

# **Korkeapainepumpun testauspenkin suunnittelu ja rakentaminen**

Juha Vaismaa

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2019  
Tekniikan- ja liikenteen ala  
Insinööri (AMK), Konetekniikan tutkinto-ohjelma  
Tuotekehitys

Tekijä(t) Vaismaa, Juha	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu, 2019
	Sivumäärä 50	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Korkeapainepumpun testauspenkin suunnittelu ja rakentaminen</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), konetekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Jorma Matilainen & Sirpa Hukari		
Toimeksiantaja(t) FreshWind Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin Jyväskyläläiselle, korkeapainesumujärjestelmiin erikoistuneelle yritykselle nimeltä FreshWind Oy. Tavoitteena oli suunnitella ja rakentaa yrityksen toimittamille korkeapainepumpuille testauspenkki. Opinnäytetyöprojektissa kehitetyllä testauspenkillä tuli pystyä todentamaan korkeapainepumpun oikeanlainen toiminta tarkkailemalla pumpun tuottamaan virtausta ja painetta putkistossa ja vertailemalla niitä valmistajan antamiin arvoihin. Erityistoiveena testauspenkille oli, että mittausdata saataisiin tallennettua mahdollisesti sähköisenä suoraan laitteesta.</p> <p>Opinnäytetyö oli luonteeltaan kehittämistutkimus, ja siinä sovellettiin Ulrichin ja Eppingerin geneeristä tuotekehitysprosessin mallia. Koneensuunnittelun apuna käytettiin myös kone-direktiiviin 2006/42/EY perustuvia standardeja ja määräyksiä. Testauspenkissä käytettävien komponenttien valinnassa tukeuduttiin toimeksiantajan ja prosessiteollisuuden komponenttien toimittajien asiantuntemukseen.</p> <p>Työn aikana rakennettu testauspenkki täytti sille määritetyt vaatimukset ja siihen löydettiin kustannustehokkaat ja luotettavat anturit, joista saadaan tallennettua tarvittava mittausdata suoraan Excel-muodossa. Lisäksi taajuusmuuttajakäytön ansiosta laitteesta voidaan lukea pumpun pyörittämiseen tarvittu virrankulutus ja teho, joiden kasvu saattaa indikoida viallisesta pumpusta. Lopputuloksena saatiin toimeksiantajan toiveiden mukainen testauspenkki, jota oli myös ergonomisesti mukava käyttää. Lopuksi laitteelle tehtiin asianmukainen käyttöohjekirja ja CE-merkintä.</p>		
Avainsanat ( <a href="#">asiasanat</a> ) Testauspenkki, korkeapainepumppu, tuotekehitys, koneensuunnittelu		
Muut tiedot		

## Description

Author(s) Vaismaa, Juha	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2019
	Number of pages 50	Language of publication: Finnish
		Permission for web publication: x
Title of publication <b>Design and construction of high pressure water pump test bench</b>		
Degree programme Degree Programme in Mechanical and Production Engineering		
Supervisor(s) Matilainen Jorma & Hukari Sirpa		
Assigned by FreshWind Oy		
<p>Abstract</p> <p>The study was made for a local company called FreshWind Oy, which specialises in high-pressure humidification systems. The aim of the study was to design and build a test bench for high-pressure pumps supplied by the company. The test bench needed to be able to verify the correct operation of the pump by monitoring the pump flow and pressure in the piping and comparing those values to the manufacturers given values. A special request for the test bench was that the measurement data could be stored directly from the device.</p> <p>The thesis was a design study that used Ulrich and Eppingers generic development process. Standards and regulations based on machinery directive 2006/42/EY were also an important part of the design process. Choosing components for the test bench was based on the expertise of the assignor and component suppliers in the process industry.</p> <p>The test bench built during the study, filled the requirements set for it. Moreover, cost-effective and reliable sensors were found, which enables saving the measurement data directly in Excel format. In addition, the frequency converter enables reading the power consumption and the performance required for using the pump from the device. The increase in these markers may indicate a faulty pump. As an outcome, an ergonomic test bench according to the assignors requirements was built. Finally, an appropriate instruction manual was made for the device and it was CE-marked.</p>		
Keywords ( <a href="#">subjects</a> ) Product development, test bench, high-pressure pump, engineering design		
Miscellaneous		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Opinnäytetyön lähtökohdat</b> .....	<b>6</b>
1.1	Korkeapainepumpun testauspenkki.....	6
1.2	Freshwind Oy.....	6
<b>2</b>	<b>Tutkimusmenelmät</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Järjestelmällinen tuotekehitysprosessi</b> .....	<b>8</b>
3.1	Konseptin kehitys .....	9
3.2	Järjestelmätason suunnittelu .....	11
3.3	Yksityiskohtien suunnittelu .....	11
3.4	Testaus ja viimeistely.....	12
<b>4</b>	<b>Ergonomia</b> .....	<b>12</b>
4.1	Käyttöliittymän suunnittelu.....	13
4.2	Työpisteen suunnittelu.....	14
<b>5</b>	<b>Koneturvallisuus</b> .....	<b>14</b>
5.1	Riskien arviointi .....	15
5.2	Koneiden sähkölaitteistot.....	16
<b>6</b>	<b>Testauspenkin suunnittelu</b> .....	<b>17</b>
6.1	Suunnittelun lähtökohdat.....	17
6.2	Konseptin kehitys .....	20
6.3	Järjestelmätason suunnittelu .....	21
6.3.1	Taajuusmuuttaja ja muut sähkökomponentit.....	21
6.3.2	Paine- ja virtausmittarit.....	22
6.3.3	Pyörät ja tärinänvaimennuskumit.....	23
6.4	Riskien arviointi .....	24
6.5	Yksityiskohtien suunnittelu .....	27

6.5.1	Runko.....	27
6.5.2	Ohjauspaneeli.....	28
6.5.3	Tasot ja seinät .....	29
6.5.4	Työkaluteline ja letkujen pidike .....	29
6.5.5	Suojakansi.....	30
6.5.6	Kytkentäkaavio .....	31
6.6	Suunnittelun lopputulos .....	32
<b>7</b>	<b>Laitteen kokoonpano.....</b>	<b>33</b>
<b>8</b>	<b>Testaus ja viimeistely.....</b>	<b>34</b>
<b>9</b>	<b>Tulokset .....</b>	<b>37</b>
<b>10</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>37</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>39</b>
	<b>Liitteet.....</b>	<b>40</b>
	<b>Liite 1. Käyttöohjee .....</b>	<b>40</b>

## **Kuviot**

Kuvio 1	Geneerisen tuotekehitysprosessin vaiheet (Ulrich & Eppinger 2012, 14) .....	9
Kuvio 2	Konseptin kehitys- vaiheet (Ulrich & Eppinger 2012, 16) .....	10
Kuvio 3	Ergonomiatehtäviä suunnittelun erivaiheissa (Ergonomian ja käytettävyyden standartit. Nd.3.) .....	13
Kuvio 4	Vanha testauspenkki .....	18
Kuvio 5	Ehdotuksia ohjauspaneelin sijoittelusta.....	20
Kuvio 6	Pyörät ja tärinänvaimennuskumit .....	24
Kuvio 7	Rungon 3D-malli .....	28
Kuvio 8	Ohjauspaneeli.....	29
Kuvio 9	Letkujen pidike ja työkalu teline .....	30
Kuvio 10	Suojakansi.....	31
Kuvio 11	Konstruktio malli testauspenkistä.....	32

Kuvio 12 Sähkökaapin komponenttien sommittelua .....	34
Kuvio 13 Ensimmäisen testauksen mittaustuloksia .....	35
Kuvio 14 Kannettava tietokone yhdistettynä testauspenkkiin .....	36
Kuvio 15 Ohjelmiston piirtämää käyrää virtausanturilta .....	36

## **Taulukot**

Taulukko 1 Taajuusmuuttajien hintavertailu .....	21
Taulukko 2 Antureiden kilpailutus .....	23
Taulukko 3 Riskien esiintymisen kertoimet ja seurausten vaikutusten arvot .....	25
Taulukko 4 Tunnistetut riskit.....	26
Taulukko 5 Jäännösriskit .....	26

# 1 Opinnäytetyön lähtökohdat

## 1.1 Korkeapainepumpun testauspenkki

Opinnäytetyön aiheena oli korkeapainepumpun testauspenkin suunnittelu ja rakentaminen. Testauspenkillä tulee pystyä todentaa yrityksen toimittamien ja huoltamien Danfossin korkeapainepumppujen toiminta, tarkkailemalla pumpun tuottamaa virtausta ja painetta. Aiheen toimeksiantajana toimi korkeapainesumujärjestelmiin erikoistunut FreshWind Oy, jolle laite tuli käyttöön. Yritykseltä löytyi jo entuudestaan pumppujen testauspenkki, mutta se oli hyvin epäergonominen ja kömpelö käyttää. Lisäksi sillä pystyttiin testaamaan vain pienemmän kokoluokan pumppuja.

Työn tavoitteena oli siis suunnitella entistä ergonomisempi ja helppokäyttöisempi testauspenkki, jolla saadaan testauspöytäkirjoihin luotettavaa ja monipuolisempaa dataa kuin vanhalla laitteella. Opinnäytetyö kattaa testauspenkin suunnittelun, rakentamisen ja testauksen. Lisäksi testauspenkille tehdään asianmukainen ohjekirja ja CE-merkintä. Opinnäytetyö oli luonteeltaan kehittämistutkimus ja sen läpi viemiseksi käytettiin järjestelmällistä tuotekehitysprosessia.

## 1.2 Freshwind Oy

FreshWind Oy on Jyväskylässä toimiva korkeapainesumujärjestelmiin erikoistunut yritys, joka tarjoaa ensisijaisesti korkeapainesumujärjestelmiä, mutta myös huolto- ja asennuspalveluita sekä korkeapainekomponentteja. Yritys toimii pääsääntöisesti Suomessa, mutta se on toimittanut järjestelmiä myös Puolaan ja Venäjälle.

Yritys suunnittelee korkeapainesumujärjestelmät ns. avaimet käteen- periaatteella, missä järjestelmät räätälöidään asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Korkeapainesumujärjestelmiä käytetään mm. teollisuuden, varastojen, työtilojen ja suurten kiinteistöjen:

- ilman kostutukseen
- ilman jäähdytykseen
- pölynsidontaan

- palosuojaukseen
- hajun sidontaan

Korkeapainesumujärjestelmän toimintaperiaate on hyvin yksinkertainen. Korkeapainepumpulla tuotetaan järjestelmään korkeapaine (n. 8 MPa eli 80 bar), jonka avulla vedestä tuotetaan hienojakoista vesisumua johtamalla vesi korkeapaineputkiston kautta päätelaitteisiin. Päätelaitteissa on suuttimia, joiden avulla vesi muuttuu hienojakoiseksi vesisumuksi. Lopuksi vesisumu levitetään tasaisesti ilmaan päätelaitteessa olevilla puhaltimilla.

## 2 Tutkimusmenelmät

Koska työn tavoitteena oli kehittää toimeksiantajalle entistä parempi testauspenkki, voitiin työtä pitää kehittämistutkimuksena. Jorma Kananen kertoo Kehittämistutkimus opinnäytetyönä- kirjassaan, että kehittämistutkimus ei itsessään ole tutkimusmenetelmä, vaan se koostuu useammasta eri tutkimusmenetelmästä. Sitä voidaan pitää monimenetelmäisenä tutkimusotteena ja siinä yhdistyy kvalitatiiviset ja kvantitatiiviset tutkimusmenetelmät. Opinnäytetyössä pitää tehdä teknisen suorittamisen ja tutkimuksen toteutuksen välille selvä ero. Tekniseen suorittamiseen kuitenkin voidaan aina löytää tutkimuksellinen näkökulma. (Kananen 2012, 19-20).

Kehittämistutkimuksen kohteita voivat olla esim. prosessit, toiminnot, tuotteet, palvelut ja asiantilat. Tässä opinnäytetyössä kehittämisen kohteena voidaan pitää tuotetta. Kehittämiskohteen lisäksi tärkeä osa kehittämistutkimusta ovat toimenpiteet, joilla tuotetta pyritään kehittämään. Kirjassa puhutaan kohteeseen vaikuttamisesta jollain keinolla, mitä kutsutaan myös interventioksi. Interventiossa tarkoituksena on selvittää, mikä ongelman aiheuttaa ja löytää siihen ratkaisu. (Kananen 2012, 21)

Tässä opinnäytetyössä ongelmana voidaan esimerkiksi pitää epämukavaa työskentelyasentoa pumppua kytkettäessä. Kun ruvetaan hieman tutkimaan asiaa vaikkapa ergonomian kautta, voidaan todeta, että laitteen kytkennät joudutaan tekemään ergonomisesti ajateltuna huonossa asennossa. Ratkaisu ongelmaan on parantaa työskentelyasentoa nostamalla pumppu ylemmäs, milloin tarvittavat kytkennät voidaan tehdä ryhdikkäässä asennossa.



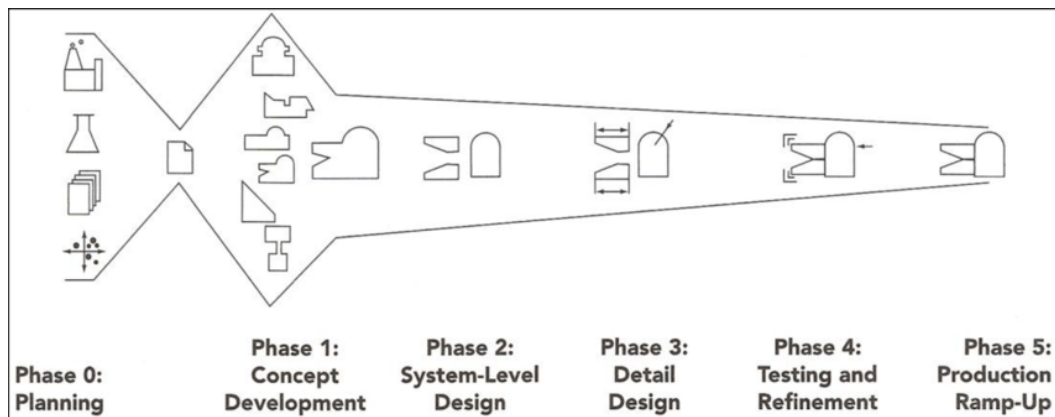
Koska kehittämistutkimuksella ei ole omia lähestymistapoja joudutaan lähestymistavat hakemaan laadullisen ja määrällisen tutkimuksen menetelmistä. Kehittämistutkimuksessakin on hyvä esittää samoja tutkimuskysymyksiä kuin laadullisella tutkimuksella, jotka liittyvät kehitettävän ilmiön vaikuttaviin tekijöihin, kehitystyön onnistumiseen, kehitystyön vaikutuksiin ja miten kehitystyö koettiin? (Kananen 2012, 25)

Laadullisessa tutkimuksessa keskitytään pääasiassa sanoihin ja lauseisiin toisinkuin määrällisessä tutkimuksessa, joka perustuu enemmänkin tilastollisiin menetelmiin. Päämääränä on siis ymmärtää tutkittavaa ilmiötä ja sen aiheuttajia mahdollisimman hyvin, että sille voidaan löytää ratkaisu. Laadullinen tutkimus ei etene niin lineaarisesti kuin määrällinen tutkimus, minkä ansiosta sitä voidaan pitää paljon joustavampana tutkimusotteena. Sillä ei kuitenkaan saada yhtä objektiivista tulkintaa kohteesta kuin määrällisellä tutkimuksella, vaan tutkimuksen tulokset ja niiden tulkinta riippuvat tutkijasta. (Kananen 2012, 29-30)

Tässä työssä käytettiin kehittämistutkimuksen tukena laadullista tutkimusta, jonka avulla pyrittiin saamaan mahdollisimman kattavaa tietoa aikaisemman testauspenkin käyttökokemuksesta. Saadulle tiedolle pyrittiin löytämään ilmiötä selittävää teoriaa esim. ergonomia ja kehitystyön tukena käytettiin geneeristä tuotekehitysprosessia.

### 3 Järjestelmällinen tuotekehitysprosessi

Opinnäytetyö oli luonteeltaan tuotekehitysprojekti, joten siinä sovellettiin koneensuunnittelussakin laajasti käytettyä, Karl Ulrich & Steven Eppingerin Product Design and Development -kirjassa kuvattua geneeristä tuotekehitysprosessia, joka on jaoteltu kuuteen eri vaiheeseen (ks. kuvio 1). Kirjan mukaan onnistunutta tuotekehitystä voidaan mitata viidellä mittarilla, joita ovat laatu, valmistuskustannus, kehittämiskustannus, kehittämiseen kulunut aika ja valmiudet kehittää uusia tuotteita. Edellä mainittujen mittareiden avulla varmistetaan yrityksen taloudelliset menestysmahdollisuudet. (Ulrich & Eppinger 2012, 2–3.) Vaikka kirjassa esitelty tuotekehitysprosessi painottuu enemmän sarjatuotantoon, voidaan sitä kuitenkin sovelletusti käyttää asiakkaalle räätälöidyn laitteen suunnittelussa.



Kuvio 1 Geneerisen tuotekehitysprosessin vaiheet (Ulrich & Eppinger 2012, 14)

Kuviossa 1 esitetyt vaiheet voidaan suomentaa seuraavalla tavalla:

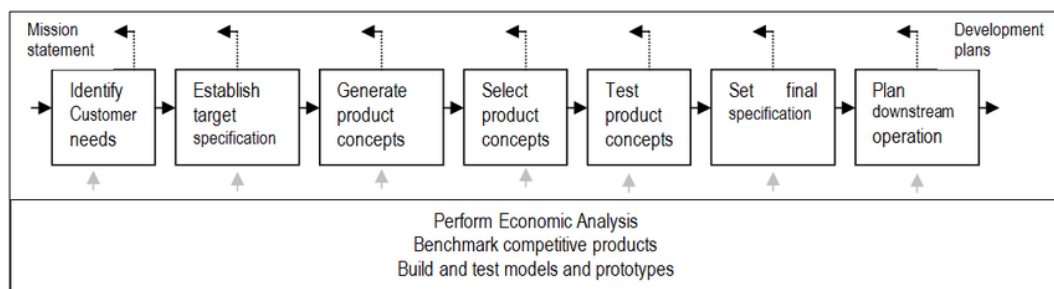
1. Planning = Suunnittelu
2. Concept development = Konseptin kehitys
3. System-level design = Järjestelmätason suunnittelu
4. Detail design = Yksityiskohtien suunnittelu
5. Testing and refinement = Testaus ja viimeistely
6. Production ramp-up = Tuotannon käynnistäminen

Koska laitetta ei ollut tarkoitus suunnitella sarjatuotantoon, prosessista jätettiin pois markkina- ja patenttiselvitykset sekä tuotannon käynnistäminen. Testaus ja viimeistely vaiheessa rakennettava prototyyppi toimi työn lopputuloksena.

### 3.1 Konseptin kehitys

Konseptin kehitys- vaiheessa määritellään asiakkaan tarpeet ja luodaan niiden pohjalta vaihtoehtoisia konsepteja, joita arvioidaan. Konsepteista valitaan joko yksi tai useampi jatkotarkasteluun. Konsepti on kuvaus suunniteltavan kohteen muodosta, toiminnasta ja ominaisuuksista. Se yleensä juontaa juurensa vaatimuslistasta, kilpailuvien tuotteiden analyysistä ja kohteen taloudellisista määräyksistä. (Ulrich & Eppinger 2012, 15)

Konseptin kehitys- vaihe edellyttää kenties eniten koordinoitua toimintojen välillä kuin mikään muu vaihe. Kirjassa tämä vaihe on nimetty ns. front-end- vaiheeksi, joka koostuu useista toisiinsa liittyvistä toiminnoista (ks. kuvio 2). Kuviossa esitetyt nuolet katkoviivoilla esittävät ns. peruuttamismahdollisuutta, mikä tarkoittaa, että jokaisen vaiheen aikana saattaa tulla esiin uutta tietoa, jonka perusteella joudutaan siirtymään aikaisempaan vaiheeseen. Tätä toistoa kutsutaan kehitystyön iteraatioksi, jota saatetaan joutua toistaa, kunnes lopputuloksesta saadaan mieleinen. (Ulrich & Eppinger 2012, 16)



Kuvio 2 Konseptin kehitys- vaiheet (Ulrich & Eppinger 2012, 16)

Konseptin kehitys alkaa asiakkaan tarpeiden tunnistamisella, missä tavoitteena on ymmärtää asiakkaan tarpeet mahdollisimman hyvin. Asiakkaan tarpeiden tunnistaminen on jaettu viiteen eri vaiheeseen:

1. Kerää asiakkaalta lähtötiedot
2. Tulkitse saamasi lähtötiedot asiakkaan tarpeiden mukaan
3. Lajittele tarpeet tärkeysjärjestykseen
4. Määrittele tarpeiden suhteellinen merkitys
5. Pohdi saatuja tuloksia ja itse prosessia

(Ulrich & Eppinger 2012, 75)

Asiakkaan tarpeiden tunnistamisen jälkeen tarpeet pyritään määrittelemään mahdollisimman tarkasti teknisiin termeihin, joita voivat olla esim. tuotteen enimmäispaino tai suorituskyky. Tuloksena tästä vaiheesta syntyy vaatimuslista. Vaatimuslistan pohjalta ruvetaan luomaan tuotteelle erilaisia konsepteja. Konseptien luominen koostuu

tiedon hausta, luovasta ongelman ratkaisusta ja ratkaisujen systemaattisesta tutkimisesta. Tavoitteena on luoda mahdollisimman monta erilaista konseptia, jotka koostuvat yleensä piirustuksista ja lyhyestä kuvauksesta. Luotuja konsepteja analysoidaan ja niistä pyritään valitsemaan parhaiten asiakkaan tarpeet täyttävät ideat jatkotarkasteluun. Parhaita konsepteja pyritään testaamaan esittelemällä niitä asiakkaalle, jotta varmistutaan asiakkaan tarpeiden täyttymisestä. Jos asiakaspalaute huonoa, voidaan joko palata aikaisempiin vaiheisiin tai huonoimmassa tapauksessa koko projekti joudutaan lopettamaan. (Ulrich & Eppinger 2012, 17)

### 3.2 Järjestelmätason suunnittelu

Lyhyesti sanottuna järjestelmätason suunnittelu- vaiheessa määritellään tuotteen rakenne, hajautetaan tuote sen alajärjestelmiin ja komponentteihin sekä suoritetaan alustava suunnittelu pääkomponenteille. (Ulrich & Eppinger 2012, 15) Tuotteen rakenne voidaan jakaa kahteen eri käsitteeseen, funktionaalisiin sekä fyysisiin elementteihin. Funktionaaliset elementit kuvaavat tuotteen toimintaa, kun taas fyysiset elementit ovat tuotteen osia, komponentteja sekä alijärjestelmiä, jotka lopulta panevat tuotteen funktionaaliset elementit täytäntöön. Yksi tuotteen tärkein ominaisuus on sen modulaarisuus. (Ulrich & Eppinger 2012, 184-185.) Modulaarisen rakenteen etuna on yksittäisten osien tai komponenttien helppo vaihdettavuus, ja sitä kautta tuotteen kokonaisuuden muokattavuus.

### 3.3 Yksityiskohtien suunnittelu

Yksityiskohtien suunnittelussa mietitään tuotteen jokaiselle osalle lopulliset muodot, mitat, materiaalit ja valmistuksessa käytettävät toleranssit. Lopputuloksena syntyy valmistettavien osien konepaja- sekä kokoonpanopiirustukset, joissa määritellään tuotteen lopullinen rakenne ja täytäntöönpano. Yksityiskohtien suunnitteluun löytyy useita erilaisia lähestymistapoja, mutta kirjassa esitellään lähemmin sellaiset lähestymistavat kuten DFE (Design for Environment), DFM (Design for Manufacturing ja ns. Robust design. (Ulrich & Eppinger 2012, 15.) Usein lopullinen lähestymistapa on kuitenkin näiden yhdistelmä.

### 3.4 Testaus ja viimeistely

Testaus ja viimeistely- vaiheessa suunniteltavasta tuotteesta rakennetaan prototyypppejä, joita testataan ja arvioidaan. Prototyypit voivat olla melkein täysin lopullista tuotetta vastaavia eli fyysisiä tai analyttisiä, jotka havainnollistavat lopullisen tuotteen eri toimintoja esimerkiksi tietokonesimulaatioilla tai visuaalisilla malleilla. Usein lopullisesta tuotteesta voidaan valmistaa myös kokonaisvaltainen prototyyppi, joka annetaan asiakkaalle testattavaksi, jotta tuotteesta voidaan tunnistaa mahdolliset puutteet. (Ulrich & Eppinger 2012, 291.)

## 4 Ergonomia

Vaikka testauspenkin käyttö on suhteellisen vähäistä, oli sen suunnittelussa hyvä ottaa huomioon myös ergonomisia näkökohtia. Testauspenkkiä voidaan pitää työpisteenä, joten sen suunnittelussa voitiin hyvin soveltaa ergonomian perustandardia SFS-EN ISO 6385, jossa sovelletaan ergonomian teoriaa, periaatteita, tietoja ja menetelmiä suunnitteluun. Ergonomialla tarkoitetaan teknisen järjestelmän käyttöympäristön muokkaamista mahdollisimman ihmisystävälliseksi. Sen päämääränä on parantaa ihmisen hyvinvointia sekä optimoida järjestelmän suorituskykyä. Varsinkin tuotekehityksessä ergonomisilla suunnitteluperiaatteilla on enemmän painoarvoa, mitä enemmän tuotetta käytetään. (Jokinen 2001, 114) Ergonomia ja käytettävyys ovat olennainen tekijä kone-, laite- ja tuotesuunnittelussa. Kun ergonomia otetaan huomioon suunnittelussa, saadaan työntekijöiden työmotivaatiota sekä yleistä terveyttä parannettua, mikä johtaa sairauspoissaolojen vähenemiseen sekä työpanoksen parantumiseen. Työntekijä voi myös toimia tehokkaammin, kun työpiste on suunniteltu ergonomisesti, täten myös tuottavuus kasvaa. Ergonomisesti suunniteltu työpiste sopii useammalle työntekijälle, jolloin käyttöönotto sekä opastus työpisteen käyttämiseen ovat nopeampaa ja vaivattomampaa. (SFS-EN ISO 6385. 2017, 2-3.) Alla olevassa kuviossa 3, kuvataan ergonomiatehtäviä osana suunnitteluprosessia.

## ERGONOMIA SUUNNITTELUPROSESSISSA



Kuvio 3 Ergonomiatehtäviä suunnittelun erivaiheissa (Ergonomian ja käytettävyyden standartit. Nd.3.)

### 4.1 Käyttöliittymän suunnittelu

Käyttöliittymät ovat suuressa roolissa ergonomian suunnittelussa. Käyttöliittymä tulisi suunnitella siten, että siitä saadaan tulkittua mahdollisimman nopeasti kaikki asiankuuluva informaatio. Olennaisimmat ohjainlaitteet, merkkivalot ja näytöt tulisi sijoittaa siten, että ne ovat mahdollisimman helposti saatavilla. Ohjainlaitteet ja merkkivalot yms. tulee valita siten, että inhimillisen virheen mahdollisuudet saadaan minimoitua. Lisäksi ohjainlaitteet tulee sijoitella lähekkäin, jos niitä joudutaan käyttämään samanaikaisesti tai peräkkäin. (SFS-EN ISO 6385. 2017, 14-15.) Ohjain- ja säätölaitteiden valinnassa on hyvä ottaa myös huomioon niiden väri ja muoto. Ihminen nopeasti tottuu tuntoaistinsa kautta ymmärtämään mistä nupista on milloinkin kysymys. Jos kaikki säätönupit ovat esimerkiksi samanlaisia, saattaa virheliikkeiden määrä kasvaa. Erilaiselle toiminnolle olisikin hyvä valita erimuotoiset ja väriset ohjain- tai säätönupit. (Jokinen 2001, 119)

## 4.2 Työpisteen suunnittelu

Yleisesti ottaen työpisteen suunnittelussa tärkeintä on ottaa huomioon ihmisen työskentelyasennot. Työpisteellä pitää olla hyvä perusasento, joka rasittaa mahdollisimman vähän fyysisesti. Työskentelyasennot eivät saa aiheuttaa pitkäaikaista staattista lihaksen jännitystä ja ihmisellä tulee olla mahdollisuus vaihtaa asentoa tarvittaessa. Kumartumista tai polvistumista tulee välttää. (SFS-EN ISO 6385. 2017, 15-16.) Jotta liiallisia rasituksia pystytään välttämään, ulottuvuuden perussääntönä voidaan käyttää noin puolta maksimi ulottuvuudesta. Lisäksi raajojen liikeradat tulisi suunnitella mahdollisimman edullisiksi. (Jokinen 2001, 115)

## 5 Koneturvallisuus

Koneturvallisuudelle on luotu kymmeniä erilaisia standardeja, joiden lähtökohtana toimii EU:n konedirektiivi 2006/42/EY. Konedirektiivi yhdistää EU/ETA-alueella ensimmäistä kertaa markkinoille tuotavia tai käyttöön otettavia koneita koskevat säädökset. Konedirektiivi sisältää yleiset koneiden suunnittelussa käytetyt terveys- ja turvallisuusvaatimukset, joille on annettu tarkempia teknisiä ratkaisuja koneturvallisuuden standardeissa. Näiden lisäksi on myös olemassa muita erityissäädöksiä, kuten henkilöhissejä, painelaitteita, maataloustraktoreita, sähkömagneettista yhteensopivuutta (EMC) ja räjähdysvaarallisissa tiloissa käytettäviä laitteita (ATEX) koskevat erityissäädökset.

Konedirektiivi koskee hyvin laajaa alaa erilaisia koneita, koneyhdistelmiä, turvakomponentteja, nostoapuvälineitä, nostamiseen tarkoitettuja ketjuja, köysiä ja vöitä, nivelakseleita sekä osittain valmiita koneita. Konedirektiivi edellyttää, että koneelle on suoritettava turvallisuussuunnittelu eli riskin arviointi ja pienentäminen. Riskit on otettava huomioon koneen koko elinkaaren kaikissa ennakoitavissa olevissa vaiheissa ja se kattaa kaikki koneeseen liittyvät terveys- ja turvallisuusriskit. (Koneturvallisuuden standardit 2015, 2)

Konedirektiiviin liittyvät turvallisuusstandardit ovat jaoteltu kolmeportaisen hierarkian mukaan A-, B- ja C-tyyppin standardeihin.

- A-tyyppin standardit määrittelevät koneturvallisuuden perusfilosofian.
- B-tyyppin standardit käsittelevät suunnittelijoiden tarvitsemaa perustietoa.
- C-tyyppin standardit sisältävät yksityiskohtaisia yksittäisten koneiden tai koneryhmien turvallisuusvaatimuksia, jotka osittain toteutetaan viittaamalla A- tai B-tyyppin standardeihin.

Ensin olisi selvitettävä, onko suunniteltavaa konetta koskevaa C-tyyppin standardia olemassa, jossa yleensä ohjataan viittausten kautta, mitä B- tai A-tyyppin standardeissa esitettyjä vaatimuksia tulee C-tyyppin standardien lisäksi ottaa huomioon. (Koneturvallisuuden standardit 2015, 3)

Standardien rooleina koneensuunnittelussa ovat:

- Turvallisuussuunnittelu, jonka avulla varmistetaan, että laite täyttää sitä koskevat olennaiset turvallisuusvaatimukset.
- Vaatimustenmukaisuuden arviointi, mikä edellyttää, että koneen tekniseen tiedostoon on kirjattu käytetyt standardit.
- EY-vaatimustenmukaisuusvakuutuksen laatiminen

Jos laite on suunniteltu konedirektiivistä johdettujen standardien mukaisesti, voidaan laitteeseen kiinnittää CE-merkintä, joka on valmistajan vakuutus siitä, että se täyttää sitä koskevien direktiivien vaatimukset. (Koneturvallisuuden standardit 2015, 4)

## 5.1 Riskien arviointi

Koneturvallisuus standardin (SFS-EN ISO 12100;2010, 28) mukaan

*tehdäkseen riskin arvioinnin ja riskin pienentämisen suunnittelijan on toteutettava seuraavat toimenpiteet osoitetussa järjestyksessä:*

- Määritettävä koneen raja-arvot, joihin sisältyvät tarkoitettu käyttö sekä kohdulla ennakoitavissa oleva väärinkäyttö*
- tunnistettava vaarat ja niihin liittyvät vaaratilanteet*
- arvioitava riskin suuruus kunkin tunnistetun vaaran ja vaaratilanteen osalta*
- arvioitava riskin merkitys ja tehtävä päätökset riskin pienentämisen tarpeesta*
- poistettava vaara tai pienennettävä vaaraan liittyvää riskiä suojaustoimenpiteiden avulla*



Koneen raja-arvojen määrittämisessä tulee ottaa huomioon koneen käyttörajat, tilarajat, aikarajat sekä muut raja-arvot. Käyttörajoihin sisältyy nimensä mukaisesti koneen käyttöön liittyviä raja-arvoja. Näitä raja-arvoja voivat olla esimerkiksi koneen käyttötarkoitus, erilaiset toimintatavat sekä koneen hyödyntäjät. Koneen tilarajoja koskevia näkökohtia ovat liikkeiden laajuudet, koneen käyttäjien tarvitsemat tilat, käyttäjä-kone -rajapinta sekä kone-tehonsyöttö -rajapinta. Huomioon otettavia aikarajoja ovat koneen tai sen osien ennakoitavissa oleva käyttöikä ja suositeltavat huoltovälit. Muita raja-arvoja voivat olla esimerkiksi käsiteltävien materiaalien ominaisuudet, puhtaanapitoon liittyvät raja-arvot sekä ympäristöön liittyvät raja-arvot. (SFS-EN 12100;2010, 36-38)

Riskin arvioinnin kannalta olennainen tekijä on vaarojen tunnistaminen, jotka tulisi pystyä tunnistamaan koneen koko elinkaaren kaikkien vaiheiden aikana. Vaarojen tunnistamisen jälkeen voidaan ryhtyä toimenpiteisiin niiden poistamiseksi tai pienentämiseksi. Vaarojen tunnistamisessa on myös otettava huomioon ihmisten vuorovaikeus koneen koko elinkaaren aikana, koneen mahdolliset toimintatilat sekä käyttäjän tarkoittamaton käyttäytyminen tai kohtuudella ennakoitavissa oleva koneen väärinkäyttö. (SFS-EN 12100;2010, 38-40)

## 5.2 Koneiden sähkölaitteistot

Koneturvallisuusstandardi (SFS-EN ISO 60204-1:2018,22) Koneiden sähkölaitteisto määrittelee nimensä mukaisesti erityisvaatimukset koneiden sähkölaitteistoille. Standardin mukaan myös koneen sähkölaitteiston vaaroista aiheutuvat riskit tulee arvioida samalla tapaa kuin edellisessä luvussa mainitussa riskien arvioinnissa. Standardi käsittelee hyvin laajasti mahdollisia vaaroja, erotuslaitteita, käyttöolosuhteita, liitäntöjä, johtimien poikkipinta-aloja, suojuuksia yms., mutta opinnäytetyön kannalta tärkeimpiä ovat kuitenkin standardin kohta kuusi: suojaus sähköiskulta. Standardi määrittelee, että sähkölaitteistossa tulee käyttää perussuojausta ja vikasuojausta. Perussuojauksella käytännössä tarkoitetaan, että jännitteiset osat ovat suojattu tai niille pääsy on estetty riittävän hyvin, jottei vahinkoa pääse tapahtumaan. Vikasuojauksella taas ehkäistään jännitteen vuotaminen sille alttiisiin osiin. Standardin mukaan

vikasuojaus voidaan tehdä joko estämällä vaarallisen kosketusjännitteen esiintymisen tai syötön automaattisella poiskytkennällä ennen kuin kosketusjännitteen vaikutusaika aiheuttaa vaaraa. Standardissa (SFS 6000-4-41:2017,7-9) annetaan suurimmat sallitut toimintavirrat ja poiskytkentä ajat vikasuojaukselle. Koska kyseessä on TN-järjestelmä ja käyttöjännite on 230 V, suurin sallittu poiskytkentä aika on 0,4 s ja suurin sallittu toiminta virta vikavirtasuojalle on 30 mA.

## 6 Testauspenkin suunnittelu

### 6.1 Suunnittelun lähtökohdat

Suunnittelun lähtökohtana toimi yrityksen vanha testauspenkki, joka ei enää vastaa yrityksen tarpeita (ks. kuvio 4). Testauspenkissä voimanlähteenä toimii sähkömoottori, joka pyörittää korkeapainepumppua ennalta määrätyllä kierrosnopeudella. Korkeapainepumppuun tuodaan normaalista vesijohtoverkosta vettä (n.4-4,5 bar), jonka paine nostetaan pumpun avulla n.70-80 bariin. Paineistettu vesi ohjataan paineenrajoitusventtiilin kautta viemäriin. Testauspenkissä on suoja toimintona painekeytkin, joka estää pumpun käyttämisen kuivana. Pumpun käyttäminen kuivana saattaa vahingoittaa tai rikkoa pumpun. Toimeksiantajan ensisijainen toive uudesta testauspenkistä oli, että pumppu tulee nostaa ylemmäs, jottei käyttäjän tarvitse kyykistellä tekemään pumpun kytkentöjä. Lisäksi mittareiden ja näyttölaitteiden sijoittelua tulisi miettiä paremmin.



Kuvio 4 Vanha testauspenkki

Vanhassa testauspenkissä moottori on sijoitettu hyvin alas, mikä huonontaa laitteen käytettävyyttä ja ergonomia huomattavasti, koska laitteen käyttäjän tulee kumartua alas tekemään tarvittavat kytkennät. Laitteen liikuttelu tapahtuu pumppukärryllä. Painemittarit ovat sijoitettu niille kohdille mihin ne ovat mahdollisimman helposti saatu asennettua. Laitteen käyttäminen tapahtuu sähkökaapin ovelta sijaitsevista kytkimistä. Työturvallisuuteen ei vanhassa laitteessa ole hirveästi kiinnitetty huo-

miota, sillä laite tuottaa hyvin korkean paineen putkistoon, mikä on aina letkujen rikkoontumisen takia riski. Vanhan testauspenkin lisäksi suunnittelun lähtökohtana toimii yrityksen työntekijöiden tarpeet ja toiveet mitä uudella laitteistolla halutaan saada aikaiseksi ja minkälaista dataa laitteesta halutaan kerätä.

Aluksi suunniteltavalle laitteelle määriteltiin vaatimuslista. Vaatimuslistaan kerättiin toimeksiantajan kanssa erilaisia vaatimuksia, jotka jaotellaan kiinteisiin- ja vähimmäisvaatimuksiin sekä toiveisiin.

#### **Kiinteät vaatimukset**

- Ulkomitat oltava enintään 900x1050x800
- Voimanlähteenä toimii 4kW moottori
- Laitetta on kyettävä helposti siirtelemään yksin
- Moottorin kierrosluku pitää olla helposti luettavissa ja säädettävissä
- Paine- ja virtausmittarit tulee olla helposti luettavissa
- Laite tulee olla helposti kytkettävissä sähköverkkoon
- Vesiliitännät tulee olla helposti kytkettävissä
- Osat ruostumatonta terästä
- Laitteen tulee olla turvallinen ja helppo käyttää
- Ergonomisesti mukava käyttää
- Laitteen pitää olla huoltoystävällinen

#### **Vähimmäisvaatimukset**

- Virtausmittarin asteikon tulee ylittää 100-1000 litraan tunnissa.
- Mittausasteikko paineelle vesijohtoverkon puolella tuli olla 0-20bar ja korkeapainepuolella 0-160bar.

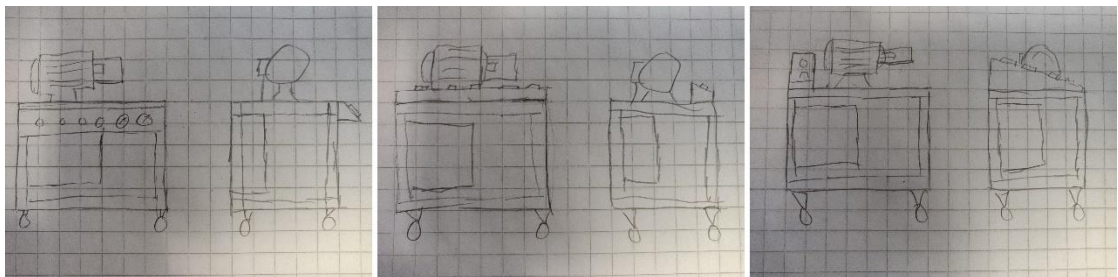
#### **Toiveet**

- Paine- ja virtausmittaukset mahdollisesti sähköisesti, jos se ei nosta liikaa kustannuksia

Laitteelle ei määritelty tarkkaa budjettia, mutta koska suurin osa laitteiston hinnasta koostuu sähkökomponenteista, tuli niiden valintaan käyttää erityistä huomiota ja esittää niistä erilaisia vaihtoehtoja toimeksiantajalle.

## 6.2 Konseptin kehitys

Koska uudessa testauspenkissä oli tärkeää ottaa työskentelyergonomia paremmin huomioon, oli pumppua pyörittävä moottori saatava nostettua korkeammalle, jotta tarvittavat kytkennät voitaisiin tehdä seisaaltaan. Lisäksi laitteen ohjauskomponentit olivat tärkeä sijoitella ergonomisemmin, jotta laitteen käyttö olisi mahdollisimman helppoa ja vaivatonta. Liikuteltava työskentelytaso, jossa sähkömoottori on nostettu suunnilleen vyötärön korkeudelle, todettiin heti toimivaksi vaihtoehdoksi, joten ohjauspaneelin sijoittelusta piirrettiin käsin muutamia luonnoksia, joita voidaan tarkastella alla olevasta kuvista 5. Luonnoksia esiteltiin toimeksiantajan edustajalle, joka hyväksyi niistä version, jossa ohjauspaneeli on asennettuna työskentelytason etureunaan. Pumppua pyörittävä sähkömoottori on sijoitettu työskentelytasolle, joka on nostettu suunnilleen vyötärön korkeudelle. Tason etureunassa on ohjauspaneeli, jossa sijaitsee kaikki tärkeimmät ohjainlaitteet, näytöt ja painemittarit. Rungossa on kiinni pyörät, joiden ansiosta pöydän liikuttelu on helppoa. Laitteen etureunassa olevan ohjauspaneelin ansiosta sähkökaappi ja putkistot voitiin kaikki sijoittaa tason alle.



Kuvio 5 Ehdotuksia ohjauspaneelin sijoittelusta

### 6.3 Järjestelmätason suunnittelu

Konseptin hyväksynnän jälkeen, voitiin aloittaa sopivien komponenttien kartoitus, joista olennaisimmat hankittavat komponentit olivat taajuusmuuttaja, sähkömoottori, paine- ja virtausmittarit, pyörät sekä muut sähköiset ohjainlaitteet. Yritykseltä löytyi varastosta valmiiksi laitteeseen asennettava jakotukki, kytkin, vesisuodatin sekä suurin osa tarvittavista korkeapainekomponenteista. Yrityksellä oli valmiiksi myös sopiva sähkömoottorin toimittaja, joten sitä ei tarvinnut lisätä tarjouspyyntöihin.

#### 6.3.1 Taajuusmuuttaja ja muut sähkökomponentit

Koska vaatimuslistaan kirjattiin, että moottorin kierrosnopeus pitää olla helposti luettavissa ja säädettävissä, oli luontevinta päätyä ohjaamaan moottoria taajuusmuuttajalla. Taajuusmuuttajan etuna toimii myös siitä saatavat tiedot käytön aikana kuten moottorin virrankulutus, teho ja kierrosnopeus. Niiden suurimpia valmistajia löytyy Suomen markkinoilta Schneider, ABB, Vacon ja Danfoss. Erilaisiin käyttötarkoituksiin suunniteltuja taajuusmuuttajia löytyy satoja, mutta nykyään jokaiselta valmistajalta löytyy internet sivuilta konfiguraattori, joka helpottaa sopivan laitteen valintaa huomattavasti. Taajuusmuuttajan tuli olla mitoitettu 4 kW moottorille ja koska se sijoitettaisiin asennuskoteloon IP-luokitukseksi riitti IP20. Optiona siinä tuli olla etäasennettava ohjauspaneeli. Sopivimmat vaihtoehdot ja niiden hinnat voidaan nähdä alla olevasta taulukosta 1. Taajuusmuuttajan hinta tarkistettiin kahdelta suurimmalta jälleenmyyjältä, joille yrityksellä oli jo tili avattuna.

Taulukko 1 Taajuusmuuttajien hintavertailu

Komponentit	Hinta yhteensä (€) Onninen	Hinta yhteensä (€) SLO
Vacon-20 4kW IP20 + ohjauspaneeli ja asennussarja	439	469
Danfoss VLT Micro Drive FC51 4kW IP20 + ohjauspaneeli ja asennussarja	447	420
Schneider Altivar ATV312 4kW IP20 + ohjauspaneeli ja asennussarja	664	-

Kuten yllä olevasta taulukosta 1 voidaan todeta. Edullisimmaksi vaihtoehdoksi valikoitui Danfossin VLT Micro Drive FC51 4kW IP20 ja jälleenmyyjäksi yritys nimeltä SLO. Taajuusmuuttajan lisäksi tarvittiin paljon muitakin sähkökomponentteja. Esimerkiksi sähkömoottori tarvitsee aina moottorinsuojakatkaisijan, jonka tehtävänä on suojella moottoria liian suureksi nousevalta virralta. Liian suuri virta aiheutuu yleensä moottorin akseliin kohdistuvasta liiallisesta kuormituksesta. Se mitoitetaan sähkömoottorin tyyppin ja nimellisvirran mukaan. Muita sähkökomponentteja laitteeseen tulee mm. ohjaukseen tarvittavia painikkeita, kytkimiä ja releitä. Kaikki sähkökomponentit, jotka tulivat asennuskotelon ulkopuolelle, ovat IP-luokituksestaan IP66, lukuun ottamatta taajuusmuuttajan ohjauspaneelia, joka on IP54. Kaikki sähkökomponentit ja niiden lopulliset hinnat voidaan nähdä liitteenä olevasta osaluettelosta.

### 6.3.2 Paine- ja virtausmittarit

Yksi työn haastavimmasta osuudesta oli löytää laitteeseen sopiva virtausmittari. Virtausmittareita löytyy markkinoilta huomattava määrä. Niitä on myös toimintaperiaatteiltaan paljon erilaisia ja monilla ovat omat asennusehdot luotettavan mittaustuloksen takaamiseksi. Erilaisia vaihtoehtoja virtausmittarille lähdettiin kartoittamaan lähtötietojen perusteella internetistä sekä kysymällä toimeksiantajalta neuvoa. Kartoituksen aikana selvisi, että etenkin virtausmittarin hintaan vaikuttaa huomattavasti sen paineenkesto, joten virtausmittari päädyttiin sijoittamaan vesijohtoverkon puolelle. Virtausmittareiden jälleenmyyjä löytyy netistä hyvin paljon ja niille harvoin annetaan suoraan hintoja, joten tarjouksia päädyttiin pyytämään kolmelta teollisuusautomaatioon erikoistuneelta yritykseltä. Tarjouspyyntöihin sisällytettiin virtausmittari, paineanturit sekä päätelaitteet, jonka avulla mittaustulokset saataisiin helposti luettaviksi. Tarjoukset ja niiden komponentit nähdään alla olevasta taulukosta 2, josta nähdään, että selvästi edullisin vaihtoehto oli yritys nimeltään Ifm electronic oy.

Taulukko 2 Antureiden kilpailutus

Jälleenmyyjä	Komponentit	Tarjottu hinta (€)
IFM electronics	Virtausanturi 20bar Paineanturi 0-20bar Paineanturi 0-160bar Starter kit IO-Link Master display	<b>737,5</b>
Amtele engineering	Paineanturi 0-20bar Paineanturi 0-160bar Virtausanturi 20bar	<b>2615</b>
OEM Finland	Paineanturi 0-20bar Paineanturi 0-160bar Virtausanturi 20bar 3xNäyttö IoT-moduuli	<b>953</b>

Ifm:n edullisuuden lisäksi kilpailijoihin nähden suurta lisäarvoa toi komponenttien IO-Link- tekniikka, jonka ansiosta asennus ei vaadi minkäänlaista ohjelmointia eikä erityisiä kaapelien kytkentöjä. Lisäksi IO-Link on suoraan kytkettävissä lähiverkkoon ja tietokoneeseen asennetun ohjelman avulla antureilta saadaan reaaliaikaista dataa vaikkapa toimistolta asti, kunhan tietokone on kytkettynä samaan lähiverkkoyhteyteen. Tietokoneohjelman avulla mittausdata voidaan suoraan viedä exceliin jossa mittaustuloksista voidaan piirtää esimerkiksi kaavioita havainnollistamaan pumpun tuottamaan painetta ja virtausta.

Sähkömekaanisten antureiden lisäksi tarjouksia kyseltiin myös täysin mekaanisista vaihtoehtoista. Mutta jo pelkästään mekaanisten virtausmittareiden hinnat vaihtelivat noin 200€-1000€, joten osat päädyttiin tilaamaan ifm electronics oy:ltä.

### 6.3.3 Pyörät ja värinänvaimennuskumit

Koska testauspenkistä haluttiin helposti liikuteltava ja sen lopullinen sijoitus tulee yrityksen verstaan tiloihin hyllyn alle, mistä se aina tarvittaessa vedetään esiin käyttöä varten, oli ilmeistä asentaa testauspenkki pyörien varaan. Pyörien valinnassa olen-



naista oli ottaa huomioon laitteen massa sekä mihin suuntaan laitetta halutaan liikuttaa. Koska verstaan sähkö- ja vesiliittymät löytyvät vastakkaiselta seinustalta, laitetta voi joutua liikuttelemaan myös sivuttaissuunnassa. Lisäksi lattiassa on viemäröinnin takia suhteellisen jyrkät kaadot. Edellä mainittujen seikkojen takia päädyttiin kuulalaakeroituihin vaunun pyöriin kääntölevyllä, joista laitteen etuosassa olevat pitää olla lukittavat. Myöskin pyörän halkaisijan tulisi olla vähintään n. 80mm, sillä verstaan lattialla voi olla joskus myös satunnaisia johtoja tai roskia. Sopivat pyörät löydettiin IKH:lta. Pyörän halkaisijaksi valikoitui 80mm ja yhden kantavuus on 90kg, joka laitteen arvioituun painoon nähden riitti varsin hyvin.



Kuvio 6 Pyörät ja värinänvaimennuskumit

Mahdollisen moottorin aiheuttaman värinän takia oli moottorille löydettävä myös sopivat värinänvaimennuskumit, jotka löytyivät samalta yritykseltä kuin pyörät. Vaimennuskumien valinnassa ei lähdetty sen erityisemmin laskemaan moottorin aiheuttamaan häiriötaajuutta yms., vaan kumit valittiin moottorin jalkaan tulevien ruuvien ja jalan leveyden perusteella.

#### 6.4 Riskien arviointi

Kun suunnitteluprosessi oli saatu siihen vaiheeseen, että tiedettiin käytettävät pääkomponentit ja niiden sijainnit voitiin laitteelle suorittaa riskien arviointi. Koska kyseessä oli suhteellisen pieni kohde, päätettiin suorittaa analyysi yrityksen edustajan kanssa kahdestaan. Riskien arviointiryhmä koostui siis suunnittelijasta ja asiakkaasta,

joten ryhmän voitiin olettaa olevan tarpeeksi perillä tarkasteltavasta kohteesta ja sen riskitekijöistä.

Riskien tunnistaminen tehtiin aivoriihellä, jonka avulla määriteltiin korkeimpien riskien aiheuttajat laitteessa. Laitteen korkein riski on voimanlähteenä toimiva sähkö, joka voi aiheuttaa jopa kuolettavan riskin, jos sähkötöitä ei ole tehty standardien mukaisesti ja sähköalan ammattilaisen toimesta. Seuraavaksi korkein riski on sähkömoottorin tahaton käynnistyminen, mikä voi aiheuttaa vaaratilanteita nopeasti pyörivän akselin tai pumpun tuottaman korkean paineen takia. Korkea paine putkistossa voi myös aiheuttaa letkun rikkoontumisen, mikä puolestaan voi johtaa jopa sokeutumiseen. Vähäisempiä riskejä ovat laitteen kaatuminen tai itsensä viiltäminen terävään särmään. Tunnistetuille riskeille saatiin laskennalliset arvot kertomalla riskin seurausten vaikutusten arvot niiden esiintymisen/todennäköisyyden kertoimella, mitkä voidaan nähdä taulukosta 4. Kertoimien ja arvojen selitykset nähdään taulukosta 3.

Taulukko 3 Riskien esiintymisen kertoimet ja seurausten vaikutusten arvot

Esiintyminen/Todennäköisyys:	Seurausten vaikutus:
0,1 Äärimmäisen epätodennäköinen, lähes mahdoton	1 Ei seurauksia
0,2 Hyvin epätodennäköinen, kuitenkin ajateltavissa	10 Naarmuja tai mustelmia
0,3 Epätodennäköinen	20 Haava, hankauma, huonoa oloa
0,4 Mahdollinen, mutta epätavallinen	30 Pieni luunmurtuma tai pienehkö sairaus
0,5 Tapahtuminen ja tapahtumatta jääminen ovat suunnilleen yhtä todennäköisiä	40 Suuren luun murtuma tai vaikea sairaus (parantuu) taikka pysyviä lievehköjä vammoja (pala pois sormesta, nivelen toiminta-alueen rajoittuminen tms.
0,6 Tapahtuminen ja tapahtumatta jääminen ovat suunnilleen yhtä todennäköisiä	50 kts. Edellinen
0,7 Todennäköinen, tapahtuminen ei ole epätavallista tai yllättävää	60 Raajan, silmän tai kuulon menetys taikka muita vastaavia pysyviä vammoja (mm. useamman sormen menettäminen tai niiden toimintakyvyn heikkeneminen)
0,8 Hyvin todennäköinen	70 kts. Edellinen
0,9 Tapahtuu lähes varmasti; tapahtumatta jääminen olisi yllättävää	80 Kahden raajan menetys tai sokeutuminen sekä muita vastaavia pysyviä vammoja (esim. halvaantuminen)
1,0 Tapahtuminen on varma	90 kts. Edellinen
	100 Kuolema tai hyvin vakavia vammoja (esim. pysyvä tajuttomuus (kooma) tai aivovaurio)
<b>Riskin arvot:</b>	
0,1...5,0 Vähäinen	Ei tarvita toimenpiteitä
6...15 Siedettävä	Ennalta ehkäiseviä toimenpiteitä ei tarvita. Valvonta ja seuranta
16...29 Kohtalainen	Riskien pienentämiseksi on ryhdyttävä määrääjässä. Tehokas valvonta
29...48 Merkittävä	Työtä ei pidä aloittaa tai jatkaa ennen kuin riskiä on pienennetty. Nopea korjaus
49...100 Sietämätön	Työtä ei pidä aloittaa eikä jatkaa ennen kuin riskiä on pienennetty. Pysyvä kieltö.

Taulukko 4 Tunnistetut riskit

KOHDE: Korkeapaineumpun testauspenkki		Tunnistettu riski			
SFS-EN 12100:		A = automaattitilo Ke kääntäjä H-huolto	Esilintyminen	Seuraukset	Riski
Vaaratekijä	Kohta:Tilanne				
Korkeapaineletku räjähtää	Korkeapaineletku räjähtää pumppua testattaessa	-	0,3	60	18 Kohtalainen
Jännitteellinen runko tai ohjauspaneeli	Työntekijä saa sähköiskun käyttäessä laitetta	-	0,4	100	40 Merkittävä
Koneen kaatuminen	Testauspenkkiä siirrettäessä kone kaatuu varpaiden päälle	-	0,3	30	9 Siedettävä
Terävät reunat	Työntekijä viiltää kätensä terävään reunaan pumppua kytkettäessä	-	0,7	20	14 Siedettävä
Sähkömoottorin odottamaton käynnistyminen	Sähkömoottori käynnistyy odottamattomasti sähkökatkoksen jälkeen	-	0,4	60	24 Kohtalainen

Riskien suuruuden arvioinnin jälkeen tuli miettiä toimenpiteitä niiden ehkäisemiseksi. Toimenpiteiden jälkeen riskeille laskettiin uudet arvot. Kun jäännösriskien arvot saatiin vähintäänkin siedettävälle tasolle, voitiin konetta pitää turvallisena käyttää. Toimenpiteet ja jäännösriskien arvot nähdään alla olevasta taulukosta 5.

Taulukko 5 Jäännösriskit

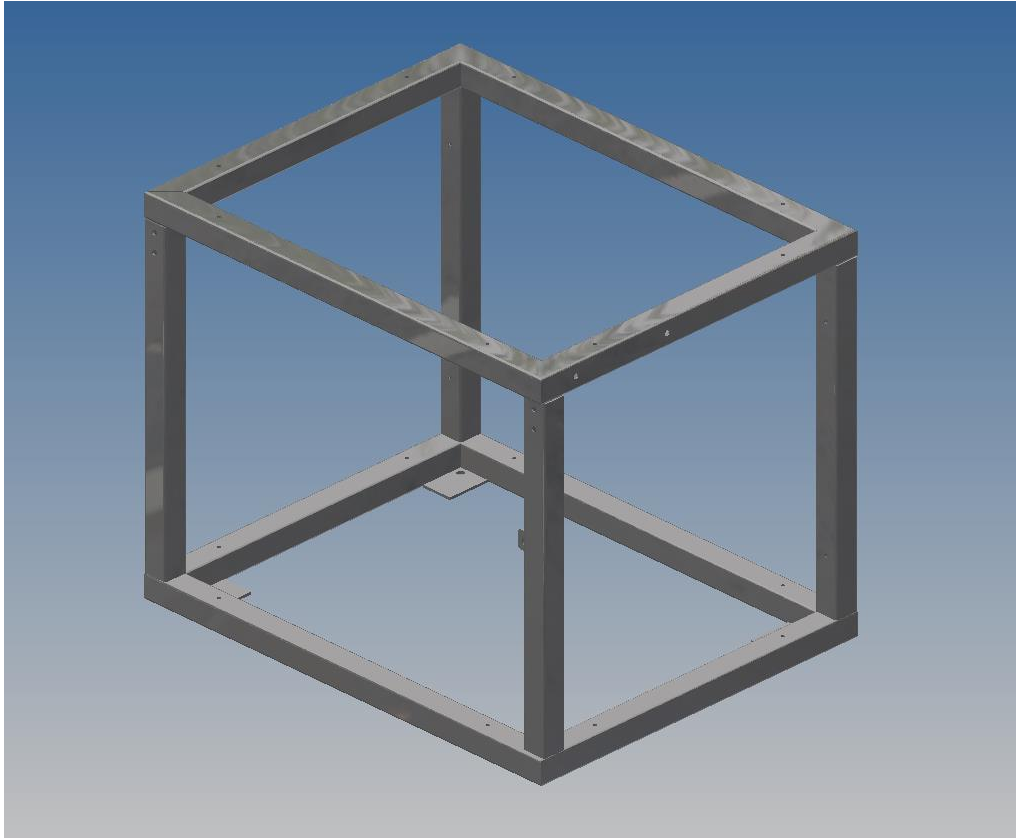
Jäännösriski				
Toimenpide	Esilintyminen	Seuraukset	Riski	
Suojakansi korkeapaineisten osien ympärille	0,1	60	6	Siedettävä
Vikavirtasuojakytkimen lisääminen keskukseseen	0,1	100	10	Siedettävä
Suojakenkien käyttäminen	0,1	30	3	Vähäinen
Viiltosuojarahanskojen käyttäminen tai terävien reunojen suojaaminen	0,4	20	8	Siedettävä
Taajuusmuuttajan käynnistäminen kontaktorin ja pitopiirin avulla ja taajuusmuuttajan ohjelmointi siten, että moottori ei käynnisty sähkökatkoksen jälkeen.	0,1	60	6	Siedettävä

## 6.5 Yksityiskohtien suunnittelu

Kun laitteen olennaisimmat komponentit saatiin valittua, aloitettiin laitteen detajisuunnittelu, joka jaettiin viiteen eri osa-alueeseen. Runkoon, paneeliin, suojakan-teen, työkalutelineeseen ja letkujen pidikkeeseen. Koska laitteen kanssa ollaan jatku-vasti tekemisissä veden kanssa, oli selvää valmistaa kaikki laitteen teräsosat ruostu-mattomasta teräksestä. Ruostumaton teräs on huomattavasti kalliimpaa jo ihan raaka-aineena kuin perus rakenneteräs mutta myöskin sen työstäminen vie enem-män aikaa ja vaatii monesti erikoistyökaluja sekä jälkikäsittelyjä, mitkä nostavat kus-tannuksia entisestään. Kuitenkin kun vaihtoehtoina korroosion välttämiseksi ovat joko maalaus tai sinkitys, on osien valmistaminen ruostumattomasta teräksestä po-tentiaalinen vaihtoehto, sillä maalausten ja sinkityksen aiheuttamat kustannukset nostavat lopullisen hinnan miltei samalle tasolle. Laitteen rakenne pyrittiin pitämään yksinkertaisena, jotta valmistettavat osat voitaisiin teetättää useimmissa alueen te-räspajoissa.

### 6.5.1 Runko

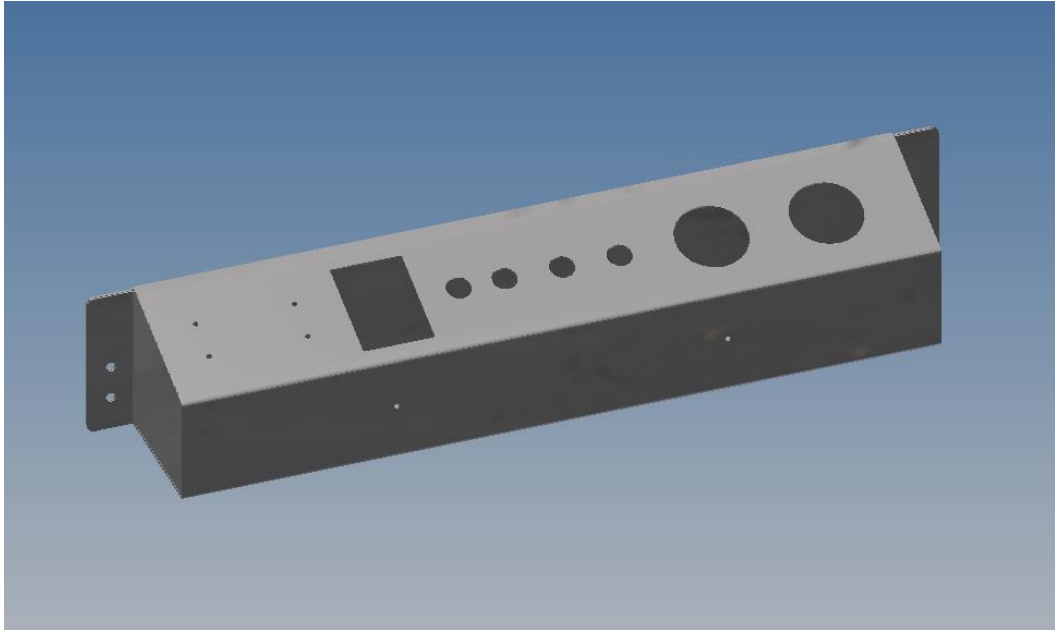
Runkomateriaalina yleensä tämän kaltaisissa ratkaisuissa toimii putki ja parhaimmat vaihtoehdot olivat joko pyöreä-, suorakaide-, neliö- tai L-profiili. Koska kyseessä oli kuitenkin hyvin yksinkertainen rakenne ja laitteeseen oli tarkoitus suunnitella tasoja, joihin komponentit kiinnitettäisiin, päädyttiin mitoiltaan 40x40x2 neliöputkeen. Ne-liöputken etuja ovat sen symmetrinen muoto ja tasaiset sivut, joiden ansiosta levyjen ja muiden osien kiinnittäminen joka suunnasta onnistuu suhteellisen helposti. Run-golle tehtiin skeleton- malli, jonka ansiosta mittojen muuttaminen jälkeinpäin onnis-tuu varsin kätevästi. Alla olevasta kuvioista 7 nähdään laitteen runko kokonaisuudes-saan. Runkoon lisättiin tarvittavien reikien lisäksi myös kiinnityslevyt renkaille sekä viemäriinjan liittimelle. Renkaiden kiinnityslevyt toimivat samalla myös varauksena lisäpaino-levyn lisäämiselle, jos laitteen laitteesta olisi tullut liian hutera sähkömoot-torin aiheuttaman korkean painopisteen takia.



Kuvio 7 Rungon 3D-malli

### 6.5.2 Ohjauspaneeli

Laitteen olennaisin suunniteltava osa oli etureunaan kiinnitettävä ohjauspaneeli, johon tarkoituksena oli sijoittaa kaikki tärkeimmät hallintalaitteet, mittarit ja näytöt. Paneelin suunnittelussa oli tärkeää ottaa huomioon sen käyttöergonomia, mikä vaikuttaa komponenttien sijoitteluun sekä paneelin muotoon. Paneelin käyttötaso tehtiin hieman kaltevaksi, jotta mittalaitteet osoittavat suoraan käyttäjään. Lisäksi kalteva pinta ehkäisee käyttäjää laittamasta työkaluja tai tarvikkeita ohjauslaitteiden päälle. Paneeliin suunniteltiin myös valmiiksi kaikki tarvittavat reiät komponenttien valmistajien antamien mittojen mukaisesti (ks. kuvio 8).



Kuvio 8 Ohjauspaneeli

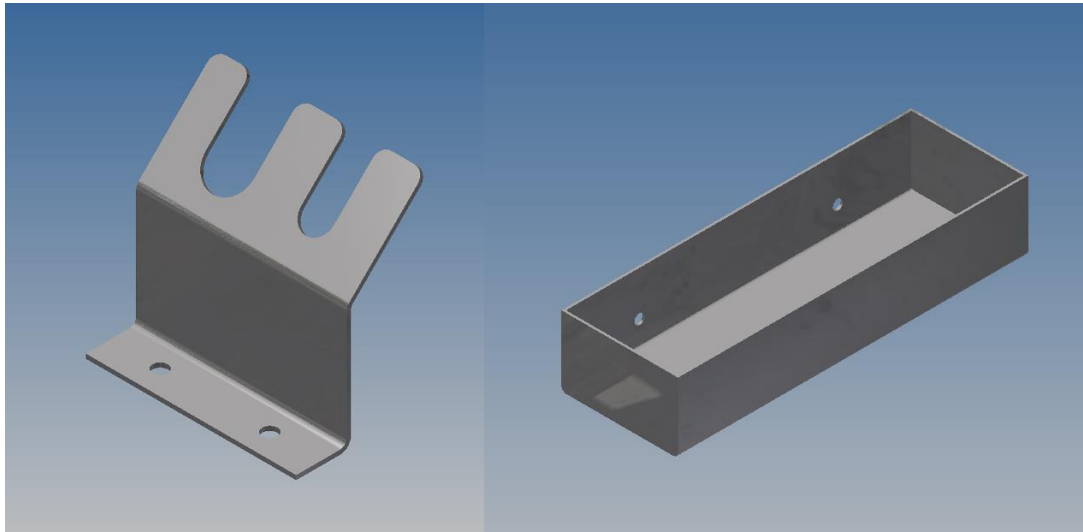
### 6.5.3 Tasot ja seinät

Laitteen taso- ja seinämateriaaliksi oli tärkeää löytää hyvin kosteutta ja kulutusta kestävä levy. Luonnollisesti kestävin ratkaisu olisi ollut valmistaa osat ohutlevystä, mutta se olisi lisännyt kustannuksia ja pienentänyt käyttömukavuutta, sillä ohut teräksinen taso resonoi moottorin kanssa paljon herkemmin kuin paksu vanerilevy, joten laitteessa päädyttiin käyttämään tasoina ja seinämateriaalina 18mm paksua filmivaneria, joka on edullinen, hyvin kulutusta ja vaihtelevia sääolosuhteita kestävä rakennusmateriaali.

### 6.5.4 Työkaluteline ja letkujen pidike

Työkalutelineeksi suunniteltiin hyvin yksinkertainen kouru, joka kiinnitettiin laitteen oikealle puolelle, missä työkaluilla on suurin tarve. Kourun mitat määräytyivät pumppuun asentamiseen tarvittavien työkalujen äärimitoista. Lisäksi pumppuun kiinnitettävälle letkuille tuli suunnitella pidike, josta letkut ovat helposti saatavilla. Idea pidikkeelle syntyi maatalouskoneissa käytettävistä hydraulikkaletkujen pidikkeestä. Alla

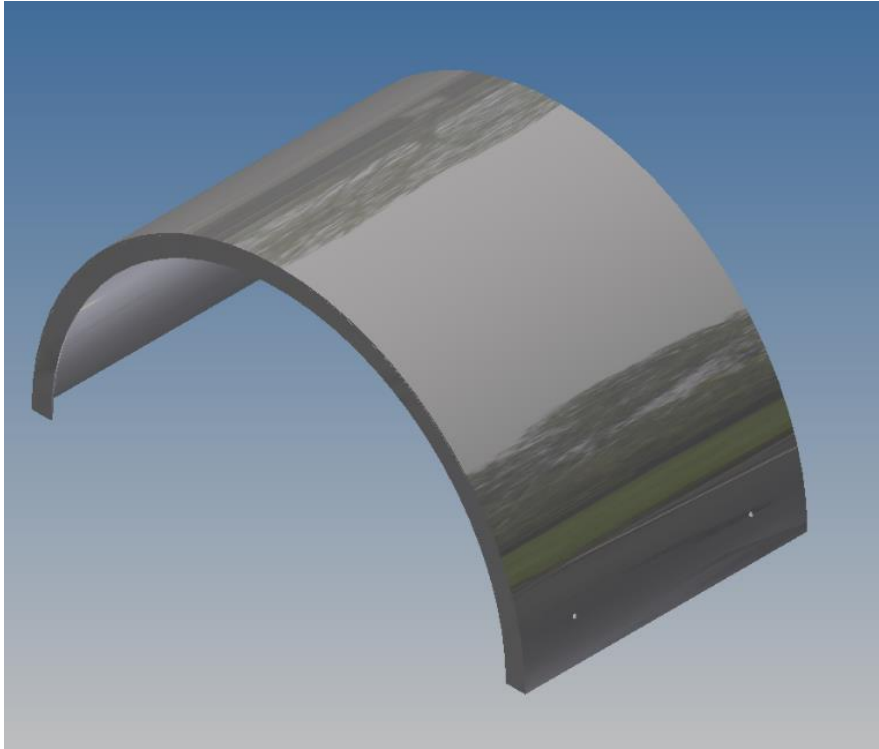
olevasta kuvioista 9, nähdään kyseisten osien kuvakaappaukset. Valmistusmateriaalina kummassakin osassa toimii 2mm vahvuinen RST-levy.



Kuvio 9 Letkujen pidike ja työkalu teline

#### 6.5.5 Suojakansi

Riskianalyysin pohjalta laitteelle tuli suunnitella myös suoja ehkäisemään mahdollisista letkujen rikkoontumisesta aiheutuvia vahinkoja. Tällöin nähtiin riittäväksi kun suojakansi peitti alleen vain korkeapaineiset osat, jotka ovat käyttäjän välittömässä läheisyydessä. Itse pumppua ei käyttäjän tarvitse nähdä testaustapahtuman aikana, joten suoja päätettiin valmistaa samasta 2mm vahvuisesta levystä kuin muutkin laitteen osat. Alla olevasta kuvioista 10 nähdään kuvakaappaus suojakannesta.



Kuvio 10 Suojakansi

#### 6.5.6 Kytentäkaavio

Koska suurin osa laitteessa käytettävistä sähkökomponenteista oli valittu, tarvittiin sähköasennuksille kytkentäkaavio. Kytentäkaavion suunnittelussa tärkeitä huomi-  
oon otettavia asioita ovat:

- Sähkölaitteiden ominaisvirrat
- Käyttöjännite
- Tarvittavat suojalaitteet
- Johtimien poikkipinta-alat

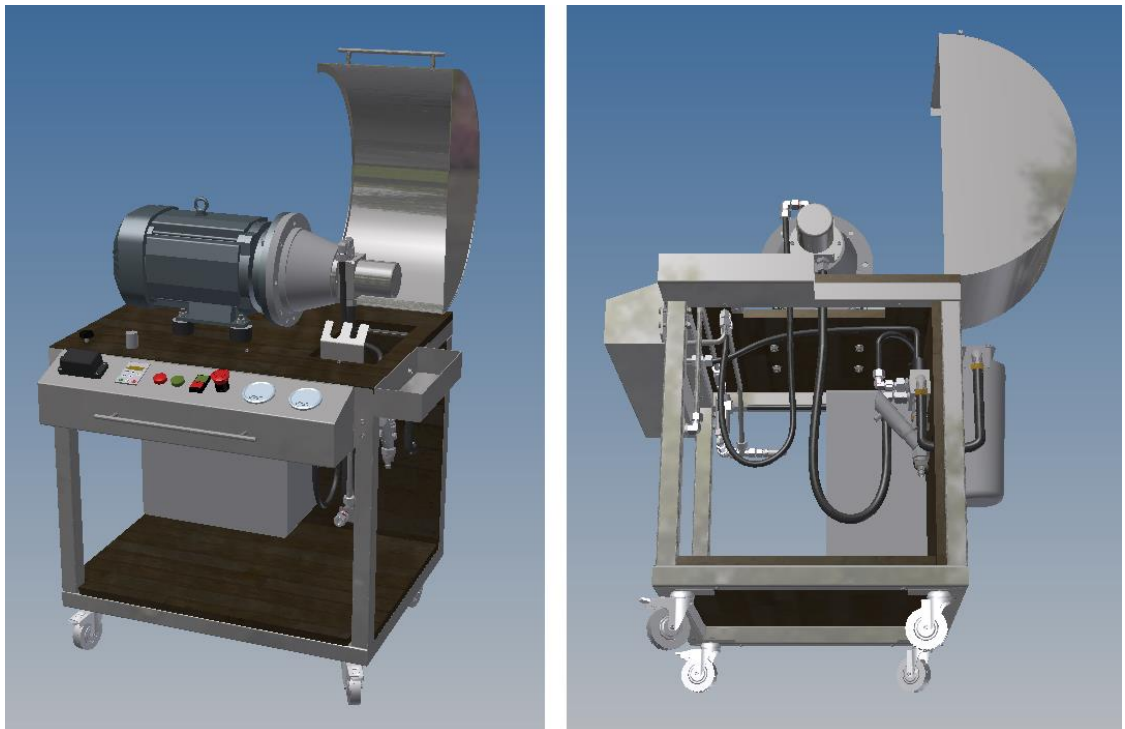
Taajuusmuuttajan ansiosta kytkentäkaaviosta ei tullut kovinkaan monimutkaista sillä kaikki moottorin ohjaukset toimivat sen kautta. Tahattoman moottorin käynnistymisen välttämiseksi taajuusmuuttajan käynnistäminen päätettiin toteuttaa siten, että käynnistyspainiketta painettaessa kontaktorille muodostuu pitopiiri ja taajuusmuuttaja käynnistyy. Pysäytyspainiketta painettaessa pitopiiri katkeaa, jolloin taajuus-



muuttaja sammuu. Pitopiirin ansiosta taajuusmuuttajalle ei palaudu virrat sähkökatkoksenkaan jälkeen. Ohjauspiirin syöttöjännite kulkee hätä-seis-painikkeen kautta, jota painettaessa kaikilta sähkökomponenteilta katkeaa jännite, mukaan lukien IO-link laitteet. Pumpun kuivana käyttämisen estämiseksi kaavioon lisättiin mekaaninen painekeytkin, joka estää laitteen käynnistämisen ennen kuin putkistossa on vesijohtoverkon paine. Sähkökaapin syöttö kytketään 16A voimavirtakaapelilla asennuskotelon kylkeen vasemmalle puolelle.

## 6.6 Suunnittelun lopputulos

Suunnittelutyön lopputuloksena oli valmiina konstruktio malli (ks. kuvio 11), johon on kasattuna kaikki laitteen komponentit. Lopullisen mallin pohjalta valmistettavista osista tehtiin konepajapiirustukset, joista tehtiin tarjouspyynnöt kolmelle lähialueen yritykselle. Tarjouspyyntöihin sisällytettiin osien hitsaus ja jälkikäsitteilyt. Halvin tarjous saatiin Kangasniemeläiseltä yritykseltä nimeltä Reifer Oy, jolta valmistettavat teräsosat lopulta tilattiin. Laitteessa käytettävät vanerilevyt tilattiin myös valmiiksi sahattuina Kodin Terra Oy:ltä.



Kuvio 11 Konstruktio malli testauspenkistä

Testauspenkissä antureiden näyttölaite ja taajuusmuuttajan ohjauspaneeli, jotka sijaitsevat ohjauspaneelin vasemmassa reunassa (ks. kuvio 11), sijoitettiin paineenrajoitus- ja virtausventtiilin välittömään läheisyyteen, sillä mitattua dataa tulee pystyä seuraamaan mahdollisimman vaivattomasti venttiileitä säädettäessä. Venttiileiden säätönupit upotettiin työskentely tasoon niiden rakenteellisista syistä. Laitteen käynnistysnupit ja hätä-seis-painike sijoitettiin paneelin keskiosaan, josta ne ovat helposti saatavilla käyttäjän käteisyydestä riippumatta. Työkaluteline sijoitettiin tason oikeaan reunaan, mistä työkalut ovat helposti saatavissa pumpun kytkemistä varten.

## 7 Laitteen kokoonpano

Osien saavuttua aloitettiin laitteen kokoonpanotyöt, jotka suoritettiin toimeksiantajan verstaalla. Kokoonpanotyöt ei sinällään kuulu opinnäytetyön luonteeseen, joten siitä kerrotaan vain hyvin lyhyesti. Työn sujuvuuden kannalta kokoonpanovaihe jaettiin kolmeen osa-alueeseen; rungon kokoonpanoon, putkitöihin ja sähkötöihin. Ensiksi kokoonpantiin laitteen runko ja kaikki siihen tulevat yksittäiset komponentit kuten pyörät, tasot, letkujen pidikkeet ja työkalukotelo.

Seuraavaksi kasattiin sähkökeskus, asennettiin sähkömoottori ja vedettiin kaikki tarpeelliset kaapeloinnit. Sähkökeskuksen rakennusvaiheessa huomattiin, että sähkökeskuksen mitoitus oli mennyt hieman pieleen. Koska taajuusmuuttajaa ohjataan etäkäyttöisesti, taajuusmuuttajan etuosaan tulee ohjauspaneelin sijasta kaapeli, jolla etäkäytettävä ohjauspaneeli yhdistetään taajuusmuuttajaan. Kyseisen kaapelin liitin olikin 90 asteen sijasta suora, mikä aiheutti sen, ettei sähkökaapin ovi mahtunutkaan enää kiinni. Sähkökaapin vaihtaminen ei enää tässä vaiheessa ollut vaihtoehto, joten taajuusmuuttaja päädyttiin asentamaan sähkökaappiin tavanomaisesta poiketen sivuttain (ks. kuvio 12). Laitteen kokoonpanotyöt sujuivat muuten ongelmitta.



Kuvio 12 Sähkökaapin komponenttien sommittelua

## 8 Testaus ja viimeistely

Laitteen toiminta tarkistettiin kytkemällä siihen käyttämätön korkeapainepumppu, jota käytettiin täydellä kierrosnopeudella. Kierrosnopeus nostettiin porrastetusti täyteen nopeuteen ja samalla kuunneltiin, ettei laitteesta kuulu mitään ylimääräisiä ääniä. Seuraavaksi pumpun tuottama paine säädettiin paineenrajoitusventtiilillä n.70 bar-paineeseen ja virtausnopeus säädettiin n. 5 l/min (ks. kuvio 13). Taajuusmuuttajan ohjauspaneelilta voidaan myös lukea sähkömoottorin teho ja virrankulutus rea-

liajassa, mistä voidaan kerätä vertailudataa tulevia testauksia varten. Normaalista korkeampi tai matalampi virrankulutus tai teho voi indikoida testattavan pumpun mahdollisista vioista.



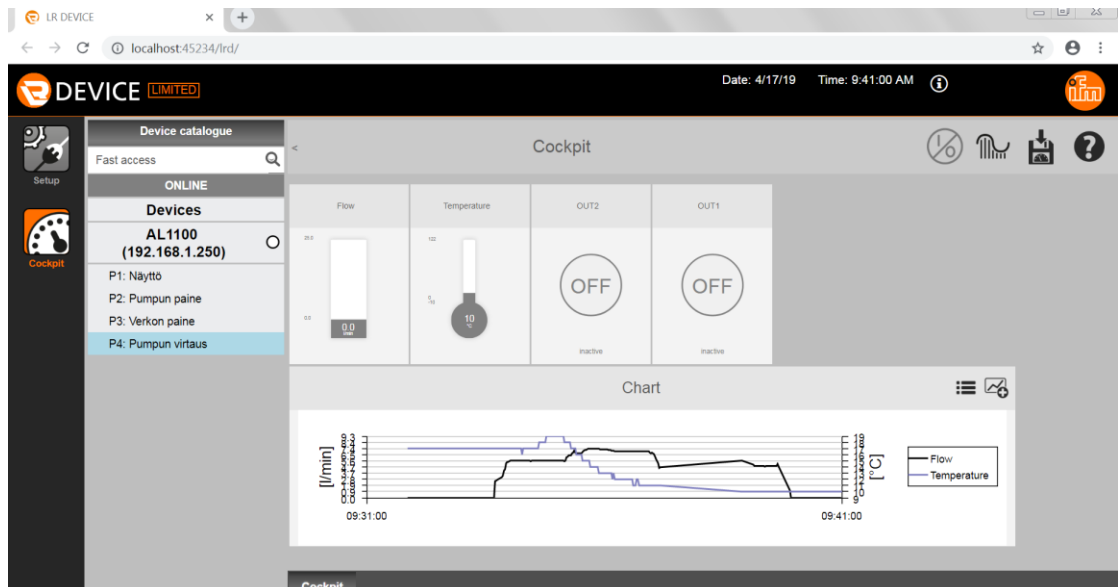
Kuvio 13 Ensimmäisen testauksen mittaustuloksia

Ensimmäisen testin jälkeen taajuusmuuttajan ohjelmointiin tehtiin pieniä muutoksia. Sähkömoottorin taajuudelle asetettiin minimiarvo, jolla sitä voidaan pyörittää, koska pumpun käyttäminen liian alhaisella kierrosnopeudella saattaa vahingoittaa pumpua. Toiseksi sähkömoottorin pyörimissuunta lukittiin, ettei pumpua voida käyttää väärinpäin sillä pumpun tarkoitus on pyörittää vain yhteen suuntaan.

Viimeiseksi IO-Link laitteeseen kytkettiin tietokone ja ohjelmiston toiminta testattiin (ks. kuvio 14). IO-Link laitteen mukana tulleella parametointi- ja käyttöohjelmistolla, anturit voitiin nimetä ja niiden mitaamat arvot saatiin muutettua suoraan excel-muotoon. Ohjelmisto piirtää myös graafista käyrää reaaliajassa valitulta anturilta (ks. kuvio 15).



Kuvio 14 Kannettava tietokone yhdistettynä testauspenkkiin



Kuvio 15 Ohjelmiston piirtämää käyrää virtausanturilta

Jotta pumpun testaamisesta saataisiin vertailukelpoista dataa, täytyi itse testaustapahtuma standardisoida. Testauksen standardisoimiseksi luotiin ohjeet, joiden avulla testaus tapahtuu aina samalla tavalla. Ohjeet voit nähdä liitteestä 2. Lopuksi testauspenkille luotiin myös käyttöohjeet, jotka löytyvät liitteestä 1.

## 9 Tulokset

Testauspenkistä tuli vaaditun mukainen kokonaisuus ja se saatiin toimimaan toivottulla tavalla. Vaatimuksena oli, että testauspenkin suunnittelussa otetaan työskentelyergonomia paremmin huomioon, laitetta olisi helpompi käsitellä sekä siitä oli kyettävä lukemaan pumpun tuottama paine ja virtaus selkeästi. Lisäksi sähkömoottorin nopeus tuli olla helposti säädettävissä ja luettavissa. Toiveena oli, että testauspenkistä saataisiin mittausdataa myös sähköisesti, jos se ei aiheuta liikaa kustannuksia. Kaikki edellä mainitut vaatimukset ja toiveet saavutettiin. Taajuusmuuttajan ansiosta testauspenkistä saatiin jopa toivottua parempaa mittausdataa, jota voidaan hyödyntää pumppujen kunnon arvioinnissa. Koska laitteen suunnittelun ja rakentamisen hoiti yksi ja sama henkilö, saatiin myös laitteen kustannukset pidettyä kohtuullisina.

## 10 Pohdinta

Työssä kehitettiin yritykselle uusi testauspenkki, jolla tuli pystyä todentaa yrityksen toimittamien ja huoltamien korkeapainepumppujen toiminta. Valmis testauspenkki täyttää työn alussa määritetyn vaatimuslistan jokaisen kohdan. Lisäksi testauspenkki suunniteltiin konedirektiivien ja standardien mukaisesti ja siihen kiinnitettiin CE-merkintä.

Laitteen rakenteeseen liittyviä asioita olisi työssä kannattanut arvioida systemaattisesti esimerkiksi pistearvioinnilla, milloin tehtyjä valintoja olisi voitu perustella paremmin. Tässä työssä oli kyseessä kuitenkin yksittäinen laite, joka räätälöitiin loppukäyttäjälle pitkälti loppukäyttäjän ja suunnittelijan kokemuksiin ja näkemyksiin perustuen. Tämän kehitystyön onnistumisen kannalta tärkeimpinä mittareina voidaankin pitää vaatimuslistaan asetettujen vaatimusten ja toiveiden toteutumista sekä toimeksiantajan tyytyväisyyttä lopputulokseen.

Ergonomisia suunnitteluperiaatteita arvioidessa voidaan olettaa ainakin osittain, että jos joku muu suunnittelisi saman laitteen, olisi siinä nostettu pumppua pyörittävä sähkömoottori ylemmäs, milloin pumpun kytkennät ovat ergonomisesti huomattavasti mukavampi tehdä. Myöskin ohjain- ja näyttölaitteet olisivat luultavasti sijoitettu lähelle toisiaan. Työn toteutukseen kuitenkin toi rajoitteita sille määritelty tilan tarve, mikä pakotti tekemään kompromisseja laitteen rakennesuunnittelussa.

Suunnittelijan näkökulmasta oli erittäin opettavaista päästä itse rakentamaan suunnitteleman laite, sillä kokoonpanon aikana tuli ilmi monia erilaisia asioita, joita olisi voinut ottaa suunnittelussa paremmin huomioon. Erityisen tärkeää työn onnistumisen kannalta oli löytää hyvät komponentit, koska jo pelkästään oikeilla komponentti valinnoilla voidaan saada huomattavia säästöjä kustannuksissa. Etenkin laitteeseen löydetyt IO-Link anturit helpottivat suunnittelu- ja kokoonpanotyötä, sillä antureita ei tarvinnut mitenkään ohjelmoida erikseen. Suunnittelun kannalta on myös tärkeää löytää mahdollisimman paljon tietoa käytettävistä komponenteista, ettei kokoonpanovaiheessa tule mitään yllätyksiä vastaan.

Vaikka lopputulos vastaa odotuksia, voidaan sitä kuitenkin pitää vasta prototyyppinä. Jos laite esimerkiksi haluttaisiin saada jälleenmyyntiin, tulisi sitä vielä jatkokehittää. Laitteeseen voisi esimerkiksi jättää työskentelytasolle enemmän tilaa kannettavalle tietokoneelle tai suunnitella sille erikseen teline. Tässä työssä ei kuitenkaan sellaista tehty, koska testauspenkki piti saada mahtumaan tiettyyn tilaan, joka toi rajoituksia laitteen ulkomittoihin. Lisäksi laitteeseen pitäisi löytää myös tilavampi sähkökaappi, johon tarvittavat komponentit saadaan sopimaan suunnitellusti.

## Lähteet

SFS-EN ISO 6385. 2016. Ergonomics principles in the design of work systems. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 25.04.2019. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

Ulrich, K & Eppinger, S. 2012. Product design and development. 5<sup>th</sup> ed. Singapore: McGraw-Hill Education. Viitattu 10.03.2019

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 2015. Koneturvallisuuden standardit. Esite. Viitattu 15.03.2019 <https://www.sfs.fi/files/63/Koneturvallisuusesite2015web.pdf>

SFS-EN ISO 12100. 2010. Koneturvallisuus. Yleiset suunnitteluperiaatteet, riskin arviointi ja riskin pienentäminen. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 02.02.2019. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-EN ISO 60204-1. 2018. Koneturvallisuus. Koneiden sähkölaitteisto. Osa 1: Yleiset vaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 14.04.2019. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

SFS-EN ISO 6000-4-41. 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 4-41: Suojausmenetelmät. Suojaus sähköiskulta Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Viitattu 25.03.2019. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

Jokinen, T. 2001. Tuotekehitys. Helsinki: Otatieto Viitattu 28.03.2019



## Liitteet

Liite 1. Käyttöohjeet

The logo for FRESHWIND is displayed within a blue rectangular box. The word "FRESH" is written in bold black uppercase letters, and "WIND" is written in bold white uppercase letters.

**Korkeapainepumpun testauspenkki**

**KÄYTTÖ JA HUOLTO-OHJE**

**2019**

**Sisällysluettelo**

Yleistä.....	3
Tekniset tiedot .....	3
Yleiset takuehdot .....	3
Turvallisuus.....	3
Toimintaympäristövaatimukset.....	3
Tunnistus .....	4
Testipenkin rakenne.....	5
Toiminta.....	7
Vikatilanteet .....	8
Huolto .....	8
<i>Päivittävät tarkastukset</i> .....	8
Kausittaiset tarkastukset (esim. 1 vuosi).....	8
Varaosaluettelo.....	9

## Yleistä

Testauspenkillä todetaan Danfoss Nessie sarjan korkeapainepumppujen toiminta, tarkkailemalla pumpun tuottamaa painetta ja virtausta. Laite on valmistettu laadukkaista sähkö- ja vesihydrauliikkakomponenteista. Varaosaluettelo erillisistä komponenteista löytyy tämän kirjasen lopusta.

## Tekniset tiedot

Sähköteho	4 kW
Jännite	230/400V
Kierrosnopeus	1440 rpm
Max tuotto	-
Max paine	160 bar
Toimintalämpötila	+3°C - +50°C
Tulevan veden laatuvaatimus	Talousvesi (esisuodatettu järvivesi)
Tulevan veden liitännä	Kuulapikaliitin liitinpesä ½" S/U
Tulevan veden min. Paine	1.6 bar
Lähtevän veden liitännä	10L
Lähtevän veden oletuspaine	70 bar

## Yleiset takuuehdot

Freshwind Oy vastaa että testauspenkki on kokoonpantu ja koekäytetty asianmukaisesti. Asennuksissa on käytetty laadukkaita ja luotettavilta valmistajilta hankittuja komponentteja.

Järjestelmää tulee käyttää painealueilla jotka on ilmoitettu eri komponenttien tiedoissa tässä ohjekirjassa. Väärin paineiden käyttäminen aiheuttaa komponenteissa mittavaa kulumista ja ennenaikaista rikkoontumista.

## Turvallisuus

Testauspenkki pystyy luomaan hyvin korkean paineen putkistoon, joka voi olla haitallinen ihmisille. On suositeltavaa käyttää soveliaista suojaruustusta käyttäessä ja huollettaessa järjestelmää.

- Veden tulo linjaan tulee katkaista ennen korjaustoimenpiteisiin ryhtymistä.
- Sähkökomponentteja saa asentaa vain sähköasentajan oikeudet omaava henkilö.

## Toimintaympäristövaatimukset

Freshwind testauspenkkiä tulee käyttää tiloissa, joissa ei ole jäätymisriskiä..

Testauspenkillä ajetaan Danfoss Nessie sarjan korkeapainepumppua, joka on suunniteltu toimimaan puhtaalla, suodatetulla hanavedellä (PAH) tai matalajohtavalla teknisellä vedellä (PAHT). Puhtaan suodatetun hanaveden raja-arvo on määritetty 10 mikrometriin, beta-arvo > kuin 5000.

Tämä tarkoittaa, että vesi on suodatettu niin, että 99,995 % kaikista yli 10 mikrometrin kokoisista epäpuhtauksista on suodatettu pois. Koska nesses pumput ovat vesivoiteltuja ja jäähdytettyjä, likaisemman veden käyttö johtaa eliniän lyhenemiseen ja takuun raukeamiseen.

Järjestelmän komponentit toimivat kuten suunniteltua, jos vettä voi tulla yhtä paljon tai enemmän kuin pumpun tuottoon tarvitaan. Pumpun sisääntulopaine on 0.9 – 5 bar. Riittämätön virtaus tai väärä paine aiheuttaa pumpulle vahinkoa.

Järjestelmä tulee ilmata kunnolla, jotta suojataan pumppu kavitaatiolta ja ylimääräiseltä käyntiääneltä. Riittämätön ilmaus aiheuttaa pumpun kavitaatiota ja vahinkoa. Nesses komponentit on tehty toimimaan veden lämpötilan ollessa +3 - +50 °C. Järjestelmän komponenttien toimiminen muunlämpöisellä vedellä voi aiheuttaa vahinkoa järjestelmälle.

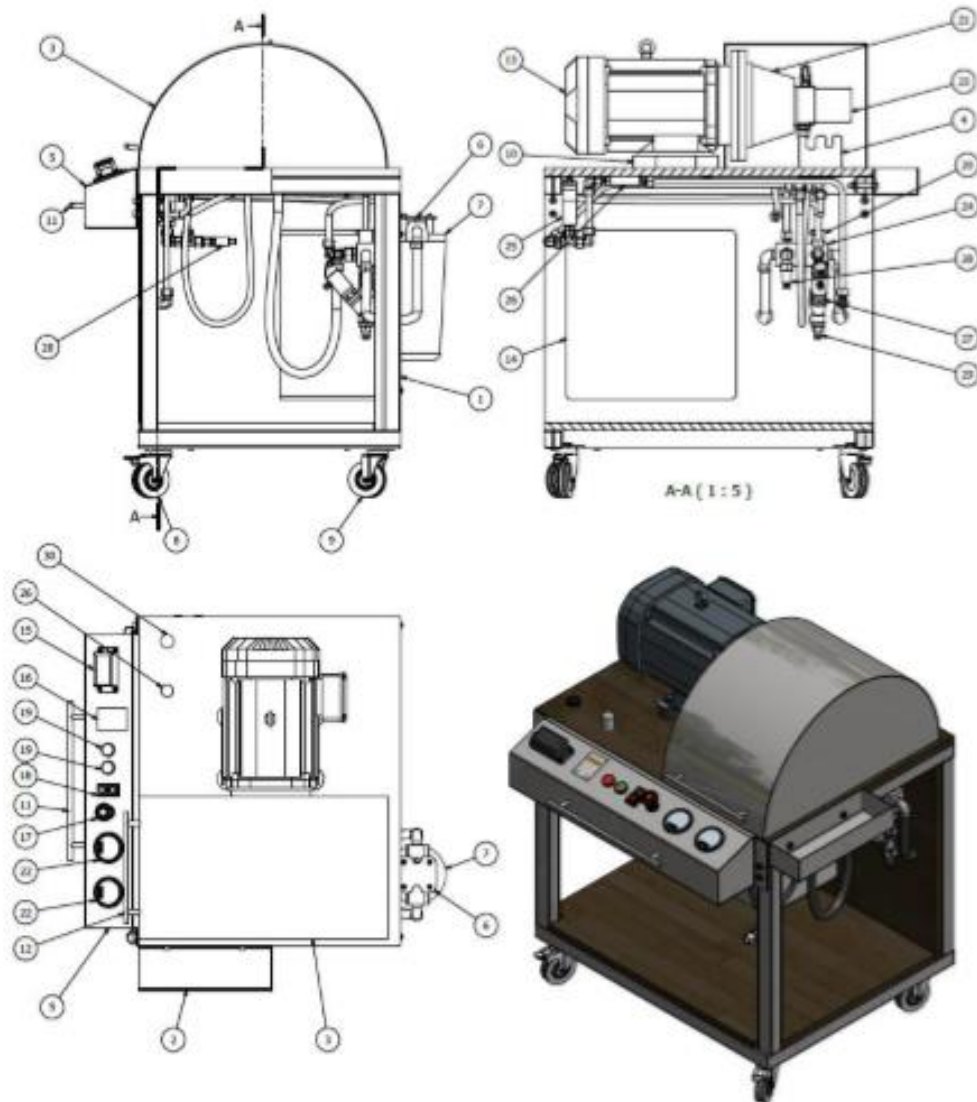
## Tunnistus

Freshwind testauspenkki on suunniteltu ja kokoonpantu Konedirektiivin 2006/42/EY mukaisesti ja laitteeseen on kiinnitetty CE-merkintä.



Nimilaatta ja CE-merkintä

Testauspenkin sähkökaapin ovesta löytyy nimilaatta, johon on kirjattu käyttöpaino, laitenumero, tuotto ja teho, lisäksi siitä löytyy valmistuspäivämäärä.

**Testipenkin rakenne**


Osanumero	Osa	Tyyppi
1	Runko	-
2	Työkaluteline	-
3	Suojakansi	-
4	Letkujen pidike	-
5	Paneeli	-
6	Suodatinkotelon jalka	10" / 20"
7	Suodatinpatruunakotelo	10"
8	Vaunun pyörä	Kääntyvä jarrulla 80mm
9	Vaunun pyörä	Kääntyvä 80mm
10	Lieriöeristin 50x40xM10	G 1/2"
11	Vetokahva	Tankovedin cello 288/358
12	Suojakannen kahva	Tankovedin cello 160/230
13	Sähkömoottori 4kW	TN112A/4 B5
14	Sähkökaappi	Rittal 380x380x210
15	Antureiden näyttö	IO-link master display
16	Taajuusmuuttajan ohjauspaneeli	Danfoss LPC11 IP54 – VLT Micro Drive FC51
17	Hätä-/seis-painike	Schneider
18	Kaksoispainike	Schneider
19	Merkkivalo vih./pun.	Schneider
20	Painekytin	Suco 230V IP65 1-10 bar
21	Kytinkotelo ja sakarakytkin	-
22	Inox-painemittari etulaipalla	0-25 bar/0-160 bar
23	Pumppu	-
24	Jakotukki	2 lohkoinen – 4 lähtöä
25	Paineenrajoitusventtiili	VRH 30 25 – 140bar
26	Virtausventtiili	¼"
27	Virtausanturi	IO-link
28	Paineanturi	IO-link
29	Kuulapikaliitin	½" UK
30	Paineenrajoitusventtiilin säätönuppi	M6

## Toiminta

Testipenkin vesiliitäntään kytketty vesijohtovesi kiertää 10 micronin suodattimen läpi, pumpun tuloliitäntään. Veden painetta, virtausta ja lämpötilaa seurataan paine- ja virtausantureilla. Sähkömoottori pyörittää pumpua taajuusmuuttajan ohjaamana. Pumppu tuottaa n. 70 bar:n korkeapaineveden, joka johdetaan virtausventtiilin kautta viemäriin. Laitteen käyttö tapahtuu seuraavalla tavalla:

1. Kytke laitteeseen testattava pumppu
2. Liitä laite sähköverkkoon
3. Liitä laite vesijohtoverkkoon
4. Ilmaa suodatin sen päällä olevasta punaisesta painikkeesta.
5. Ilmaa pumppu kiertämällä pumpun päällä olevaa kuusiokoloruuvia auki asentoon.
6. Säädä paineenrajoitusventtiili täysin auki ja virtausventtiili täysin kiinni.
7. Kytke tietokone ethernet kaapelilla IO-link- master yksikköön.
8. Käynnistä tietokoneesta parametrintiohjelmisto
9. Käynnistä taajuusmuuttaja kaksoispainikkeen vihreästä painikkeesta.
10. Käynnistä moottori taajuusmuuttajan ohjauspaneelin Auto On-painikkeesta
11. Säädä potentiometristä haluttu pyörimisnopeus.
12. Säädä paineenrajoitusventtiilillä haluttu paine, kiertämällä sen säätönuppia myötöpäivään.
13. Säädä virtausventtiilillä haluttu virtausnopeus.
14. Testauksen jälkeen lataa parametrintiohjelmistosta mittaustulokset XLS-tiedostomuodossa.

Testaupenkistä löytyvät myös analogiset mittarit sekä tulo että lähtöpaineelle, näiden mittareiden ja paineantureiden eroa on syytä seurata.

**PUMPUN KÄYNNISTÄMINEN ENNEN ILMAUKSEN SUORITTAMISTA VOI VAURIOITTA PUMPPUA. ILMAUSPISTEET NÄET ALLA OLEVISTA KUVISTA.**



## Vikatilanteet

Vikatilanne	Tehtävät toimenpiteet
Tulevan veden paine alle 1.6 bar	Vaihda absoluutti suodatin
Tulevan veden paine alle 0,5 bar	Tarkista suodatin/Tuleva vesilinja
Pumppu pitää käydessään nakuttavaa ääntä	Tarkista vesilinja ja ilmaa järjestelmä.
Pumppu ei nosta painetta	Tarkista pumppu ja paineenrajoitusventtiili
Pumppu ylikuumentunut	Tarkista ohjausventtiilien avautuminen / Tarkista pumpun ohjaus / Tarkista paineenrajoitusventtiili
Laitteessa palaa punainen valo, eikä sähkölaitteet käynnisty	Tarkista tuleva vesilinja/suodattimet
Laite ei käynnisty	Tarkista sulakkeet/moottorinsuojakytkin/hätä-/seis-painike

## Huolto

### Päivittäiset tarkastukset

#### 1. Vuotojen seuranta

Jos pumppauskaapin alle alkaa kertymään vettä, on syytä tarkistaa kaikki liitokset lisävahinkojen ehkäisemiseksi.

#### 2. Tulevan ja lähtevän veden paineen seuranta

Jos tulevan veden paine laskee alle 0,5 bar, on olemassa kavitaation tai muunlaisen pumpun vaurioitumisen vaara. Tästä syystä pumppua ei saa käyttää jos paine järjestelmässä laskee alle 0.5 bar.

#### 3. Sähkökaapin ympäristö

Tarkistettava ettei sähkökaapin alaosaan ole varastoitu tavaraa, joka estää ilman virtaamisen pumppauskaappiin.

### Kausittaiset tarkastukset (esim. 1 vuosi)

#### 1. Koneikon puhdistus

Koneikko ja sen ympäristö puhdistetaan, itse sähkökaappi voidaan pyyhkiä miedolla pesuaineella (maalattu kaappeja ei suositella pyyhittäväksi liuottimilla). Sähkökaapinaapin alaosassa on hengitysreikä, joka tulee jättää auki.



## 2. Suodattimen vaihto

Suodatin tulee vaihtaa vähintään kerran vuodessa. Suodattimena tulee käyttää koteloon sopivaa 10 micronin absoluuttisuodatinta. Veden tulo tulee katkaista ennen suodattimen vaihtoa.

Suodatin kotelo avataan kiertämällä koteloa vastapäivään, jonka jälkeen vanha suodatin poistetaan kotelosta. Kotelo on syytä huuhdella mahdollisten pohjalla olevien saostumien takia.

Uusi suodatinpatruuna säilytetään pakkauksessaan siihen asti, kunnes se voidaan asettaa kotelon sisälle. Uutta suodatinta vaihdettaessa tulee varmistua ettei ylimääräistä likaa pääse menemään suodatetun veden puolelle suodattimessa.

Kun uusi suodatin on asettu suodatinkotelon pohjalle, varmistutaan että kotelon ja jalan välisen liitoksen O-rengas on paikallaan ja voideltu vedellä. Tämän jälkeen suodatinkotelo kierretään myötäpäivään tiukasti kiinni.

Suodattimen vaihdon jälkeen avataan tulevan veden linja ja painetaan suodatinkotelon päällä olevasta punaisesta napista. Napin alta alkaa virrata ilmaa. Kun napin alta tulee enää pelkästään vettä, lopetetaan ilmaus ja aukaistaan pumpun tuloliittimen vieressä oleva kuusioruuvi. Kuusioruuvia pidetään auki niin kauan kuin reiästä tulee pelkkää vettä, jonka jälkeen ruuvi kiristetään tiukasti kiinni.

## 3. Liitosten ja läpivientien tarkistus

Testauspenkin putket ja liitokset on syytä tarkistaa vuotojen varalta ja tarvittaessa kiristää liittimet. Liitokset saa parhaiten tarkistettua, käyttämällä pumppua n.70bar:n paineella, milloin vuodot tulee selkeämmin esille.

## 4. Jälkitarkastus

Jos osia tai liitoksia on jouduttu avaamaan tai osia järjestelmään on jouduttu vaihtamaan, tulee muutaman tunnin käytössä olon jälkeen tarkistaa tehdyt liitokset ja tarvittaessa jälkikiristää. Tämä koskee etenkin moottorin kiinnitystä koska se tuottaa eniten värinää joka voi löystyttää liitoksia.

## Varaosaluettelo

Tässä järjestelmässä käytetyt osat ja varaosanumerot:

Osanumero	Osa	Tyyppi	Varaosanumero
1	Runko	-	2544-02
2	Työkaluteline	-	2544-03
3	Suojakansi	-	2544-04
4	Letkujen pidike	-	2544-05
5	Paneeli	-	2544-06
6	Suodatinkotelon jalka	10" / 20"	1769-006
7	Suodatinpatruunanpesä	20"	18020213
8	Vaunun pyörä	Kääntyvä jarrulla 80mm	XPS08024HJ

9	Vaunun pyörä	Kääntyvä 80mm	XPS08024H
10	Lieriöeristin 50x40xM10	G 1/2"	TT153550
11	Vetokahva	Tankovedin cello 288/358	500654102
12	Suojakannen kahva	Tankovedin cello 160/230	500654097
13	Sähkömoottori 4kW	TN112A/4 B5	A49154936
14	Sähkökaappi	Rittal 380x380x210	AE1380500
15	Antureiden näyttö	IO-link master display	E30443
16	Taajuusmuuttajan ohjauspaneeli	Danfoss LPC11 IP54 – VLT Micro Drive FC51	3884390
17	Hätä-/seis-painike	Schneider	XB4BS8445
18	Kaksoispainike	Schneider	XB4BL845
19	Merkkivalo vih./pun.	Schneider	XB5AV63/XB5AV64
20	Painekytin	Suco 230V IP65 1-10 bar	-
21	Kytinkotelo	-	-
22	Inox-painemittarit etulaipalla	0-25 bar/0-160 bar	0-25-63TGL/0-160-63TGL
23	Pumppu	-	-
24	Jakotukki	2 lohkoinen – 4 lähtöä	-
25	Paineenrajoitusventtiili	VRH 30 25 – 140bar	180G0030
26	Virtausventtiili	¼"	-
27	Virtausanturi	IO-link	SBG233
28	Paineanturit	IO-link	PV7001/PV7003
29	Kuulapikaliitin	½" UK	6421674
30	Paineenrajoitusventtiilin säätönappi	M6	-
31	Suodatinpatruuna	10 micron absoluuttisuodatin 20"	18020006
32	Välikaapeli	M12	EVC013
33	Sakarakytkin	Rotex 19 92 Shore	24mm/16mm/Oranssi
34	Taajuusmuuttaja	VLT-Micro Drive FC-51 4kW	3884384
35	Kontaktori	TESYS 12A 230V LC1D12P7	3860089
36	Moottorinsuojakatkaisija	TESYS GV2ME14 6-10A	3760038
37	Johdonsuojakatkaisija	IK60N 1x6A/C/6KA	3254476
38	Pistorasia	IPC Shuko 16A	2500314

## Liite 2. Pikaohje testauspenkille ja uusien pumppujen vertailuarvot

**Pumpun testaus suoritetaan seuraavalla tavalla:**

1. Kytke laitteeseen testattava pumppu
2. Liitä laite sähköverkkoon
3. Liitä laite vesijohtoverkkoon
4. Ilmaa suodatin sen päällä olevasta punaisesta painikkeesta.
5. Ilmaa pumppu kiertämällä pumpun päällä olevaa kuusiokoloruuvia auki asentoon.
6. Säädä paineenrajoitusventtiili täysin auki ja virtausventtiili täysin kiinni.
7. Kytke tietokone ethernet kaapelilla IO-link- master yksikköön.
8. Käynnistä tietokoneesta parametrotiiohjelmistö
9. Käynnistä taajuusmuuttaja kaksoispainikkeeseen vihreästä painikkeesta.
10. Käynnistä moottori taajuusmuuttajan ohjauspaneelin Auto On-painikkeesta
11. Säädä potentionmetristä haluttu pyörimisnopeus.
12. Säädä paineenrajoitusventtiilillä haluttu paine, kiertämällä sen säätönuppia myötäpäivään.
13. Säädä virtausventtiilillä haluttu virtausnopeus.
14. Testauksen jälkeen lataa parametrotiiohjelmistosta mittaustulokset XLS-tiedostomuodossa.

Pump size	2	4	6.3	10	12.5	
Code number	180B0024	180B0022	180B0023	180B0008	180B0007	
Code number ATEx	180B6124	180B6122	180B6123	180B6108	180B6107	
Housing material	AlSi 304	AlSi 304	AlSi 304	AlSi 304	AlSi 304	
Geometric displacement	cm <sup>3</sup> /rev in <sup>3</sup> /rev	2 0.12	4 0.24	6.3 0.38	10 0.60	12.5 0.75
Pressure						
Min. outlet pressure	bar/g	30	30	30	30	
Max. outlet pressure	psig	435	435	435	435	
Max. outlet pressure	bar/g	140	140	140	160	
Inlet pressure, continuous	psig	2030	2030	2030	2320	
	bar/g	0-4	0-4	0-4	0-4	
	psig	0-58	0-58	0-58	0-58	
Speed						
Min. speed, continuous	rpm	700	700	700	700	
Max. speed	rpm	1800	1800	1800	1800	
Typical flow - Flow curves available in section 5						
1000 rpm at max. pressure	l/min	1.0	3.2	5.6	8.4	11.0
1500 rpm at max. pressure	l/min	2.0	5.2	8.7	13.4	17.2
1200 rpm at max. pressure	gpm	0.4	1.0	1.8	2.7	3.5
1800 rpm at max. pressure	gpm	0.7	1.7	2.8	4.3	5.5
Typical motor size						
1500 rpm at max. pressure	kW	0.9	1.7	2.6	4.5	5.6
1800 rpm at max. pressure	hp	1.5	2.7	4.2	7.3	9.0
Torque at max. spec.	Nm	5.9	10.9	16.7	29.0	35.8
	lbf-ft	4.4	8.0	12.3	21.4	26.4
Media temperature	°C	2-50	2-50	2-50	2-50	2-50
	°F	36-122	36-122	36-122	36-122	36-122
Ambient temperature	°C	0-50	0-50	0-50	0-50	0-50
	°F	32-122	32-122	32-122	32-122	32-122
Sound pressure level <sup>1</sup>	dB(A)	76	76	76	75	75
Weight	kg	4.4	4.4	4.4	7.7	7.7
	lbs	9.7	9.7	9.7	17.0	17.0