

Työturvallisuuslain mukaisesti työnantajan on järjestettävä työympäristö ja työskentelyolosuhteet siten, että niistä ei aiheudu työntekijöiden turvallisuudelle tai terveydelle vaaraa. Työnantajan on myös tunnistettava työhön liittyvät vaarat ja haitat, arvioitava niistä aiheutuvat riskit ja toteutettava toimenpiteet, joilla riskit poistetaan tai niiden aiheuttamat haitat ja vaarat minimoidaan. [2.]

Myös työ- ja tuotantomenetelmien ja työssä käytettävien koneiden, laitteiden ja työvälineiden käytön suunnittelussa työnantajan pitää huolehtia siitä, että jo niiden suunnittelussa otetaan huomioon vaikutukset työntekijän terveyteen ja turvallisuuteen [2].

Työnantajan tulee tunnistaa ja arvioida työssä käytettävät kemikaalit ja niiden käyttöön liittyvät vaarat ja riskit. Työpaikalla tulee myös olla ajan tasalla oleva luettelo käytettävistä kemikaaleista ja niiden yhteydessä saatavilla tulee olla ajantasaiset käyttöturvallisuustiedotteet. Kemikaaleihin liittyvät riskit tulee arvioida Valtioneuvoston asetuksen 715/2001 mukaisesti [3]. Kemikaalialtistuksen riskinarvioinnin tulee kattaa kemikaalien lisäksi myös työprosessissa syntyvät tai muodostuvat altisteet, kuten haurut, käryt ja pölyt. Työturvallisuuden näkökulmasta kemiallisten tekijöiden hallintaa ja riskien arviointia työpaikalla kuvataan esimerkiksi työterveyslaitoksen sivuilla. [4.]

Kuumatyö tarkoittaa työskentelyä tilassa, jossa ilman lämpötila ylittää 28 °C ja kylmätyöstä silloin, kun työtä tehdään alle 10 °C lämpötilassa. Kuumatyötä ovat myös esimerkiksi teollisuudessa tehtävät monenlaiset lämpökäsittelytyöt. Lämpöolosuhteita työturvallisuusriskeinä kuvataan työsuojeluhallinnon sivuilla. [5.]

Testaustilanteessa voi tapahtua myös inhimilliseen toimintaan liittyviä virheitä, kuten liukastumisesta johtuvia hajoamisia, tilannetietoisuuden heikentymisestä johtuvia säätövirheitä tai muita mahdollisia omasta toiminnasta johtuvia läheltä piti vaaratilanteita. Myös erilaiset keskeytykset voivat viedä huomion testaustilanteessa ja altistaa virheille tai tapaturmille. [6.]

Inhimillisten virhetekijöiden minimoimiseksi on tärkeää kiinnittää huomiota työskentelyolosuhteisiin, kuten valaistukseen, riittävään näkyvyyteen ja ympäristön siisteyteen samoin kuin työn tekemisen kiireettömyyteen. Työterveyslaitoksen Sujuva-hankkeen mukaan erityisesti kolme tekijää altistaa inhimillisille virheille: aikapaine ja kuormittuminen, puutteet ohjeissa sekä puutteet vaarojen merkitsemisessä. [6, s. 50.]

4 Materiaalivalinnassa huomioitavaa

Materiaalien valinta on olennainen osa tuotekehitystä. Materiaalivalinnassa tulee huomioida tuotteen käyttö, käyttöympäristö, valmistusprosessi ja esimerkiksi sen käyttäytyminen erilaisissa lämpö- ja kosteusolosuhteissa. Myös korroosio tai materiaalien vanhentuminen ja kulumisen tulee huomioida tuotteen ja sen elinkaaren suunnittelussa. Valmistusmenetelmät asettavat myös vaatimuksia materiaalivalinnoille. Materiaalien yhteensopivuuden lisäksi niitä tulisi voida tarvittaessa muokata ja pinnoittaa. [7.]

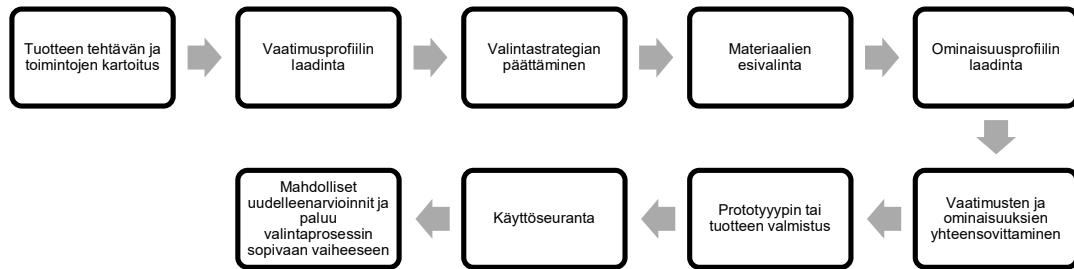
Yksi osa tuotteen suunnittelua on käytettyjen materiaalien kustannusten arviointi. Kustannuksia syntyy sekä materiaalien hankinnasta että niiden käsittelystä. Tuotekehityksessä tulisi ottaa kantaa myös tuotteen käytön aikaisiin kustannuksiin, samoin mahdollisiin kierrätys- ja hävityskustannuksiin. [8.]

Muita tuotekehitykseen liittyviä kustannuksia voivat olla hallintoon, toimintaan ja kulumiseen liittyvät kustannukset [8].

Materiaalivalintaa voi kuvata prosessina, joka etenee vaiheittaisena. Ensimmäisenä tarvitaan jonkinlainen luonnos kehitettävän tuotteen kokonaisuudesta. Tämän jälkeen pohditaan ne toiminnalliset vaatimukset, joihin tuotteen ja siihen valittujen materiaalien tulee vastata. Näitä vaatimuksia voi muodostua tuotteen toiminnasta, ympäristöstä, valmistuksesta ja kustannuksista. Vasta kun materiaaliominaisuudet ovat tiedossa, voidaan edetä konkreettisiin tarkasteluihin ja valintoihin. Tämän jälkeen tuotetta voidaan ryhtyä koostamaan. [9, s. 249 mukaillen.]

Vielä koostamisvaiheessakin eteen voi tulla tilanteita, joissa materiaaleja joudutaan vaihtamaan esimerkiksi niiden saatavuuden, hinnan tai tuotteeseen sopimattomien ominaisuuksien perusteella.

Materiaalivalintaprosessi voi olla jatkuva tapahtuma, joka kestää koko tuotteen eliniän. Sitä voi kuvata alla olevan mukaisena prosessina (kuva 2). [9, s. 249].



Kuva 2. Materiaalivalinnan prosessi tuotetta kehitettäessä voidaan kuvata yllä selostetun mukaisesti tällaisena prosessina [9].

Materiaalit, niiden valmistusmenetelmät ja ominaisuudet kehittyvät jatkuvasti. Olennainen osa materiaalivalintaa on tiedon hakeminen materiaalien ominaisuuksista, yhteensopivuuksista, käyttötarkoituksista samoin kuin niiden käyttökokemuksista. Tuotteen kehittämissvaiheessa voidaan kokeilla eri materiaalien toimivuutta ja soveltuvuutta käyttötarkoitukseensa. Jo tuotekehitysvaiheessa on kuitenkin hyvä tuntee materiaalit ja niiden ominaisuudet riittävän tarkasti tai hankkia näistä tietoa, jotta kehitysvaiheessa ei tarvitse tehdä kalliita testejä toimimattomilla materiaaleilla. Valittavilta materiaaleilta voidaan lähtötietojen perusteella odottaa riittävää kestävyttä ja luotettavuutta käyttöyhteydessään.

Materiaalien kestävyttä ja luotettavuutta voidaan arvioida esimerkiksi sen pohjalta, millä aloilla niitä on jo käytössä. Esimerkiksi voidaan olettaa, että

autoteollisuuden käytössä olevat ja moottoreissa käytettävät materiaalit on testattu vaativissa lämpötilaolosuhteissa. [10.]¹

EU:n yhdenmukaistettu lainsäädäntö asettaa tuotteiden valmistajille, maahantuojille ja myyjille velvollisuuksia. Valmistajan tulee varmistaa, että tuote on vaatimustenmukainen, turvallinen ja luotettava käyttää käyttöyhteydessään. Valmistajan, tuotteen maahantuojan ja sen jakelijan vastuista vaatimustenmukaisuuden varmistamiseksi säädetään sekä EU-direktiiveissä, asetuksissa ja päätöksissä että kansallisessa lainsäädännössä. Tällä sääntelyllä pyritään esimerkiksi varmistamaan tuotteiden vapaata liikkuvuutta EU-alueella. Näistä lisää tietoa löytyy esimerkiksi Tukesin sivuilta. [11.]

Materiaalivalinnoissa käytettävissä on erilaisia apukeinoja, kuten ominaisuuskarttoja ja toimivuusindeksejä. Ominaisuuskarttojen avulla voidaan tarkastella materiaalien ominaisuuksia, kuten lujuutta, tiheyttä tai jäykkyyttä ja näiden yhdistelmiä. Toimivuusindeksin avulla voidaan puolestaan tarkastella materiaalin toiminnallisia vaatimuksia, geometrisia rajoituksia ja materiaaliominaisuuksia. Näistä menetelmistä on apua silloin, kun joudutaan pohtimaan vaihtoehtoisia materiaaleja tilanteessa, jossa mikään materiaali ei vaikuta ominaisuuksiltaan valittuun tarkoitukseen optimaaliselta. [9, s. 257–258; 12.]

Materiaalien valinnassa täytyy huomioida myös ympäristövaikutukset ja lain asettamat vaatimukset. Näitä ovat esimerkiksi kemikaalien käyttö, kiertotalous, jätteen määrän ja haitallisuuden vähentäminen, uudelleenkäyttö, kierrätys, hyödyntäminen energiana ja loppukäsittely. [13.]

¹ Tietoa esimerkiksi Volkswagenin käyttämistä testausmenetelmistä ja standardeista löytyy sivustolta eurolab.net.

5 Vaisalan refraktometrikehitys

Vaisala valmistaa erilaisia refraktometrejä ja omistaa useita prosessirefraktometreihin liittyviä patenteja [1].

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Vaisalan tuotekehitykselle valmistettua refraktometrin lämpötilakartoitukseen tehtyä testiasemaa, jolla pyritään toteamaan ympäröivän lämpötilan ja prosessilämpötilan yhteisvaikutus refraktometrin eri komponenteissa.

Tuotekehityksessä kehitetään refraktometrejä eri maiden ja tehdastyypien olosuhteisiin. Tässä opinnäytetyössä tarkastelussa olevalla testausasemalla voidaan tuottaa olosuhteet, joissa refraktometriä voidaan testata vaihtelevissa lämpötilaolosuhteissa. Testauslaitteella voidaan luoda olosuhteet, joissa refraktometriä ympäröivä lämpötila voi vaihdella laitteelle asetettujen vaatimusten mukaisesti $-40...+60$ °C ja prosessinesteen lämpötila $-40...+150$ °C.

Käytännössä kehitystyössä pyritään luomaan olosuhteita, jotka vastaavat laitteiden käyttöympäristöjä erityyppisissä prosessilinjoissa. Tässä tarkastelussa olennaista on refraktometrien lämpötilakäyttäytymisen tutkinta, sisäisten komponenttien käyttäytymisen tutkinta sekä mittausdatan muuttuminen olosuhteiden funktiona.

Tässä opinnäytetyössä ei tarkastella mittadataa, vaan refraktometrin testausympäristön turvallisuutta ja turvallisuuden parantamiseksi kehitettyä suojarakennelmaa.

Suojarakennelmaa tarvitaan, sillä tuotekehitysvaiheessa pyritään selvittämään laitteen lämpötilansietokykyä valmistajan määrittelemien spesifikaatioiden taakamiseksi erityyppisissä käyttöympäristöissä. Käyttöympäristöjen olosuhteiden luomiseen tarvittavat nesteet, laitteet ja olosuhteet voivat aiheuttaa testiä suorittavalle operaattorille (testaajalle) hetkellistä haittaa, esimerkiksi palovammoja, tai pahimmassa tapauksessa pysyviä haittoja. Suojarakennelmaa tarvitaan

myös ympäristöön kohdistuvien riskien estämiseksi. Ympäristöriski voisi muodostua esimerkiksi silikonipohjaisten öljyjen valumisesta viemäriin.

Lämpötilatestausta tehdessä pitää ottaa huomioon prosessinesteenä käytetyn nesteen lämpötilakäyttäytyminen. Esimerkiksi tietyt silikonioöljyt muodostavat tarpeeksi kuumentuessaan karsinogeenistä formaldehydiä. Tämän tyyppiset haitalliset reaktiot on kuvattu kunkin kemikaalin käyttöturvallisuustiedotteessa.

[14.]²

Suojarakennelman suunnittelussa ja toteutuksessa oletuksena on, että refraktometrien kylmätestauksessa ei tule niin paljon ongelmia kuin laitteiden testaamisessa kuumissa lämpötiloissa. Tästä syystä suojarakennelman spesifikaatiot tässä opinnäytetyössä koskevat lähinnä kuumien pintojen ja kuumuudesta aiheutuvien haittojen estoa. Kylmätestaukseen liittyvät mahdolliset riskit, kuten paleltumat, on tässä opinnäytetyössä ajateltu olevan estettävissä samoilla suojarakennelman osilla, jotka estävät esimerkiksi palovammat.

6 Suojarakennelman suunnittelu

Lähtötietoina suunnittelussa käytettiin aikaisempaa testijärjestelmää, johon ei oltu suunniteltu suojarakenteita testilaitteiden ympärille. Aikaisemmasta testijärjestelmästä poiketen uuden suojarakenteen tuli pystyä minimoimaan liukastumisvaara sekä suojaamaan operaattoria kuumilta pinnoilta. Aikaisemmassa testijärjestelmässä käytetty neste sisälsi myös kaasuuntumisvaaran kuumennettuna, joten uuden suojarakenteen oli pystyttävä poistamaan mahdolliset nesteen kuumentumisen yhteydessä muodostuneet huuрут. Tarkoitus oli etsiä myös soveltuvampi ja vähemmän vaarallinen neste uuteen testijärjestelmään prosessinesteeksi. Veden käyttö testausjärjestelmässä ei ollut suotava vaihtoehto, sillä

² Euroopan parlamentin ja neuvoston REACH-asetuksen (1907/2006) mukaan Kemikaalien valmistajien tulee välittää asiakkailleen näiden käytössä olevien vaarallisten aineiden tai seoksien käyttöturvallisuustiedotteet, jossa on tiedot kemikaalin käyttöön liittyvistä vaaroista ja riskeistä.

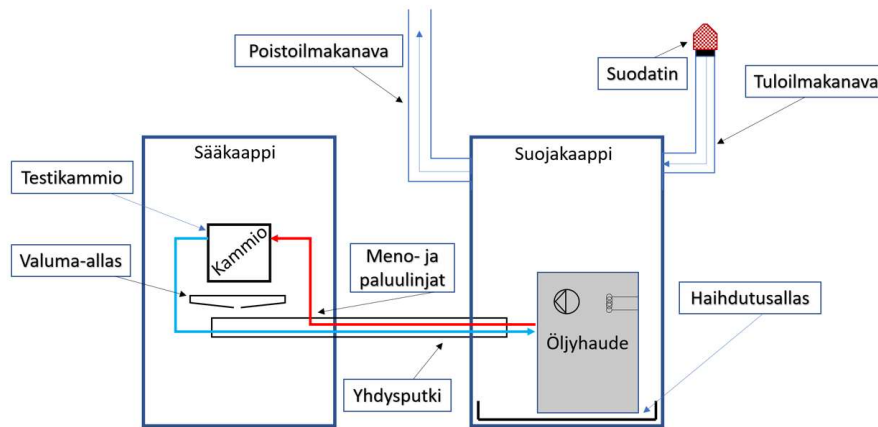
lämpötilatestausasetelmalla haluttiin päästä yli veden kiehumispisteen ja linjojen paineistaminen ei ollut vaihtoehto liiallisten riskien takia.

Aiemmin Vaisalan tuotekehityksen käytössä olleessa testausjärjestelmässä öljyhaude oli asetettuna tasolle, jonka ympärillä ei ollut minkäänlaista ilmanpoistoa tai ilmanohjaajaa. Lisäksi vanhassa testausjärjestelmässä valunut öljy pääsi valumaan tai roiskumaan öljyn kaatamisen yhteydessä lattialle. Öljyhauteelta lähtevät letkut roikkuivat aiemmin vapaana hauteelta sääkaappiin asti, jolloin ne olivat alttiina irtoamiselle käyttäjävirheiden tai järjestelmän lähellä tapahtuneen liikkumisen johdosta. Havaitut puutteet oli kirjattu ylös ja näiden pohjalta lähdettiin suunnittelemaan uutta suojarakennelmaa. Uudelta suojarakennelmalta edellytettiin sitä, että se toimisi aiemman kaltaisen, mutta kooltaan suuremman testausjärjestelmän kanssa ja että se olisi työturvallinen käyttää.

Suojarakenteen tarvitsevan uuden testijärjestelmän suunnittelu lähti liikkeelle testaushenkilöstön ideoista. Näiden pohjalta järjestelmästä luotiin kuvallinen mallinnus, jossa on kuvattuna testijärjestelmässä tapahtuvat asiat ja järjestelmän kriittisimmät osat (kuva 3). Tämän kuvan pohjalta lähdettiin suunnittelemaan uutta järjestelmää konkreettiseksi kokonaisuudeksi.

Suojarakennelma muodostuu suojakaapista, ylivuoto- ja haihdutusaltaista sekä ilmanvaihtojärjestelmästä. Suojakaapin sisällä on öljyhaude ja haihdutusallas. Öljyhaude lämmittää prosessinestettä ja öljyhauteen sisäinen pumppu pumpaa meno- ja paluulinjoja (prosessiletkuja) pitkin prosessinestettä testikammioon, missä refraktometri mittaa prosessinesteen taitekerrointa. Refraktometri asennetaan testikammion kylkeen. Testikammio on sijoitettuna sääkaapin sisään ja sen alla on valuma-allas, josta neste vuodon sattuessa kulkeutuu yhdysputkea pitkin suojakaapin sisällä olevaan haihdutusaltaaseen.

Suojakaappi on täysin ilmastoitu. Siihen kiinnittyvät tuloilma- ja poistoilmaputket, joita pitkin kaapin sisällä ilma vaihtuu koneellisen ilmastoinnin avulla. Tuloilmaputkeen on liitetty suodattimet, jotka poistavat tuloilmasta mahdolliset epäpuhtaudet kuten pölyn.



Kuva 3. Kaavio järjestelmän alkusuunnitelmasta.

6.1 Työturvallisuusriskit testaustilanteissa

Nyt kyseessä olevan refraktometriä tuotekehityksessä käytettävän suojarakennelman lähtökohtana oli parantaa työturvallisuutta testaustilanteissa. Suojarakennelman kehittämisessä erityistä huomiota kiinnitettiin kuumuuteen, haitallisten kaasujen poistoon sekä inhimillisten virheiden estämiseen.

Suojarakenteen rakentamiselle asetettiin yhdessä projektin alussa sovitut vaatimukset. Rakenteen tuli kestää prosessinesteinä käytettävän kuumennettavan öljyn mahdollisen roiskumisen takia hetkellistä 150 °C:n lämpötilaa, siinä tuli huomioida haitallisten kaasujen poisto ja sen tuli olla työskentelypisteinä siten turvallinen, että inhimilliset virheet olisivat minimaalisia ja rakenteessa testausta suorittava operaattori ei altistuisi vaaralle tai läheltä piti -tilanteelle.

Esimerkiksi liitäntä ilmanpoistoon tuli tehdä siten, että itse suojavaatin sisällä oleva ilma sekä mahdolliset säävaatin sisältä tulevat huurut poistuvat hallitusti tarkoituksenmukaiseen ilmanpoistokanavaan. Kohteessa, johon suojarakennelma sekä säävaatti asennettiin, oli ilmanpoistona erillisilmastointi. Erillisilmastointi takaa hyvän ilmanpoiston ulkoilmaan siten, että operaattorien ei tarvitse hengittää mahdollista saastunutta ilmaa. Samalla se estää mahdollisen saastuneen ilman leviämisen suojarakenteen ympäristöön ja auttaa testitilan

ympäristön pysymisen viileänä taaten työturvallisuuslain edellyttämät työolosuhteet. [2.]

6.1.1 Lämpötila

Refraktometrien testaamiseen tarkoitetussa testiympäristössä käytetään öljyä, jolla simuloidaan kuumaa prosessinestettä. Öljyä käytetään myös siksi, koska sitä voidaan kuumentaa yli veden kiehumispisteen (100 °C). Kuuma öljy kuljetetaan testauskammioon putkia pitkin öljyhauteelta. Öljyhaudetta voi kuvata suurena rasvakeittimenä, joka siirtää kuumaa öljyä pumpun avulla testauskammioon mitattavaksi ja takaisin.

Työturvallisuusriski tässä testaamisen vaiheessa syntyy öljyn siirtoon käytetyistä kuumentuneista putkista, jotka voivat kulkea paljaana ja kosketuksessa palovamman riski on suuri. Palovammariskin työntekijälle muodostaa myös kuuma öljy.

Kuumennetun prosessinesteen kuljetus putkistossa voi tukkeuman tapahtuessa aiheuttaa vaaran putkiston hajoamisesta. Tällaisessa tilanteessa kuuma neste voisi roiskua testausympäristössä ja testaajan päälle.

Refraktometrejä voidaan testata myös kylmissä olosuhteissa aina -40 °C lämpötilaan asti. Tällöin työturvallisuusriski muodostuu ihon altistumisesta kylmille putkistoille ja paleltumisesta.

6.1.2 Haitallisten kaasujen poisto

Haitallisten kaasujen poisto liittyy kemiallisten tekijöiden aiheuttamiin riskeihin työntekijän terveydelle ja turvallisuudelle. Tällaisia riskejä ovat erilaiset työprosessissa muodostuvat altisteet, kuten haurut, käryt ja pölyt.

Kuumennettu öljy voi hapen kanssa reagoiessaan muodostaa haitallisia kaasuja, jolloin öljyn kuumentamiseen käytetty laite on joko suljettava täydellisesti tai asetettava erillisilmastoinnin piiriin.

Nesteen koostumuksessa ja olotilassa voi tapahtua muutoksia kuumentamisen seuraamuksena. Nesteestä alkaa muodostua kaasuja tietyssä nestekohtaisessa lämpötilassa. Lisäksi neste voi riittävästi kuumennettuna syttyä palamaan.

6.2 Materiaalien soveltuvuuden arviointi

Tietoa materiaalien kemiallisista kestävyyksistä ja yhteensopivuuksista (chemical compatibility) lähdettiin etsimään internethauilla. Tieto kemiallisesta yhteensopivuudesta ja materiaalien käyttäytymisestä yhdessä on tärkeää erityisesti, kun materiaaleja testataan tai käytetään yhdessä muuttuvissa lämpöolosuhteissa. Hakujen avulla pyrittiin löytämään tietoa testiasetelmaan sopivista materiaaleista. [15.]³

Kemiallisten yhteensopivuuksien lisäksi putkien soveltuvuutta käyttötarkoitukseen tarkasteltiin rasittamalla niitä kuumentamalla. Tämä tapahtui lämmittämällä öljyhauteella prosessinestettä yli 150 °C lämpötilaan, mikä oli suojarakennelmalle asetettu vaatimus, ja seuraamalla materiaalien käyttäytymistä lämmityksen yhteydessä. Tällä pyrittiin varmistamaan, etteivät materiaalit käyttäydy yhteensopimattomasti suojarakennekäytössä.

Tarkastelussa havaittiin, että lämpötilansietotestin aikana putket tai niiden yhteydessä ja välittömässä läheisyydessä olevat materiaalit eivät näyttäneet silmämääräisesti tarkastellessa sulamista, vääntymistä tai muodon muutosta.

³ Esimerkki kemiallisesta yhteensopivuudesta internetistä <https://marketing.industrialspec.com/acton/attachment/30397/f-003a/1/-/-/-/316l-stainless-steel-chemical-compatibility-from-ism.pdf>

Tarkastelussa havaittiin myös, että rakenteen putkistossa oleva takaisinkiertoventtiili ei voinut olla messinkiä, koska sillä oli matalampi valmistajan ilmoittama lämmönsietokyky kuin ruostumattomalla teräksellä. Messingin suurimmaksi käyttölämpötilaksi valmistaja ilmoitti 150 °C [16]. Ruostumaton teräs kestää kuumentaessa 200 °C valmistajan ilmoituksen mukaan [17]. Suojarakennelmassa vaatimuksena oli hetkellisen yli 150 °C:n lämmönsieto, jolloin messinkiosia ei haluttu valita osaksi rakennelmaa.

6.3 Olosuhdekaappi rakenteen mittana

Uusi suojarakenne oli rakennettava sopimaan yhteen tuotekehityksessä olevan sääkaapin kanssa (kuva 4), jotta voitiin yhdistää sääkaapin toiminnot uuden suojarakenteen sisällä olevan prosessinestettä pyörittävän hauteen kanssa. Sääkaapin koko on korkeudeltaan noin kaksi metriä, leveydeltään metrin ja pituudeltaan kaksi metriä. Uusi suojarakenne oli mahdutettava sääkaapin viereen, jotta yhdysputket saatiin vedettyä sääkaapissa olevien reikien kautta sisään sääkaappiin. Lisäksi suojarakenteen viereen haluttiin tietokone, jolla testiasetelman laitteita pystyttiin ohjaamaan ja suorittamaan datan keräämistä.



Kuva 4. Testausjärjestelmässä käytetty sääkaappi.

Suojarakenteen käyttötarkoitus alkuperäisen suunnitelman mukaan oli olla vain osana PRISM-projektille tehtyä testirakennelmaa. Havaittiin kuitenkin, että suojarakenteen tarve oli ilmeinen myös tulevilla vastaavanlaisissa tuotekehityksen testirakennelmissä.

Suojarakenteen tuli olla helposti siirrettävissä sekä vähällä muokkauksella yhdistettävissä muihin sääkaappeihin tai mihin tahansa suojakaappia tarvitsevaan testirakennelmaan. Tämä on otettu huomioon suojarakennelman suunnitteluvaiheen dokumentoinnissa, josta selviää esimerkiksi suunnitellut ilmanvaihdon ilmamäärät, käyttölämpötilat sekä suunniteltujen läpivientien käyttötarkoitukset.

6.4 Paikan suunnittelu ja vaatimukset

Testilaitteiston koko, ilmanpoiston vaatimukset ja rakennelman sijoitteluun käytävissä oleva tila asettivat vaatimuksia suojarakenteen sijoittamiselle. Tilan tuli olla sellainen, että siellä ei liiku ylimääräisiä työntekijöitä.

Optimitilanteessa laitteisto olisi voitu koota toimimaan samassa tilassa kuin muutkin Vaisalassa olevat sääkaapit. Suojarakenne vaati kuitenkin erillisilmanpoiston, joten toteutus muiden sääkaappien kanssa samaan tilaan ei olisi ollut järkevää kustannusten tai ilmanpoiston toteutukseen kuluneen ajan kannalta.

Tilaksi valikoitui öljylaboratorioksi tarkoitettu huone, jonka läheisyydessä liikkuu vain vähän ihmisiä. Huone on erillisilmastoitu, ja siellä mahdollisesti ilmaan pääsevät kaasut ja höyryt johdetaan eri ilmastointikanavaan kuin muiden tilojen ilmastoinnissa. Huone on lisäksi alipaineistettu, mikä estää mahdollisten höyryjen tai päästöjen siirtymisen muihin tiloihin.

7 Komponenttivalinnat

Komponentteja testilaitteen suojarakenteisiin valittiin kunkin osan sijoituksen, käyttötarkoituksen ja saatavuuden perusteella. Suojarakennelmassa käytettävistä komponenteista koottiin taulukkolaskentaohjelmassa työn edetessä täydentynyt lista (Liite 1.), jonne kirjattiin tarvittavan komponentin vaatimuksia ja tuotteelta edellytettäviä yhteensopivuuksia muiden tuotteiden kanssa. Tämän jälkeen listattiin mahdollisia vaihtoehtoja ja tuotteiden jälleenmyyjiä. Listan alkuperäinen rakenne on esitetty liitteessä 1.

Listan avulla lähdettiin selvittämään valmistajien verkkosivuilta tietoa kunkin komponentin saatavuudesta sekä sopivuudesta suojarakennekäyttöön.

Komponenteissa käytettyjen materiaalien täytyi soveltua myös itse työstettäväksi. Räätelöityjen osien oli oltava materiaalia, jota pystyy muokkaamaan koneistamalla helposti testilaitteen kehittyessä poraamalla, sorvaamalla tai jyrsimällä.

Suojarakenteen koostamisessa yksittäisten osien hintaan ei kiinnitetty kovin paljon huomiota johtuen tämän työn tekemisen aikaisesta maailmanlaajuisesta materiaaliapulasta. Siitä johtuen joitain osia jouduttiin vaihtamaan suunnittelun aikana toisenlaisiksi tai poistamaan kokonaan alkuperäisistä suunnitelmista. Yksittäiskappaleen rakentamisessa myöskään hinta ei ratkaise.

7.1 Suojarakennelma

7.1.1 Rakennusalusta

Suojarakenteen rakennusalustana käytettiin renkailla olevaa välitasollista pöytää, joka kestää yhdellä tasolla 150 kg:n kuorman (kuva 5). Suuri kuormankesto oli tärkeää sen päälle suunnitellun suojarakenteen sekä sen sisältämän hauteen ja muiden laitteiden suuren painon vuoksi. Lisäksi tulevan suojarakenteen liikuteltavuus tuli ottaa huomioon, sillä testiaseman paikkaa oli tarpeen mukaan mahdollista vaihtaa. [18.]



Kuva 5. Suojarakenteen siirrettävä rakennusalusta.

7.1.2 Suojakaapin runko

Runkomateriaalin valinnassa täytyi ottaa huomioon sen muokattavuus. Runkomateriaaliksi valittiin alumiiniprofiili, joka on materiaalina helposti muokattavaa

poraamalla, sorvaamalla tai jyrsimällä ja siitä voi rakentaa runkorakenteita erilaisiin tarkoituksiin (kuva 6). Alumiiniprofiileihin löytyy valmiiksi koneistettuja osia, jotka mahdollistavat kaapin rakenteen muuttamisen tulevaisuudessa ilman suurempia runkomuutoksia. Alumiiniprofiilin tilaaminen määrämittaisena onnistui Movetec-nimisen yhtiön sivujen kautta heidän omaa 3D-ohjelmaansa apuna käyttäen. [19.]



Kuva 6. Suojarakennelman runko, joka on rakennettu alumiiniprofiilista.

7.1.3 Seinämämateriaali

Suojarakennelman ulkoseinien materiaaliksi tarvittiin läpinäkyvää ja pieniä iskuja kestävästä materiaalista. Näiden lisäksi sen täytyi myös kestää hetkellisesti enintään 150 °C lämpöä mahdollisen testilaitteen hajoamisen ja prosessinessteen roiskumisen varalta. Siihen tuli saada läpivientireikiä putkien ja johtojen asentamista varten. Seinän tuli myös suojata käyttäjää roiskuvilta nesteiltä ja ohjata roiskeet suojarakennelman pohjalla olevaan haihdutusaltaaseen.

Vaatimusten (läpinäkyvyys, kuumuudenkesto, iskunkestävyys, edullisuus ja helppo saatavuus) perusteella todettiin läpinäkyvän polykarbonaattilevyn olevan hyvä vaihtoehto. Toisena vaihtoehtoina harkittiin myös karkaistua lasia, mutta sitä ei valittu, koska siihen ei voi tehdä esimerkiksi läpivientireikiä.

Vaikka polykarbonaattilevyn lämmönkesto ei ole paras mahdollinen, sen muut ominaisuudet olivat juuri tarpeiden mukaisia. Polykarbonaatti on materiaalina palavaa, mutta esimerkiksi öljypalon vaara suojarakennelmassa on minimaalinen hauteessa olevan yllämpösuojan takia. Yllämpösuoja katkaisee hauteesta virran asetetun lämpötilan saavuttamisen jälkeen.

Polykarbonaattilevy oli helposti muokattavissa sahaamalla, poraamalla tai taittamalla, materiaalina kevyttä ja hinnaltaan halpaa [20]. Lisäksi jos polykarbonaattilevyyn tulisi jokin operaattorin työturvallisuutta vaarantava vika, se olisi helppo vaihtaa uuteen. Polykarbonaattilevyä saa valmiina monelta eri toimittajalta ja sitä voidaan työstää tarpeita vastaavaksi Vaisalan omassa mekaniikkapajassa.

7.1.4 Läpiviennit

Putkien ja johtojen läpivientien materiaaleille ei asetettu erityisiä vaatimuksia, koska niihin ei esimerkiksi kohdistu suuria lämpötilavaihteluita. Läpiviennit suojaapaista toteutettiin kumisilla ja pvc-muovisilla läpivienneillä (kuva 7). Läpivientien sijaintien takia niihin ei kohdistu kuuman öljyn roiskumisvaaraa, joten niiden ei myöskään tarvinnut olla öljynkestäviä. Tehtyyn valintaan vaikutti valmistajan lupaus vesitiivyydestä. Vastaavia läpivientejä käytetään esimerkiksi veneiden ohjauskaapeleiden tiivistämiseen. Johtojen läpiviennit tiivistettiin kiristämällä niiden liitoskohdat nippusiteillä sen jälkeen, kun kaikki johdot oli asennettu paikoilleen.



Kuva 7. Nippusiteillä suljettavat johtoläpiviennit suojakaapissa. Läpiviennin pohjaosa on muovia ja kiristettävä osuus kumia.

Läpiviennit voitiin asentaa sijainneiltaan paikkoihin, joissa niihin ei todennäköisesti kohdistuisi työturvallisuutta vaarantavaa rasitusta, joka tekisi suojakaapista vaarallisen käyttää. [21.]

7.2 Tuloilma ja ilmanpoisto

7.2.1 Silikoniputki

Tuloilmaputkeksi valittiin polyesterivahvisteinen silikonista valmistettu ajoneuvoihin tarkoitettu putki (kuva 8) [22]. Valintaan vaikutti putken lämmönkesto (-40...+180 °C), silikonin helppo puhdistettavuus (huuhdeltavuus) sekä se, että tiedettiin valitun putken olleen valmiiksi vaativassa ilmanohjauskäytössä ajoneuvojen moottorituloissa. Putken alkuperäisessä käyttötarkoituksessa ajoneuvoissa niitä käytetään vaativammassa olosuhteissa kuin tässä opinnäytteessä rakennettavassa suojarakennelmassa.



Kuva 8. Ajoneuvoissa käytettävä silikoninen ilmanottoputki suojarakennekäytössä. Putken molemmissa päissä on 3D-printatut läpiviennit.

Ajoneuvoissa suoja-putket joutuvat kovempiin lämpötilavaihteluiden ja kemiallisten aineiden aiheuttamiin rasituksiin. Kemiallisia rasitteita ovat esimerkiksi korroosiota aiheuttavat nesteet, jäähdytysnesteen glykoli, moottoriöljy sekä akkuhappo ja jarru- ja muut hydraulinesteet. Suojarakennelmassa rasitteita putkelle ovat lämpötilavaihtelut sekä mahdolliset kuumen öljyn roiskumiset.

7.2.2 Ilmansuodatin

Suojarakennelman tuloilmaputkiin haluttiin ilmasuodattimet, jotta pöly ja muut mahdolliset suuremmat epäpuhtaudet saataisiin poistettua tuloilmasta. Kyseiseen tarkoitukseen valittiin osa samoilla vaatimuksilla kuin tuloilmaputkeen (kohta 7.2.1), joten ajoneuvotarkoitukseen käytetty vapaavirtaussuodatin oli hyvä vaihtoehto (kuva 9). Käytetyt ilmansuodattimet olivat myös pestävissä ja uudelleenkäytettäviä tehden valinnasta myös ympäristöystävällisen. Yksi

vapaavirtaussuodatin olisi riittänyt kaapin ilmanvaihdon tarpeisiin, mutta rakennelmaan päätettiin liittää kaksi tuloilmaputkea suodattimilla maksimaalisen tuloilman ja ilmanvaihdon saamiseksi. [23.]



Kuva 9. Vapaavirtaussuodattimet suojarakenteen tuloilmaputkissa.

7.2.3 Koneellinen ilmanvaihto ja erillispoisto

Ilmanvaihto kaapissa tapahtuu suljetussa tilassa. Tämän takia kaapista haluttiin tehdä mahdollisimman tiivis, jotta mahdolliset huurut, savu ja kosteus pysyisivät suojarakenteen sisällä ja poistuisivat kokonaan ilmanpoistokanavaan. Polykarbonaattilevyjen ja alumiiniprofiilien saumat tiivistettiin alumiiniprofiilille tarkoitetulla tiivistelystalla, joka tuli alumiiniprofiilin valmistajalta valmiiksi asennettuna kehikkoon.

Tuloilma liitettiin koneelliseen ilmanvaihtopuhaltimeen ja poistoputki liitettiin erillisilmastoinnin putkeen (kuva 10). Poistoputkelle ei asetettu erityisiä vaatimuksia, koska siihen ei kohdistu samoja rasitteita kuin esimerkiksi tuloilmaputkeen. Poistoputki osoittaa pois päin prosessinesteletkuista, jolloin siihen ei todennäköisesti kohdistu nesteroiskeita. Koneellisen ilmanvaihdon tuottamasta kylmästä

tuloilmasta johtuen suojakaapissa oleva ilma ei pääse kuumenemaan, joten myöskään poistoilma ei ole kuumaa.



Kuva 10. Suojarakennelman tuloilmaputket liitettyinä ilmanvaihtoon. Ilmanvaihtokanavien sisällä on vapaavirtaussuodattimet.

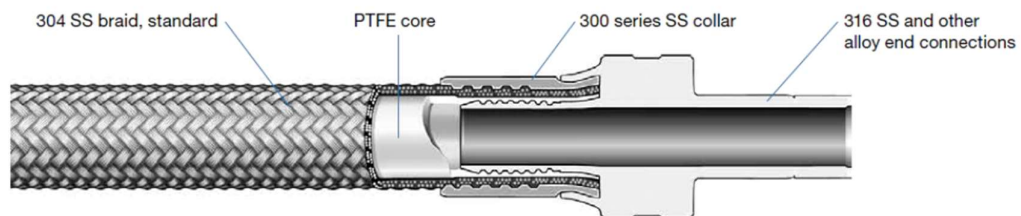
7.3 Letkut ja venttiilit

7.3.1 Prosessinesteletku

Testilaitteen yksi vaaratekijöistä oli kuuma, jopa 150-asteinen öljy, jota ajettiin letkuja pitkin testikammioon ja takaisin hauteelle. Vanhassa testirakennelmassa oli käytetty kumiletkuja, mutta paremman työturvallisuuden näkökulmasta haluttiin korvata letkut kestävämmillä ja kierrettävillä päillä olevilla letkuilla. Lisäksi letkujen täytyi olla sisäpuolelta kuumennettua silikoniöljyä kestävää materiaalia ja ulkopuolelta kulutuksen ja lämmön kestävää materiaalia.

Ruostumaton teräs olisi ollut kyseiseen tehtävään materiaalina ideaali. Koska prosessilinja sääkaapin ja suojakaapin välillä täytyi olla joustava, se rajoitti kuitenkin linjatyyppejä putkesta letkuun.

Letkuksi valikoitui kaksiosainen Swagelok T -sarjan PTFE-letku (kuva 11). Sisäpuolella on teflonletku, jossa prosessineste virtaa ja ulkopuolella on ruostumattomasta teräksestä valmistettu punos. Punos mahdollistaa letkun kovan ulkoisen rasituksen keston suurentamatta teflonletkun minimi taivutussädettä. [24.]



Kuva 11. T-sarjan PTFE-letkun rakenne Swagelokin tuote-esitteessä [24].

Ruostumattomasta teräksestä tehty letku olisi toiminut testausasetelmassa, mutta joustavuuden tuovat poimut letkussa olisivat olleet liian vaikeat puhdistaa testiasetelman nesteen vaihdon yhteydessä. Poimut olisivat saattaneet kerätä prosessinesteessä olevia epäpuhtauksia loviinsa, mikä olisi tehnyt prosessinesteestä likaista ilman puhdistusmahdollisuutta.

7.3.2 Takaisinkiertoventtiili

Testilaitteessa yksi turvallisuustekijöistä on prosessilinjaan asennettu takaisinkiertoventtiili (kuva 12), jolla estetään prosessinesteen kierto testikammiossa sammuttamatta öljyhaudetta. Öljyhauteen sammuttaminen kuumana voisi mahdollisesti tuhota hauteen elektroniikkaa, joten takaisinkiertoventtiilillä saadaan haude asetettua jäähdytykseen. Venttiiliä voidaan tarvita tilanteessa, jossa testikammiossa on esimerkiksi havaittu vuoto ja kierto kammioon halutaan estää. Jos vuoto on tapahtunut kuumen prosessitestin aikana, voidaan venttiili sulkea

sääkaapin ulkopuolelta ja asettaa sääkaappi jäähdyttämään testikammiota nopean korjauksen mahdollistamiseksi ja vahinkojen minimoimiseksi.

Takaisinkiertoventtiilin materiaaliksi täytyi saada jokin hyvin kuumuutta kestävä materiaali. Tarkoitukseen löytyi haponkestävästä teräksestä valmistettuja ¼ tuuman putkiosia. Haponkestävän teräksen lisäksi jokaisessa kiertoventtiilin kolmessa palloventtiilissä on käytetty 15 % lasikuitua sisältäviä PTFE-tiivisteitä, joille luvataan lämmönkestoksi 200 °C. [25.]



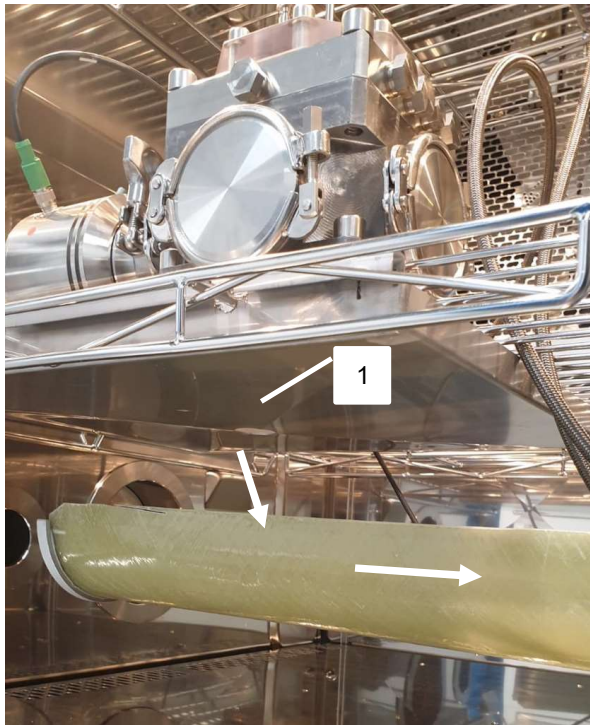
Kuva 12. Nestekierron katkaisuun tarkoitettu takaisinkiertoventtiili.

7.4 Vuotojärjestelmä

Yksi testiaseman turvallisuuteen vaikuttava asia on vuodon sattuessa nesteen ohjaus oikeaan paikkaan. Ilman ohjausta prosessineste voi päästä lattialle ja tehdä siitä liukkaan ja siten vaarallisen operaattoreille. Toinen vaara on valutussa nesteessä, jos neste on esimerkiksi haitallisia kaasuja muodostavaa. Ilman oikeaan paikkaan ohjaamista, se voi päätyä haihtumaan huoneilmaan tehden siitä haitallisen operaattoreille.

7.4.1 Sääkaapin sisäinen vuotoallas

Sääkaapin sisäinen vuotoallas on valmistettu ruostumattomasta teräksestä, joka on tyypillinen valuma-allasmateriaali Vaisalan testijärjestelmissä (kuva 13). Sen tarkoitus on toimia läpivuotoastiana mahdollisen vuodon tapahtuessa testikammioista tai sen välittömästä läheisyydestä.



Kuva 13. Sääkaapin sisällä oleva vuotojärjestelmä. Pellissä olevasta reiästä (1) neste pääsee valumaan yhdysputken kouruun.

Vuotoallas on sijoitettava sääkaapin sisään niin, että kaikki kammion liitännät ovat vuotoaltaan päällä ja altaan on mahdollista kerätä valuva prosessineste. Altaan keskellä olevasta läpivuotoreiästä neste valuu läpi ohjaten sen yhdysputkeen, josta neste pääsee joko haihdutusaltaaseen tai se voidaan kerätä suoraan talteen.

7.4.2 Yhdysputki

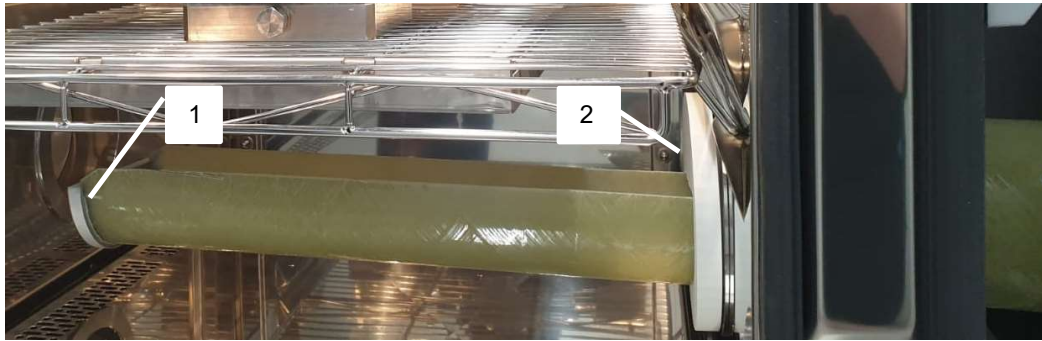
Yhdysputki on testausjärjestelmässä monikäyttöinen osa. Sitä pitkin kulkevat prosessinesteletkut, se toimii lämpösuojana operaattorin ja prosessinesteletkun välissä ja se on samalla sääkaapin vuotoaltaalta vuotavaa nestettä kuljettava ränni, joka yhdistää sääkaapin sekä suojakaapin. Suojakaapissa voidaan rännin pää jättää joko vapaaksi, jolloin valuva neste päättyy haihdutusaltaaseen tai rännin päähän voidaan laittaa jokin keräysastia nesteen talteen ottamiseksi (kuva 14).

Yhdysputki on valmistettu komposiitista (lasikuidun ja epoksin yhdistelmä) joka kestää lämpötilavaihteluja sääkaapin sisällä (-40 °C...+60 °C). Valmistajan ilmoituksen mukaan komposiittiputken epoksi kestää lämpötiloja tiettyjen kemikaalien kanssa jopa 99 °C:seen asti [26]. Hetkellisesti komposiitit voivat kestää jopa 300 °C:n lämpötilaa [27]. Epoksi on valitun komposiittiputken uloin kerros, jolloin voidaan olettaa komposiitin kestävän testijärjestelmän lämpötilavaihtelut.

Vaihtoehtona yhdysputkeksi oli myös veneisiin tarkoitettu, komposiitista valmistettu keulapotkuriputki. Sitä ei kuitenkaan valittu, koska valmistaja ei ilmoittanut putken teknisiä tietoja, joiden perusteella sen soveltuvuutta yhdysputkeksi olisi voitu arvioida.

Yhdysputken sääkaapin sisällä oleva pää on tukittu alumiinilevyllä, joka estää nesteen kulkemisen väärään suuntaan. Alumiinin sijaan materiaaliksi olisi voitu valita myös ruostumaton teräs. Alumiinin valintaa puolsi sen helppo työstettävyys ja se, että alumiinia oli valmiiksi saatavilla Vaisalan materiaalivarastossa.

Sääkaapin läpivientiin on tehty 3D-tulostamalla sovite, joka pitää putken oikeassa asennossa. 3D-tulostettu sovite on ABS-muovia, joka kestää 80 °C eli yli suunnitellun ympäröivän lämpötilan sääkaapissa. Suojakaapin ja yhdysputken välinen sovite on kumisen laipan omaava läpivienti, joka tiivistää putken suojakaappiin estäen haihtuvien yhdisteiden kulkeutumista huoneilmaan.



Kuva 14. Sääkaapin ja suojakaapin yhdistävä yhdysputki. Yhdysputken vasemmassa laidassa on alumiinilevy (1) ja keskellä 3D-printattu sovite (2).

Yhdysputkessa tapahtuvaan ilmanvaihtoon täytyi keksiä ratkaisu, sillä sääkaapin jäädyttäessä ilmaa testikammion ympärillä saattoi suuri osa ilmasta kulkea yhdysputkea pitkin suojakaapista ilmastointikanavaan. Ilman kulkeutuminen suoraan ilmastointikanavaan tuo ylimääräistä räsitusta sääkaapille. Tämä aiheuttaa sääkaapin ylikierroksilla käymistä ja kuluttaa sääkaappia lyhentäen sen käyttöikää.

Yhdysputkeen täytyi saada rajoitin tukkimaan ilman pääsy suojakaappiin, mutta päästämään valuva neste ulos. Lasikuitueriste olisi teoriassa tehnyt juuri kyseisen asian, mutta käytännössä se vain sitoi itsensä täyteen nestettä turvoten ja tukkien yhdysputken kokonaan. Rajoittimeksi tehtiin yhdysputken läpivienti, joka rajoittaa putken sisätilaa niin, että prosessiletkut mahtuvat kulkemaan siitä jättäen pienen raon ylivuotonesteille.

7.4.3 Suojakaapin ylivuotohaihdutusallas

Suojakaapin pohjalla on ruostumattomasta teräksestä valmistettu allas, jonka päätehtävä on toimia ylivuotoaltaana kaikelle, mitä hauteista ja kammiosta voi altaaseen vuotaa. Altaan mitoitus on laskennallisesti niin suuri, että se pystyy pitämään sisällään kaiken testisysteemin sisältämän nesteen kaksinkertaisesti. Toissijainen tehtävä altaalla on toimia jäähdytysaltaana, jossa vuotavat nesteet voivat jäähtyä ja ovat sen jälkeen talteen otettavissa.

8 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella refraktometrien lämpötilatestauksessa käytettävä suojarakennelma ja valita sen toteutukseen käytettävät komponentit. Suojarakennelma muodostuu suojakaapista, ylivuoto- ja haihdutusaltaista sekä ilmanvaihtojärjestelmästä (kuva 15).



Kuva 15. Valmis testauskäytössä oleva suojarakennelma testijärjestelmän osana.

Suojarakennelma toteutettiin siirrettävälle alustalle, joka oli mahdollista kytkeä toimimaan sääkaapin yhteydessä. Sääkaappi on osa lämpötilatestausasemaa.

8.1 Kestävä ja monikäyttöinen

Suojarakennelman tuli toimia suojana operaattoreille, jotka suorittavat testiaseamalla testiä.

Komponentit valittiin siten, että ne kestävät suunnitellun testijärjestelmän lämpötilavaihteluita, eivätkä käyttäydy yhteensopimattomasti suojarakennekäytössä.

Suojarakennelman toteutuksessa lähtökohtana oli, että se voidaan helposti ja ilman suuria muokkauksia siirtää toimimaan muidenkin olosuhdekaappien yhteyteen. Tämä on mahdollista tehtyjen materiaalivalintojen ansiosta. Esimerkiksi suojarakennelmassa käytetty polykarbonaattilevy on yleisesti saatavilla oleva ja helposti työstettävä materiaali. Myös runkomateriaaliksi valittuun alumiiniprofiiliin voidaan liittää valmiita koneistettuja osia, joilla kaappia voidaan muokata eri tarkoituksiin. Sen sijaan esimerkiksi rakennelmaan kuuluvat tulo- ja poistoilmaputket ovat laboratoriokohtaisia.

8.2 Työturvallisuuden vaikuttavat tekijät

Suojarakennelman rakentamisen vaatimuksena oli lisätä työturvallisuutta. Tämä toteutettiin siten, että rakenteiden valinnassa painotettiin kuumuuden kestävyyttä, haitallisten kaasujen poistoa sekä inhimillisten virheiden minimointia. Materiaalivalinnat toteutettiin siten, että nesteiden kuljetuksessa käytetyt letkut kulkevat yhdysputken sisällä, mikä estää mahdolliset palovammat. Suojarakennelman rakentamisessa käytettiin ylivuotoaltaita, jotka estivät nesteiden kulkeutumisen rakennelman ulkopuolelle siten, että siitä aiheutuisi operaattorien liukastumisvaaraa.

8.3 Käyttöönotto ja jatkokehittäminen

Kaappi otettiin käyttöön sen kehittämisen yhteydessä keväällä 2022. Suojarakennelman jatkokehityskohteena on testiaseman käyttöohjeiden kirjoittaminen.

Käyttöohjeiden laatiminen ei ollut osa tätä opinnäytetyötä. Tässä opinnäytetyössä kuvataan ainoastaan testiasemassa olevan suojarakennelman materiaalivalinnat ja rakentaminen. Suojarakennelman jatkokehityskohteena on testiaseman käyttöohjeitten kirjoittaminen. Tämän jälkeen ne tulisi sijoittaa suojarakennelman välittömään läheisyyteen.

Lähteet

- 1 Vaisala Oyj:n verkkosivut. Verkkoaineisto. <www.vaisala.com>. Luettu 11.9.2022.
- 2 Työturvallisuuslaki 2002. 23.8.2002/738.
- 3 Valtioneuvoston asetus kemiallisista tekijöistä työssä (VNa 715/2001).
- 4 Kemiallisten tekijöiden hallinta työpaikalla. Verkkoaineisto. Työterveyslaitos. <www.ttl.fi/teemat/tyoturvaluus/altistuminen-tyoympariston-haitte-kijoille/kemiallisten-tekijoiden-hallinta-tyopaikalla>. Luettu 11.9.2022.
- 5 Lämpöolot. Verkkoaineisto. Tyosuojelu.fi (Työsuojeluhallinnon verkkosivusto). <www.tyosuojelu.fi/tyoolot/fysikaaliset-tekijat/lampoolot>. Luettu 11.9.2022.
- 6 Kalakoski, Virpi ym. 2015. Sujuvaa työtä, vähemmän virheitä. Inhimillisten virheiden vähentäminen työpaikoilla (Sujuva). Verkkoaineisto. Työterveyslaitos. <www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/131760/Sujuvaa%20ty%c3%b6t%c3%a4%20v%c3%a4hemm%c3%a4n%20virheit%c3%a4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Luettu 11.9.2022.
- 7 Laitinen, Kai. 2020. Kone- ja laiterakennuksen materiaali- ja pinnoitetekniikka. Luentosarja. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 8 Eskelinen, Harri. 2013. Materiaalin valintaprosessi. Konstruktiomateriaalit ja niiden valinta. Luentosarja. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 9 Koivisto, Kaarlo ym. 2014. Konetekniikan materiaalioppi. Helsinki: Edita Publishing Oy.
- 10 VW 50002 materiaalien yhteensopivuus, tuoteluettelo, aineiden vastustuskyky, testiaineet. Verkkoaineisto. <<https://www.eurolab.net/fi/sektorel/otomotiv-testleri/vw-50002-malzeme-uyumlulugu-urun-listesi-ajanlara-direnc-test-ajanlari/>>. Luettu 24.10.2022.
- 11 Tukes. Verkkoaineisto. <tukes.fi>. Luettu 24.10.2022.
- 12 Eskelinen Harri. 2013. Konstruktiomateriaalit ja niiden valinta. Luentomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 13 EU:n jätehuoltolaki. 2008. Direktiivi 2008/98/EY.

- 14 Euroopan parlamentin ja neuvoston REACH-asetus. Verkkoaineisto. Tukes. <tukes.fi/kemikaalit/reach>. Luettu 11.9.2022.
- 15 Stainless Steel Chemical Compatibility Chart. Verkkoaineisto. Industrial Specialties Mfg (ISM). <marketing.industrialspec.com/acton/attachment/30397/f-003a/1/-/-/-/316l-stainless-steel-chemical-compatibility-from-ism.pdf>. Luettu 17.10.2022.
- 16 Cim 17CR-palloventtiili. Verkkoaineisto. Onninen. <kesko-onninen-pim-resources-production.s3-eu-west-1.amazonaws.com/pimdocuments/IMG_1782393.pdf>. Luettu 6.11.2022.
- 17 Palloventtiili 2009. Verkkoaineisto. Onninen. <kesko-onninen-pim-resources-production.s3-eu-west-1.amazonaws.com/pimdocuments/16184966.pdf>. Luettu 6.11.2022.
- 18 Tavarankuljetusvaunu. Verkkoaineisto. Treston. <www.treston.fi/vaunut/liikuteltavat-lisatasot/sap-vaunu>. Luettu 17.11.2021.
- 19 Alumiiniprofiilijärjestelmät. Verkkoaineisto. Movetec. <movetec.fi/tuotekategoria/alumiiniprofiilijarjestelmat/> Luettu 17.11.2021.
- 20 Polykarbonaatin ominaisuudet ja työstö. Verkkoaineisto. Muovia. <muovia.com/33553-2/>. Luettu 6.11.2022.
- 21 Joustava läpivienti. Verkkoaineisto. ROCA Finland Oy. <www.roca.fi/product/cable-outlet-flex/>. Luettu 17.11.2021.
- 22 Silikoniputki. Verkkoaineisto. Do88. <www.do88.fi/fi/artiklar/silikoniletku-musta-90-astetta-3-76mm.html>. Luettu 17.11.2021.
- 23 Kartioilmansuodatin. Verkkoaineisto. Motonet. <www.motonet.fi/fi/tuote/9811839/KN-pyorea-kartio-ilmansuodatin-kiinnityslaipan-O-76-mm-RU-5111>. Luettu 17.11.2021.
- 24 T-sarjan PTFE-letku. Verkkoaineisto. Swagelok. <helsinki.swagelok.com/fi/tuotetiedot/hoses_and_flexible_tubing/t-series-ptfe-hose>. Luettu 17.11.2021.
- 25 Palloventtiili. Verkkoaineisto. Onninen. <www.onninen.fi/online-palloventtiili-hst-2017k-1-4-sk-pn40-2017k-online/p/AAM685>. Luettu 17.11.2021.
- 26 Corrosion Resistance Guide. Verkkoaineisto. Champion Fiberglass. <championfiberglass.com/wp-content/uploads/2016/08/Champion-

Fiberglass-Chemical-Resistance-SPI-Chart-Data-Sheet.pdf>. Luettu 17.11.2021.

- 27 Koljonen, Marko. 2019. Muovien lämmönkestävyys on keskeinen valintakriteeri. Nämä asiat suunnittelijan tulee tietää lämpörasituksesta. Verkkoaineisto. Aikolon. <blog.aikolon.fi/muovien-l%C3%A4mm%C3%B6nkest%C3%A4vyys-on-keskeinen-valintakriteeri.-mit%C3%A4-vaikutuksia-l%C3%A4mm%C3%B6nkestolla-ja-l%C3%A4mp%C3%B6laajenemiselle-on-muoviin>. Luettu 14.11.2022.

Alkuperäinen lista komponenttien vaatimuksista ja tuotevalinnoista

Mitä tarvitaan	Käyttötarkoitus	Vaatimukset ja kysymyksiä	Valinnat (boldattuna) tai osa vaihtoehtoista
Läpivienti uuniin	Putken paikallaanpito	lämmönkesto vähintään 60 °C Läpiviennillä putken asento	ABS, löytyy Vaisalasta, max käyttölämpö 80 °C
Suojaputki	Estää koskemasta kuumiin putkiin ja valuttaa tarvittaessa nesteet valuma-altaaseen	lämmönkesto vähintään 150 °C Kemikaalienkesto: prosessinesteen kesto lämmitettynä	UL Listed Class 1 Div 2 XW Type Conduit Champion Haz Duct® (championfiber-glass.com) LASIKUITUPUTKI 110MM P 750MM, KEULAPOTKURIIN - Sea Store Oy
Letkut	prosessinesteen kuljetus	Silikonioöljynkestävä: prosessinesteen kesto lämmitettynä lämmönkesto vähintään 150 °C vaikuttaako putken sisäpinnan muoto/karheus tuloksiin	Swagelok T-sarjan PTFE-letku (helsinki.swagelok.com) Metal Core Hose Hoses and Flexible Tubing Swagelok
Kärry/ rakenusaluista	Siirrettävä alusta	Alapuolelle työkalu/tavarasäilytys kantavuus 150kg + hylly mahdollinen	Treston SAP trolley (www.treston.fi)
Valuma-altaat	Vuotavien nesteiden talteenotto	RST max 1mm Tilavuus hauteen kapasiteetista Uunin sisään valuma-allas joka johdetaan ulkoiseen altaaseen	Tehdään kanttikoneella, custom-tilaus /Vaisalalan hankintakanvat
Roiskesuoja	Roiskevahinkojen esto	Polykarbonaatti vai karkastu lasi? läpinäkyvä öljynkestävä iskunkestävä kuumuudenkesto edullisuus ja helppo saatavuus Miten kasataan? Pitää päästä operoimaan	POLYKARBONAATTI LEVY 5X1000X1500MM KARKAISTU POLY510 - IKH Moveticilta runko + suoja-lasi, https://movetec.fi/
Roiskesuojan kehys		Muunneltava	Alumiiniprofiilit - Movetec Oy
Huuva	johtaa kaasut pois työtilasta	pelti/rst Irrotettava? erillinen fume extractor Weller mikä sisältää 58735936 suodattimen pitäisi toimia formaldehydin poistamisessa	Käytetään erillisilmas-tointia Formaldehyde Fume Extractor – Wet Scrubbers (drizgas.com) WELLER FT 58735936 - ZS 4V,WFE2S/2ES MIKRO/KAASUSUOD. (yeint.fi)
Eristeet		Korroosionkestävä Uunin ja hauteen väli pitäisi eristää lämpötilojen pitämiseksi, mutta öljyn pitäisi päästä läpi?	Pakosarjakääre - Biltema.fi Ei tarvittu