



# Koelaitteiston suunnittelu ja muodostus kuituvaahdon valmistamisen ja vaahto- rainattujen materiaalien testaamiseen

Juuso Venäläinen

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2024

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Venäläinen, Juuso

## Koelaitteiston suunnittelu ja muodostus kuituvaahdon valmistamisen ja vaahtorainattujen materiaalien testaamiseen

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2024, 39 sivua.

Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

### Tiivistelmä

Vaahtorainaus-teknologialla voidaan valmistaa uusia tuotteita puukuitumateriaaleista. Perinteinen paperin valmistus ja paperien valmistuksesta saatu liiketoiminta on vähentynyt ja metsäteollisuuden firmat suuntautuvat uusille aloille. Työn toimeksiantajayritys Aisti Corporation Oy on uuden teknologian startup-yritys, joka valmistaa vaahtorainamalla puukuiduista kuitulevyjä. Yrityksen tarve oli saada laboratorion kokoluokan koelaitteisto vaahtorainattujen materiaalien tutkimukseen.

Kehitystyön tavoitteena oli etsiä laitteistoon kuuluville laitteille laitetuottajat ja suunnitella rakennettavat laitteet. Laitteistoon kuuluvia laitteita olivat sekoitin, olosuhdekaappi, taivutuslujuuslaite ja arkkimuotti. Työ toteutettiin kehittämistutkimuksena. Laitteille määritettiin vaatimukset, jonka jälkeen vaatimuksia arvioitiin. Vaatimusten perusteella päädyttiin siihen, että sekoitin, olosuhdekaappi ja taivutuslujuuslaite ostetaan suoraan. Arkkimuotti suunniteltiin itse. Ostettavia laitevaihtoehtoja vertailtiin ja vertailujen perusteella päätettiin ostettavat laiteyksilöt.

Tuloksena syntyi hankintapäätös sekoittimesta ja arkkimuotti saatiin suunniteltua. Lisäksi olosuhdekaapille ja taivutuslujuuslaitteelle löydettiin ostettavat laiteyksilöt, jotka toimeksiantajayritys voi jatkossa mahdollisuuksien mukaan ostaa. Työn kirjoittamisen aikana sekoitin saatiin hankittua ja toimeksiantajayritys valmisti arkkimuotin suunnitelman perusteella. Toimeksiantajayritys pääsi aloittamaan tutkimukset vaahtorainatuille materiaaleille.

### Avainsanat (asiasanat)

Kehitystyö, tuotekehitys, suunnittelu

### Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Liitteet 1, 2 ja 3 ovat salassa pidettäviä ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon peruste on Julkisuuslain 621/1999 24§, kohta 21, teknologiasta taikka muuta kehittämistyötä ja niiden arviointia koskevat tiedot. Salassapitoaika on viisi (5) vuotta, salassapito päättyy 5/2029.

**Venäläinen, Juuso**

### **Design and formation of test hardware for the production of fiber foam and testing of foam formed materials**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2024, 39 pages.

Degree Programme in Mechanical Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

#### **Abstract**

With foam forming -technology, new products can be made from wood fiber materials. Traditional paper manufacturing and the business earned from paper manufacturing has decreased and forest manufacturing companies are gravitating into new sectors. The principal company in this work is Aisti Corporation Oy which is a new technology startup company that prepares fiber boards from wood fibers by foam forming. The company's necessity was to get laboratory-sized hardware for the research of foam formed materials.

The aim of the development work was to find equipment suppliers for the equipment included in the hardware and to design the equipment to be built. The equipment included in the hardware were a mixer, a climate chamber, a bending strength machine and a sheet mold. The work was executed as a development research. Requirements were defined for the equipment and after that the requirements were estimated. Based on the requirements, it was decided that the mixer, climate chamber and bending strength machine will be bought straight. The sheet mold was designed independently. The equipment options to be purchased were compared and based on the comparisons, the equipment to be bought were decided.

As a result, a procurement decision was made for the mixer and the sheet mold got designed. In addition, equipment that could be bought for the climate chamber and the bending strength machine were found. The principal company can buy these equipment in the future if possible. During the writing of the work, the mixer was acquired and the principal company prepared the sheet mold based on the plan. The principal company was able to start research on foam formed materials.

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

Development work, product development, designing

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

Appendices 1, 2 and 3 are confidential and removed from the public thesis. The basis for secrecy is section 24(21) of the law of Publicity (621/1999), information on technological or other development work and their evaluation. The period of secrecy is five (5) years, the secrecy will end on 5/2029.

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>3</b>
1.1	Työn tausta.....	3
1.2	Työn tavoitteet ja rajaus .....	3
1.3	Aisti Corporation Oy.....	4
<b>2</b>	<b>Tutkimusasetelma</b> .....	<b>4</b>
2.1	Kehittämistutkimus .....	4
2.2	Tutkimusmenetelmä .....	5
2.3	Kehittämistutkimuksen eettisyys .....	6
<b>3</b>	<b>Tietoperusta</b> .....	<b>6</b>
3.1	Mitä akustiikkalevyt ovat ja mihin niitä tarvitaan.....	6
3.2	Akustiikkalevyjen pilot mittakaavan valmistus .....	7
3.3	Vaahtorainaus .....	8
3.4	Suhteellisen kosteuden vaikutus näytteisiin (olosuhdekaappi).....	9
3.5	Taivutuslujuus .....	9
3.6	Tuotekehitysprojekti .....	12
3.7	Koneturvallisuus.....	15
<b>4</b>	<b>Työn toteutus</b> .....	<b>16</b>
4.1	Laitteiden vaatimukset.....	16
4.1.1	Sekoitin .....	17
4.1.2	Olosuhdekaappi .....	17
4.1.3	Taivutuslujuuslaite.....	18
4.1.4	Arkkimuotti .....	18
4.2	Ostettavien laitteiden etsintä .....	19
4.3	Arkkimuotin suunnittelu .....	26
<b>5</b>	<b>Tulokset</b> .....	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>Pohdinta</b> .....	<b>30</b>
6.1	Työn tavoitteet.....	30
6.2	Työn luotettavuus .....	31
	<b>Lähteet</b> .....	<b>32</b>
	<b>Liitteet</b> .....	<b>34</b>
	Liite 1. Sekoittimien vertailutaulukko (salassa pidettävä) .....	34
	Liite 2. Olosuhdekaappien vertailutaulukko (salassa pidettävä) .....	35
	Liite 3. Taivutuslujuuslaitteiden vertailutaulukko (salassa pidettävä).....	36

## Kuviot

Kuvio 1. Neljä valupöytää, 16 valualustaa ja 16 kpl valumuotteja .....	7
Kuvio 2. Standardin tunnus .....	10
Kuvio 3. Koemenetelmän periaate .....	11
Kuvio 4. Taivutuslujuuslaitteen periaate .....	12
Kuvio 5. Tuotekehitysprojektin toimintavaiheet .....	13
Kuvio 6. Sekoitin Multimix HSD Model 2203 .....	25
Kuvio 7. Olosuhdekaappi HPP110eco .....	26
Kuvio 8. Taivutuslujuuslaite IJF 6/200.....	26
Kuvio 9. Piirroskuva arkkimuotista.....	27
Kuvio 10. Arkkimuotin 3D-malli päältä katsottuna.....	28
Kuvio 11. 3D-malli arkkimuotista .....	28
Kuvio 12. Modifioitu laboratorionkokoluokan sekoitin .....	29
Kuvio 13. Valmis arkkimuotti .....	30

## Taulukot

Taulukko 1. Sekoittimen vaatimusluettelo .....	17
Taulukko 2. Vaatimuksien luokittelu.....	17
Taulukko 3. Olosuhdekaapin vaatimusluettelo .....	18
Taulukko 4. Taivutuslujuuslaitteen vaatimusluettelo.....	18
Taulukko 5. Arkkimuotin vaatimusluettelo.....	19
Taulukko 6. Sekoittimen vaatimusten arviointi .....	20
Taulukko 7. Sekoittimen vaatimusten arviointiasteikko.....	21
Taulukko 8. Sekoitinvaihtoehtojen arviointi .....	21
Taulukko 9. Olosuhdekaapin vaatimusten arviointi .....	22
Taulukko 10. Olosuhdekaapin vaatimusten arviointiasteikko.....	22
Taulukko 11. Olosuhdekaappivaihtoehtojen arviointi.....	23
Taulukko 12. Taivutuslujuuslaitteen vaatimusten arviointi.....	23
Taulukko 13. Taivutuslujuuslaitteen vaatimusten arviointiasteikko .....	24
Taulukko 14. Taivutuslujuuslaittevaihtoehtojen arviointi .....	24

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn tausta

Opinnäytetyön aiheena on kuituvaahdon valmistamisen ja vaahtorainattujen materiaalien tutkimukseen tarkoitetun laboratoriomittakaavan laitteiston suunnittelu ja muodostus Aisti Corporation Oy:lle. Aihe valittiin sillä perusteella, että yrityksellä on tarve tällaisella laitteistolle. Toimeksiantajayritys tulee käyttämään laboratoriomittakaavan koelaitteistoa kuituvaahdon valmistamisen ja vaahtorainattujen materiaalien tutkimukseen. Toimeksiantajayrityksellä ei ole entuudestaan soveltuvaa laboratoriomittakaavan koelaitteistoa, joten sellainen pitää suunnitella ja muodostaa. Kyseisestä toimeksiantajayrityksestä on kerrottu enemmän johdannon viimeisessä kappaleessa.

Opinnäytetyöntekijä on tehnyt työharjoittelun akustiikkalevyjen valmistuksessa koelaitoksella. Lisäksi tekijä on saanut opintojen kautta tietoa ja taitoa, jota hän voi hyödyntää laitteiston suunnittelussa. Laitteistolla tullaan testaamaan erilaisten raaka-aineiden ja kemikaalien vaikutusta kuituvaahdon muodostamiseen ja vaahtorainattujen materiaalien lujuusominaisuuksia.

## 1.2 Työn tavoitteet ja rajaus

Tavoitteena on kuituvaahdon valmistamisen ja vaahtorainattujen materiaalien tutkimukseen tarkoitetun laboratoriomittakaavan koelaitteiston muodostus. Tavoitteita ovat laitteistoon kuuluvien kokonaisuuksien toimittajien etsintä ja rakennettavien laitteiden suunnittelu. Laitteisto koostuu seuraavista komponenteista: vaahton generointiastia ja sekoitin, vaahtoarkkimuotti (koko ~A4, suotautumisyksikkö, alipaine-järjestelmä), olosuhdekaappi ja valmiin näytteen 3-piste taivutuslujuusmittauslaitteisto (EN12089 - Determining bending behavior of thermal insulation products mukaisesti).

Työhön kuuluu kokonaisuuksien toimittajien etsintä ja kilpailutus/tarjouspyynnöt. Työssä tulee tehdä myös kustannustarkastelua, jonka perusteella päätetään ostetaanko laitteet vai tehdäänkö itse. Rakennettavien laitteiden suunnittelua rajataan seuraavanlaisesti. Laitteiden suunnitteluun voidaan käyttää apuna 3D-mallinnusohjelmia ja muodostaa 3D-malleja laitteista, mutta varsinaisia työpiirustuksia ei tarvitse tehdä. Suunniteltujen laitteiden valmistus ei kuulu työhön, vaan toimeksiantajayritys vastaa itse suunniteltujen laitteiden valmistuksesta.

Tavoitteena on tehdä Aisti Corporation Oy:n käyttöön soveltuva laboratoriomittakaavan koelaitteisto, jolla voi tehdä toistettavia ja luotettavia vertailuja eri materiaaleille. Tuloksena syntyy konkreettinen koelaitteisto, jota käytetään kuituvaahdon valmistamisen ja vaahtorainattujen materiaalien tutkimukseen. Laitteistolla tullaan testaamaan erilaisten raaka-aineiden ja kemikaalien vaikutusta kuituvaahdon muodostamiseen ja vaahtorainattujen materiaalien lujuusominaisuuksia. Tuloksia tullaan hyödyntämään muun muassa tuotteiden valmistusprosessin ja koostumuksen kehittämässä.

### **1.3 Aisti Corporation Oy**

Aisti Corporation Oy on vuonna 2019 perustettu osakeyhtiö, jonka kotipaikkana toimii Jyväskylä. Yrityksen toimialana on kuitulevyn valmistus (Aisti Corporation Oy n.d). Yritystoiminta sai aloitukseen tukea Keski-Suomen ELY-keskukselta (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus) (Asiantuntija 2024).

Aluksi yritys työllisti kolme henkilöä. Syksyllä 2022 palkattiin lisää henkilöstöä yrityksen koetoiminnan käynnistämiseen, markkinointiin ja talouden ylläpitoon. Syksyllä 2023 työntekijöitä Aisti Corporation Oy:ssä oli kymmenen. Koelinjasto rakennettiin Kanavuoreen Vaajakoskelle. Koelaitos käynnistyi 2022 marraskuussa. Yrityksen toimisto sijaitsee Jyväskylän Tourulassa. Syksyllä 2023 yritys aloitti tehdasprojektin suunnittelun ja rahoituksen etsimisen tehdasprojektin toteuttamiseen. Yrityksellä ei vielä tällä hetkellä ole merkittävää myyntiä, koska tuotteita kehitetään koelaitoksella ja tehdasprojekti on vielä kesken. (Asiantuntija 2024.)

## **2 Tutkimusasetelma**

### **2.1 Kehittämistutkimus**

Tutkimusasetelmana eli lähestymistapana tässä opinnäytetyössä käytettiin kehittämistutkimusta. Kehittämistutkimuksella pyritään kehittämään ja parantamaan toimintaa organisaatioissa. Kehittämistutkimuksen kohteita voivat olla esimerkiksi prosessit, toiminnot, tuotteet tai palvelut. Kehittämistutkimus muistuttaa perinteistä yrityksissä tapahtuvaa kehitystyötä. Kehittämistutkimuksessa yhdistyy kehittäminen ja tutkimus. Kehittämisen taustalla on tutkimus ja teoria, joihin kehittämisessä tehtävät ratkaisut pohjautuvat. Kehittämistutkimuksen lähtökohtana on tutkimusongelma,

joka pyritään ratkaisemaan eri tutkimusmenetelmiä käyttämällä. Kehittämistutkimus ei itsessään ole tutkimusmenetelmä, sillä kehittämistutkimukseen kuuluu kehittämiskohteen mukaan eri kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä. (Kananen 2012, 19-20.)

Kanasen (2012, 25) mukaan kehittämistutkimus pyrkii vastaamaan esimerkiksi seuraavanlaisiin peruskysymyksiin:

- Mitkä tekijät vaikuttavat kehitettävään ilmiöön?

- Miten tekijät vaikuttavat ilmiössä?

- Miten kehitystyö tai muutos onnistui?

- Millaisia vaikutuksia kehitystyöllä on?

- Miten kehitystyö koettiin?

Tässä kehitystutkimuksessa tärkeimpiä tutkimuskysymyksiä olivat:

- Mitä ovat laitteiden vaatimukset?

- Ostetaanko laitteet vai tehdäänkö itse?

- Jos on ostettavia laitteita, niin miten laitteita vertaillaan keskenään?

- Miten kehitystyö onnistui?

## **2.2 Tutkimusmenetelmä**

Kvalitatiivisessa eli laadullisessa tutkimuksessa pyritään ymmärtämään ilmiötä, sen rakennetta, tekijöitä ja niiden välisiä suhteita. Laadullista tutkimusta voidaan käyttää sellaisissa tapauksissa,

joissa ilmiöstä halutaan saada hyvä näkemys ja kuvaus. Lisäksi ilmiöstä tiedetään entuudestaan vähän eli ilmiöstä ei ole aikaisempaa tietoa, teorioita tai tutkimusta. Laadullisista tutkimusta toteuttaessa ei käytetä tarkkaa menetelmällistä ohjeistusta. Tutkimuksen eteneminen mukautuu tutkimustuloksien myötä ja tutkimuksen tekijä vuorottelee kenttätyön ja teoriatyön parissa.

(Kananen 2012, 29-30.)

Yleisesti kvantitatiivinen eli määrällinen tutkimus perustuu mitattavissa oleviin arvoihin ja laskentaan. Määrällisessä tutkimuksessa ilmiön taustalla on teoria ja ymmärrys eli ilmiö tiedetään entuudestaan. Tutkimuksessa mitattujen tuloksien perusteella voidaan muodostaa erilaisia taulukoita ja näiden taulukoiden pohjalta voidaan tehdä erilaisia tulkintoja ja johtopäätöksiä. Tutkimuskysymykset tiedetään entuudestaan määrällisessä tutkimuksessa ja tutkimuksella pyritään vastaamaan näihin tutkimuskysymyksiin. Määrällisen tutkimuksen toteutus ei ole niin joustavaa kuin kvalitatiivisen tutkimuksen, koska määrällisessä tutkimuksessa käytetään jo tiedossa olevia malleja ja menetelmällisiä ohjeistuksia. (Kananen 2012, 31-32.)

## **2.3 Kehittämistutkimuksen eettisyys**

Tässä opinnäytetyössä noudatettiin hyvää tieteellistä käytäntöä (Hyvä tieteellinen käytäntö 2024). Lähdeviitteet ja tekstiviitteet merkittiin tässä työssä ohjeistusten mukaisesti. Tässä työssä käytettiin myös ajantasaisia ja luotettavia lähteitä. Lähteiden luotettavuutta arvioitiin kriittisesti ja työssä pyrittiin käyttämään alkuperäislähteitä. Opinnäytetyöntekijä on ennen työn aloittamista perehtynyt henkilötietojen käsittelyyn ja tietosuojaan. Työssä ei mainita nimeltä toimeksiantajayrityksen henkilöstöä.

# **3 Tietoperusta**

## **3.1 Mitä akustiikkalevyt ovat ja mihin niitä tarvitaan**

Akustiikkalevyt ovat ääniabsorptiolevyjä, joita käytetään muun muassa alas pudotetuissa kattorakenteissa. Tällaisia kattorakenteita käyttävät esimerkiksi koulut, päiväkodit, sairaalat ja lähes kaikki julkiset tilat. Akustiikkalevyjä tarvitaan julkisten tilojen äänen heijastuksen vaimennukseen ja kaikuja vähentämiseen. Kaikuja vaimennetaan akustiikkalevyillä tiloissa, joissa äänentoisto on erityisen tärkeää. Akustiikkalevyt voidaan sijoittaa kattoon tai seinille. Tällä hetkellä akustiikkalevyt

pääsääntöisesti valmistetaan lasivillasta ja kivivillasta. Aisti Corporation Oy:n levyt valmistetaan puukuitumassasta ja levyt ovat ekologisempia kuin nykyiset ratkaisut. (Asiantuntija 2024.)

### 3.2 Akustiikkalevyjen pilot mittakaavan valmistus

Akustiikkalevyjen valmistusprosessi alkaa levyjen valusta. Vaahdotuskemikaalilla ja voimakkaalla sekoituksella saadaan aikaiseksi puukuidusta ja vedestä vaahtorakenne. Koelaitoksella vaahtorakenne muodostetaan pulpperilla, jossa puukuitu, vesi ja kemikaaliseosta sekoitetaan voimakkaasti. Vaahdon ilmapitoisuus määritetään tilavuuden muutoksesta. Valmis vaahtoseos pumpataan valumuotteihin (kuvio 1). (Asiantuntija 2024.)



Kuvio 1. Neljä valupöytää, 16 valualustaa ja 16 kpl valumuotteja

Valun jälkeen muottien annetaan olla valupöydillä noin puolituntia, jolloin gravitaation avulla vesi valuu pois levyistä (kuvio 1). Tämän jälkeen muotit puristetaan käsin, reikälevystä tehdyllä ”puristimella”. Puristuksen jälkeen levyt siirretään valualustojen päällä uuniin kuivumaan. Kuivauksen jälkeen akustiikkalevyt uudelleen kostutetaan ja puristetaan oikeaan paksuuteen hydraulisella puristimella. Oikean paksuuden jälkeen levyt kuivataan. Kuivauksen jälkeen levyt sahataan oikeaan mittaan. Tarvittaessa valmiit levyt palosuoja käsitellään ja vielä kerran kuivataan. Valmiit levyt toimitetaan asiakkaalle. (Asiantuntija 2024.)

Tämän työn tuloksena syntyvällä koelaitteistolla pystytään eri parametreja testaamaan pienemässä mittakaavassa ja selvittämään eri parametrien vaikutusta vaahtorainattujen materiaalien ominaisuuksiin. Voidaan esimerkiksi testata erilaisia kemikaaleja ja alipaineen vaikutusta vedenpoistoon. (Asiantuntija 2024.)

### 3.3 Vaahtorainaus

Vaahtorainauksen avulla pystytään valmistamaan puukuidusta erilaisia tuotteita. Valmistettavat tuotteet voivat olla muodoltaan ja rakenteeltaan tarkkoja. Valmistettavia tuotteita voivat olla esimerkiksi kuitukankaat, kevyet kartonkipakkaukset, eristeet tai akustiikkalevyt. Vaahtorainauksessa pystytään käyttämään tehokkaasti raaka-aineita, energiaa ja vettä. (Hjelt, Ketoja, Kiiskinen, Koponen & Pääkkönen 2021.)

Vaahtorainaus perustuu siihen, että puukuidut sidotaan veden avulla yhtenäiseksi verkkorakenteeksi. Vesi toimii ”liimana”, jolloin puukuidut sidotaan toisiinsa vetysidosten avulla. (Hjelt ym. 2021.) Hjelt, Ketoja, Kiiskinen, Koponen ja Pääkkönen (2021) toteavat, että lopputuotteista tulee kevyitä, kestäviä ja biohajoavia.

Vaahtorainauksessa voidaan käyttää erilaisia kuituja CTMP, havusellu, kierrätyskuitu. Vaahto tehdään kemikaaleilla esimerkiksi SDS (sodium dodecyl sulfate,  $C_{12}H_{25}SO_4Na$ ). Kuitu, vesi ja kemikaalioseosta sekoitetaan voimakkaasti, jolloin ilmapitoisuus lisääntyy. Lisäämällä kuituja vaahtoon sekaan vaikutetaan vaahtoon stabiilisuuteen, reologiaan, kuplan kokoon ja vedenpoistoon. On olemassa kuivia- ja märkiä vaahtoja. Märkiä vaahtoja käytetään kosmetiikassa, elintarvikkeissa, biomateriaalien ja keramiikan valmistuksessa. Polymeerikomposiittien vaahtopuristuksessa hyödynnetään kuivia vaahtoja. (Hjelt ym. 2021.)

Akustiikkalevyjen valmistuksessa käytetään vaahtorainaus-teknologiaa. Akustiikkalevyjä ei voida valmistaa vesirainamalla, koska tällöin levyistä tulee tiiviitä ja huonosti ääntä vaimentavia. Vaahtorainamalla levyjen tiheys saadaan hyvin alhaiseksi, jolloin levyt ovat erittäin huokoisia ja hyvin ääntä vaimentavia. Kuitumateriaalin avoin huokosrakenne on ihanteellinen äänenvaimennukseen. (Asiantuntija 2024.)

### 3.4 Suhteellisen kosteuden vaikutus näytteisiin (olosuhdekaappi)

Olosuhdekaappi tarvitaan, koska vaahtorainatuille materiaaleille tehdään mittauksia eri kosteudessa. Esimerkiksi akustiikkalevyjen tulee kestää suuria suhteellisia kosteuksia asennuspaikoissa. Kosteuden imukykyyn vaikuttavat esimerkiksi palokemikaalit, pinnoitteet ja kankaat. Tuotekehitysvaiheessa on tärkeää heti testata uusien materiaalien kosteuden sietokyky ja sen vaikutus taipumaan. Tästä syystä materiaalien taivutustestit tehdään eri kosteudessa, jolloin nähdään kosteuden vaikutus taipumaan. (Asiantuntija 2024.)

### 3.5 Taivutuslujuus

Standardit ovat asiakirjajulkaisuja, joissa on määritelty yhteisesti sovittuja vaatimuksia, ominaisuuksia ja suosituksia tuotteille ja palveluille. Standardi voi käsitellä myös tuotteiden testausta. Yhteisiä standardeja noudattamalla voidaan varmistua siitä, että käytössä on aina tietyt toimintatavat ja laatuvaatimukset. (Mitä standardi tarkoittaa? n.d.)

Esimerkiksi jos yritys noudattaa tuotteissa, niiden valmistuksessa ja testauksessa asiaankuuluvia standardeja, niin tällöin tuotteita ostava taho voi varmistua siitä, että tuotteet täyttävät yhteiset laatuvaatimukset ja ovat näin ollen turvallisia ja soveltuvia käytettäväksi. Jos tuotteet eivät täyttäisi standardeja, niin silloin ostajan olisi vaikeampi varmistua tuotteiden laadusta, turvallisuudesta ja toimivuudesta. Ostaja ei välttämättä saisi vaatimustensa mukaista tuotetta. (Mitä standardi tarkoittaa? n.d.)

Käytännössä standardit ovat asiakirjoja, jotka on esitetty painettuina tuotteina tai digitaalisina tiedostoina. Asiakirjojen pituus voi vaihdella eri standardeilla, mutta asiakirjojen rakenne on aina sama. Standardit voivat olla kansallisia, eurooppalaisia tai kansainvälisiä. Jokaisella standardilla on oma tunnus. Alla on esitetty esimerkki standardin tunnuksesta (kuvio 2). (Mitä standardi tarkoittaa? n.d.)



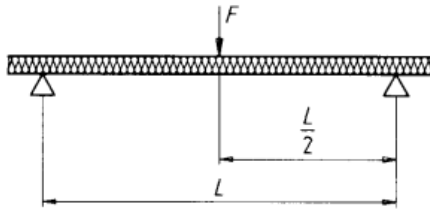
Kuvio 2. Standardin tunnus (Mitä standardi tarkoittaa? n.d.)

SFS-merkintä tarkoittaa, että standardi on vahvistettu Suomessa. Kyseisen merkinnän tilalla voisi olla myös esimerkiksi merkintä DIN ja tämä tarkoittaisi sitä, että standardi on vahvistettu Saksassa. EN-merkintä tarkoittaa, että kyseessä on eurooppalainen standardi. Suomen standardisoinnin keskusjärjestö SFS kuuluu eurooppalaisen CEN –standardijärjestöön ja tästä syystä Suomen on vahvistettava kaikki EN (eurooppalaiset) standardit. ISO-merkintä taas viittaa maailmanlaajuisesti vahvistettuun standardiin. Nämä merkinnät siis kertovat, millä alueilla standardi on voimassa. Standardi voi olla voimassa kaikilla näillä edellä mainituilla alueilla, kuten esimerkin standardi on. Standardissa voi olla myös vähemmän kirjainmerkintöjä. Esimerkiksi standardissa voi olla pelkästään SFS-merkintä, jolloin standardi on vain Suomen kansallinen standardi. Standardin numero yksilöi standardin ja standardin tunnuksessa viimeisenä oleva vuosiluku kertoo vuoden, jolloin standardi on vahvistettu. (Mitä standardi tarkoittaa? n.d.)

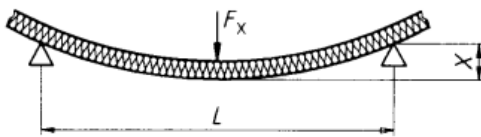
Tässä työssä muodostettavaan koelaitteistoon kuuluu taivutuslujuuslaitteisto. Taivutuslujuuslaitteistolla pystytään testaamaan vaahtorainattujen materiaalien taipumaa ja näkemään eri parametrien vaikutukset materiaalien taivutuslujuuteen. Vaahtorainattujen materiaalien taivutusmitaukset halutaan tehdä standardin SFS-EN 12089:2013 mukaisesti ja tällöin myös taivutuslujuuslaitteiston tulee olla kyseisen standardin mukainen. (Asiantuntija 2024.) SFS-EN 12089:2013 standardi määrittelee koelaitteiston, koemenetelmät ja koekappaleet lämmöneristetuotteiden taivutuslujuusominaisuuksien määrittämiseen (SFS-EN 12089:2013, 3). Taivutuslujuudella tarkoitetaan materiaalin kykyä vastustaa muodonmuutosta, kun materiaaliin kohdistetaan kuormaa. Materiaalin taivutuslujuus voidaan määrittää kolmipistetaivutusmittauksen avulla. (SFS-EN 12089:2013, 3.) Materiaalin tiheys vaikuttaa materiaalin taivutuslujuuteen. Lisäksi materiaalin kuituverkon rakenne vaikuttaa taivutuslujuuteen materiaaleilla/tuotteilla, joiden valmistamiseen on

käytetty kuituja esimerkiksi puukuitua. (Asiantuntija 2024.) Standardissa määritellyn mittausmenetelmän periaatetta on havainnollistettu kuviossa 3.

a) taivutuslujuus



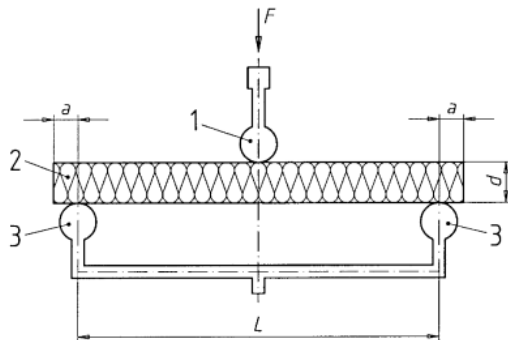
b) taipuma



Kuvio 3. Koemenetelmän periaate (SFS-EN 12089:2013, 4)

Taivutusmittauksessa suorakulmaisen muotoinen koekappale on asetettu kahden sylinterin muotoisen tukipalkin päälle. Tukipalkit on asetettu yhdensuuntaisesti ja ne ovat samalla tasolla. Tukipalkkien halkaisija ja pituus on määritelty standardissa. Kuormituspalkki on samanmuotoinen ja mitoiltaan sama kuin tukipalkit. Kuormituspalkki on sijoitettu keskelle ja yhdensuuntaisesti tukipalkkeihin nähden. (SFS-EN 12089:2013, 4.) Palkkien ja koekappaleen sijoittelu on nähtävissä kuviossa 4.

Hauraammilla koekappaleilla tulee käyttää kuormitusta jakavia levyjä, koska kuormitus- ja tukipalkit voivat muuten rikkoa koekappaleen. Kuormitusta jakavien levyjen täytyy olla mitoiltaan tietynlaisia ja nämä mitat on määritelty standardissa. (SFS-EN 12089:2013, 4.)



1 Kuormituspalkki

2 Koekappale, paksuus  $d$

3 Tukipalkit

$a$  50 mm menetelmässä A, 25 mm menetelmässä B

Kuvio 4. Taivutuslujuuslaitteen periaate (SFS-EN 12089:2013, 4)

Koekappaleet ovat suorakulmaisen muotoisia. Koekappaleiden mitat riippuvat siitä käytetäänkö mittauksessa menetelmää A vai menetelmää B. Jos koekappale joudutaan leikkaamaan oikeisiin mittoihin menetelmää varten, tulee varmistaa, että koekappaleen rakenne vastaa tuotteen alkuperäistä rakennetta leikkauksen jälkeen. (SFS-EN 12089:2013, 4.)

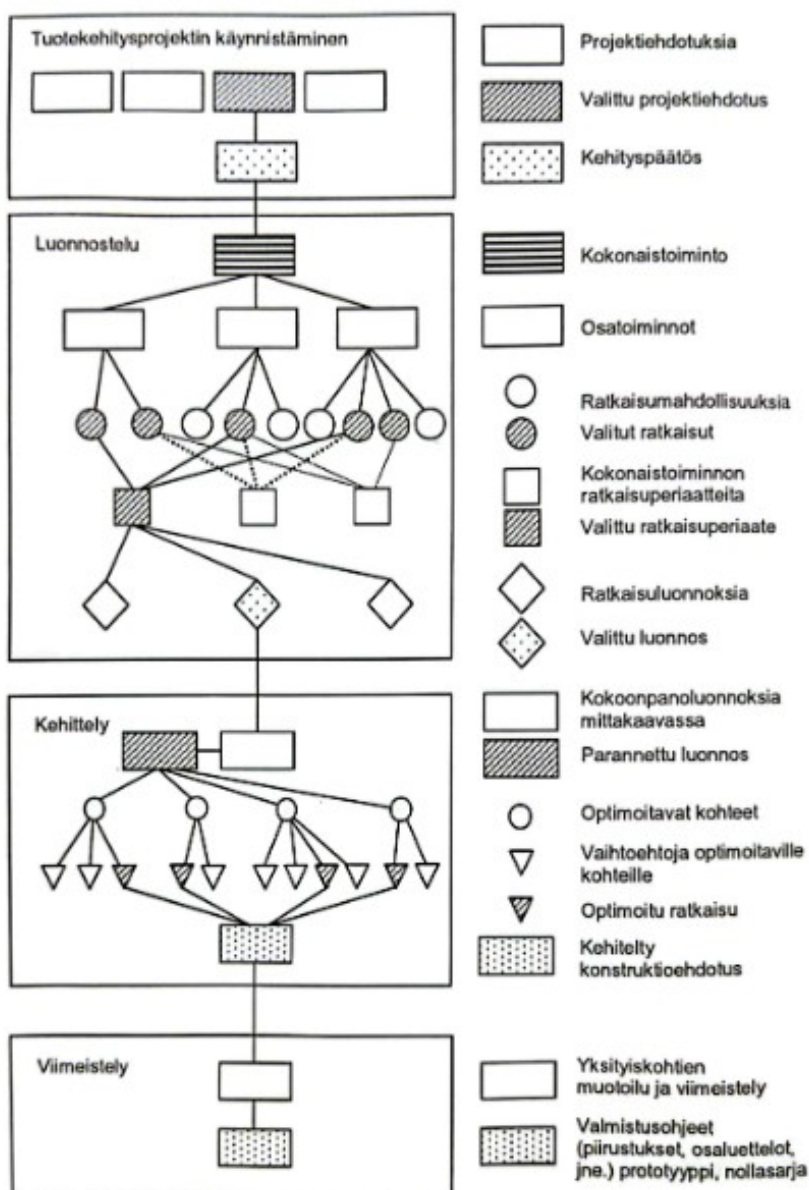
Taivutusmittaus tehdään tietyssä lämpötilassa ja suhteellisessa kosteudessa (SFS-EN 12089:2013, 5). Toisaalta vaahtorainattujen materiaalien taivutustestit tehdään eri kosteudessa, jolloin nähdään kosteuden vaikutus taipumaan. Tukipalkkien etäisyys  $L$  (kuviossa 4) määräytyy koekappaleen paksuuden mukaan ja sen mukaan onko käytössä menetelmä A vai B (SFS-EN 12089:2013, 5).

### 3.6 Tuotekehitysprojekti

Tuotekehitysprojektissa kehitetään kokonaan uusi tuote tai palvelu. Vaihtoehtoisesti voidaan parantaa jo olemassa olevaa tuotetta tai palvelua uusien kehitysideoiden myötä. Tuotekehitysprojektiin sisältyy eri vaiheita. (Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä n.d.) Jokinen (2001, 14) tiivistää tuotekehityksen vaiheet neljään päävaiheeseen, joita ovat käynnistäminen, luonnostelu, kehittäminen ja viimeistely. Vaiheiden sisällöt on kuvattu tarkemmin kuviossa 5.

Kehitettävälle tuotteelle pitää olla tarve ja idea sen toteuttamismahdollisuuksista, jotta tuotekehitysprojekti voi käynnistyä. Tarpeiden, toteuttamismahdollisuuksien ja kehitysideoiden havaitseminen voi tapahtua sattumalta tai esimerkiksi erilaisten kyselyiden kautta. (Jokinen 2001, 17-20.) Kehitysideoita voidaan saada yrityksen sisällä itse yrittäjältä tai yrityksen työntekijöiltä.

Kehitysideoita voidaan saada myös yrityksen ulkopuolelta esimerkiksi asiakkailta suoraan tai juuri näiden erilaisten asiakaskyselyiden avulla. Esille nousseet kehitysideat on arvioitava ja sen jälkeen päätettävä, mitä kehitysideaa lähdetään toteuttamaan. (Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä n.d.)



Kuvio 5. Tuotekehitysprojektin toimintavaiheet (Jokinen 2001, 16)

Kun on saatu päätös tuotekehitysprojektin aloittamisesta, edetään seuraaviin vaiheisiin. Nämä vaiheet ovat järjestyksessään seuraavat. (Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä n.d.):

- Vaatimusten määrittely
- Ratkaisujen määrittely
- Markkinoiden testaaminen
- Valitun ratkaisun konseptointi ja simulointi
- Lopullinen ratkaisu ja yksityiskohdat
- Prototyypin testauksen, valmistamisen ja laadunvarmistuksen suunnittelu
- Prototyypin testaus
- Jatkokehitys ja tuotannon suunnittelu

Ensimmäisenä vaiheena on vaatimusten määrittely. Tässä vaiheessa määritellään uudelle tuotteelle vaatimukset, esimerkiksi tuotteen mitat ja paino. Vaatimukset tulee olla tarkoin määritellyjä, koska tällöin vaatimusten perusteella pystytään tekemään ratkaisuja tuotekehitysprojektin seuraavissa vaiheissa. Esimerkiksi pohdittaessa, millä valmistusmenetelmillä tuote valmistetaan. Valmista tuotetta on myös hyvä verrata projektin alussa määriteltyihin vaatimuksiin ja tarkastella saavutettiin ko tuotteelle asetetut vaatimukset. Vaatimukset vaikuttavat myös merkittävästi kustannuksiin. (Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä n.d.)

Vaatimukset voidaan luokitella kolmeen ryhmään. Kiinteät vaatimukset (KV), vähimmäisvaatimukset (VV) ja toivomukset (T). Tuotteen tulee täyttää kaikissa tilanteissa sille asetetut kiinteät vaatimukset. Lisäksi kiinteän vaatimuksen tulee toteuttaa juuri se lukuarvo, standardi tai määritelmä, mikä sille on laadittu. Kiinteitä vaatimuksia voivat olla esimerkiksi tuotteen valmistusmateriaali.

Vähimmäisvaatimukset ovat yleensä tiettyjen ominaisuuksien raja-arvoja. Kyseessä on siis vaatimus, mikä tulee vähintään toteutua. Esimerkiksi sekoittimen siivilän minimi halkaisija tai nosturin maksimi nostokuorma. Toivomukset ovat vaatimuksia, jotka toteutetaan mahdollisuuksien mukaan. (Jokinen 2001, 30.)

Markkinoiden testaamisessa on kyse siitä, että kehitteillä olevaa tuotetta myydään ja näin saadaan tietää tuotteen kysynnästä. Tässä vaiheessa asiakkaille voidaan kertoa, että tuote on vasta kehitteillä. (Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä n.d.)

Seuraavissa vaiheissa tuotteesta tehdään 3d-mallit. Mallinnus vaihe on työläin vaihe, koska tässä vaiheessa pitää pienimmätkin yksityiskohdat suunnitella ja päättää. (Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä n.d.)

Seuraavissa vaiheissa tehdään prototyyppi ja sitä testataan. Prototyyppi tarkoittaa yleisesti kehitettävän tuotteen ensimmäistä konkreettista versiota. Prototyyppi voi vastata hyvin paljon jo lopullista tuotetta. Toisaalta prototyyppi voidaan myös tehdä pelkästään tiettyjen tuotteen ominaisuuksien testaamiseen tai prototyyppi voi olla mittakaavaltaan eri kuin valmis tuote. (Hietikko 2021, 199.) Prototyypin testaus on erittäin tärkeää, koska testauksen avulla nähdään, miten tuote toimii käytännössä. Testaus on suunniteltava hyvin, jotta saataisiin pidettyä riskit mahdollisimman pieninä ja saataisiin todennettua hyvin tuotteessa mahdollisesti olevat virheet. Testauksen jälkeen pystytään päättämään tarvitseeko tuotetta vielä jatko kehittää vai voidaanko tuotetta alkaa myydä. (Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä n.d.)

### **3.7 Koneturvallisuus**

Koneturvallisuus liittyy olennaisesti käsitteenä tässä työssä muodostettavaan koelaitteistoon, koska koelaitteisto sisältää erilaisia laitteita. Asetuksen mukaan toisiinsa kiinnitettyjen osien tai komponenttien yhdistelmä tarkoittaa konetta. Koneessa on myös oltava voimansiirto, joka toimii moottorin avulla. Lisäksi koneessa on oltava yksi tai useampi liikkuva osa tai komponentti. Koneella on myös tietty toiminto ja kone on kasattu toimintoa varten. (A 12.6.2008/400, 4 §.) Koneen valmistajalla ja suunnittelijalla on erilaisia tehtäviä koneturvallisuuteen liittyen (Siirilä & Kerttula 2007, 14).

Koneen valmistajan tehtäviin kuuluu (Siirilä & Kerttula 2007, 14):

- Koneen riskien arviointi
  
- Ohjeiden luonti koneelle
  
- Suunnitella ja rakentaa kone turvallisuusvaatimusten mukaisesti
  
- Teknisen tiedoston luonti ja ylläpitäminen

Koneen suunnittelijan tehtäviin kuuluu määrittää koneen käytölle raja-arvot, selvitettävä vaarat ja vaaratilanteet, mitkä koneeseen liittyy. Selvitettävä ja arvioitava vaaroihin liittyvät riskit ja mietittävä tarvitaanko toimenpiteitä riskien pienentämiseen. Mietittävä millaisia suojaustoimenpiteitä koneessa käytetään (esimerkiksi suojat ja varoitus- ja ohjetarrat). (Siirilä & Kerttula 2007, 16-17.)

Koneturvallisuuteen liittyy erilaisia standardeja, joita koneiden valmistajat ja suunnittelijat noudattavat. CEN ja CENELEC ovat eurooppalaisia standarsoimisjärjestöjä ja nämä järjestöt laativat koneturvallisuusstandardeja. Yhdenmukaistetut eurooppalaiset koneturvallisuusstandardit on laadittu siten, että kun niiden mukaan suunnitellaan ja valmistetaan kone, niin kone täyttää merkittävimmät lainsäädännön edellyttämät turvallisuusvaatimukset. (Siirilä & Kerttula 2007, 17-19.)

## **4 Työn toteutus**

### **4.1 Laitteiden vaatimukset**

Toimeksiantaja yrityksen ohjaajan kanssa pidettiin kaksi palaveria koskien laitteiden vaatimuksia. Ensimmäisessä palaverissa määritettiin vaatimukset ostettaville laitteille. Toisessa palaverissa määritettiin arkkimuotin vaatimukset.

Määritetyistä vaatimuksista tehtiin jokaiselle laitteelle/tuotteelle vaatimusluettelo. Vaatimusten perusteella pystyttiin valikoimaan ostettavia laitteita ja suunnittelemaan arkkimuotti. Seuraavaksi on käyty kaikkien laitteiden vaatimukset läpi.

#### 4.1.1 Sekoitin

Sekoittimelle määritellyt vaatimukset olivat seuraavanlaisia. Sekoittimen kierrosnopeus pitää olla vähintään 3800 rpm, mutta kierrosnopeuden ei tarvitse olla yli 5000 rpm. Kierrosnopeutta pitää pystyä säätämään ja sekoituskapasiteetin tulee olla vähintään 4 litraa. Sekoitustastian tilavuus tulee olla vähintään 20 litraa ja korkeus 350 mm. Sekoittimen jalkojen väli pitää olla vähintään 300mm. Lisäksi sekoittimen pitää olla turvallinen ja mahdollisimman edullinen. Taulukossa 1 on esitetty sekoittimen vaatimusluettelo. Taulukossa 2 on vaatimuksien luokitukset selitettynä.

Taulukko 1. Sekoittimen vaatimusluettelo

Vaatusluettelo		
Sekoitin		
Vaatus	Luokitus	Lukuarvo / Standardi / Määritelmä
Kierrosnopeusalue	VV	3800-5000rpm
Kierrosnopeuden säätö	KV	Kierrosnopeus pitää olla säädettävissä
Sekoituskapasiteetti	VV	4-8L
Sekoitusastian tilavuus	VV	20 litraa
Sekoitusastian korkeus	VV	350mm
Jalustan väli	VV	300mm
Turvallisuus	KV	CE merkitty
Kustannustehokkuus	KV	Mahdollisimman edullinen ratkaisu

Taulukko 2. Vaatimuksien luokittelu

KV	Kiinteät vaatimukset	Vaatus on täytettävä kaikissa tilanteissa
VV	Vähimmäisvaatimukset	Vaatus yleisesti raja-arvo, joka tulee toteutua
T	Toivomukset	Vaatus, joka toteutetaan mahdollisuuksien mukaan

#### 4.1.2 Olosuhdekaappi

Olosuhdekaapille määritellyt vaatimukset olivat seuraavanlaisia. Ilman kosteutta pitää pystyä säätämään. Ilman kosteus tulee olla säädettävissä välillä 50-90 % ja tarkkuuden 1 %. Lämpötilaa pitää pystyä säätämään välillä 0-70 °C tai 15-60 °C ja tarkkuuden tulee olla 1 °C. Kaapin sisälle on mahdollista kerralla 4-10 näytelevyä, joten kaapin sisämitat tulee olla seuraavanlaiset. Leveyden pitää olla vähintään 450 mm, syvyyden vähintään 350 mm ja korkeuden vähintään 400 mm. Lisäksi olosuhdekaapin pitää olla turvallinen ja mahdollisimman edullinen. Taulukossa 3 on esitetty olosuhdekaapin vaatimusluettelo.

Taulukko 3. Olosuhdekaapin vaatimusluettelo

Vaatimusluettelo		
Olosuhdekaappi		
Vaatus	Luokitus	Lukuarvo / Standardi / Määritelmä
Kosteudensäätöalue	VV	Ilman kosteutta pitää pystyä säätämään, kosteus 50-90% tarkkuus 1%
Lämpötila-alue	VV	Lämpötilaa pitää pystyä säätämään, lämpötila-alue 0-70°C tai 15-60°C tarkkuus 1°C
Sisämitat	VV	Vähintään 450 x 350 x 400mm (L x S x K), 4-10 näytettä mahdollista kerralla
Turvallisuus	KV	CE merkitty
Kustannustehokkuus	KV	Mahdollisimman edullinen ratkaisu

#### 4.1.3 Taivutuslujuuslaite

Taivutuslujuuslaitteelle määritellyt vaatimukset olivat seuraavanlaisia. Laitteen tulee olla SFS-EN 12089:2013 standardin mukainen. Kuormituskapasiteetiksi riittää 20-500N. Koekappaleen pituus vaihtelee ja se asetetaan tukijalkojen päälle niin kuin aiemmin on jo tämän työn tietoperustassa todettu. Näin ollen tukijalkojen väli pitää olla säädettävissä välillä 100-300 mm. Iskunpituudeksi riittää 100 mm. Lisäksi taivutuslujuuslaitteen pitää olla turvallinen ja mahdollisimman edullinen. Taulukossa 4 on esitetty taivutuslujuuslaitteen vaatimusluettelo.

Taulukko 4. Taivutuslujuuslaitteen vaatimusluettelo

Vaatimusluettelo		
Taivutuslujuuslaite		
Vaatus	Luokitus	Lukuarvo / Standardi / Määritelmä
Standardin mukainen	KV	SFS-EN 12089:2013
Kuormituskapasiteetti	VV	20-500N
Pidikeväli	VV	100-300mm
Näytteen koko	VV	150x150x20mm (LxSxK)
Min iskunpituus	VV	100mm
Turvallisuus	KV	CE merkitty
Kustannustehokkuus	KV	Mahdollisimman edullinen ratkaisu

#### 4.1.4 Arkkimuotti

Arkkimuotille määritellyt vaatimukset olivat seuraavanlaisia. Muotin pitää olla tilavuudeltaan 20 litraa. Valmistusmateriaalina käytetään ruostumatonta teräslevyä paksuudessa 1,5 mm. Aluksi paksuudeksi mietittiin 2 mm, mutta tällöin tuotteesta olisi tullut turhaan painavampi, koska toiminnan kannalta teräslevyn paksuudeksi riittää 1,5 mm. Painoa muotin yläosalla saisi olla maksimissaan 15 kg, koska muottia täytyy jaksaa nostaa käsin. Muotin alaosassa tulee olla venttiili ja

yhde imurille. Venttiilin avulla saadaan suotautuneet vedet talteen ja imuri yhteen avulla saadaan liitettyä imuri muotin alaosaan. Imurilla saadaan luotua tarvittaessa alipaine muotin alaosaan. Muotin alaosassa pitää olla kaltevuudensäätö mekanismi, jotta muotti saadaan suoraan. Muotin pitää olla tiivis, joten muotin ylä- ja alaosan välillä tulee olla tiivistys. Lisäksi arkkimuotin pitää olla turvallinen, eikä siihen saa jäädä teräviä reunoja. Arkkimuotti tulee olla myös mahdollisimman edullinen valmistaa. Taulukossa 5 on esitetty arkkimuotin vaatimusluettelo.

Taulukko 5. Arkkimuotin vaatimusluettelo

Vaatusluettelo		
Arkkimuotti		
Vaatus	Luokitus	Lukuarvo / Standardi / Määritelmä
Muotin tilavuus	KV	20 litraa
Materiaali	KV	Ruostumaton teräs
Materiaalin paksuus	KV	1,5 mm
Paino	VV	15 kg
Venttiili muotin alaosaan	KV	Venttiilin avulla suotautuneet vedet saadaan talteen
Yhde imurille/muotin alaosan alipaine	KV	Imurin avulla saadaan luotua alipaine muotin alaosaan
Muotin alaosan kaltevuuden säätö	KV	Saadaan muotti suoraan
Muotti pitää olla tiivis	KV	Muotin ylä- ja alaosan välille tiivistys
Turvallisuus	KV	Ei teräviä reunoja
Kustannustehokkuus	KV	Mahdollisimman edullinen ratkaisu

## 4.2 Ostettavien laitteiden etsintä

Laitteille laadittujen vaatimusten perusteella päädyttiin siihen, että ostettavia laitteita ovat sekoitin, olosuhdekaappi ja taivutuslujuuslaite. Nämä laitteet voidaan myös suoraan ostaa, koska niitä on tarjolla. Vaatimusten mukaista arkkimuottia ei löydy suoraan ostettavana, joten se suunnitellaan itse. Ostoprosessi alkoi siten, että etsittiin jokaiselle ostettavalle laitteelle vaihtoehtoja. Tarkoituksena oli löytää vähintään kolme vaihtoehtoista laitetta ja saada jokaisesta ostettavasta laitteesta vähintään kolme kappaletta tarjouksia. Laitteita etsittiin vaatimusten perusteella ja jokaisesta laitteesta saatiin tehtyä vähintään kolme kappaletta tarjouskyselyjä.

Seuraavaksi tehtiin vertailutaulukot, joihin koottiin laitteet, joista oli tehty tarjoukset. Liitteessä 1 on vertailutaulukko mikseriestä, liitteessä 2 on olosuhdekaappien vertailutaulukko ja liitteessä 3 on taivutuslujuuslaitteiden vertailutaulukko. Vertailutaulukoiden ideana oli se, että pystytään paremmin vertailemaan saman tyyppisiä laitteita. Lisäksi tärkeimpiä vaatimuksia ja laitteita arvioitiin valmiiden taivutuslujuuslaitteiden avulla. Arviointien perusteella saatiin pisteytettyä eri laitevaihtoehdot.

Vertailujen kautta pystyttiin rajaamaan sellaiset laitteet pois, mitkä eivät täytä kaikkia määriteltyjä vaatimuksia ja valitsemaan laitevaihtoehdoista ostettavat laiteyksilöt.

Kaikilta ostettavilta laitteilta arvioitiin viittä tärkeintä vaatimusta. Taulukossa 6 on sekoittimen vaatimusten arviointi. Kaikkia viittä vaatimusta vertailtiin toisiinsa taulukon avulla. Vertailun periaatetta on selitetty taulukoiden alla näkyvässä selostuksessa. Vaatimusten vertailun jälkeen saatiin laskettua kokonaispisteet jokaiselle vaatimukselle (taulukko 6). Esimerkiksi sekoituskapasiteetti sai kokonaispisteiksi 5. Vaatimuksien yhteenlaskettu pistemäärä oli 20. Jokaiselle vaatimukselle muodostettiin painokerroimet, joita pystyttiin hyödyntämään laitevaihtoehtojen arvioinnissa. Painokerroimet muodostettiin siten, että vaatimuksien kokonaispisteet jaettiin vaatimuksien yhteenlasketuilla pisteillä. Esimerkiksi sekoittimen tapauksessa sekoituskapasiteetin painokerroin muodostettiin jakolaskulla  $5/20=0,25$  (taulukko 6). Vaatimusten arvioinnin ideana oli se, että nähtiin mitkä vaatimukset ovat merkittävimpiä.

Taulukko 6. Sekoittimen vaatimusten arviointi (Evaluation of ideas and concepts n.d., muokattu)

Vaatimusten arviointi								
	1. Max. Kierrosnopeus	2. Kierrosnopeuden säätö	3. Sekoituskapasiteetti	4. Hinta	5. Toimitusaika	Kokonaispisteet	Osuus kokonaispisteistä	Painokerroin
1. Max. Kierrosnopeus	0	1	1	1	2	5	5/20	0,25
2. Kierrosnopeuden säätö	1	0	1	1	2	5	5/20	0,25
3. Sekoituskapasiteetti	1	1	0	1	2	5	5/20	0,25
4. Hinta	1	1	1	0	1	4	4/20	0,20
5. Toimitusaika	0	0	0	1	0	1	1/20	0,05
						20		

Sama väri solussa=> summa= 2

1-1 = vaatimukset ovat yhtä tärkeitä

2-0, esimerkki: kierrosnopeus on tärkeämpi kuin toimitusaika

0-2, esimerkki: sekoituskapasiteetti on tärkeämpi kuin toimitusaika

0 = punainen nolla= vakio, älä muuta

Jokaiselle tärkeimmälle vaatimukselle muodostettiin vielä arviointiasteikko, jota pystyttäisiin myös hyödyntämään eri laitevaihtoehtojen pisteytyksessä. Taulukossa 7 on sekoittimen vaatimusten arviointiasteikko. Esimerkiksi jos sekoittimen toimitusaika olisi alle seitsemän päivää, niin tällöin kyseinen sekoitin saisi tästä osiosta täydet viisi pistettä.

Taulukko 7. Sekoittimen vaatimusten arviointiasteikko (Evaluation of ideas and concepts n.d., muokattu)

Kriteerit-Arviointiasteikko						
1. Max. Kierrosnopeus	<3800rpm	10000rpm	9000rpm	8000rpm	7000rpm	5000-6000rpm
	0	1	2	3	4	5
2. Kierrosnopeuden säätö	ei säätöä					säätö on
	0	1	2	3	4	5
3. Sekoituskapasiteetti	<4L	4L	5L	6L	7L	8L-30L
	0	1	2	3	4	5
4. Hinta	>9000€	7000-9000€	6000-7000€	4000-6000€	3000-4000€	<3000€
	0	1	2	3	4	5
5. Toimitusaika	3 kuukautta	2 kuukautta	kuukausi	3 viikkoa	2 viikkoa	<7 päivää
	0	1	2	3	4	5

Aikaisemmin muodostettujen vaatimusten painokertoimien ja -arviointiasteikoiden avulla pystyttiin pisteyttämään eri laitevaihtoehdot. Alla olevassa taulukossa 8 on sekoitin vaihtoehtojen pisteytys. Esimerkiksi sekoitin Multimix 2103 on saanut vaatimusten arviointiasteikon perusteella neljästä vaatimusosiosta täydet viisi pistettä ja hinta vaatimusosiosta neljä pistettä. Jokainen vaatimusosiosta saatu piste kerrottiin vaatimuksien painokertoimilla. Näin saatiin muodostettua vaatimusosioiden pisteet painokertoimella. Esimerkiksi Multimix 2103 sekoitin on saanut sekoituskapasiteetti osiosta 5 pistettä ja kyseisen vaatimuksen painokerroin on 0,25. Nämä luvut on kerrottu keskenään ja näin on saatu pisteet painokertoimella (1,25) sekoituskapasiteetti osiolle. Jos jokin laite on kuitenkin saanut jostain vaatimusosiosta nolla pistettä, niin laite on tällöin pois suljettu vaihtoehto, koska laite ei tällöin täytä kaikkia sille määritettyjä vaatimuksia.

Taulukko 8. Sekoitinvaihtoehtojen arviointi (Evaluation of ideas and concepts n.d., muokattu)

		Arviointiasteikko , 0-5, 0=käyttökelvoton, 5=täydellinen ratkaisu									
Vaatimukset	painokerroin	Multimix 2103		Multimix 2203		ONE-ST-C		Dispermat		NETZSCH	
		ilman painokerrointa	painokerrotoimella	ilman painokerrointa	painokerrotoimella	ilman painokerrointa	painokerrotoimella	ilman painokerrointa	painokerrotoimella	ilman painokerrointa	painokerrotoimella
1. Max. Kierrosnopeus	0,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25
2. Kierrosnopeuden säätö	0,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25
3. Sekoituskapasiteetti	0,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25
4. Hinta	0,20	4	0,80	3	0,60	3	0,60	0	0,00	0	0,00
5.Toimitusaika	0,05	5	0,25	5	0,25	1	0,05	0	0,00	4	0,20
<b>Kokonaispisteet</b>		<b>24</b>		<b>23</b>		<b>19</b>		<b>15</b>		<b>19</b>	
<b>Kokonaispisteet painokertoimella</b>			<b>4,80</b>		<b>4,60</b>		<b>4,40</b>		<b>3,75</b>		<b>3,95</b>

Myös olosuhdekaapille ja taivutuslujuuslaitteelle tehtiin samoilla periaatteilla vaatimusten arviointi, vaatimusten arviointiasteikko ja laitevaihtoehtojen arviointi. Olosuhdekaapin vaatimusten

arviointi ja painokerroimet ovat esitetty taulukossa 9. Olosuhdekaapin vaatimusten arviointias-teikko on esitetty taulukossa 10 ja olosuhdekaappi vaihtoehtojen arviointi on taulukossa 11.

Taulukossa 12 nähdään taivutuslujuuslaitteen vaatimusten arviointi ja painokertoimet. Taivutuslu-juuslaitteen vaatimusten arviointias-teikko on esitetty taulukossa 13 ja taivutuslujuuslaite vaihto-ehtojen arviointi on taulukossa 14.

Taulukko 9. Olosuhdekaapin vaatimusten arviointi (Evaluation of ideas and concepts n.d., muokattu)

Vaatimusten arviointi								
	1. Kosteudensäättö	2. Lämpötila-alue	3. Sisämitat/tilavuus	4. Hinta	5. Toimitusaika	Kokonaispisteet	Osuus kokonais pisteistä	Painokerroin
1. Kosteudensäättö	0	1	1	1	2	5	5/20	0,25
2. Lämpötila-alue	1	0	1	1	2	5	5/20	0,25
3. Sisämitat/tilavuus	1	1	0	1	2	5	5/20	0,25
4. Hinta	1	1	1	0	1	4	4/20	0,20
5. Toimitusaika	0	0	0	1	0	1	1/20	0,05
						20		

Sama väri solussa=> summa= 2  
 1-1 = vaatimukset ovat yhtä tärkeitä  
 2-0, esimerkki: kosteudensäättö on tärkeämpi kuin toimitusaika  
 0-2, esimerkki: lämpötila-alue on tärkeämpi kuin toimitusaika  
 0 = punainen nolla= vakio, älä muuta

Taulukko 10. Olosuhdekaapin vaatimusten arviointias-teikko (Evaluation of ideas and concepts n.d., muokattu)

Kriteerit-Arviointias-teikko						
1. Kosteudensäättö	ei säättöä					säättö on
	0	1	2	3	4	5
2. Lämpötila-alue	>120°C	0-120°C	15-100°C	0-100°C	15-70°C	0-70°C
	0	1	2	3	4	5
3. Sisämitat/tilavuus	>130L	125-130L	120-125L	115-120L	112-115L	<112L
	0	1	2	3	4	5
4. Hinta	>20000€	17000-20000€	15000-17000€	13000-15000€	11000-13000€	<11000€
	0	1	2	3	4	5
5. Toimitusaika	3 kuukautta	2 kuukautta	kuukausi	3 viikkoa	2 viikkoa	<7 päivää
	0	1	2	3	4	5

Taulukko 11. Olosuhdekaappivaihtoehtojen arviointi (Evaluation of ideas and concepts n.d., muokattu)

		Arviointiasteikko, 0-5, 0=käyttökelvoton, 5=täydellinen ratkaisu					
Vaativuudet	Painokerroin	MMM CLIMACELL 111 ECO		HPP 110 eco Vingmed OY		HPP 110 eco VWR International Oy	
		ilman painokerrointa	painokertoimella	ilman painokerrointa	painokertoimella	ilman painokerrointa	painokertoimella
1. Kosteudensäätö	0,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25
2. Lämpötila-alue	0,25	3	0,75	5	1,25	5	1,25
3. Sisämitat/tilavuus	0,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25
4. Hinta	0,20	2	0,40	5	1,00	5	1,00
5.Toimitusaika	0,05	0	0,00	1	0,05	0	0,00
<b>Kokonaispisteet</b>		<b>15</b>		<b>21</b>		<b>20</b>	
<b>Kokonaispisteet painokertoimella</b>			<b>3,65</b>		<b>4,80</b>		<b>4,75</b>

Taulukko 12. Taivutuslujuuslaitteen vaatimusten arviointi (Evaluation of ideas and concepts n.d., muokattu)

Vaatimusten arviointi								
	1. Standardin mukainen	2. Kuormituskapasiteetti	3. Näyte mahtuu laitteeseen	4. Kokonais hinta	5.Toimitus aika	Kokonaispisteet	Osuus kokonais pisteistä	Painokerroin
1. Standardin mukainen	0	1	1	1	2	5	5/20	0,25
2. Kuormituskapasiteetti	1	0	1	1	2	5	5/20	0,25
3. Näyte mahtuu laitteeseen	1	1	0	1	2	5	5/20	0,25
4. Kokonaishinta	1	1	1	0	1	4	4/20	0,20
5.Toimitusaika	0	0	0	1	0	1	1/20	0,05
						20		

Sama väri solussa=> summa= 2

1-1 = vaatimukset ovat yhtä tärkeitä

2-0, esimerkki: kuormituskapasiteetti on tärkeämpi kuin toimitusaika

0-2, esimerkki: standardin mukaisuus on tärkeämpi kuin toimitusaika

0 = punainen nolla= vakio, älä muuta

Taulukko 13. Taivutuslujuuslaitteen vaatimusten arviointiasteikko (Evaluation of ideas and concepts n.d., muokattu)

Kriteerit-Arviointiasteikko						
1. Standardin mukainen	ei 0	1	2	3	4	kyllä 5
2. Kuormituskapasiteetti	>10000N 0	1	2	3	4	>20N 5
3. Näyte mahtuu laitteeseen	ei 0	1	2	3	4	kyllä 5
4. Kokonaishinta	>30000€ 0	24000-30000€ 1	18000-24000€ 2	15000-18000€ 3	11000-15000€ 4	<11000€ 5
5.Toimitusaika	>3 kuukautta 0	3 kuukautta 1	2 kuukautta 2	4 viikkoa 3	2 viikkoa 4	<7 päivää 5

Taulukko 14. Taivutuslujuuslaitteevaihtoehtojen arviointi (Evaluation of ideas and concepts n.d., muokattu)

		Arviointiasteikko, 0-5, 0=käyttökelvoton, 5=täydellinen ratkaisu							
Vaatimukset	Painokerroin	Universal Tester UTE.2020		LS1		IJF 6/200		MTE-5	
		ilman painokerrointa	painokertoimella	ilman painokerrointa	painokertoimella	ilman painokerrointa	painokertoimella	ilman painokerrointa	painokertoimella
1. Standardin mukainen	0,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25
2. Kuormituskapasiteetti	0,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25
3. Näyte mahtuu laitteeseen	0,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25	5	1,25
4. Kokonaishinta	0,20	1	0,20	1	0,20	3	0,60	0	0,00
5.Toimitusaika	0,05	2	0,10	2	0,10	1	0,05	0	0,00
<b>Kokonaispisteet</b>		<b>18</b>		<b>18</b>		<b>19</b>		<b>15</b>	
<b>Kokonaispisteet painokertoimella</b>			<b>4,05</b>		<b>4,05</b>		<b>4,40</b>		<b>3,75</b>

Laitevertailujen jälkeen nähtiin, mitkä laitteet vastaavat parhaiten määritettyihin vaatimuksiin.

Vaihtoehtojen arvioinnissa parhaat pisteet sai sekoitin Multimix HSD Model 2103, mutta sekoitin Multimix HSD Model 2203 on tehokkaampi ja hintaero on suhteellisen vähäinen. Näiden syiden seurauksena päädyttiin ostamaan sekoitin Multimix HSD Model 2203. Kyseinen sekoitin on kuviossa 6.



Kuvio 6. Sekoitin Multimix HSD Model 2203 (Multimix High Speed Lab Disperser – HSD 2103 (1HP) / 2203 (2HP) n.d.)

Vaahtorainattujen materiaalien taivutusmittauksia tehdään eri kosteudessa, joten tämän takia toimeksiantajayritys tarvitsee tutkimuslaitteeksi olosuhdekaapin. Liitteessä kaksi on esitetty vertailutaulukko olosuhdekaapeista. Kuviossa 7 on olosuhdekaappi, joka sai parhaat pisteet vaihtoehtojen arvioinnissa. Olosuhdekaappia ei vielä tämän työn aikana ostettu, mutta kyseinen olosuhdekaappi täyttää määritetyt vaatimukset ja se voidaan jatkossa mahdollisuuksien mukaan ostaa.

Liitteessä kolme on esitetty vertailutaulukko taivutuslujuuslaitteista. Kuviossa 8 on taivutuslujuuslaite, joka sai parhaat pisteet vaihtoehtojen arvioinnissa. Taivutuslujuus laitetta ei vielä tämän työn aikana ostettu, mutta kyseinen taivutuslujuuslaite täyttää määritetyt vaatimukset ja pärjäsi hyvin vertailussa. Näin ollen se voidaan jatkossa mahdollisuuksien mukaan ostaa.



Kuvio 7. Olosuhdekaappi HPP110eco (Memmert olosuhdekaappi HPP110eco n.d.)

**IJF**



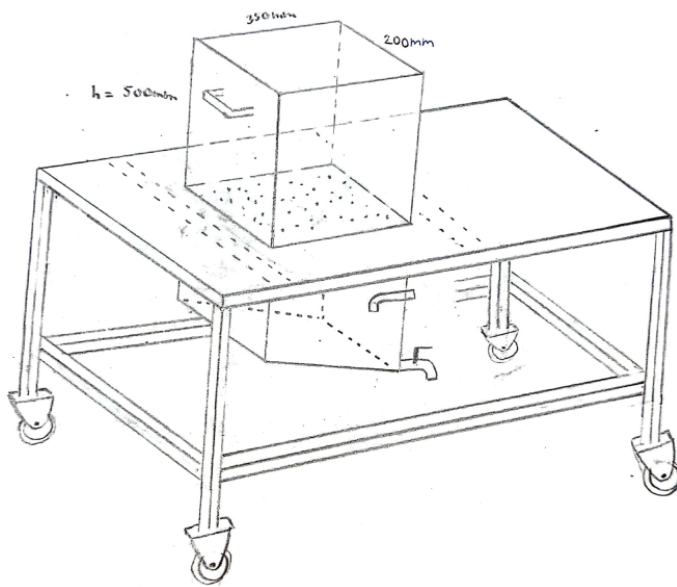
Kuvio 8. Taivutuslujuuslaite IJF 6/200 (Intelli-Jack with frame n.d.)

### 4.3 Arkkimuotin suunnittelu

Tarvittavan tyyppistä arkkimuottia ei löydy suoraan ostettavana, joten arkkimuotti suunniteltiin itse. Arkkimuotin avulla voidaan helposti selvittää eri parametrien vaikutusta vaahtorainattujen materiaalien ominaisuuksiin. Tärkeimpiä parametreja ovat eri kuidut ja niiden seokset, sekä eri vaahdotuskemikaalit ja niiden annokset. Arkkimuotilla voidaan siis valmistaa eri materiaaleilla ja

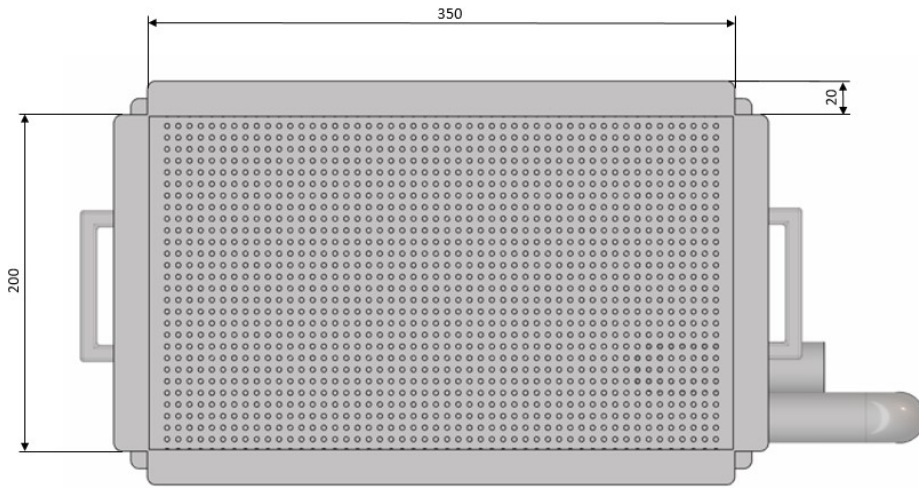
vaahdotuskemikaaleilla eri paksuisia arkkeja. Laboratoriokokoluokan laitteistolla on helppo ja nopea valmistaa erilaisia arkkeja jatkotutkimuksiin. Jatkotutkimuksia voivat olla esimerkiksi taivutuslujuusmittaukset. Labrakokoluokanlaitteiston hyviä puolia ovat pienet massa ja kemikaalimäärät.

Arkkimuotin suunnittelu alkoi palaverilla. Palaveriin osallistuivat opinnäytetyöntekijä, toimeksiantajayrityksen ohjaaja ja kaksi muuta toimeksiantajayrityksen työntekijää. Palaverissa määritettiin vaatimukset arkkimuotille. Palaverissa päätettiin esimerkiksi arkkimuotin mitoiksi pituus, leveys ja korkeus (350 mm x 200 mm x 500 mm). Määritetyistä vaatimuksista tehtiin arkkimuotille vaatimusluettelo. Seuraavaksi tehtiin piirroskuva arkkimuotista (kuviossa 9). Piirroskuvan avulla pystyttiin hahmottamaan paremmin, miltä arkkimuotti tulisi näyttämään. Piirroskuvan avulla pystyttiin myös kehittämään jatkoideoita paremmin.

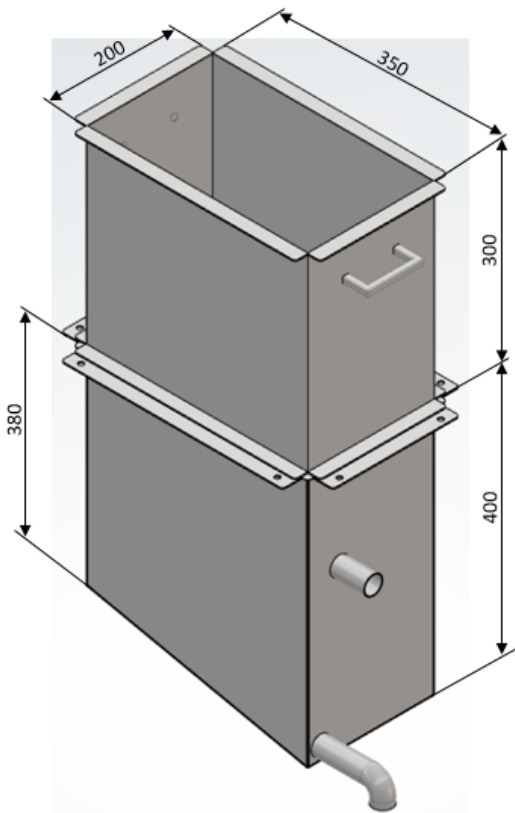


Kuvio 9. Piirroskuva arkkimuotista

Arkkimuotista tehtiin 3D-malli mallinnusohjelmalla. Mallin avulla huomattiin, että muotin korkeus on turhan iso. Tästä syystä korkeus laskettiin 300 mm. Oikea korkeus muutettiin myös 3D-malliin. 3D-malli näkyy kuvioissa 10 ja 11.



Kuvio 10. Arkkiuotin 3D-malli päältä katsottuna



Kuvio 11. 3D-malli arkkiuotista

## 5 Tulokset

Työn perusteella tehtiin hankintapäätös laboriokokoluokan sekoitinlaitteesta. Laitteistoa jouduttiin modifiimaan, jotta se täyttää eurooppalaiset turvallisuusstandardit. Modifioitu sekoitin on kuviossa 12. Sekoitinlaitteisto koostuu moottorista, sekoitusastista, sekoituspäästä, ohjausyksiköstä ja suojakotelosta. Sekoittimen maksimikierrokset ovat 6000 rpm, sekoitusastian halkaisija on 240 mm ja korkeus 300 mm. Ohjausyksikössä on hätäseiskeytkin, käynnistys- ja sammutuskytkin, sekoittimen kierrossäätö, sekoittimen nosto- ja laskukytkin. Modifiointia ei tässä työssä tehty, vaan se toteutettiin eri tahon toimesta. Tähän työhön kuului ostettavan sekoittimen etsintä ja tähän tavoitteeseen päästiin. Modifioinnissa laitteistoon tehtiin suojakotelo akryylipleksistä. Ohjausyksikkö myös koteloitiin uudelleen vesitiiveyden varmistamiseksi. Suojakotelon oveen laitettiin turvakytin, mikä sammuttaa sekoittimen, kun oven avaa. Ohjausyksikköön laitettiin myös hätäseiskeytkin, jota ei ollut alkuperäisessä ohjausyksikössä. Työssä löydettiin myös olosuhdekaapille ja taivutuslujuus laitteelle ostettavat laiteyksilöt, jotka voidaan jatkossa mahdollisuuksien mukaan ostaa.

Työssä myös suunniteltiin arkkimuotti (kuvio 11). Kuviossa 13 näkyy valmis arkkimuotti kiinnitetynä pöytään. Pöydänkansien välissä on arkkimuotin alaosa/valutusosa ja pöydänpäällä yläosa/muottiosa.



Kuvio 12. Modifioitu laboriokokoluokan sekoitin



Kuvio 13. Valmis arkkimuotti

## 6 Pohdinta

### 6.1 Työn tavoitteet

Tehty kehitystyö onnistui hyvin. Toimeksiantajayritys hyötyi tehdystä työstä. Hankitut laitteet ovat jatkuvalla käytöllä. Myös muihin työn alussa laadittuihin tutkimuskysymyksiin saatiin vastaukset.

Eri laitteistojen hankintaan vaikutti kokonaisuus (laitteen sopivuus tutkimukseen ja laitteiston hinta). Laboratoriokokoluokan sekoittimen hankinnassa olisi kannattanut ostaa eurooppalaiset standardit täyttävä laitteisto. Aasiasta ostettuun laitteistoon jouduttiin tekemään muutostöitä, jotta laitteisto olisi turvallinen. Muutostöiden hinta ja muutoksiin mennyt aika viivästyttivät laitteen käyttöönottoa. Näin ollen halvan laitteiston ostaminen ei ollut kokonaiskustannuksiltaan paras vaihtoehto (muutostöiden hinta ja aikataulun viivästyminen).

Laboratoriokokoluokan arkkimuotin itse suunnittelu oli erinomainen vaihtoehto. Tällöin saatiin juuri sellainen laitteisto, kun itse haluttiin ja aikataulu ei venynyt liikaa. Olosuhdekaapin ja taivutuslujuuslaitteen hankintaa siirrettiin myöhempään ajankohtaan.

Kokonaisuutena työ onnistui hyvin ja Aisti Corporation Oy sai hankittua osan laboratorionkoko-  
kan laitteistoista ja yrityksellä on tiedossa myös lopuille laitteille ostettavat vaihtoehdot, jotka se  
voi myöhemmin hankkia. Toimeksiantajayritys pääsi aloittamaan tutkimukset vaahtorainatuille  
materiaaleille. Koelaitteiston avulla voidaan jatkaa vaahtorainattujen materiaalien kehitystä lopul-  
liseen tehdaskonseptiin saakka ja myös sen jälkeen.

Opinnäytetyöntekijä oppi työn aikana tuotekehitysprojektista, projektin hallinnasta ja toteutuk-  
sesta. Opinnäytetyön kirjoittaminen pitkittyi hiukan ja aikataulutukseen olisi hyvä ollut tehdä tar-  
kempaa suunnitelmaa ja tätä kautta kirjoittaminen olisi saatu maalin aikaisemmin.

## **6.2 Työn luotettavuus**

Työssä käytettiin ajantasaisia ja luotettavia lähteitä. Työtä tehdessä on myös noudatettu hyvää tie-  
teellistä käytäntöä. Lähteitä valittaessa niiden luotettavuutta arvioitiin kriittisesti ja työssä pyrittiin  
käyttämään alkuperäislähteitä. Myös tuloksia voidaan pitää luotettavina, koska työssä on käytetty  
luotettavia lähteitä ja ideointia on tehty yhdessä toimeksiantajayrityksen työntekijöiden kanssa.

## Lähteet

A 12.6.2008/400. Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta. Viitattu 23.4.2024. <https://www.finlex.fi/fi/>, ajantasainen lainsäädäntö.

Aisti Corporation Oy. N.d. Aisti Corporation Oy:n yritystiedot Kauppalehti.fi sivustolla. Viitattu 14.4.2024. <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/30099187>.

Asiantuntija. 2024. Kehitysinsinööri. Aisti Corporation Oy. Haastattelu 12.1.2024.

Climacell 111 - ECO line. N.d. Tuote-esittely MMM Medcenter Einrichtungen GmbH:n sivustolla. Viitattu 20.1.2024. <https://www.mmm-medcenter.de/climacell-112-climacell-111-eco>.

Dispermat LC dissolver. N.d. Tuote-esittely VMA-GETZMANN GmbH:n sivustolla. Viitattu 20.1.2024. <https://www.vma-getzmann.com/products/for-laboratory-and-pilot-plant/dissolvers/produkt/dispermat-lc-dissolver/>.

Electromechanical Material Testing Machine MTE-5 (5 kN). N.d. Tuote-esittely Techlabsystems sivustolla. Viitattu 28.1.2024. <https://techlabsystems.com/eng/product/electromechanical-material-testing-machine-mte-5-5-kn/>.

Evaluation of ideas and concepts. N.d. Oppimateriaali. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Grinding & dispersing. N.d. Netzsch yrityksen sivusto. Viitattu 28.1.2024. <https://grinding.netzsch.com/en>.

Hietikko, E. 2021. Tuotekehitystoiminta. Helsinki: BoD-Books on Demand.

Hjelt, T., Ketoja, J., Kiiskinen, H., Koponen, A. & Pääkkönen, E. 2021. Foam forming of fiber products: a review. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland.

Hyvä tieteellinen käytäntö (HTK). 2024. Ohjeistus Tutkimuseettisen neuvottelukunnan (TENK) sivustolla. Viitattu 5.5.2024. <https://tenk.fi/fi/hyva-tieteellinen-kaytanto-htk>.

Intelli-Jack with frame. N.d. Tuote-esittely Bent Tram A/S:n sivustolla. Viitattu 20.1.2024. <https://benttram.com/intelli-jack-with-frame/>.

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

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

Lab Mixer – Electric Drive High-Speed Disperser. N.d. Tuote-esittely Joshua Greaves & Sons Ltd:n sivustolla. Viitattu 20.1.2024. <https://www.greaves.co.uk/product/laboratory-mixer-electric-drive-st>.

LS1. N.d. Tuote-esite Ametek Stc:n sivustolla. Viitattu 28.1.2024. [https://www.ametektest.com/-/media/ametektest/download\\_links/data-materials-tester-ls1-english\\_2003.pdf?la=en&revision=7045d835-9ef2-4751-a55f-5ad76b162308](https://www.ametektest.com/-/media/ametektest/download_links/data-materials-tester-ls1-english_2003.pdf?la=en&revision=7045d835-9ef2-4751-a55f-5ad76b162308).

Memmert olosuhdekaappi HPP110eco. N.d. Tuote-esittely Vingmed Oy:n sivustolla. Viitattu 20.1.2024. <https://vinglabverkkokauppa.fi/laboratoriolaitteet/olosuhdekaapit/olosuhdekaapit-hpp/memmert-olosuhdekaappi-hpp110eco>.

Mitä standardi tarkoittaa? N.d. Artikkelit standardeista SFS Suomen Standardit ry:n sivustolla. Viitattu 22.4.2024. <https://sfs.fi/standardeista/mika-on-standardi/>.

Multimix High Speed Lab Disperser – HSD 2103 (1HP) / 2203 (2HP). N.d. Tuote-esittely CKL Multimix (M) Sdn Bhd:n sivustolla. Viitattu 20.1.2024. <https://multimix.com.my/product/hsd-2103/>.

SFS-EN 12089:2013. THERMAL INSULATING PRODUCTS FOR BUILDING APPLICATIONS. DETERMINATION OF BENDING BEHAVIOUR. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 2.9.2013. Viitattu 8.3.2024. <https://janet.finna.fi>, SFS Online.

Siirilä, T. & Kerttula, T. 2007. Koneturvallisuuden perusteet. Espoo: Opiks-Tiimi.

Tuotekehityksen vaiheet – näin onnistut tuotekehityksessä. N.d. Artikkelit Matricomp Oy:n sivustolla. Viitattu 24.2.2024. <https://matricomp.fi/artikkelit/tuotekehityksen-vaiheet/>.

Universal Tester UTE.2020. N.d. Tuote-esittely Stiolab d.o.o:n sivustolla. Viitattu 28.1.2024. <https://www.stiolab.com/universal-material-testers.html>.

## **Liitteet**

### **Liite 1. Sekoittimien vertailutaulukko (salassa pidettävä)**

**Liite 2. Olosuhdekaappien vertailutaulukko (salassa pidettävä)**

**Liite 3. Taivutuslujuuslaitteiden vertailutaulukko (salassa pidettävä)**