



# Sulkupellin tiiveyden ja eristävyysparantaminen

Tuomo Kytönen

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2024

Konetekniikka

**Kytönen, Tuomo**

## **Sulkupellin tiiveyden ja eristävyden parantaminen**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2024, 41 sivua

Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### **Tiivistelmä**

Opinnäytetyön aiheena oli kehittää Sopvalmille tiiviimpi ja eristävämpi sulkupelti. Tavoitteena oli saada se täyttämään Standardin SFS-EN 1751 mukaan tiiviysluokka neljä. Kehittämisessä tuli kiinnittää huomiota tuotteen valmistettavuuteen ja kokoonpantavuuteen.

Työ tehtiin kehittämistutkimuksena. Tietopohjaa varten perehdyttiin tuotekehitykseen, DFMA-menetelmään ja sulkupellin tiiveyden testaamiseen standardin mukaan. Opinnäytetyön alussa perehdyttiin olemassa olevaan sulkupeltiin ja siihen, miten se valmistetaan. Alettiin suunnittelemaan uusia konsepteja ja niistä valittiin yksi, josta tehtiin prototyyppi. Prototyypin tiiveys testattiin Sopvalmin omalla testipöydällä ja todettiin, että se ei ole riittävän hyvä. Tämän jälkeen jatkettiin suunnittelua ja tehtiin vielä kolme prototyyppiä, joista kaksi olivat lopulta tarpeeksi tiiviitä, mutta muuta kehitystä nekin vielä vaativat.

Kehitystyön tuloksena saatiin toimeksiantajalle konsepteja, joilla nelosluokan sulkupellin voi toteuttaa ja testattua niitä. Saatiin selville kohteita, jotka tarvitsevat vielä lisää kehitystyötä ja joitakin ideoita saatiin myös karsittua pois. Valmiiseen tuotteeseen asti opinnäytetyössä ei päästy.

### **Avainsanat (asiasanat)**

sulkupelti, DFMA, tuotekehitys, 3D-mallinnus, prototyyppi, suunnittelu

### **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

-

**Kytönen, Tuomo**

### **Improving the tightness and insulation of the damper**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2024, 41 pages

Degree Programme in Mechanical Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

The topic of the thesis was to develop tighter and more insulating damper for Sopvalm. The goal was to meet the tightness class four according to the SFS-EN 1751 standard. Attention needed to be paid to the manufacturability and assembleability of the product during the development process.

The work was conducted as development research. To build the knowledge base, product development, the DFMA method, and testing the tightness of the damper according to the standard were studied. At the beginning of the thesis, the existing damper and its manufacturing process were examined. New concepts were then designed, and one was selected for prototyping. The prototype's tightness was tested on Sopvalm's own test bench and found to be insufficient. Subsequently, further design work was carried out, resulting in three additional prototypes, two of which were ultimately tight enough but still required further development.

As a result of the development work, the client received concepts for class four damper and have some of them tested. Areas requiring further development were identified, and some ideas were also discarded. The thesis did not reach the stage of a finished product.

### **Keywords/tags (subjects)**

damper, DFMA, product development, 3D modeling, prototype, designing

### **Miscellaneous (Confidential information)**

-

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>4</b>
1.1	Työn tavoitteet ja rajaus .....	4
1.2	Sopvalm Oy.....	4
<b>2</b>	<b>Tutkimusmenetelmä</b> .....	<b>5</b>
2.1	Kehittämistutkimus .....	5
<b>3</b>	<b>Tietoperustaa</b> .....	<b>6</b>
3.1	Sulkupelti ASP-3 .....	6
3.2	Tuotekehitys.....	8
3.3	DFMA-periaate .....	9
3.3.1	Design for manufacturing .....	9
3.3.2	Design for assembly .....	10
3.4	Tiiviyden testaaminen .....	11
<b>4</b>	<b>Suunnittelu</b> .....	<b>13</b>
4.1	Vaatimuslista .....	13
4.2	Ideointi .....	13
4.2.1	Reunatiiviste .....	13
4.2.2	Säleet .....	14
4.3	Jatkokehitys.....	16
<b>5</b>	<b>Työn toteutus</b> .....	<b>18</b>
5.1	Ensimmäinen Prototyyppi .....	18
5.1.1	Valmistus.....	18
5.1.2	Tiiviyden testaaminen.....	24
5.1.3	Kehityskohteet.....	27
5.2	Lisää prototyyppejä.....	27
5.2.1	Valmistus.....	29
5.2.2	Tiiviyden testaaminen.....	36
5.2.3	Säleiden aukaisumomentti .....	38
<b>6</b>	<b>Pohdinta</b> .....	<b>39</b>
6.1	Eettisyys ja luotettavuus .....	39
6.2	Johtopäätökset ja Jatkotoimenpiteet .....	39
	<b>Lähteet</b> .....	<b>41</b>

## Kuviot

Kuvio 1. ASP-3 sulkupelti pyöreällä lähdöllä (Tuotteet n.d.) .....	7
Kuvio 2. Sulkupellin vuodon testaus (SFS-EN 1751, 22.).....	12
Kuvio 3. Tuplareunatiiviste.....	14
Kuvio 4. Pulttisäle.....	15
Kuvio 5. Ensimmäinen versio vetoniitillä kasattavasta säleestä.....	16
Kuvio 6. Toimiva koneisto .....	17
Kuvio 7. Säleen tuplatiiviste .....	17
Kuvio 8. P-profiili tiiviste .....	18
Kuvio 9. Tukipalat ja akselit ennen ja jälkeen hitsauksen.....	19
Kuvio 10. Säleessä tukipalat toksattuna ja eristevillat.....	20
Kuvio 11. Säle valmiina ja lisätyillä vetoniiteillä.....	20
Kuvio 12. Laserilla ja levytyökeskuksella leikatut keskilistat. ....	21
Kuvio 13. Pystyrunko keskilistalla ja tiivisteet paikoillaan. ....	22
Kuvio 14. Prototyyppi 1 säleet auki. ....	23
Kuvio 15. Prototyyppi 1 säleet kiinni. ....	23
Kuvio 16. Prototyyppi 1 säleet puoliksi auki. ....	24
Kuvio 17. Sopvalmin tiiviudentestauspöytä .....	25
Kuvio 18. Testipöydän mittarit.....	25
Kuvio 19. Prototyypin 1 parhaat tulokset .....	26
Kuvio 20. Uudet säleet .....	28
Kuvio 21. Protojen reunatiivisteet .....	28
Kuvio 22. Säleissä käytetyt tiivisteet.....	29
Kuvio 23. U-rauta ja tukipala säleessä. ....	30
Kuvio 24. Tiiviste säleessä paikallaan.....	30
Kuvio 25. Valmiit säleet.....	31
Kuvio 26. Reunatiiviste ja sen alla oleva lattarauta. ....	32
Kuvio 27. Tiivisteet säleiden päädyssä.....	33
Kuvio 28. Korokelista.....	33
Kuvio 29. Prototyyppi 2.....	34
Kuvio 30. Prototyyppi 3.....	35
Kuvio 31. Prototyyppi 4.....	35
Kuvio 32. Tiivistemassaa säleen päädyssä. ....	36
Kuvio 33. Prototyyppien 2 ja 4 tulokset.....	37
Kuvio 34. Aukaisumomentin testaus .....	38

**Taulukot**

Taulukko 1. ASP-3 sulkupellin koko- ja hintataulukko (Sulkupelti ASP-3 n.d.) .....	7
Taulukko 2. Tiiviysluokkien vaatimustaulukko (SFS-EN 1751, 42.) .....	12
Taulukko 3. Prototyypin 1 parhaat tulokset. ....	26
Taulukko 4. Protojen 2, 3 ja 4 tulokset. ....	37
Taulukko 5. Sulkupeltien aukaisumomentit .....	38

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tavoitteet ja rajaus

Nykyään kaikesta halutaan energiatehokkaampaa, joten myös toimeksiantaja yritys haluaa markkinoille tiiviimmän ja eristävemmän nelosluokan sulkupellin. Kilpailijoilta näitä löytyy jo, mutta jotta yritys pysyy kilpailukykyisenä, on heidän saatava se myös omaan valikoimaan. Jos rakennuksessa käytetään Tiiviimpiä sulkupeltejä, voi talvella lämmityksen tarve ja kesällä viilennyksen tarve vähentyä.

Työn tavoitteena on kehittää nykyisestä ASP-3 sulkupellistä paranneltu ASP-4 malli. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että sulkupellin tiiviste ratkaisut ja sälerakenne pitää miettiä uusiksi, jotta saadaan sulkupellin tiiveys nostettua standardin SFS-EN 1751 mukaan luokkaan neljä. Sulkupellin tiivisteet koostuvat reunatiivisteistä ja sälettiivisteistä. Samalla on tarkoitus parantaa tuotteen eristävyttä ja minimoida säleisiin tulevat kylmäsiilat.

Suunnittelutyön jälkeen on tarkoitus tehdä prototyyppisiä ja testata niiden tiivisy Sopvalmin omalla testauspöydällä. Sulkupellille oli tarkoitus myös tehdä kulutustesti ja kokeilla sen jälkeen tiivisy uudestaan, mutta opinnäytetyön tekemisestä loppui aika kesken. Ennen kuin nelosluokan sulkupeltejä voi alkaa myydä, pitää semmoinen käyttää virallisessa testissä Eurofins:llä, mikä on rajattu pois opinnäytetyöstä.

## 1.2 Sopvalm Oy

Opinnäytetyön aiheen toimeksiantaja yritys on Sopvalm Oy, joka on osa Maarla-Groupia. Sopvalm ohutlevytuotteiden nykyaikainen sopimusvalmistaja. Se on perustettu 2006 ja sijaitsee Viitasaaressa logistisesti hyvällä paikalla. Asiakaskunta koostuu monista eri tekniikan toimialojen toimijoista, kuten kalusteteollisuuden, teknologiateollisuuden, ajoneuvoteollisuuden ja talotekniikan sekä sähkötuotteiden toimijoista. Tämän mahdollistaa Sopvalmin laaja konekanta sekä pitkä kokemus alalta. Sopvalmin vahvuuksiin kuuluu laaja tuotesuunnittelu, levytuotteiden sekä erilaisten tuotekokonaisuuksien valmistaminen, pintakäsittely sekä kokoonpano. Sopvalmilla on siis mahdollista valmistaa tuote suunnittelusta valmiiksi asti. (Yritys n.d.)

Sopvalm on tarvittaessa asiakkaan tukena jo tuotteen suunnitteluvaiheessa, jotta tuotteesta saadaan mahdollisimman taloudellinen, laadukas ja se on valmistettavissa Sopvalmin resursseilla. Tuotekehitysohjelmina käytössä on Solid Edge ja Solid Works. (Sopimusvalmistus n.d.)

Levyjen leikkaus onnistuu 0,5–20 mm paksuille materiaaleille suurteholaserilla. Laserin leikkauksen jälki on korkealaatuista ja kappaleiden muodoissa ei ole rajoitteita. Levyjen leikkaamiseen käytetään myös levytyökeskuksia. Niissä on automaattinen materiaalinkäsittely, kierteiden teko ja muovaus. Puristinlinjat mahdollistavat jonotyökaluajon. Erillisellä merkkilaserilla voi valmistaa erilaisia mitta-asteikoita, opasteita tai laitekilpiä. Särmäystä varten käytössä on monta manuaalista ja robotisoitua särmäyssolua. Hitsauksessa käytetään tig, mig/mag ja robottihitsausta, joten rakenne- ja jaloterästen sekä alumiinin hitsaus onnistuu. Myös tuotteiden kokoonpano ja osto-osien hankinta onnistuu asiakkaiden tarpeiden mukaan. (Sopimusvalmistus n.d.)

Sopvalmin oma tuotevalikoima koostuu erilaisista IV-Kanavatuotteista ja Ruutikaapeista. IV-kanavatuotteisiin kuuluu erilaisia sulku- ja säätöpeltejä, Ulko- ja lumisuojasäleikköjä, suodatinkoteloita ja ulospuhallushajoittimia. (Tuotteet n.d.)

## **2 Tutkimusmenetelmä**

Tähän opinnäytetyöhön sopii hyvin kehittämistutkimus, koska kehittämistyössä on tarkoitus kehittää jotain asiaa tai toimintaa, (Kananen 2010, 159) mikä on nimenomaan tämän opinnäytetyön tarkoitus.

### **2.1 Kehittämistutkimus**

Kehittämistyö liittyy lähes aina käytäntöön. Opinnäytetyön taustalla on melkein aina ongelma, joka kaippaa ratkaisua. Siinä on taustalla ilmiö, prosessi tai asiantila, jonka halutaan työn jälkeen olevan paremmin. Kehittämisen kohde voidaan pukea ongelman muotoon. (Kananen 2012, 13.)

Opinnäytetyössä on aina oltava tutkimuksellinen ote. Teknisiin suorituksiin on aina mahdollista löytää tutkimuksellinen näkökulma. Kehittämistutkimus on lähellä kehittämistyötä, jota tehdään organisaatioissa toiminnan parantamiseksi. Yrity maailmassa on jatkuvasti muutoksia, mutta kuitenkin vain osa muutoksista on kehitystä. Kehittämistutkimuksen kohteita työelämässä voivat olla

esimerkiksi prosessit, toiminnot, tuotteet, palvelut tai asiantilat. Kaikkia edellä mainittuja kohteita kehitetään jatkuvasti organisaatioissa. Kehittämistyöstä tekee tiedettä se, että kehittämistyö dokumentoidaan ja käytetään tieteellisiä menetelmiä, jotka tuottavat uutta ja luotettavaa tietoa. (Kananen 2012, 20–21, Kananen 2010, 159.)

Kehittämistyössä on tarkoitus saada tietoisesti aikaan jotain parempaa. Tähän liittyy kysymyksiä, mikä on parempaa tai kehitystä ja kenen kannalta. Tulosta on siis kyettävä mittaamaan jotenkin, jotta voidaan olla varmoja paremmasta lopputuloksesta. Kehittämistyö edellyttää neljää asiaa: nykytilan kartoitusta, vaihtoehtojen etsimistä, tavoitteiden määrittämistä ja keinojen valintaa tavoitteiden saavuttamiseksi. Nykytilan kartoitus voi jo itsessään olla tutkimus, koska se vaatii tilanteeseen tai ilmiöön vaikuttaviin muuttujiin laajaa tutustumista. (Kananen 2010, 159.)

### 3 Tietoperustaa

#### 3.1 Sulkupelti ASP-3

Sulkupeltejä käytetään ilmanvaihtokanavien sulkemiseen kohteissa, joissa vaaditaan tiiviyyttä ja/tai lämmöneristystä. ASP-3 (kuvio 1) pellissä ei ole ollenkaan eristystä, joten sitä käytetään paikoissa, jotka vaativat pelkästään tiiviyyttä. ASP-3E sulkupellissä on mineraalivillaa säleiden sisällä eristeenä, joten se sopii paikkoihin, mitkä tarvitsevat myös eristystä. ASP-3EK:ssa on eristetty myös vaipan ympäryrs samalla mineraalivillalla. Vaipalla tarkoitetaan sulkupellin runkoa. Näiden sulkupeltien tiiviysluokka on 3 ja vaipan tiiviysluokka on C standardin SFS-EN 1751 mukaan. (Sulkupelti ASP-3 n.d.)



### Kuvio 1. ASP-3 sulkupelti pyöreällä lähdöllä (Tuotteet n.d.)

Sulkupellin runko on valmistettu tukevaksi kuumasinkitystä teräslevystä. Säleiden profiili on tehty jäykäksi ja säleet ovat nivelöity vastakkain kääntyviksi. Säleiden akselit ovat halkaisijaltaan 15 mm, säleiden välissä olevat tiivisteet ja reunatiivisteet ovat silikoniprofiilia ja akseleissa käytetyt muovilaakerit ja holkit ovat polyamidia. Vakiorakenteisten sälepeltien maksimi käyttölämpötila on +85°C. Tuotteet voidaan asiakkaan halutessa valmistaa myös haponkestävästä- ruostumattomasta- tai alumiinilevystä. (Sulkupelti ASP-3 n.d.)

Sulkupellit on mitoitettu käymään SFS 3281 standardin mukaisiin suorakaidekanaviin tai aukkoihin työntölistaliitoksella. Pyöreisiin kanaviin sulkupellit menevät SFS 3282 standardin mukaisella liitännäisyydellä, joka sisältää tiivisteet. Sulkupellistä on monia vakiokokoja. Korkeudet ovat välillä 200–2000 mm ja leveydet 300–2000 mm taulukon 1 mukaan. (Sulkupelti ASP-3 n.d.)

Alla olevassa taulukossa 1 L tarkoittaa leveyttä ja H korkeutta. Loput numerot ovat listahintoja jokaiselle koolle, esimerkiksi 1000x1000 sulkupelti maksaa 475 €.

### Taulukko 1. ASP-3 sulkupellin koko- ja hintataulukko (Sulkupelti ASP-3 n.d.)

H	L											
	300	400	500	600	700	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
200	135	148	171	195	218	240	260	276	307	329	362	391
300	173	192	205	222	240	255	274	302	334	362	420	457
400	192	208	223	240	255	274	296	329	363	394	455	497
500	222	240	260	279	299	318	344	366	403	450	494	562
600	240	260	276	299	318	355	375	403	460	505	559	618
800	282	296	316	341	368	400	436	473	512	559	631	696
1000	308	341	368	387	413	447	475	512	578	638	710	814
1200	353	381	420	450	480	510	552	604	670	749	814	945
1400	394	433	460	499	539	578	618	696	768	861	972	1077
1600	442	473	505	539	591	628	683	768	873	985	1077	1220
1800	473	512	539	596	633	683	749	854	985	1077	1220	1366
2000	512	552	591	637	683	749	880	985	1077	1220	1366	1443

## 3.2 Tuotekehitys

Tuotekehitys on erittäin tärkeää yrityksen menestymisen kannalta. Yrityksen on jatkuvasti huolehdittava tuotekehityksestä, muuten koittaa aika, kun yrityksen tuotteet ovat vanhentuneita, eikä enää mene kaupaksi. Tuotekehitys tarkoittaa toimintaa, jonka tavoitteena on kehittää uusi tai jollain tavalla parannella olemassa olevaa tuotetta. Se on monivaiheinen prosessi, joka käsittää tuotteiden etsimisen, markkinatutkimukset, tuotteen suunnittelun, optimoinnin ja valmistusmenetelmien kehittämisen. Tuotekehityksen tarkoituksena saattaa olla kehittää kokonaan uusi tuote tai sitten parannella vanhaa olemassa olevaa tuotetta, jotta siitä tulisi teknisesti aikaisempaa tuotetta parempi ja halvempi valmistaa. Asetetut tavoitteet on aina tarkoitus saada saavutettua niin hyvin kuin teknisesti ja taloudellisesti on mahdollista ja järkevää. (Jokinen 2010, 9–10.)

Tuotekehityshanke koostuu neljästä pääosasta, jotka ovat käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Käynnistämisympäristössä tehdään tutkimusta, kannattaako tuotekehityshanke. Selvitetään hankkeen kustannukset, markkinointinäkömät ja mahdolliset saatavat tuotot. Myönteisessä tilanteessa käynnistämisympäristö päättyy kehityspäätökseen. Luonnosteluvaiheessa tehdään kehitettävälle tuotteelle vaatimuslista. Tämän jälkeen aletaan etsimään ratkaisumahdollisuuksia. Näistä sitten valitaan huolellisesti paras, koska harvemmin on taloudellisesti järkevää lähteä vieämään useampaa ideaa eteenpäin. Kehittelyvaiheessa pyritään huomaamaan teknisesti ja taloudellisesti heikot kohdat ja korjataan ne. Pyritään optimoimaan kaikki mahdollinen jo valmiiksi, kuten raaka-aineet ja osien geometriat. Viimeisenä tulee viimeistelyvaihe, jossa tehdään työpiirustukset, osaluettelot, ohjeet ja muut viimeistelyt. Tähän vaiheeseen yleensä kuuluu myös prototyyppin valmistus, ellei kyseessä ole esimerkiksi paperikone. (Jokinen 2010, 14–17.)

Tuotteella tarkoitetaan teollisen toiminnan tulosta. Tuote voi olla monta eri asiaa, kuten tarvike, raaka-aine, palvelu tai tietoa. Lähes kaikki tuotteet sisältävät jotain oheisinformaatiota, kuten käyttöohjeet, jotka ovat osa tuotetta. Tuote on se asia, mitä yritys myy tai toisesta näkökulmasta, mitä asiakas ostaa. Asiakkaalle tuotteesta on hyötyä silloin, jos se täyttää asiakkaan odotukset ja hoitaa tehtävänsä. Tuotteet voi jaotella myös sen mukaan onko ne tarkoitettu yksityishenkilöille, eli kuluttajille, vai toisille yrityksille, vaikka osaksi jotain heidän tuotettansa. Tuote käsite on viime aikoina laajennettu käsittämään myös tuotteen ympärillä olevat asiat, kuten brändin, asiakastuen ja tuotemerkin. (Hietikko 2021, 19–20.)

### 3.3 DFMA-periaate

Design for manufacturing and assembly (DFMA), eli suomeksi valmistettavuus ja kokoonpantavuus, on tekniikka, jolla tähdätään vähentämään tuotteen valmistukseen meneviä kustannuksia heti suunnitteluprosessin alusta lähtien ymmärtämällä tuotteen valmistuksen ja kokoonpanon eri vaiheet (Kutz 2014, 56–57). Samaa tekniikkaa on käsitellyt myös Boothroyd, Dewhurst ja Knight (2011, 1). DFMA-prosessi koostuu kahdesta eri osasta, jotka ovat design for manufacturing (DFM) ja design for assembly (DFA). DFM:n tarkoituksena on tuotteen yksittäisten osien valmistuksen kehittäminen. DFA:n tarkoituksena on osakokoonpanojen ja lopullisen tuotteen kokoonpano prosessin parantaminen. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, 1.)

DFMA:n peruseriaate yksinkertaistettuna on tuotteessa olevien osien lukumäärän minimoiminen ja kaikkien osien suunnittelu siten, että niiden valmistus on mahdollisimman yksinkertaista ja myöhemmin kokoonpano on vaivatonta ja selkeää. On suositeltavaa yhdistellä osia ja prosesseja, mikä vähentää kokoonpanon aikaa ja kustannusta. (Kutz 2014, 56.) DFMA-periaatetta on suositeltavaa noudattaa ihan projektin alusta saakka, koska yli 70 % tuotteen lopullisista kustannuksista määrittyy tuotteen suunnitteluvaiheessa. Mitä myöhemmin tuotteen kehityksessä lähdetään tekemään muutoksia, sitä enemmän siitä yleensä tulee kustannuksia. Tästä syystä osien valmistus ja tuotteen kokoonpano on otettava huomioon projektin alusta alkaen. DFMA-periaatteen käyttö suunnittelussa lisää suunnittelun kustannuksia jonkun verran, mutta tuotteen kokonaiskustannuksessa saatu säästö on varmasti sen arvoista. (Boothroyd, Dewhurst & Knight 2011, 7–8; Kutz 2014, 57.)

#### 3.3.1 Design for manufacturing

Lempiäisen ja Savolaisen (2003) mukaan DFM sisältää kaikki menetelmät ja järjestelyt, jotka tekevät tuotteen valmistamisesta yksinkertaisempaa ja alentavat valmistuksesta aiheutuvia kuluja. Rajatummin voidaan sanoa, että DFM on systemaattinen tuotekehitysmenetelmä, joka käyttää suosituksiaan, tarkistuslistojaan, peruseriaatteitaan ja peukalosääntöjään auttamaan tuotekehitystiimiä suunnittelemaan tuote siten, että se olisi mahdollisimman helppo valmistaa. Tällä pyritään myös tekemään tuotteesta kaikin puolin parempi, mutta pääpaino on kuitenkin val-

mistuskulujen minimoinnissa, joka saavutetaan tekemällä yhteistyötä tuotekehitystiimin ja valmistustiimin välillä. (Lempiäinen ja Savolainen 2003, 13.) Hietikko (2021) on myös sitä mieltä, että suunnittelijan on hyvin tärkeää olla perillä osan valmistusmenetelmistä.

Hietikon (2021) mukaan suunnittelu tulisi aloittaa haastavimmista ja kalleimmista osista, jotta halvempien osien valmiiksi suunnittelun takia ei päädytä huonoihin kompromisseihin kalliimpien osien suhteen. On myös tärkeää muistaa uudelleenkäyttö, jos joku osa on jo suunniteltu aikaisemmin, on sitä aivan turha alkaa kehittämään uudelleen. Selvitä siis aina onko jotain vastaavaa tehty jo aiemmin. Sama pätee myös, jos osa on mahdollista korvata standardi komponentilla, on se järkevää tehdä.

DFM-menetelmään on olemassa paljon valmistusmenetelmäkohtaisia ohjeita ja muistilistoja, joita ei tässä tarvitse käydä läpi. Alle on kuitenkin listattu keskeisimpiä Hietikon (2021) osien suunnittelun yleisperiaatteita:

- Vältä vasen/oikea -kätisiä osia, eli suunnittele osat siten, että samaa osaa voidaan käyttää tuotteen molemmilla puolilla.
- Suunniteltujen osien tulee olla valmistettavissa käytössä olevilla ja standardoiduilla työstökoneilla ja työkaluilla.
- Suosi suunnittelussa standardi mittoja, jotta osien valmistuksissa voidaan käyttää varastokokoja ja koneistuksia ja muita työstöjä tulee mahdollisimman vähän.
- Ota huomioon kokonaisuus, sillä aina halvin osa ei ole edullisin tuotteen kokonaiskustannusten kannalta.  
(Hietikko 2021, 172–173.)

### 3.3.2 Design for assembly

Boothroydin ja muiden (2011,73) mukaan myös kokoonpantavuuden miettiminen tulisi aloittaa heti projektin alkumetreiltä saakka. Tärkein periaate kokoonpantavuudessa on Hietikon (2021) mukaan osien minimointi. Pois jätettyä osaa ei tarvitse suunnitella, valmistaa, testata, varastoida, jne. Jokaisen erillisen osan myötä kustannukset kasvavat eksponentiaalisesti. Osien vähentäminen johtaa todennäköisesti niiden monimutkaistumiseen, mutta esimerkiksi nykyään CNC-koneet saadaan ohjelmoitua niin tehokkaasti, että siitä ei todennäköisesti tule ongelmaa. Erillinen osa on välttämätön silloin, jos se täyttää jonkin kolmesta seuraavasta kriteeristä:

- Osan on liikuttava suhteessa muihin osiin.

- Osan on oltava syystä tai toisesta eri materiaalia.
- Osan pitää olla irrotettavissa huollon tai muun syyn takia.

(Hietikko 2021, 170–171)

Hietikko (2021) tiivistää osien vähentämisen lisäksi kokoonpantavuuden keskeisimmät peruseriaatteet seuraavasti:

- Osat pitää suunnitella siten, että niitä ei voi vahingossa asettaa paikalleen väärinpäin.
- Olisi suotavaa, että osat asemoituisivat itsestään.
- Osien olisi hyvä olla mahdollisimman symmetrisiä.
- Takertuvia, liukkaita, liian isoja tai pieniä sekä jollain tavalla vaarallisia osia tulisi välttää.
- Tuotteella pitäisi olla selkeä runko-osa, joka pysyy kokoonpanossa itsestään paikoillaan.

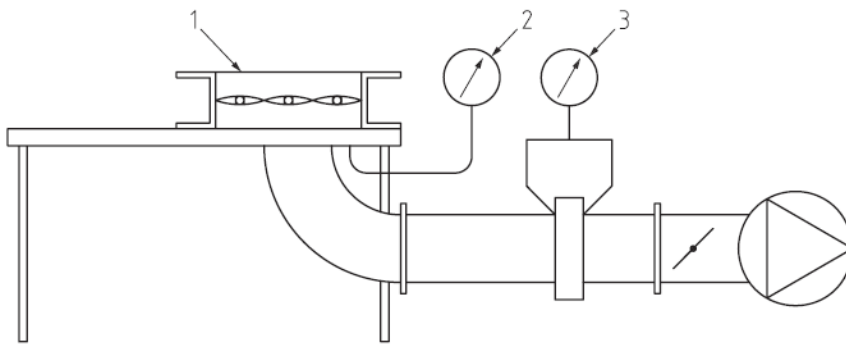
(Hietikko 2021, 170.)

### 3.4 Tiiviiden testaaminen

Sulkupellin tiiviys testataan standardin SFS-EN 1751 mukaan. Laitteen vuoto mitataan sen ollessa normaalikäyttöä vastaavissa olosuhteissa suljettuna. Sulkupellin säleet on käytettävä auki ja kiinni kymmenen kertaa ennen kuin testi tehdään. Kiinni asennossa laitteeseen tulee kohdistua valmistajan suosittelema vääntömomentti. Sulkupellin tiiveys voidaan testata joko tiiveydentestaus pöydällä tai liittämällä se sopivan kokoiseen kanavaan. Molemmissa tapauksissa on varmistettava, että liitokset on tiivistetty valmistajan ohjeen mukaan. (SFS-EN 1751, 12.)

Kuviossa 2 on esitetty tiiveydentestauspöytä ja sen osat. Se koostuu testattavasta laitteesta, eli tässä tapauksessa sulkupelistä, painemittarista, jonka letku lähtee pöydästä ja tilavuusvirtamittarista, josta tulee letkut molemmin puolin ilmastointiputkessa olevaan ilmanvirtauksen kuristuspaalaan. Taulukossa 2 on eri tiiveysluokkien rajat. Kuviossa D on luokka neljä ja tulokset tulee saada suoran vasemmalle puolelle. Y-akselilla on kanavapaine, joka asetetaan säätämällä moottori tiettyyn paineeseen testattavan sulkupellin säleiden ollessa auki asennossa. X-akselilla on ilmanvuoto-kerroin, mikä saadaan laskettua tilavuusvirtamittarin antamista tuloksista.

a) Laitteen vuoto

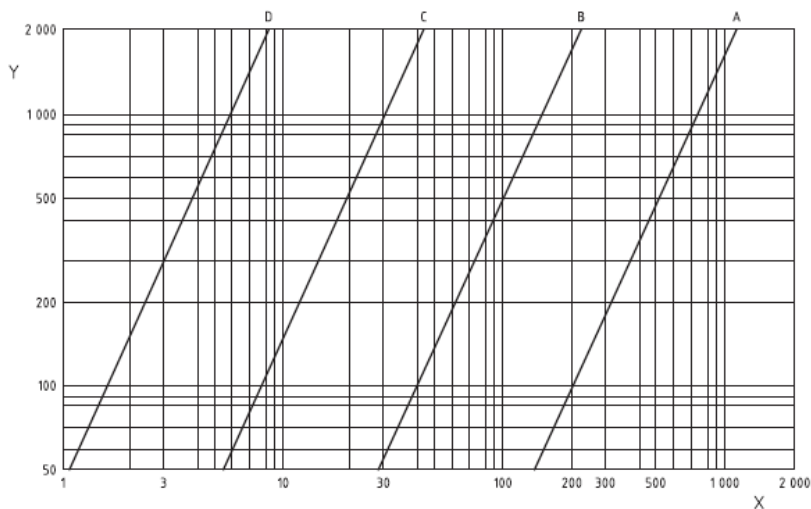


## Selite

- 1 Testattava laite
- 2 Painemittaus
- 3 Tilavuusvirtamittaus

Kuvio 2. Sulkupellin vuodon testaus (SFS-EN 1751, 22.)

Taulukko 2. Tiiveysluokkien vaatimustaulukko (SFS-EN 1751, 42.)



## Selite

Luokka 0, ei tiiveysvaatimusta

A Luokka 1

B Luokka 2

C Luokka 3

D Luokka 4

X Ilmavuotokerroin  $q_{vLBA}$  l/(s·m<sup>2</sup>)

Y Kanavapaine  $p_{s'}$ , Pa

Tiiveysluokan 1 laitteita käytetään säätöpelteinä suuntaamaan ilman virtausta haluttuun suuntaan. Tiiveysluokka 2 ei käytetä mihinkään. Tiiveysluokan 3 sulkupeltejä käytetään paikoissa, jotka vaativat tiiveyttä. Niitäkin voidaan joissain paikoissa käyttää säätöpelteinä. Tiiveysluokan 4 sulkupeltiä käytetään paikoissa, joissa vaaditaan hyvää tiiveyttä ja eristävyyttä.

## 4 Suunnittelu

### 4.1 Vaatimuslista

Kiinteät vaatimukset:

- Tiiveyden on oltava 4. luokan puolella.
- Säleen koko matkalle on saatava eristevillaa, lämmönläpäisykerroin noin  $2,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .
- Sulkupellistä ei saa lähteä ilmavirtauksen takia kovia ääniä missään asennossa.
- Tiivisteiden oltava kulutuskestäviä.
- Ei saa olla mitään koloja/rakoja mitkä keräävät iv-kanavassa liikkuvaa pölyä tai muuta roskaa.
- Tuotteen hinta pitää pysyä kilpailukykyisenä.
- Säleiden pitää olla niin jäykkiä, että ne kestävät myös 2000 mm pitkänä.

Vähimmäisvaatimukset:

- 1000x1000 sulkupellin avaukseen maksimissaan 10 Nm momentti.

Toiveet:

- Jos mahdollista, niin käytetään olemassa olevia osia.
- Mahdollisimman vähän uusia työkaluinvestointeja.

### 4.2 Ideointi

Ensimmäiset ideat kuten reunatiivisteiden kiinnittäminen tarralla tai muutamat liian monimutkaiset sälerakenteet hylättiin nopeasti. Näiden ideoiden avulla päästiin kuitenkin ajatustyössä vauhtiin ja alkoi syntyä parempia ideoita, joita oli kannattavaa miettiä pidemmälle. Ideoita on syntynyt ja muokattu paremmaksi keskustelemalla Sopvalmin IV- tuotantotyöntekijöiden ja suunnittelijoiden kanssa.

#### 4.2.1 Reunatiiviste

Tuplareunatiivisteessä akseleiden molemmille puolille tulee koko rungon matkalle tiivisteet. Molemmat tiivisteet kiinnittyvät keskilistaan, jossa on reiät akseleille. Toiselle puolelle tiivisteitä tulee toinen kiinnityslista. Listat kiinnitetään runkoon pistehitsaamalla. Tiivisteet ovat samaa tiivistettä mitä käytetään ASP-3 sulkupellissä. Akseleiden päälle tulevan muovilaakerin pitää mahtua tiivisteiden väliin, joten säleistä on tehtävä leveämpiä. Keskilistan reiät on mietitty siten, että listaa on

mahdollista käsitellä ilman että se taipuu, mutta tiivisteet tulevat mahdollisimman lähekkäin. Kuviossa 3 vasemmanpuoleisessa kuvassa pelkästään listat ja oikeanpuoleisessa myös tiivisteet näkyvillä. Tätä varten ei tarvitse hankkia uutta reunatiivistettä.



Kuvio 3. Tuplareunatiiviste

Toinen järkevän oloinen idea reunatiivisteelle on leveä tiiviste, johon tehdään reiät akseleille. Tällaista tiivistettä ei valitettavasti löytynyt valmiina, joten sellaisen tekoon tarvitsisi teettää työkalu. Tiivisteeseen tiivistävä osa olisi säleen päätypalan levyinen ja lähtisi siitä laskemaan alaspäin. Kiinnitys tapahtuisi pistehitsattavilla listoilla, joihin on särmätty sopiva kulma. Tiiviste olisi vähän paksumpi, kuin mitä rungon ja säleen väliin jää tilaa, mutta ei kumminkaan liikaa, jotta säleet liikkuisivat herkästi. Tiivisteelle pitäisi löytää sopiva materiaali, mikä kestää ja mitä olisi helposti saatavilla.

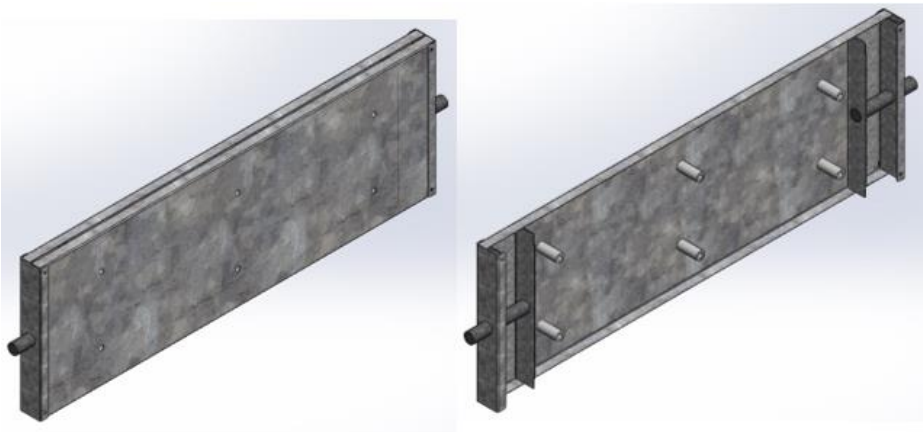
Tiivisteet voisivat mennä myös pelkästään säleessä. Pystyrunkoon tulisi ohutlevystä tehty korokke-pala keskelle, mitä vasten tiivisteet tiivistyisivät kiinni asennossa. Näin tiivisteet eivät koko liikkeen ajan ottaisi kiinni runkoon ja liike tapahtuisi kevyemmin. Päätymiiviste kiinnittyisi säleeseen jonkun näköisillä särmätyillä listoilla, jotka voisivat vaikka kiinnittyä samoilla vetoniiteillä, kun päätypalat.

#### 4.2.2 Säleet

Vanhoissa säleissä on käytetty toksausta ja vetoniittejä kokoonpanossa. Toksaus on levyjen liittämistä toisiinsa puristamalla. Koska nelosluokan sulkupellin säleiden on tarkoitus olla kokonaan

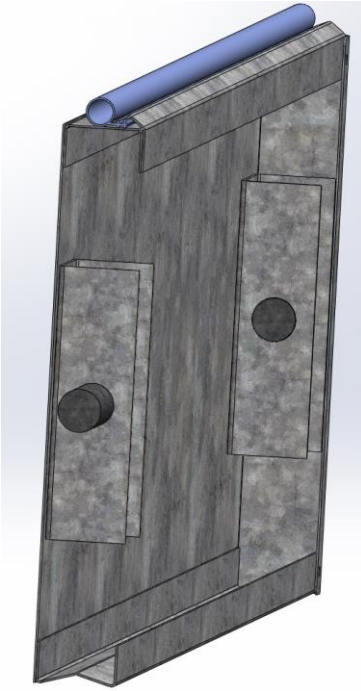
eristetyt, ei niiden kokoamisessa oikein voi hyödyntää toksausta tai pistehitsausta. Näissä molemmissa liitostavoissa tarvitsee olla levyt suoraan toisiaan vasten ja koneiden leuat tarvitsevat kuitenkin paljon tilaa.

Säleiden kasaus pulteilla tai puristeruuveilla (kuvio 4). Säleet ovat vain yksinkertaiset päistä taivutetut levyt, joiden väliin tulee muovista tehdyt holkit, joiden läpi laitettaisiin pultit. Sälepuoliskoja on mahdollista vahvistaa tekemällä niihin ylimääräiset kanttaukset, jos ne eivät ole tarpeeksi jäykät. Tiivisteet ujutettaisiin säleiden päistä paikalleen ja päädyt kiinnitettäisiin vetoniiteillä. Ongelmaksi tulee, miten holkit säleiden välissä saa pysymään paikoillaan ennen pulttien paikalleen laittamista.



Kuvio 4. Pulttisäle

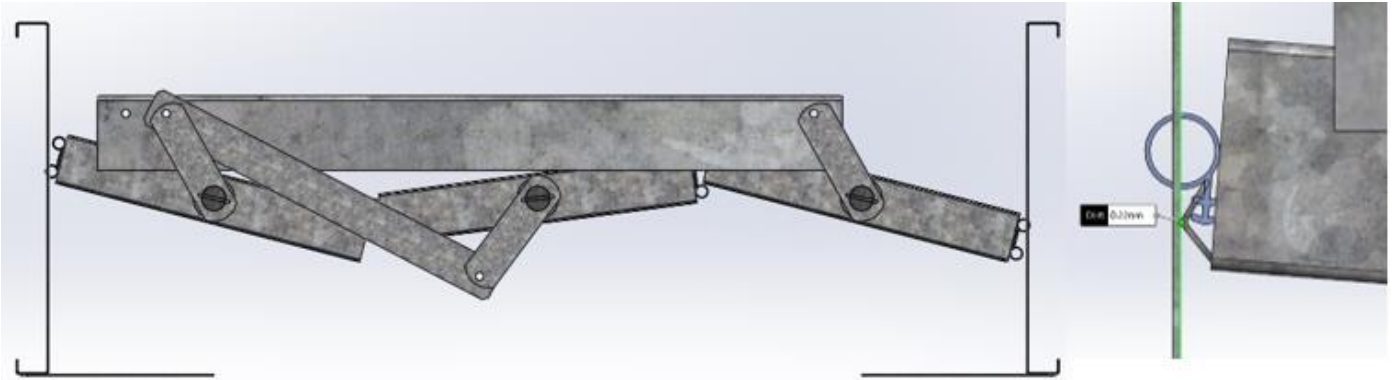
Säleet voisi myös koota kokonaan vetoniiteillä. Vetoniiteillä kasattava säle (kuvio 5) koostuu kahdesta suorasta levystä ja kannesta, johon laitetaan P-profiilitiiviste kiinni särmätyllä listalla. Pohjaan on särmätty syvennys, jota vasten tiiviste pääsee tiivistymään paremmin ja tiiviste ei ole kiinni asennossa niin painuksissa.



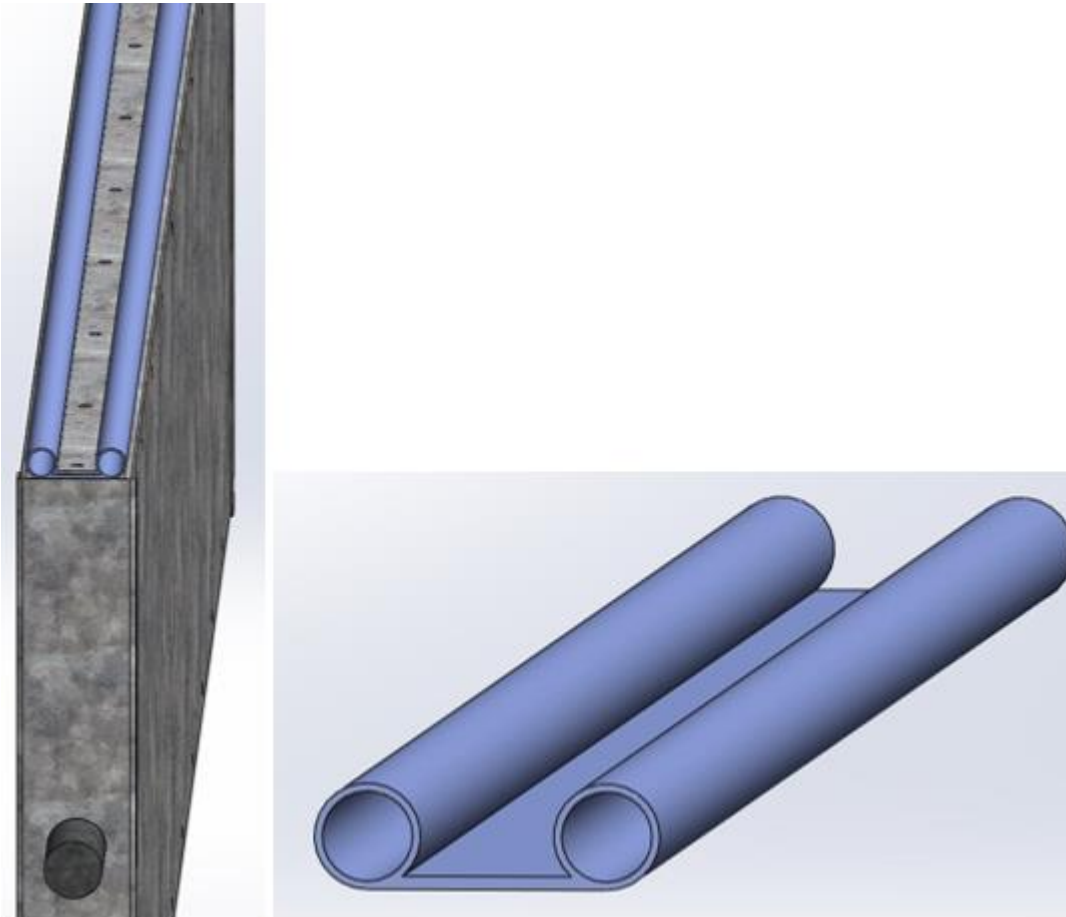
Kuvio 5. Ensimmäinen versio vetoniitillä kasattavasta säleestä.

### 4.3 Jatkokehitys

Jatkokehitykseen valikoitui vetoniiteillä kasattava säle, koska siinä ei suoraan ollut mitään ongelmaa ja se yhteisen pohdinnan jälkeen vaikutti järkevimmältä. Heti alkuun todettiin, että siinä on aivan liikaa osia. Päätettiin DFMA-periaatteen mukaan karsia turhia osia pois. Toinen säleen puolisko, kansi ja pohja voidaan särmätä yhdestä osasta. Tehtiin malli, jossa oli toimiva koneisto, että pystyy tutkia mahtuvatko säleet aukeamaan ja kuinka paljon tiivisteet menevät kasaan. Tässä huomattiin, että P-profiilitiivistettä pitävä lista on aivan liian lähellä sulkupellin runkoa (kuvio 6). Tarpeeksi pientä listaa ei oikein ole mahdollista särmätä. Pienin mahdollinen särmäys on noin 5 mm. Samalla huomattiin, että kun reunatiivisteenä käyttää tuplatiivistettä, niin säleiden tiivisteiden kohdalle jää raot. Näin ollen päädyttiin tekemään myös säleeseen yhtenäinen tuplatiiviste (kuvio 7). Näin ei jää rakoa ja tiivisteen kiinnitys listaksi riittää särmäämätön pelti lista, jonka kiinnitys tulee tiivisteiden läpi vetoniiteillä.



Kuvio 6. Toimiva koneisto



Kuvio 7. Säleen tuplatiiviste

## 5 Työn toteutus

### 5.1 Ensimmäinen Prototyyppi

#### 5.1.1 Valmistus

Prototyyppi tehtiin yhdessä iv-tuotannon työntekijöiden kanssa. Prototyypin tarkoituksena oli katsoa, toimiiko suunnitellut tiivistetyypit ja sälerakenne. Muuten sulkupellissä käytettiin oikeita osia, mutta säletiiivisteet olivat kaksi P-profiili tiivistettä (Kuvio 8). Sitä sattui tiivistetoimittajalla olemaan valmiina, joten sillä kokeiltiin, onko sen tyylinen tiiviste järkevä. Näin ei ensimmäistä prototyyppiä varten tiivistetoimittajan tarvinnut valmistaa uutta työkalua tiivisteen valmistukseen.



Kuvio 8. P-profiili tiiviste

Kaikista uusista osista tehtiin dxf:t ja piirustukset ja ne laitettiin Profioon, joka on Sopvalmin tuotannonohjausjärjestelmä. Tämän jälkeen kaikki levyleikkeet valmistettiin levytyökeskuksella 0,7 mm ja 1 mm sinkitystä teräslevystä. Sitten levyleikkeet menivät särmäykseen, jossa tarvittavat osat särmättiin tehtyjen piirustusten mukaan. Muut osat onnistuivat hyvin, mutta tukipalat eivät mahtuneet säleen sisälle. Ratkaisuna sivuista särmättiin puoli millia lyhyemmät ja näin tukipalat kävivät hyvin paikalleen. Onneksi leikkeitä tehtiin ylimääräisiä, niin ei tarvinnut odotella uusia.

Säleiden kokoonpano aloitettiin hitsaamalla kuuteen tukipalaan akselit (kuvio 9). Yksi akseleista on pidempi, mikä on sitten käyttöakseli. Tämän jälkeen tukipalat akseleilla toksattiin kiinni säleen puoliskoon. Koska tämä säle on paksumpi kuin alkuperäinen, niin toksauskoneen pää juuri ja juuri

mahtui tukipalan väliin. Säleen sisälle laitettiin kaksi kerrosta 15 mm eristevillaa (kuvio 10). Tukipalojen ja akselien kohdalta villan joutuu leikkaamaan poikki. Laitetaan säleen toinen puolisko valmiista rei'istä vetoniiteillä kiinni. Jätetään reunimmaisat reiät tyhjiksi, koska niihin samoihin reikiin laitetaan myös päätypalat kiinni. Asetetaan päätypalat paikalleen ja laitetaan vetoniiteillä kiinni. Päätypalalle oli unohdettu tehdä reiät toiselle puolelle, joten ne nyt täytyi porata.

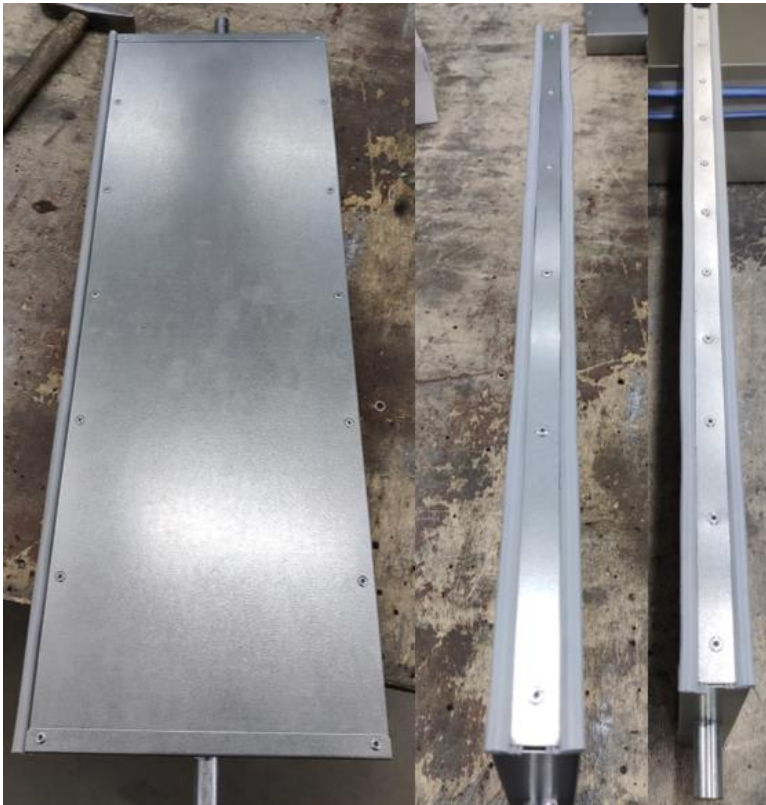
Kahteen säleeseen laitettiin tiivisteet vain toiseen reunaan ja käyttöakselilla varustettuun säleeseen molemmille reunoille. P-tiivisteet aseteltiin paikoilleen ja laitettiin lista päälle. Lista kiinnitettiin vetoniiteillä valmiista rei'istä. Reikiä piti tehdä lisää, koska lista meni vähän mutkalle ja tiivisteet eivät meinanneet pysyä paikoillaan (kuvio 11).



Kuvio 9. Tukipalat ja akselit ennen ja jälkeen hitsauksen.



Kuvio 10. Säleessä tukipalat toksattuna ja eristevillat.

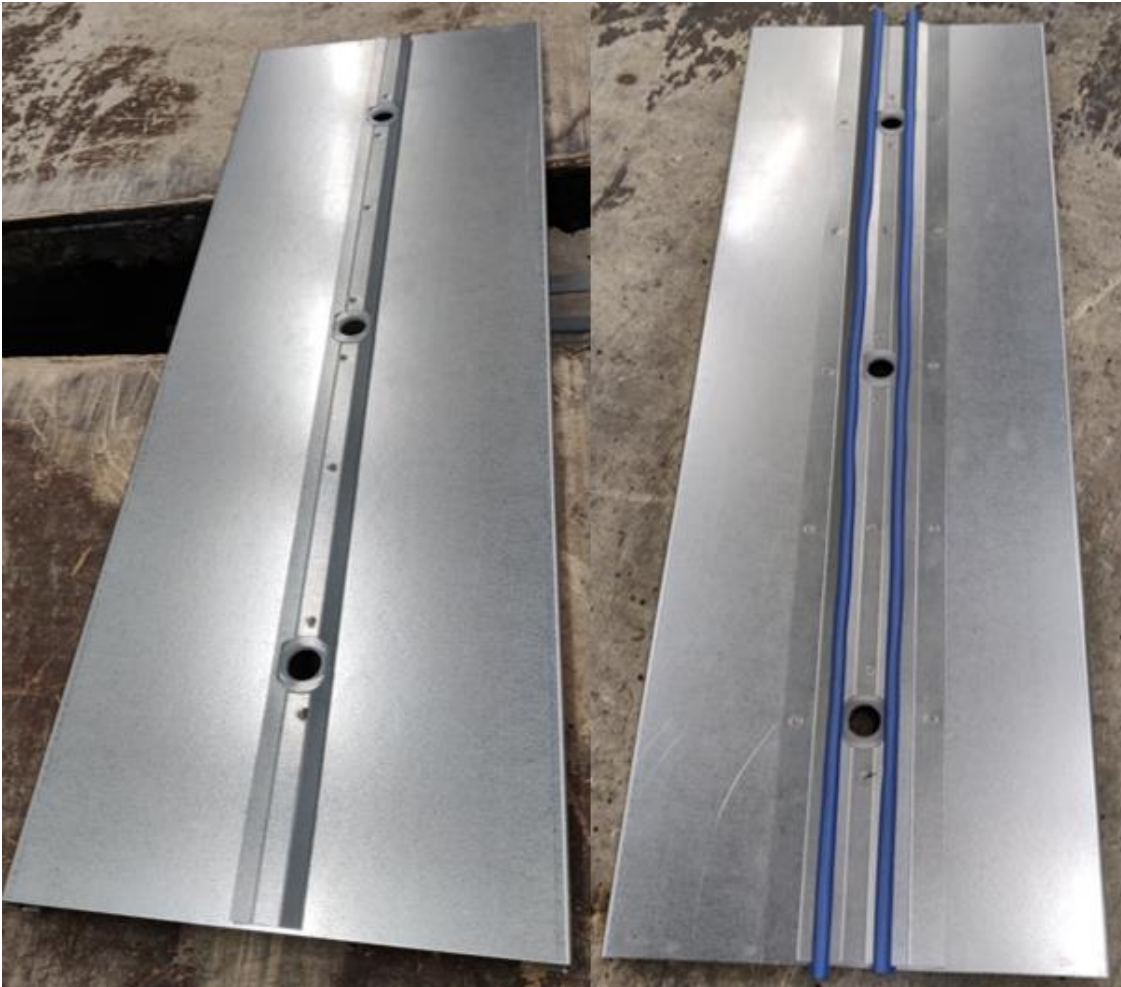


Kuvio 11. Säle valmiina ja lisätyillä vetoniiteillä.

Pystyrunkoihin oli valmiiksi laitettu muovilaakerit paikoilleen. Seuraavaksi pistehitsattiin keskimäinen tiivistelista paikalleen muovilaakereiden väliin. Tätä oli jo kerran aikaisemmin kokeiltu, että käykö lista paikalleen ja sopiiko sinne laittamaan tiivisteiden väliin. Kokeilu lista oli leikattu laserilla, joka tekee tiettyihin paikkoihin tarkempaa jälkeä. Levytyökeskuksella tehdyt listat eivät siis käyneetkään suoraan paikoilleen, vaan niitä tarvitsi viilata hieman. Keskilistat (kuvio 12) kuitenkin saatiin paikoilleen ja tiivisteet molemmille puolille reunalistoilla (kuvio 13).

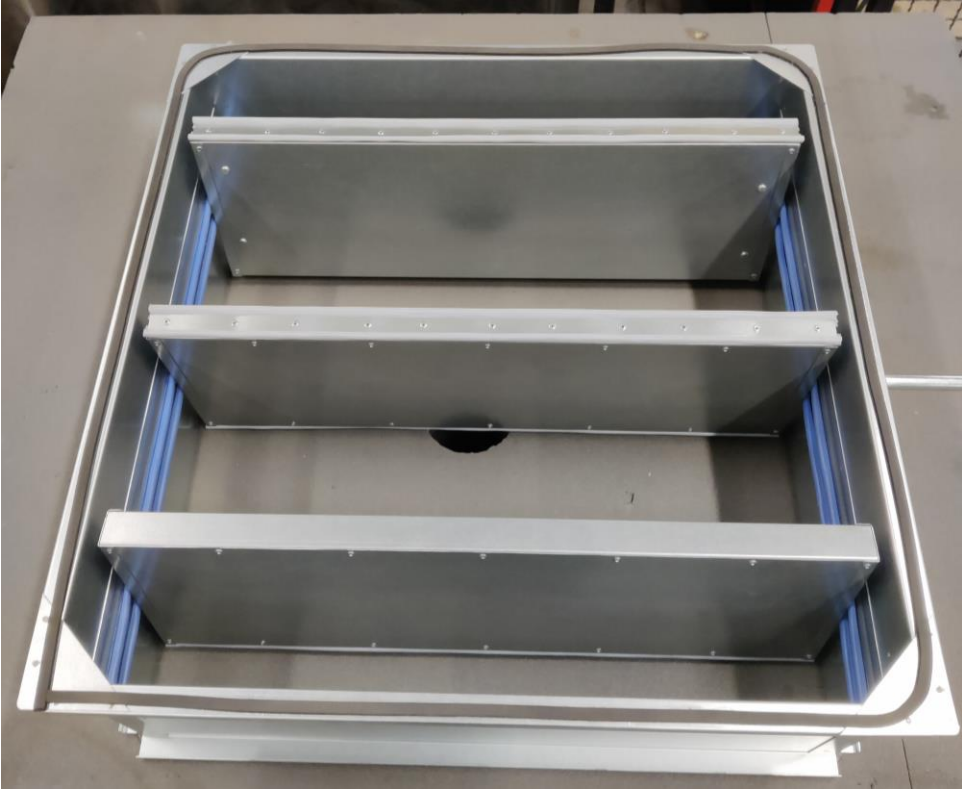


Kuvio 12. Laserilla ja levytyökeskuksella leikatut keskilistat.



Kuvio 13. Pystyrunko keskilistalla ja tiivisteet paikoillaan.

Säleet asetettiin paikoilleen rungon puoliskoon ja tämän jälkeen rungot laitettiin kiinni pistehitsaamalla. Huomattiin, että yksi säle on eripäin kuin kaksi muuta, mutta se ei onneksi vaikuta muuhun kuin ulkonäköön. Sitten laitettiin kulmapalat toiselle puolelle. Toiselle puolelle jätettiin laittamatta, koska haluttiin kokeilla, tiivistyisikö se näin paremmin testipöytää vasten. Koneisto hitsattiin paikalleen ja kokeiltiin, liikkuuko säleet hyvin. Kyllä ne liikkuvat. Viimeisenä rungon reunaan laitettiin tarratiivistettä, jotta se tiivistyisi testipöytää vasten mahdollisimman hyvin. Tätä ei oikeaan käyttöön menevälle sulkupellille tehdä. Alla olevissa kuvioissa 14–16 on prototyyppi 1 valmiina eri asennoissa.



Kuvio 14. Prototyyppi 1 säleet auki.



Kuvio 15. Prototyyppi 1 säleet kiinni.



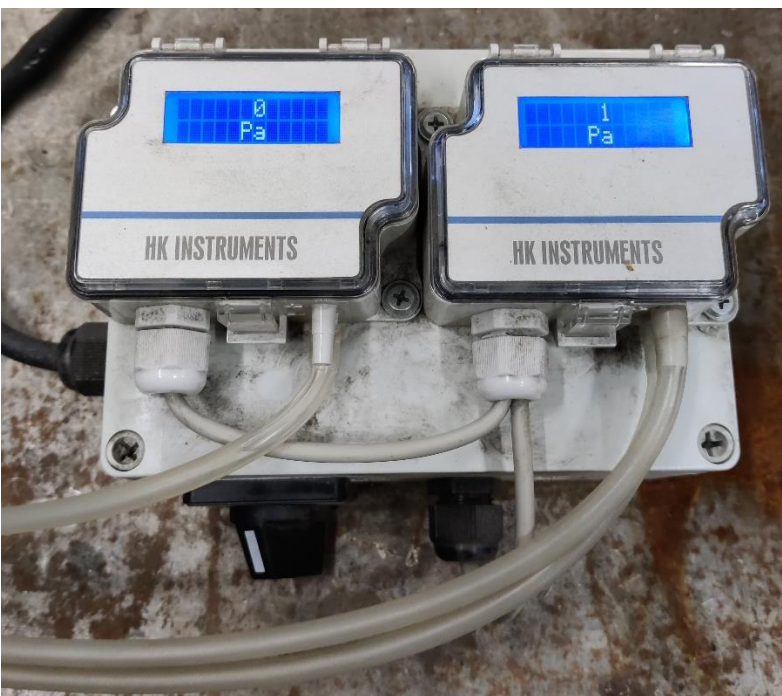
Kuvio 16. Prototyyppi 1 säleet puoliksi auki.

### 5.1.2 Tiiviiden testaaminen

Sopvalmilla on oma tiiviydentestauspöytä (kuvio 17). Testattava sulkupelti asetetaan pöydälle niin, että pöydässä oleva reikä on suurin piirtein sulkupellin keskellä. Pöydän päälle on liimattu solumuovi, jotta sulkupelti on tiivis pöytää vasten. Pöydästä lähtee ilmastointiputki, joka menee imurille. Ilmastointiputken vieressä on letkulähtö, josta menee letku painemittariin (kuvio 18). Keskellä ilmastointiputkea on virtauksenrajoittaja, jonka molemmin puolin on letkulähdöt, joista menee letkut toiselle mittarille. Kaikki ilmastointiputken liitokset on tiivistetty ilmastointiteipillä. Imurin kierrosnopeutta voi säätää ja siinä on äänenvaimennin.



Kuvio 17. Sopvalmin tiiviydentestauspöytä



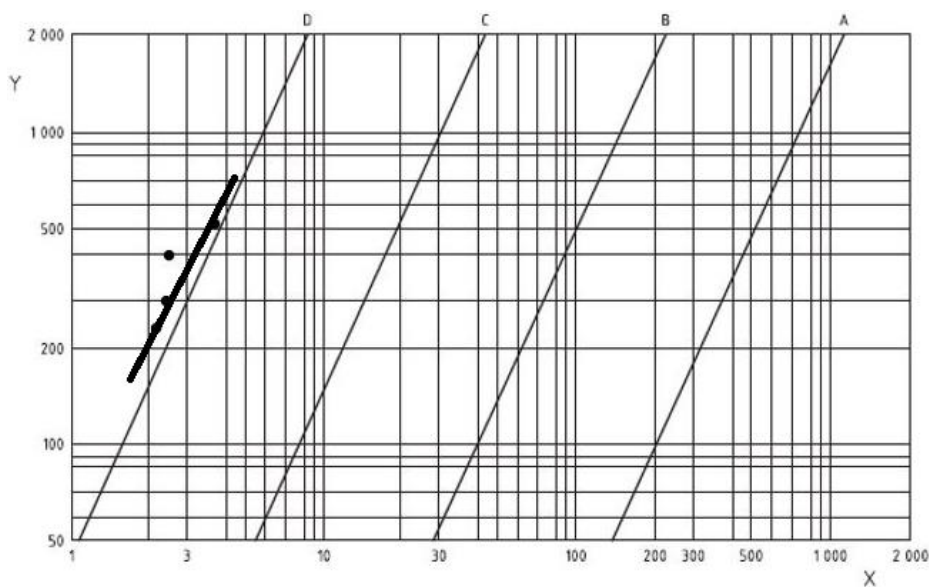
Kuvio 18. Testipöydän mittarit

Ensimmäisen prototyypin testissä huomattiin, että reunatiivisteet eivät asetu kunnolla, kun sulkupelti menee kiinni. Ne pursusivat ulos rungon ja säleen välistä, mikä aiheuttaa sen, että sulkupelti ei ole tarpeeksi tiivis. Kun tiivisteet painoi kunnolla kohdilleen, niin tiiveys parani. Taulukossa 3 on esitetty tiiveystestin parhaat tulokset ja ne näkyvät myös kuviossa 19. Tulokset näyttää siltä, että pelti olisi tarpeeksi tiivis, mutta se ei läheskään joka kerta asetu yhtä tiiviisti. Sulkupellin täytyy joka avauksen jälkeen asettua itsestään niin, että se on tarpeeksi tiivis.

Kuviossa 18 oikeanpuoleiseen mittariin säädetään puhaltimesta haluttu koepaine ja kun sulkupelti laitetaan kiinni, vasemmanpuoleiseen mittariin tulee laipanpaine, josta voidaan laskea ilmanvuotokerroin. Se lasketaan laittamalla laipanpaine neliöjuureen ja kertomalla sen jälkeen 0,77, kun laipassa on 35 mm reikä. Luku on otettu ammattilaisen tekemästä taulukosta, jossa on esitetty monelle eri laipan reiälle oma arvo.

Taulukko 3. Prototyypin 1 parhaat tulokset.

	Koepaine (Pa)	Laipanpaine (Pa)	Ilmanvuotokerroin
Proto 1	250	8	2,18
	300	11	2,55
	400	10	2,43
	510	23	3,69



Kuvio 19. Prototyypin 1 parhaat tulokset

### 5.1.3 Kehityskohteet

Ensimmäisen prototyypin tekemisen jälkeen huomattiin joitakin kehityskohteita. Päätypaloille tehdään reiät valmiiksi myös säleen toiselle puolelle ja tukipalaan. Tukipalasta tarvitsee tehdä leveämpi, jotta toksauskoneen leuat mahtuvat kunnolla sen väliin. Säleessä olevat tiivisteet voisivat olla vähän lähempänä toisiaan, niin ne asettuisivat paremmin säleen mennessä kiinni. Reunatiivistelistaan tehdään vähän pidempi kantti, jotta se on helpompi asettaa paikalleen. Vetoniittien reikäjaoit kaipaavat vähän parantelua ja kiinnitetään huomiota, että jokainen säle tulee samoin päin.

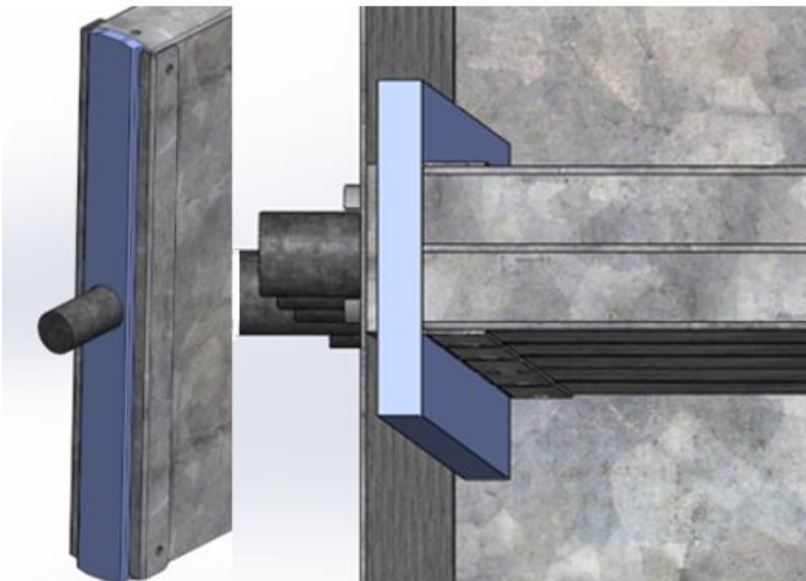
## 5.2 Lisää prototyyppejä

Ensimmäisen prototyypin jälkeen lähdettiin miettimään kehityskohteita ja oikeastaan kokonaan toisenlaista rakennetta. Pop-niittisäleen rakennetta muutettiin sellaiseksi, että tiivisteelle jää säleeseen ura, mihin sen voi ujuttaa paikalleen. Tämä toteutettiin sillä, että sälepuoliskot kiinnitetään toisiinsa U-raudoilla. Tämän takia säleessä on enemmän osia, mutta tiivisteiden kiinnitys on paljon yksinkertaisempaa. Säleistä tehtiin kahta eri mallia. Toisessa mallissa on molemmilla puolilla ura tiivisteelle ja toisessa vain yhdellä puolella ja vastakkaisella puolella syvennys, mitä vasten tiiviste tiivistyy. Käyttöakselin säleessä käytetään joka tapauksessa kahdella uralla olevaa sälettä, jotta jokaiseen säleiden väliin tulee tiiviste. Eri sälemalleihin tehtiin aluksi erilaiset tukipalat, mutta todettiin, että DFMA:n mukaan se ei ole järkevää. Koska ihan hyvin pystyi tekemään tukipalasta sellaisen, että se käy molempiin sälemalleihin. Kuviossa 20 vasemmalla puolella symmetrinen säle ja oikealla puolella säleen alapuolella on syvennys.



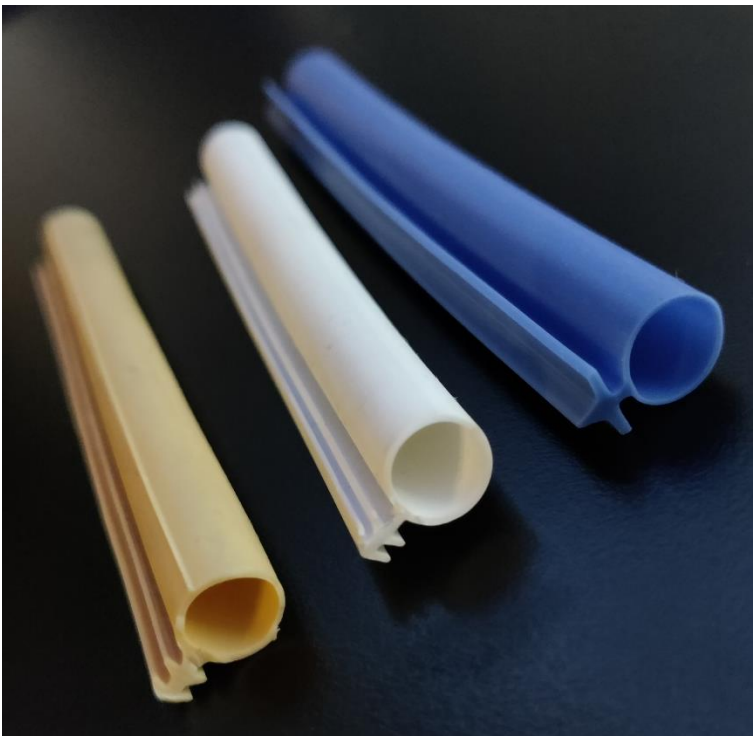
Kuvio 20. Uudet säleet

Prototyyppejä tehtiin kolme erilaista, joissa oli kaikissa eri sälettiivisteet ja reunatiivisteet olivat solumuovia. Yhteen prototyyppiin reunatiivisteet kiinnitettiin säleen pätyyn ja kahteen muuhun ne laitettiin pystyrunkoihin kiinni. Kuviossa 21 vasemmalla puolella on säleen pätyyn tuleva tiiviste ja oikealla pystyrunkoon tuleva tiiviste.



Kuvio 21. Protojen reunatiivisteet

Kuviossa 22 näkyy protoissa käytetyt tiivisteet. Vasemmanpuoleisin on V.A.V Groupilta saatua TPE 70 ShA tiivistettä. Tiiviste oli vähän odotettua jäykempää. Keskimmäinen on Korja-kumilta tilattua TPE 60 ± 5 ShA tiivistettä. Se oli paljon joustavamman ja kestävämmän tuntuista. Oikeanpuoleinen on samaa silikonitiivistettä, mitä käytetään kolmosluokan pellissä, mutta isommalla pallon koolla. Kolmosluokan pellissä tiivisteiden pallon koko on 8 mm ja tässä tiivisteessä 10 mm. Tiivisteiden teko onnistui samalla pursotustyökalulla, mutta sillä ei onnistunut TPE materiaalista tiivisteiden teko. Kahdessa vasemmanpuoleisessa tiivisteessä ei ole optimaalinen kiinnitys tyyli tähän tarkoitukseen, mutta protoissa ne toimivat ihan hyvin.

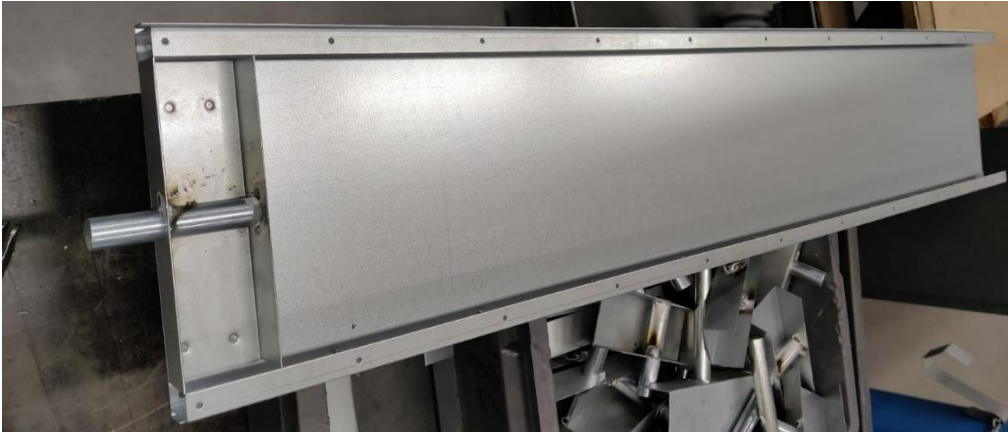


Kuvio 22. Säleissä käytetyt tiivisteet

### 5.2.1 Valmistus

Valmistus aloitettiin tekemällä työpiirustusten mukaiset osat levytyökeskuksessa ja sen jälkeen tarvittavat kappaleet särmättiin. Sitten alkoi säleiden kokoonpano. U-raudat kiinnitettiin sälepuoliskoihin vetoniiteillä ja sälepuoliskoihin toksiattiin akselit tukipaloineen kiinni (kuvio 23). Toksaus-ten paikoituksen kanssa sai olla tarkkana, jotta päätypalat mahtuvat myöhemmin paikoilleen. Tämän jälkeen säleisiin laitettiin eristevillaa, jonka jälkeen ole aika laittaa toinen sälepuolisko

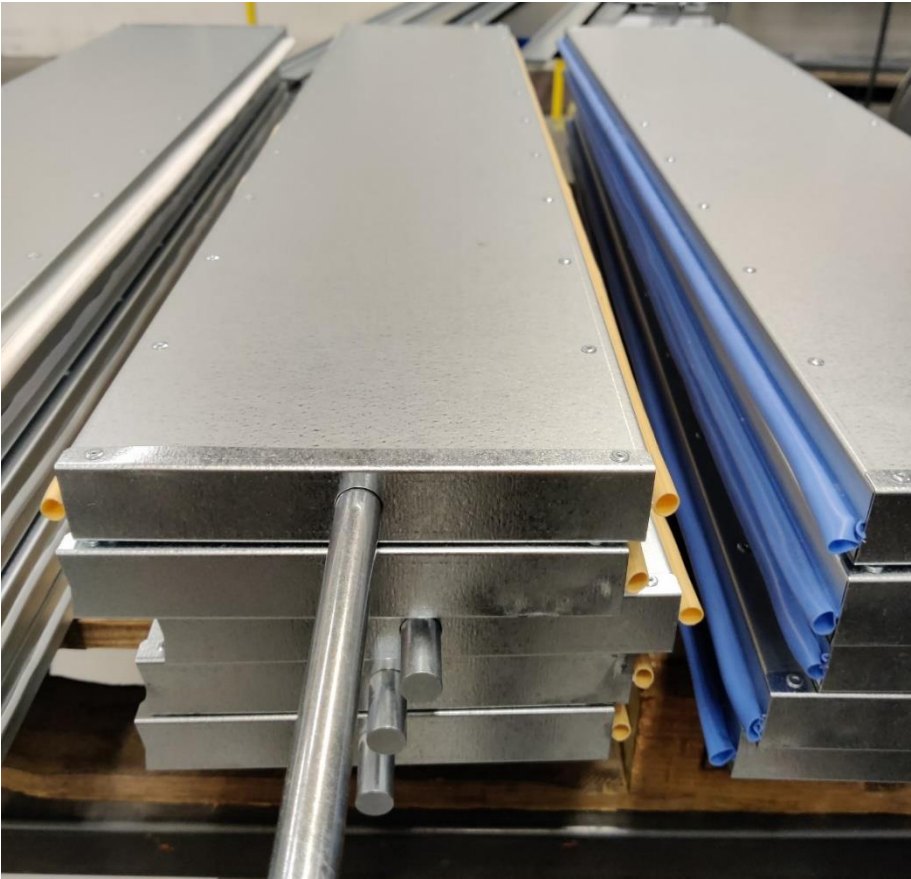
vetoniiteillä kiinni. Sitten ujutettiin tiivisteet säleiden uriin (kuvio 24) ja laitettiin päädyt vetoniiteillä kiinni säleisiin (kuviossa 25 valmiit säleet). Kuviossa tiivisteiden päädyt ovat vähän vielä huonosti asettuneet. Viidentoista säleen tekemiseen meni yli 500 vetoniittiä, mikä on aika paljon. Tämä ei tue DFA suunnittelu periaatetta. Vetoniittien etäisyyttä toisistaan voisi vielä kasvattaa jonkun verran, jotta saisi muutaman jätettyä. Kun yhdestä rivistä vetoniittejä lähtee, vaikka kaksi pois, se on jo 40 vetoniittiä vähemmän 1000x1000 sulkupellissä.



Kuvio 23. U-rauta ja tukipala säleessä.



Kuvio 24. Tiiviste säleessä paikallaan.



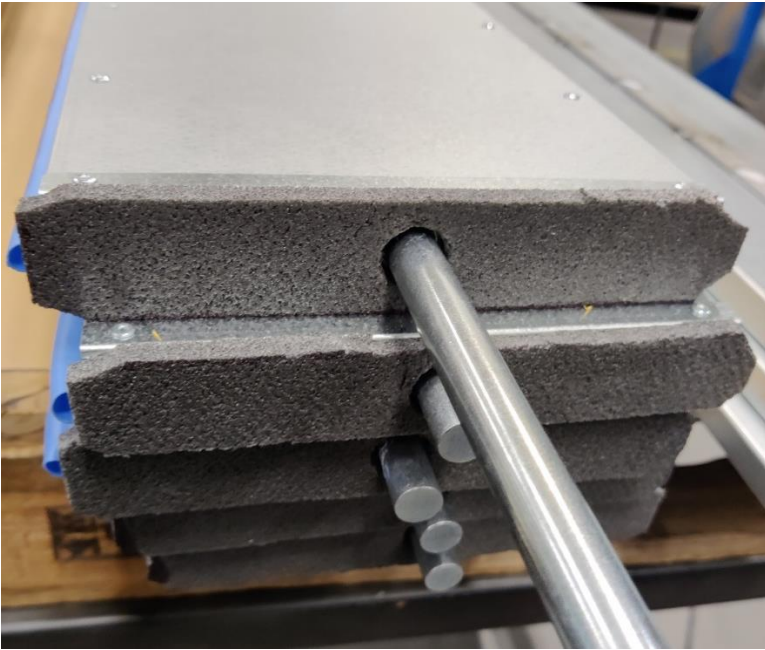
Kuvio 25. Valmiit säleet

Seuraavana laitettiin reunatiivisteet pystyrunkoihin. Nämä tulivat protoihin kaksi ja kolme. Tämä aloitettiin hitsaamalla pystyrunkoihin 3 mm paksuiset lattaraudat (kuvio 26 vasen), jotta tiivisteenä käytetty 8 mm paksu solumuovi toimii ja voi käyttää olemassa olevia muovilaakereita ja -holkkeja. Tähän mietittiin myös, että pystyrunkoihin tehtäisiin keskelle korotus särmämällä, mutta siinä tuli ongelmaksi, että olemassa olevat muoviholkit olivat liian pitkiä. Jos hankkisi lyhyempiä holkkeja tms. tämä voisi olla hyvinkin toimiva tapa. Korotuksen pystyi tekemään vakio pystyrunkoaihioon, sen tärkeät mitat eivät muuttuneet. Lattaraudan päälle liimattiin solumuovista leikattu pala (kuvio 26 oikea), joka kiinnitettiin siinä olevalla tarralla. Solumuoviin tehtiin akseleiden kohdalle reiät te- roitetulla sopivan kokoisella putken pätkällä.



Kuvio 26. Reunatiiviste ja sen alla oleva lattarauta.

Prototyypin 4 reunatiivisteet laitettiin säleiden pätyyn (kuvio 27). Ylimmäiseen ja alimmaiseen säleeseen täytyi laittaa toisesta päästä 2 mm pidemmät tiivisteet, koska muuten säleen ja vaakarungon väliin jäisi rako. Näissä menee kokoonpanovaiheessa helposti sekaisin. Akseleihin tuleva muoviholkki on sen verran paksu, että jos tässä ratkaisussa käyttäisi niitä, niin ei akseleiden kohdalle riittäisi tiivistettä. Tämä ratkaistiin tekemällä pystyrunkoihin korotuspalat (kuvio 28), joissa akselien kohdalle on tehty vedot levytyökeskuksessa. Ne tekevät saman kuin muoviholkit, eli keskittävät säleet, mutta näin tiivistettä mahtuu olemaan myös akselin kohdalla. Korotuspalalla myös saatiin se aikaiseksi, että tiiviste ei ota auki asennossa koko matkalta runkoon kiinni.

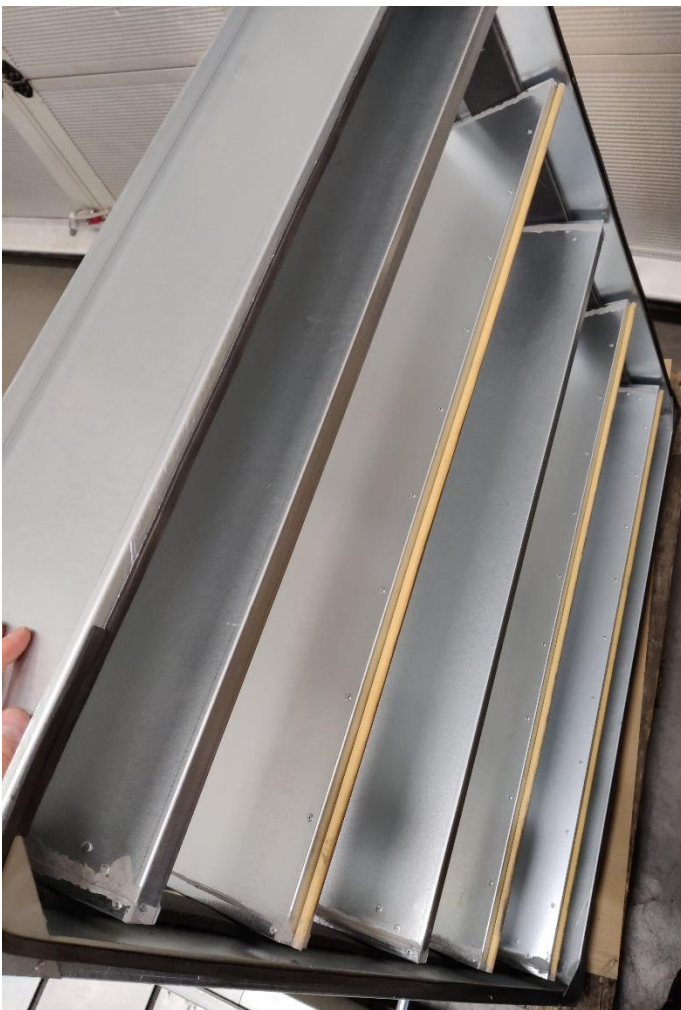


Kuvio 27. Tiivisteet säleiden päädysä



Kuvio 28. Korokelista

Loppukokoonpano meni samalla tavalla kuin prototyypissä 1. Alla kuvat valmiista prototyypeistä 2,3 ja 4. Prototyypissä 2 (kuvio 29) on käytetty jäykkää TPE sälettiivistettä ja pystyrunkoon kiinnitettyä reunatiivistettä. Säleissä on toisella reunalla syvennys, jota vasten tiiviste tiivistyy. Prototyypissä 3 (kuvio 30) on löysemmät TPE tiivisteet ja säleet, joissa on molemmissa reunoissa ura tiivisteelle. Toiseen uraan on laitettu täytetiiviste täyttämään ura, mitä on käytetty myös kolmosluokan pellissä. Reunatiiviste on samanlainen kuin protossa 2. Prototyypissä 4 (kuvio 31) on samanlainen sälerakenne kuin protossa 2, mutta siinä on kaikki tiivisteet säleessä ja sälettiivisteenä on käytetty silikonitiivistettä.



Kuvio 29. Prototyyppi 2



Kuvio 30. Prototyyppi 3.



Kuvio 31. Prototyyppi 4.

### 5.2.2 Tiiviyden testaaminen

Prototyypit 2 ja 4 meni nelosluokan puolelle lähes samoilla tuloksilla. Aluksi testissä tulos näytti huonolta, ilmaa pääsi aivan liikaa säleiden läpi. Vuotokohdaksi paljastui säleiden päädyn raot. Näihin rakoihin laitettiin tiivistemassaa (kuvio 32) ja säleet alkoivat pitämään. Prototyyppi 3 olisi varmaan ollut tarpeeksi tiivis, mutta se kerkesi olla viikon säleet auki ennen testausta ja solumuovi tiiviste pääsi tänä aikana painumaan kasaan, eikä se siitä enää palautunut. Samalla saatiin siis todettua, että tämänkaltaista solumuovia ei ainakaan voi käyttää sulkupellin tiivistämiseen. Sen pitäisi olla paljon kimmoisampaa. Myöskään solumuovin liimapinta ei ole riittävä, koska viikon jälkeen solumuovit jo repsottivat reunoista.



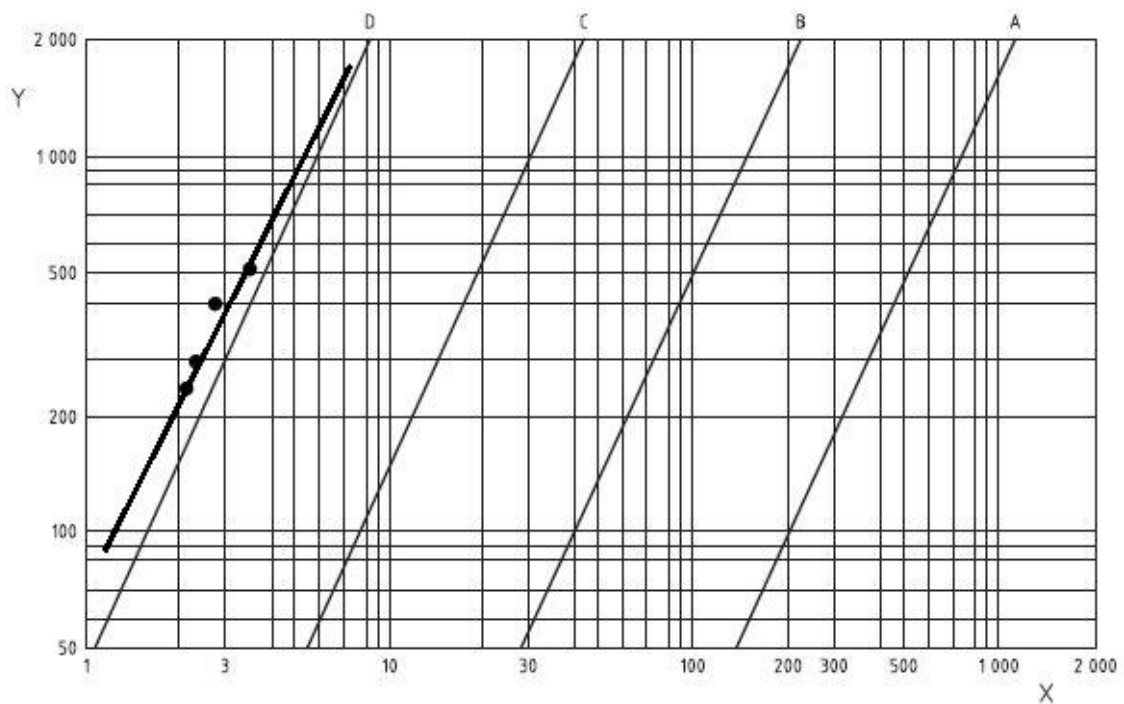
Kuvio 32. Tiivistemassaa säleen päädyssä.

Alla olevassa taulukossa 4 on esitetty protojen tulokset samalla tavalla kuin prototyypin 1 tulokset aiemmin. Aiemmasta testistä poiketen tuloksissa on myös maksimi koepaine. Testipöydän mittari

pysähtyy 510 Pa, mutta imurista kuulee, että se nostaa sen jälkeen vielä kierroksia. On vaikea arvioida, paljonko siinä silloin on painetta. Tämän takia siitä ei olla piirretty palloa kuvioon 33, johon on piirretty protojen 2 ja 4 kuvaaja.

Taulukko 4. Protojen 2, 3 ja 4 tulokset.

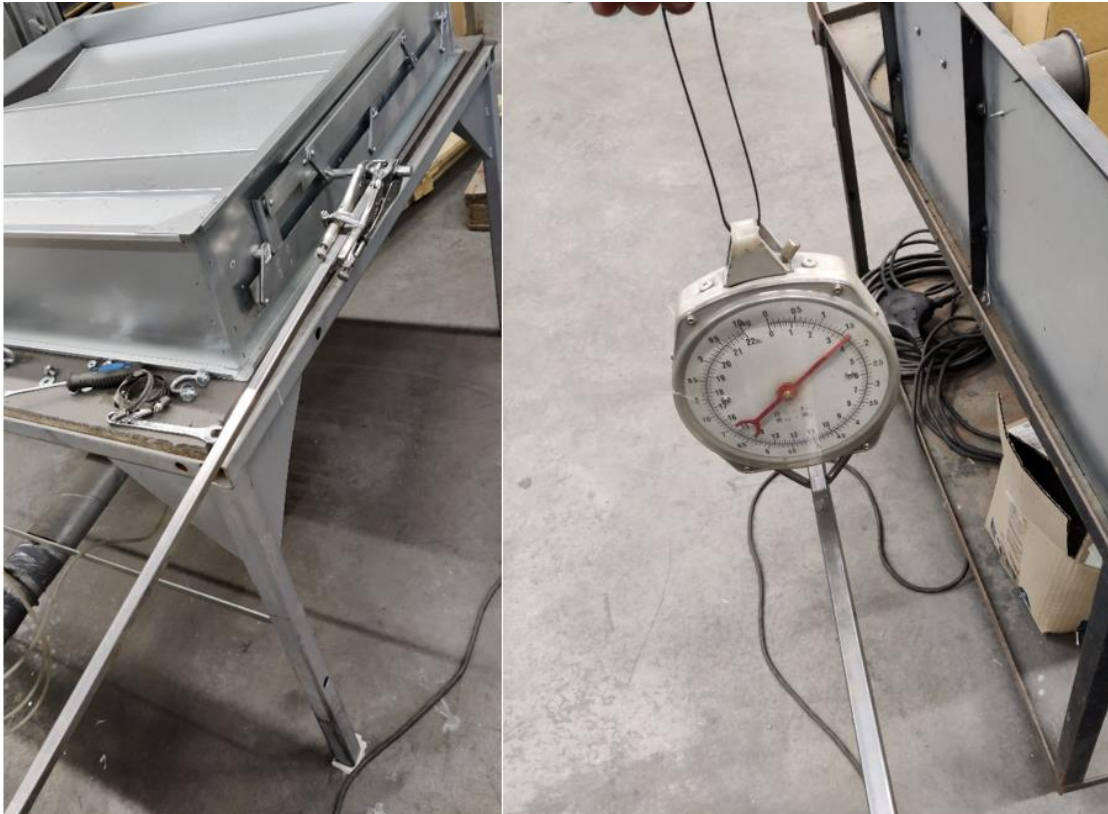
	Koepaine (Pa)	Laipanpaine (Pa)	Ilmanvuotokerroin
Proto 2	250	8	2,18
	300	9	2,31
	400	13	2,78
	510	20	3,44
	Max	24	3,77
Proto 3	250	20	3,44
	300	23	3,69
	400	30	4,22
	510	41	4,93
	Max	68	6,35
Proto 4	250	8	2,18
	300	9	2,31
	400	14	2,88
	510	19	3,36
	Max	29	4,15



Kuvio 33. Prototyyppien 2 ja 4 tulokset.

### 5.2.3 Säleiden aukaisumomentti

Säleiden aukaisuun vaadittava momentti testattiin metrin varrella ja kuvion 34 mukaisella vaa'alla. Vaaka näyttää tuloksen kilogrammoina, mutta koska varsi on metrin mittainen, saa kilogrammat muutettua Newtonmetreiksi kertomalla ne putoamiskiintyvyydellä. Taulukossa 5 on esitetty prototyyppien tulokset.



Kuvio 34. Aukaisumomentin testaus

Taulukko 5. Sulkupeltien aukaisumomentit

	Aukaisumomentti (Nm)
Pelti 1	26
Pelti 2	31
Pelti 3	35

Tulokset ovat liian isoja. Tämän kokoisen sulkupellin aukaisumomentin pitäisi olla mielellään alle 10Nm, jotta isoimmat sulkupellit vielä liikkuvat järkevästi. Prototyyppien koneistot ovat vähän jäy-

kät, koska akselien päädyt jäivät liian lyhyiksi. Se ei kuitenkaan voi vaikuttaa kuin muutaman Newtonmetrin. Suurin vastus tulee tiivisteistä, jotka kohtaavat vaakarunkojen kanssa, koska ne painuvat lähes kokonaan kasaan. Runkoihin pitäisi siis tehdä tiivisteille joku ura tai laittaa reunoihin pienemmällä pallolla olevat tiivisteet.

## **6 Pohdinta**

### **6.1 Eettisyys ja luotettavuus**

Opinnäytetyöhön ei oikeastaan liittynyt mitään eettisyyskysymyksiä, koska siinä ei käsitelty ollenkaan henkilötietoja. Toimeksiantajan antamat materiaalit ja 3D-mallit säilytettiin niin, että niihin ei ulkopuolisilla ollut pääsyä. Työssä muutenkin pyrittiin noudattamaan hyvää tieteellistä käytäntöä.

Tehtyjen testien tulokset eivät ole aivan tarkkoja, koska Sopvalmin testipöydässä on haasteellista saada imuri aina tismalleen samalle teholle ja laipanpaineet myös hiukan vaihtelivat riippuen siitä, miten hyvin säleet menevät kiinni tai pääsikö ilmaa vähän vuotamaan jostain pöydän ja sulkupellin rungon välistä. Tätä varten sulkupellin runkoon laitettiin ylimääräinen tiivistenauha. Testien tulokset ovat kuitenkin lähellä totuutta ja niiden turvin uskaltaisi tuotteen lähettää viralliseen testaukseen, jos se vaan muuten olisi valmis.

### **6.2 Johtopäätökset ja Jatkotoimenpiteet**

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada kehitettyä sellainen sulkupelti, että se olisi tarpeeksi tiivis nelosluokkaan ja muutenkin toimiva tuote kaikin puolin. Opinnäytetyössä saatiin kokeiltua erilaisia sälerakenteita ja muutamaa eri säletiivistettä. Sälerakenteen ja sulkupellin tiiveyden osalta päästiin hyvään tulokseen, mutta kulutuskestävät reunatiivisteet jäivät kokonaan hankkimatta. Myös sulkupellin aukaisuun vaadittava momentti on vielä liian suuri. Kulutustestiä ei keritty opinnäytetyön aikana siis tekemään ollenkaan.

Aikataulussa ei opinnäytetyössä pysytty. Työ osoittautui odotettua haastavammaksi ja siitä olisi voinut jo työn alussa rajata jotain pois. Opinnäytetyön aikana joutui myös monesti odottelemaan

joitakin asioita odotettua enemmän, koska prototyyppien tekemistä varten tarvitsi ensiksi valmistaa osat ja hankkia tarvittavat tiivisteet. Näihin odotteluihin olisi tarvinnut varautua paremmin ja käyttää aika paremmin hyödyksi. Myös Sopvalmin sijainti hieman hankaloitti opinnäytetyön etene- mistä, koska Jyväskylästä ei ihan joka päivä viitsi ajella Viitasaarelle.

Jatkotoimenpiteinä sulkupellin reunatiivisteeseen pitää valita joku tarpeeksi kulutuskestävä ja kim- moisa materiaali ja hankkia sitä jostain. Myös pitää päättää, että mitä tiivistettä sälettiivisteenä käytetään, mutta siinä näytti kaikki testatut toimivan hyvin. Päätypalat olisivat myös järkevää suunnitella uusiksi, jotta niihin ei tarvitsisi laittaa mitään massaa. Ne voisi olla järkevintä valmistaa muovista. Kun kaikki on saatu tehtyä ja omat testit näyttävät hyvältä, niin Sopvalm toimittaa sulkupellin virallisiin standardin mukaan tehtäviin testeihin Eurofins:ille. Tehtävät testit ovat tiiveystesti, äänikäyrät, painekäyrät ja lämmönläpäisykerroin. Testien tekemisestä kysyttiin tarjous ja niille tulee yhteishinnaksi 6300 €.

## Lähteet

Boothroyd, G., Dewhurst, P. & Knight, W. A. 2011. Product Design for Manufacture and Assembly. Kolmas painos. Boca Raton: CRC Press.

Hietikko, E. 2021. Tuotekehitystoiminta. Neljäs painos. Helsinki: BoD – Books on Demand.

Jokinen, T. 2010. Tuotekehitys. Viitattu 6.10.2023. <http://lib.tkk.fi/Reports/2010/isbn9789526033204.pdf>.

Kananen, J. 2010. Opinnäytetyön kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä: kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kutz, M. 2014. Mechanical Engineers' Handbook, Volume 2: Design, Instrumentation, and Controls. Neljäs painos. Hoboken: John Wiley & Sons. Viitattu 13.5.2024. <https://janet.finna.fi>, ProQuest.

Lempiäinen, J. & Savolainen, J. 2003. Hyvin suunniteltu – puoliksi valmistettu. Helsinki: Suomen robotiikkayhdistys Ry.

SFS-EN 1751:2014. Rakennusten ilmanvaihto. Päätelaitteet. Sulku- ja säätölaitteiden virtaustekniikan testaus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 10.3.2014. Viitattu 29.5.2024. <https://janet.finna.fi/>, SFS Online.

Sopimusvalmistus. N.d Sopvalmin sivustolla. Viitattu 3.10.2023. <https://www.sopvalm.fi/sopimusvalmistus/>.

Sulkupelti ASP-3. N.d Sopvalmin sivustolla. Viitattu 3.10.2023. <https://www.sopvalm.fi/tuotteet/iv-kanavatuotteet/sulku-ja-saatopellit/sulkupelti-asp-3/>.

Tuotteet. N.d Sopvalmin sivustolla. Viitattu 3.10.2023. <https://www.sopvalm.fi/tuotteet/>.

Yritys. N.d. Sopvalmin sivustolla. Viitattu 3.10.2023. <https://www.sopvalm.fi/yritys/>.