



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

3D-TULOSETETUN PAPERIPÖLYNKERÄIMEN SUUNNITTELU JA TESTAUS

Aaro Nieminen

Opinnäytetyö
Lokakuu 2018
Konetekniikka
Koneautomaatio



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Koneautomaatio

NIEMINEN AARO

3D-tulostetun paperipölynkeräimen suunnittelu ja testaus

Opinnäytetyö 65 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Lokakuu 2018

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin TAMKissa kehitettyä paperipölyä keräävää laitetta ja jatkettiin sen kehittämistä. Pölynkeräimen tarkoituksena on kerätä pölyhiukkasia paperin pinnasta ja kuljettaa ne mittalaitteelle. Paperin pölyäminen aiheuttaa ongelmia esimerkiksi paperikoneella, mikä johtaa paperin laadun heikkenemiseen. Pöly aiheuttaa muun muassa kulumia koneen rakenteissa, ja kulumat voivat johtaa paperin pinnan epätasaisuuteen. Pienikin epätasaisuus aiheuttaa ongelmia puolestaan painokoneella, jossa pöly irrottaa materiaalia paperin pinnasta painatuksen aikana, mikä voi johtaa suurien paperimäärien hylkäämiseen. Työn lähtökohtana oli jatkaa TAMKissa kehitetyn pölynkeräimen muokkaamista siten, että pölyä irrottava kaiutin sijoitettiin hiukkasnäytettä keräävän imuosan kanssa samalle puolelle paperia. Vain yhdelle puolelle paperia sijoitettavan mittausjärjestelmän luominen mahdollistaisi myös laitteen kehittämisen jatkossa kohti paperikoneelle soveltuvaa online-mittausyksikköä, joka toimisi teollisuusympäristössä. Keräimestä tehtiin useita versioita ennen kuin päädyttiin haluttuun lopputulokseen. Ensimmäiset 3D-tulostetut pölynkeräimet eivät onnistuneet, koska osa kappaleista oli liian hankalan muotoisia tulostettavaksi. Kappaleisiin tehtiin muutoksia, minkä jälkeen tulostaminen onnistui.

Sillä että kaiutin sijoitettiin samalle puolelle paperia imuosan kanssa, ei saatu edelliseen järjestelmään verrattuna odotettuja tuloksia ja mitatut hiukkasarvot olivat huomattavasti alhaisemmat. Positiivista tuloksissa oli tuloksien stabiilius ja se, että niissä ei esiintynyt huomattavaa virhearvoa.

Jatkossa voitaisiin selvittää, jäikö mittaustulos alhaiseksi sen takia, että hiukkasnäytteet tarttuivat kiinni imuosan aiempaan laitteeseen verrattuna suurempaan pinta-alaan. Keräintä voisi myös testata aikaisemmalla järjestelmällä, jossa kaiutin sijoitetaan paperin vastakkaiselle puolelle imuosasta katsottuna. Tällä saataisiin selville, kummalta puolelta paperia kaiutin irrottaisi pölyä tehokkaammin.

Asiasanat: paperipöly, pölynkeräin, mallintaminen, 3D-tulostaminen

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Machine Automation

NIEMINEN AARO:
Design and testing of the 3D-printed paper dust collector

Bachelor's thesis 65 pages, appendices 3 pages
October 2018

This thesis investigated a paper dust collecting device developed in TAMK and continued its development. The purpose of the dust collector is to collect dust particles from the paper surface and transport them to the measuring device. Paper dusting causes problems, for example in a paper machine, which results in deterioration in paper quality. Among other things dust causes wear and tear in the paper machine's structures which may lead to unevenness in the surface of the paper. The starting point for this thesis was to continue modifying the dust collector so that the dust-removing loudspeaker was placed on the same side of the paper with the particle collecting suction part. Several versions were made before the final product was completed. The first versions of 3D-printed dust collectors failed because some of the parts were too complicated to print. The printing was successful after some changes were made to the parts.

The change in the placement of the loudspeaker did not produce expected results compared to the previous system and the measured particle values were significantly lower. However, the results were stable and they did not show a significant error value.

In the future, it would be possible to find out whether the measured particle values were lower because the particulate samples were caught in the larger area of the suction section compared to the previous device. The collector could also be tested by an earlier system where the loudspeaker is placed on the opposite side of the paper as viewed from the suction section. This would help to find out on which side of the paper the loudspeaker would dislodge the dust more efficiently.

Key words: paper dust, dust collector, modeling, 3D printing

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	PAPERIN PÖLYÄMINEN	7
2.1	Massankäsittely.....	7
2.1.1	Jauhatus.....	7
2.1.2	Täyteaineet	7
2.2	Pölyäminen paperikoneessa.....	8
2.2.1	Perälaatikko.....	8
2.2.2	Viiraosa	9
2.2.3	Puristinoso.....	9
2.2.4	Kuivatusosa.....	10
2.3	Paperin jälkikäsittely.....	11
2.3.1	Pintaliimaus.....	12
2.4	Pölyn aiheuttamat ongelmat paperikoneella	13
2.5	Pölyn aiheuttamat ongelmat painokoneella	13
3	LÄHTÖKOHTA	15
3.1	Toimintaperiaate	15
3.2	Aiemmat versiot.....	15
3.3	Viimeisin versio	17
3.4	Työn vaatimukset.....	18
4	TYÖN KULKU	19
4.1	Suunnittelu ja mallintaminen	19
4.1.1	Versio 1	19
4.1.2	Versiot 2 & 3	20
4.1.3	Versiot 4 & 5	23
4.1.4	Versio 6	28
4.2	3D-tulostaminen.....	34
4.2.1	Kuorioso	34
4.2.2	Kuoriosan muutokset	35
4.2.3	Imuosa	39
4.2.4	Imuosan muutokset	41
4.2.5	Kaiutinkotelo.....	43
4.3	Kappaleiden viimeistely ja kokoonpano.....	45
4.4	Mittaukset	49
5	MITTAUSTULOKSET.....	53
5.1	Vertailu edelliseen laitteeseen	56
6	POHDINTA.....	60

LÄHTEET	62
LIITTEET	63
Liite 1 (2). BF 32 – 8 Ohm, kaiutin.....	63
Liite 2. SharpCell paperien mittaustulokset päivältä 16.8.2018.....	65

1 JOHDANTO

Paperin pinnalta pölyä keräävää laitetta on kehitelty TAMKissa jo useamman vuoden ajan ja aiheesta on tehty useita opinnäytetöitä. Tämä opinnäytetyö on jatkoa edellisille töille. Tämä opinnäytetyö käsittelee pölynkeräimen jatkojalostusta ja suunnittelua suuntaan, jossa paperin pinnasta irrotettavaa pölyä irrotetaan keräimen sisäpuolelle sijoitetulla kaiuttimella. Tällöin kaiutin on samalla puolella, kuin pölyä imevä suutinosa. Aikaisemmissa töissä kaiutin on sijoitettu paperin yläpuolelle, jolloin pölyä imevä suutinosa on ollut paperin vastakkaisella puolella. Oletuksena oli, että tämä muutos mahdollistaisi mittauksen liikkuvasta paperirainasta ja kenties irrottaisi pölyä paperin pinnasta tehokkaammin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää patentoitua näytteenottoa edelleen siten, että se soveltuisi myös teollisuusympäristöön. Tavoitteeseen pääsemiseksi opinnäytetyössä suunnitellaan ja testataan 3D-tulostettuja näytteenkeräimiä.

Suunnittelu ja kappaleiden luominen toteutetaan Autodesk Inventor mallinnusohjelmalla, minkä jälkeen kappaleet tulostetaan TAMK:n 3D-tulostimilla.

2 PAPERIN PÖLYÄMINEN

Paperin pölyämisellä tarkoitetaan tapahtumaa, jossa paperin pinnasta irtoaa paljon pieniä täyteaineita tai päällystepartikkeleita, jotka ovat sitoutuneet heikosti paperin pintaan. Paperin pölyämistä yritetään vähentää, koska se aiheuttaa ongelmia paperin valmistuksessa ja heikentää paperin laatua. (Haaramo 2010, 11.)

2.1 Massankäsittely

Paperin tuotantoprosessi vaikuttaa suuresti siihen, kuinka paljon paperi pölyää. Paperin valmistusprosessin alkuvaiheessa vaikuttava tekijä on massankäsittely. Massankäsittelyyn sisältyvät seuraavat vaiheet: massojen hajotus, kuidutus, jauhatus, puhdistus ja anostelu sekä kuitujen ja kiintoaineen talteenotto ja puskurisuodatus sekä häiriösuodatus massatehtaan ja paperikoneen välillä. (KnowPap 2016.)

2.1.1 Jauhatus

Paperin ominaisuuksien kannalta yksi tärkeimmistä massankäsittelyvaiheista on jauhatus. Jauhatuksella voidaan vaikuttaa paperin pölyämiseen säätelämällä prosessissa käytettävää kokonaisenergiaa. Kuituverkoston sitoutumiskyky estää paperia pölyyntymästä. Lisäämällä jauhatukseen käytettyä kokonaisenergiaa sitoutumiskykyä saadaan kasvatettua. Tämä toimii kuitenkin vain tiettyyn pisteeseen saakka, minkä jälkeen se ei enää vähennä pölyämistä vaan alkaa heikentää muita jauhatuksen tuomia etuja. (KnowPap 2016.)

2.1.2 Täyteaineet

Täyteaineiden pääasiallinen tarkoitus on parantaa paperin painatusominaisuuksia. Täyteaine valmistetaan luonnon mineraaleista ja se koostuu hienojakoisesta pigmenttijauheesta. Täyteaineella voidaan parantaa paperin vaaleutta, opasiteettia ja sileyttä. Täyte-

aine täyttää kuitujen välisiä huokosia paperissa, jolloin paperin formaatio paranee. Täyteainetta käyttäessä paperin lujuusominaisuudet kuitenkin kärsivät, koska täyteainepartikkelit eivät muodosta sidoksia. (Mäkelä 2014, 7.)

Täyteaineiden huonosta sitoutumiskyvystä johtuen paperin pintalujuus kärsii, mikä voi aiheuttaa pölyämistä paperikoneen kuivassa päässä ja jälkikäsitteilykoneilla. Täyteaineen karkea raekoko kasvattaa pölyämisen riskiä. Mitä hienojakoisempi raekoko täyteaineella on, sitä vähemmän pölyämistä esiintyy. Joka tapauksessa täyteaineen lisääminen kasvattaa paperin pölyävyyttä. (KnowPap 2016.)

Täyteaineita käytetään siksi, että ne ovat halvempia kuin kuituraaka-aine. Täyteaineita käyttämällä saadaan siis laskettua valmistuskustannuksia. Toki täyteaineita käyttäessä tulee punnita kustannussäästöjen lisäksi myös täyteaineiden tuomia muita etu- ja haittavaikutuksia. Lopullista suhdetta määriteltäessä kokonaisuus on ratkaiseva tekijä täyteaineiden käytössä. (KnowPap 2016.)

2.2 Pölyäminen paperikoneessa

Paperikoneessa on neljä perusosaa, jotka ovat perälaatikko, viira-, puristin- ja kuivatusosa. Kaikki osat eivät vaikuta paperin pölyävyyteen, kun taas joidenkin osien säädöillä ja laitteiden mallityypeillä voi olla suuri vaikutus pölyävyyteen. (KnowPap 2016.)

2.2.1 Perälaatikko

Perälaatikko sijaitsee paperikoneessa ennen viiraosaa ja sen tehtävänä on levittää massasuspensio tasaisesti viiraosalle. Perälaatikko tuottaa massasuspensiosuihkun viiraosalle halutulla sakeudella, suunnalla ja nopeudella. Näiden lisäksi perälaatikon tehtäviin kuuluu stabiloida syöttövirtauksen painevaihtelut, pulseeraus ja mahdolliset virtaushäiriöt sekä tuottaa sopivan tasoinen turbulenssi massasuspensioon kuituflokkien hajottamiseksi. Perälaatikko ei itsestään vielä aiheuta paperin pölyävyyttä. (KnowPap 2016.)

2.2.2 Viiraosa

Viiraosan tehtäviin kuuluu veden poisto suotauttamalla, koska perälaatikon suihkuttamassa massasuspensiossa on suuri määrä vettä. Suotauttaminen tapahtuu viirakudoksen läpi, joka toimii sihtinä. Viiraosalta lähtevän paperirainan kuiva-ainepitoisuus on noin 17–20 %. Viiraosalla halutaan saavuttaa tasainen sekä halutun suuruinen kuitu- ja täyteaineretentio. Nämä ominaisuudet vaikuttavat paperin pölyävyyteen merkittävästi. (KnowPap 2016.)

Viiraosan tyypillä ja vedenpoistosäädöillä on suuri vaikutus haluttuun lopputulokseen. Esimerkiksi tasoviirassa vesi poistuu vain yhdeltä pinnalta, kun taas kaksoisviirarakenteessa vettä poistetaan ala- ja yläpinnalta. Tämä vaikuttaa suuresti paperin pölyämiseen. Tasoviirakoneessa viiraa vasten olleelta pinnalta saadaan huuhdottua herkästi pölyäviä täyteaineita ja heikosti sitoutuneita kuituja imulaatikoilla ja foileilla. Tämän seurauksena offsetpainatuksessa viiraa vasten ollut pinta pölyää 20–60 % vähemmän kuin viiran vastakkainen pinta. Kaksoisviirarakenteessa pintojen välinen pölyäminen tasoittuu, koska huuhtoutuminen ja vedenpoisto tehdään molempiin suuntiin. Tämä johtaa siihen, että paperin paksuussuunnassa saavutetaan tasaisempi profiili muidenkin ominaisuuksien suhteen. (Jänichen 2013, 16.)

2.2.3 Puristinosa

Puristinosa sijaitsee viiraosan jälkeen ja tämän tarkoitus on puristaa paperirainasta mahdollisimman paljon vettä, jotta puristuksella saavutettaisiin mahdollisimman korkea kuiva-ainepitoisuus. Kuiva-ainepitoisuus on puristuksen jälkeen 35–50 %. Rainan tiivistyminen on myös tärkeää, koska puristuksen jälkeen raina siirretään kuivatusosastolle ja tämä vaatii onnistuakseen riittävän suuren märkälujuuden. Rainan tiivistymisellä on myös tärkeä rooli rainaa kuivatettaessa, joka mahdollistaa lujien kuitujen välisien sidosten muodostumisen. (KnowPap 2016.)

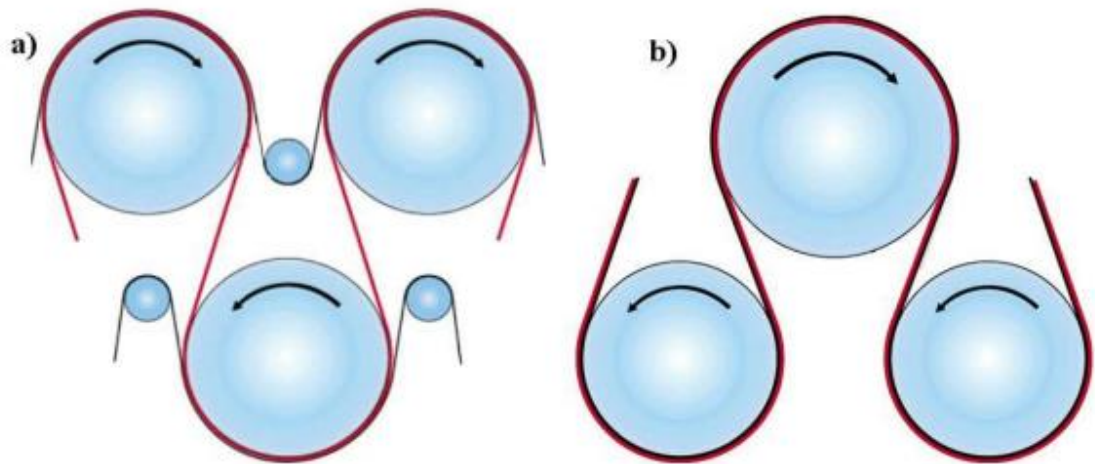
Paperin pölyävyyteen voidaan vaikuttaa puristinosa asetelmalla ja viivakuormalla. Viivakuormaa kasvattaessa paperin pölyävyys pienenee. Viivakuormaa ei voi kuitenkaan kasvattaa liikaa, jottei paperin paksuus ja ominaistilavuus jää liian pieneksi. (Jänichen 2013, 18.)

Heikosti paperiin sitoutunut kuitumainen materiaali voi aiheuttaa pölyongelmia viimeistään painokoneella, jos sitä ei saada sitoutumaan paperiin puristuksen aikana. Tämä aines on tärkeää saada poistettua puristinosalla poistuvan veden seassa, jotta ongelmilta vältytään seuraavissa vaiheissa. Puristinosan tela-asetelmilla voidaan vaikuttaa veden poistumisteihin, jolloin heikosti sitoutunut aines voidaan poistaa paperirainan molemmin puolin. (Jänichen 2013, 18.)

2.2.4 Kuivatusosa

Kuivatusosa on paperikoneen viimeinen osa ja sillä poistetaan aiemmilta osilta muodostetusta paperirainasta vettä haihduttamalla. Tämä tehdään mahdollisimman tehokkaasti, taloudellisesti, tasaisesti ja laatua huonontamatta. Kuivatusmenetelminä käytetään kolmea eri menetelmää: sylinterikuivaus, puhalluskuivaus ja säteilykuivaus, joista sylinterikuivaus on yleisin. Yhteinen tekijä näille kolmelle menetelmälle on rataa tuotu ulkopuolinen energia, joka haihduttaa veden pois radasta. Tämän jälkeen ilma kuljettaa haihdutetun veden pois radan läheisyydestä. (KnowPap 2016.)

Eri kuivatusmenetelmien erot tulevat energiantuontitavoista. Nämä johtavat hyvin erilaisiin laiteratkaisuihin. Esimerkiksi sylinterikuivatuksessa käytetään kuivausmenetelmänä lämmitettyjä sylintereitä. Sylinterien kuumuus kuivattaa paperirainaa. Sylinterikuivatuksessa esiintyy kahta erilaista rainankuljetusmenetelmää: kaksiviiravienni ja yksiviiravienni (KUVA 1). Kaksiviiraviennissä ylä- ja alasyliinterit ovat lämmitettyjä, kun taas yksiviiraviennissä vain yläsylinterit ovat lämmitettyjä. Näiden kahden menetelmän eroja ovat myös kaksiviiraviennin sylintereillä olevat kuivatusviirat, jotka painavat rainaa sylinteriä vasten. (Ahlholm 2010, 11.)



KUVA 1. Paperin kulku a) kaksiviiraviennissä ja b) yksiviiraviennissä (Ahlholm 2010, 4).

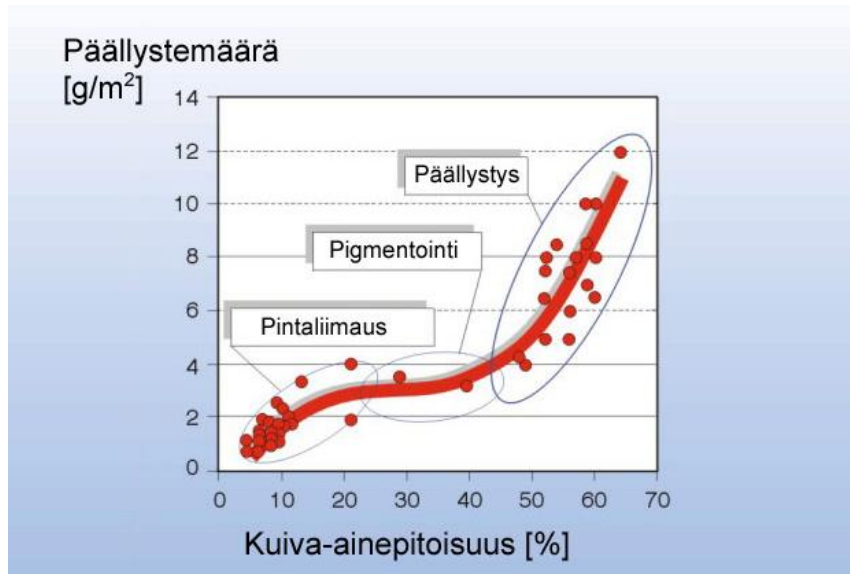
Paperin pölyävyyden kannalta sylinterikuivauksen ongelmana on paperin pinnan tarttuminen kuivatussylinteriin. Paperin pinnan rakenne saattaa kärsiä ja kuitujen kiinnittymisen heikentyä, kun tarttunut paperi irtoaa sylinteristä ja siirtyy seuraavalle sylinterille. Tämä voi johtaa siihen, että heikentyneet sidokset aiheuttavat paperin pölyämistä. (Jänichen 2013, 19.)

Sylinterikuivauksessa toinen paperin pölyävyyttä lisäävä tekijä voi tulla eteen, kun paperin pinta koskettaa kuivatussylinteriä. Tällöin paperiin kohdistuu sidosvoimia ja adheesiota. Adheesio on paperin ja sylinterin välille aiheutuva vetovoima, joka kiinnittää paperin sylinterin pintaan. Sidosvoimat pitävät paperin pinnan rakenteet kasassa adheesioaikana, joka estää kuitujen repeytymisen kuituverkosta. Jos paperin z-suuntaiset sidosvoimat ovat liian heikot, saattaa adheesio johtaa siihen, että kuidut repeävät osittain tai jopa kokonaan mikä on omiaan lisäämään paperin pölyävyyttä. (Jänichen 2013, 19.)

2.3 Paperin jälkikäsitely

Paperille tehtävään jälkikäsitelyyn vaikuttaa suuresti paperilaji ja sen asettamat vaatimukset. Jokaiselle paperilajille tehdään kuitenkin vähintään pituusleikkaus ja tarvittavat rullaukset. Jälkikäsitelyihin kuuluvat myös paperin pintakäsittelymenetelmät, jotka ovat pintaliimaus, pigmentointi ja päällystys. Nämä kolme eri menetelmää jaotellaan pintaan

siirtyvän aineen määrän ja pintakäsittelyaineen koostumuksen mukaan ja niistä jokainen vaikuttaa paperin pölyämiseen (KUVA 2). (KnowPap 2016.)



KUVA 2. Pintakäsittelymenetelmien jaottelu (KnowPap 2016).

2.3.1 Pintaliimaus

Pintaliimauksella halutaan vaikuttaa paperin lujuusominaisuuksiin. Sitä käytetään hienopapereille, päällystettävillä raakapapereille ja kartongeille. Pintaliimauksella voidaan vaikuttaa paperin sisäiseen lujuuteen tai pintalujuuteen. Pintaliimauksella halutaan kasvattaa kuitujen välisiä sidoksia. Tämä saadaan aikaan vesiliukoisilla polymeereillä, joista yleisimmin käytetään tärkkelystä. Tärkkelys saadaan toimimaan liimana, kun pintaliimauksen jälkeen paperiraina kuivatetaan. Kun tärkkelysliuoksesta poistuu vesi, muodostuu tärkkelyksen ja muiden väliaineiden väliin erittäin lujat vetysidokset. (KnowPap 2016.)

Pintaliimaus tehdään paperille useimmiten filmiliimapuristuksella. Pintaliimauksen yhteydessä voidaan paperille suorittaa myös pigmentointi. Tämä tapahtuu siten, että pintaliiman joukkoon lisätään täyteaineita, jotka muodostavat pigmentin. (KnowPap 2016.)

Pintaliimakerroksella voidaan saavuttaa pölyämättömyyttä ja pinnanlujuutta parantava vaikutus. Toisaalta myös vääränlainen liiman annostelu, voimakas paperin toispuoleisuus ja kuiva-aine yhdessä aiheuttavat epätasaisen pintaliimakerroksen, joka voi lisätä pölyämistä. Oikeilla säätöparametreilla tehty pintaliimaus vaikuttaa kuitenkin positiivisesti paperin pölyämättömyyteen. (KnowPap 2016.)

2.4 Pölyn aiheuttamat ongelmat paperikoneella

Paperikoneessa pöly aiheuttaa ongelmia koneen rakenteissa. Paperikoneessa on paljon avonaisia rakenteita, joihin pölyhiukkaset kulkeutuvat helposti. Rakenteisiin kertynyt pöly voi aiheuttaa kulumia, jotka heikentävät paperin laatua. Pöly aiheuttaa kulumaa tilanteissa, joissa kaksi komponenttia on kosketuksissa toisiinsa liikkeessä ja toisen tai molempien kosketuspinnalle on kertynyt pölyä. Esimerkiksi laakereihin, kuivatussylinterin ja kuivatusviirojen väliin tai paperin pinnalta päällystettyä kaapivan terän pintaan kertynyt pöly voi viiruttaa paperin pintaa. Painatuksessa on erittäin tärkeää, että paperin pinta on tasainen. Tämä tarkoittaa sitä, että paperikoneella aiheutunut pienikin viiru paperissa voi johtaa suurenkin paperimäärän hylkäämiseen. (Jänichen 2013, 27.)

Paperin vaurioituminen tai komponenttien kuluminen ei ole ainoa pölyn aiheuttama ongelma paperikoneilla. Pölyä saattaa kertyä myös mittalaitteiden antureihin, mikä voi vääristää mittaustuloksia. Pöly häiritsee sähköisten komponenttien ja optisten laitteiden toimintaa, mikä taas saattavat aiheuttaa turhia hälytyksiä. (Jänichen 2013, 27.)

Pölyn syntyminen ja kertyminen paperikoneen ympäristöön aiheuttaa paloturvallisuusrisikin ja tämän estäminen on ensiarvoisen tärkeää. Korkeat lämpötilat ja kuiva puukuitupitoinen pöly ovat syitä leimahdusriskille. (Jänichen 2013, 27.)

Kaikki edellä mainitut pölyhaitat voivat aiheuttaa tuotantoon katkoja, jotka johtuvat esimerkiksi pölyn puhdistamisesta, osien kunnossapidosta tai vaurioituneiden osien vaihtamisesta. Nämä kaikki vaikuttavat taloudelliseen tulokseen.

2.5 Pölyn aiheuttamat ongelmat painokoneella

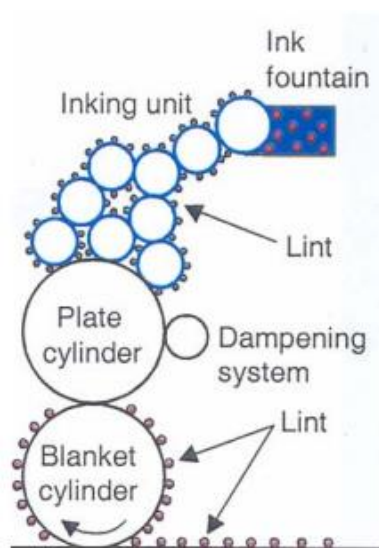
Vaikka pöly voi aiheuttaa ongelmia jo paperikoneella, silti suurimmat pölyn aiheuttamat ongelmat ilmenevät painokoneella. Painokoneilla ongelmana on materiaalien irtoaminen paperin pinnasta painatuksen aikana. Tätä tapahtuu kolmella eri tavalla: irtopölynä, musteeseen tarttuvana pölynä ja kostutusveden irrottamana pölynä. (Haaramo 2010, 12.)

Irtopöly koostuu useimmiten paperin täyteaineista tai päällysteistä, jotka eivät ole kiinnittyneet paperiin ja näin ollen muodostavat irtonaista materiaalia paperin pintaan. Irtopöly aiheuttaa usein ongelmia painokoneen ensimmäisellä painoyksiköllä tarttumalla kiinni painokumeihin. (Haaramo 2010, 12.)

Musteeseen tarttuva pöly tarkoittaa sitä, että heikosti sitoutuneet kuidut ja kuidun kappaleet tarttuvat tahmeaan painomusteeseen ja siirtyessään musteen mukana painokumeille ne repeytyvät irti paperista. Mitä enemmän pölyä tarttuu musteeseen, sitä tahmeammaksi muste muuttuu. Tämä johtaa siihen, että yhä enemmän materiaalia tarttuu paperin pinnasta musteeseen. (Haaramo 2010, 12.)

Yksi syy kuitujen välisien sidoksien heikentymiseen on kostutusvesi. Kostutusvesi irrottaa kuituja paperista, kun sidokset jotka pitävät kuituja kasassa ovat heikentyneet liikaa. (Haaramo 2010, 12–13.)

Painokumeille kertynyt materiaali estää musteensiirtoa ja tämä heikentää painojälkeä. Painojäljen pitää saavuttaa tietty taso, joten painokumeja ja painolevyjä joudutaan pesemään sekä huoltamaan painojäljen heikentyessä. Painokone joudutaan pysäyttämään näiden toimenpiteiden ajaksi, mikä aiheuttaa lisäkustannuksia ja painoajan menetystä. Painokoneiden kiireellisten aikataulujen vuoksi tämä ei tietenkään ole toivottavaa. Pahimassa tapauksessa paperista irtoava pöly voi joutua painokoneen mustelaitteistoon asti, jolloin laitteiston peseminen on todella työlästä (KUVA 3). (Haaramo 2010, 13.)

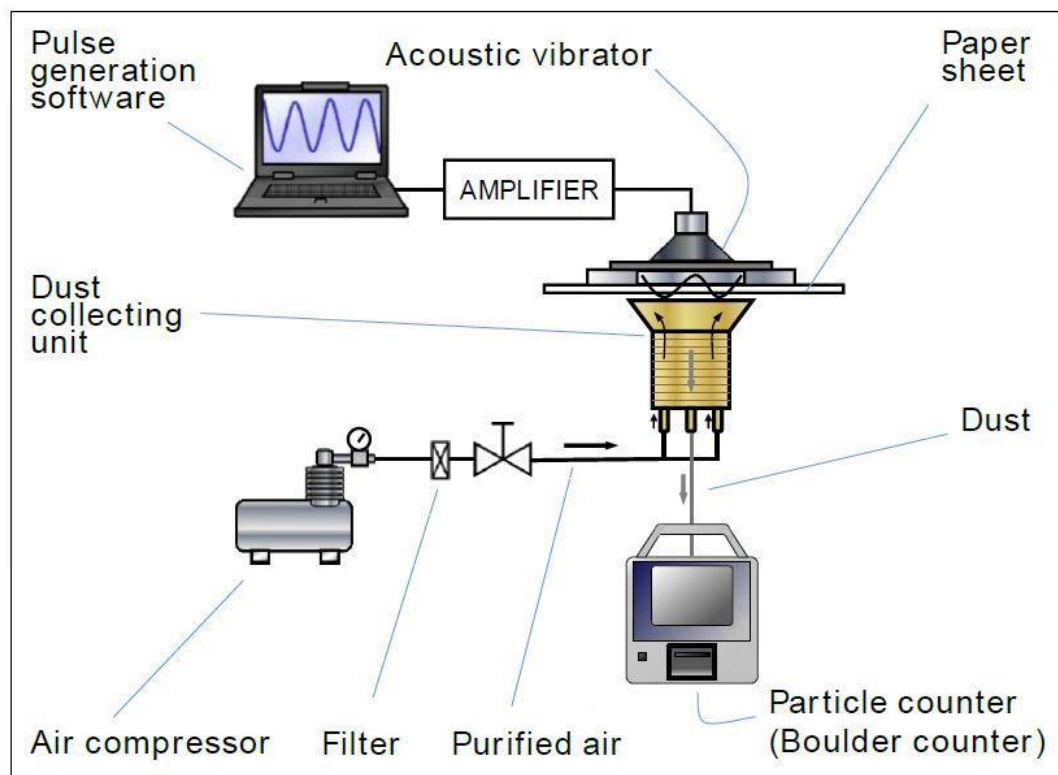


KUVA 3. Paperin pinnalta irtoavan materiaalin kulkeutuminen musteleivityyksikköön (Aittamaa 2007, 10)

3 LÄHTÖKOHTA

3.1 Toimintaperiaate

TAMKissa on kehitelty muutamien vuosien ajan pölynmittauslaitteeseen pölynkeräintä, joka kerää mittausnäytettä paperin pinnasta mahdollisimman tehokkaasti. Tämän järjestelmän toimintaperiaate on seuraavanlainen (KUVA 4). Mitattavasta paperista irrotetaan pölyhiukkasia kaiuttimen avulla. Kaiutin on säädetty tietylle taajuusasteikolle, joka tärisyttää paperia. Paperista irtoavat hiukkaset kerätään suunnitellulla pölykeräimellä talteen. Keräimeen syötetään paineilmaa, jonka avulla näyte kuljetetaan mittalaitteelle.



KUVA 4. Pölymittausjärjestelmän toimintaperiaate (Inka Mäkipää 2013, 32)

3.2 Aiemmat versiot

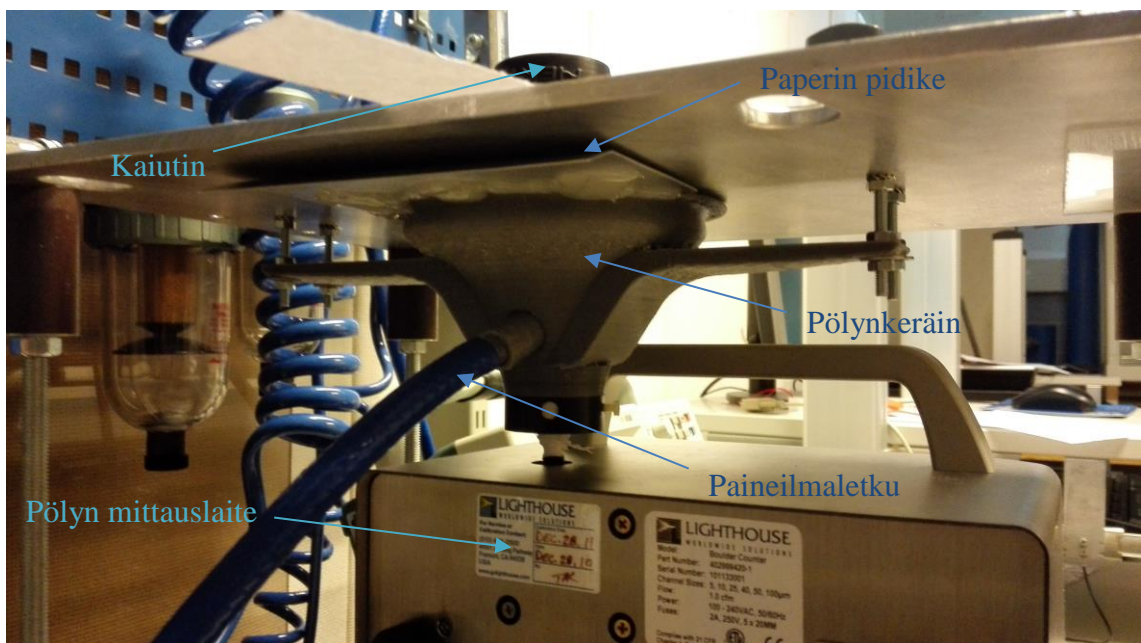
Ensimmäiset versiot olivat kasattu keittiövälineistä ja peltipurkeista, mutta viimeisimmät versiot on suunniteltu 3D-tulostettavaksi. Pölynkeräimestä löytyy aikaisemmin tulostettu versio, jota on käytetty pölynäytteitä mitattaessa (KUVA 5). Aiemman keräimen suun-

nittelusta ja tulostamisesta kerrotaan lisää Chaudet Alexisin harjoitteluraportista *Improvement of a paper dust measuring collecting device by 3D printing*. Tulostettu versio on virtaviivaisempi ja huomattavasti pienempi, kuin alkuperäiset versiot.



KUVA 5. 3D-tulostettu pölykeräin

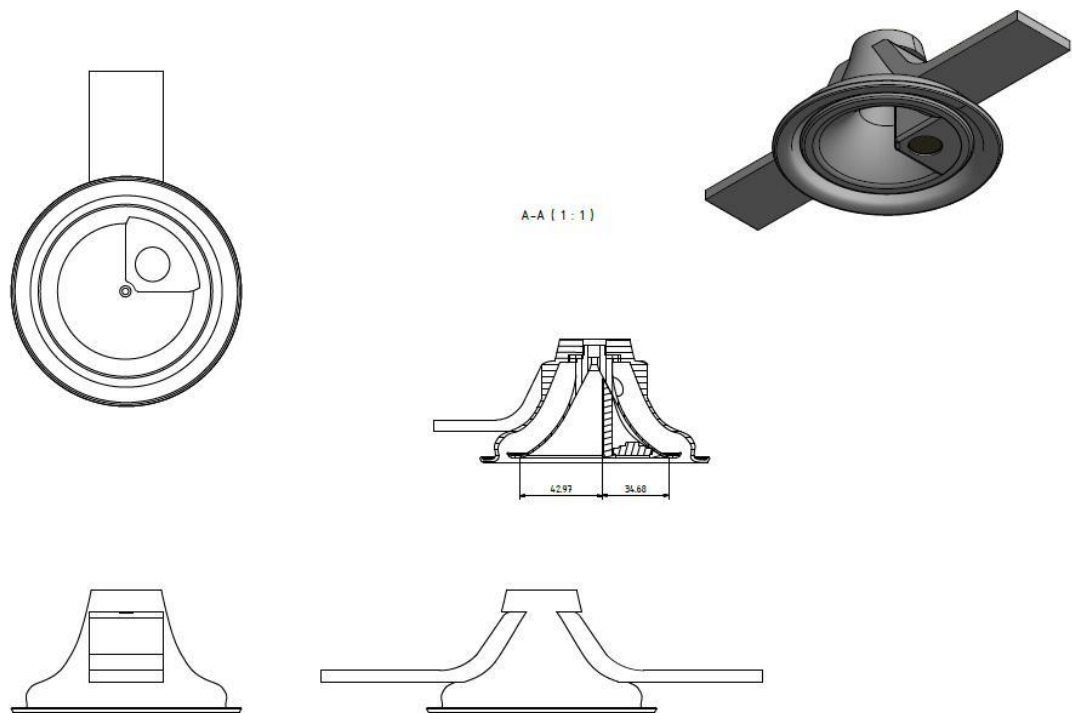
Tämä kyseinen versio toimii käytännössä siten, että mittauspaperi sijoitetaan suunnitellun pölynkeräimen päälle. Paperi lukitaan mittauksen ajaksi paikoilleen. Paperin päällä on metallilevy, jossa on keräimen imuosan kohdalla reikä. Tähän reikään on asetettu kaiutin, joka tärisyttää paperia tietyllä taajuudella irrottaen pölyhiukkasia paperin pinnasta. Hiukaset valuvat ilmavirran mukana imuosasta mittalaitteelle. Ilmavirta toteutetaan paineilmalla, joka syötetään ulomman osan ja imuosan väliin. (KUVA 6.)



KUVA 6. Mittausjärjestelmä

3.3 Viimeisin versio

Viimeisimpänä aihetta on käsitellyt Juha Lyly vuonna 2017 opinnäytetyössään *Paperin pölymittauslaitteen tuotekehitys*, jossa hän suunnitteli keräimen imuosan siten, että kaiutin saataisiin sijoitettua imuosan sisään. Tällöin se olisi samalla puolella paperia, kuin pölyä imevä suutin. Työssä testattiin eri kokoisia ja taajuusominaisuuksiltaan erilaisia kaiuttimia. Tietty taajuusasteikko, joka irrotti parhaiten pölyä paperin pinnasta, oli määräävä tekijä kaiuttimen valintaan. Työssä käsiteltiin muutamia erilaisia versioita siitä, miten kaiutin saataisiin sijoitettua imuosan sisään. Lopulta päädyttiin kaiutintelineeseen, joka sijoitetaan imuosan reunaan. Kaiutintelinettä pienennettiin, jotta se veisi aikaisemmin tulostetusta imuosasta vain yhden neljänneksen tilaa. Kaiutin, joka täytti vaatimukset, ei kuitenkaan enää mahtunut telineeseen, joten kaiutin jouduttiin vaihtamaan pienempään malliin. Tätä kyseistä telinettä ei ikinä ehditty opinnäytetyön puitteissa tulostamaan, joten tämän suunnitelman toimivuudesta ei löydy mittaustuloksia (KUVA 7).



KUVA 7. Viimeisimmän työn lopullinen versio, kaiutinteline kiinnitettynä imuosaan (Lyly 2017, 24)

3.4 Työn vaatimukset

Tämä työ aloitettiin edellä esiteltyjen tietojen ja aiempien opinnäytetöiden pohjalta. Toimeksiantaja halusi, että tässäkin versiossa kaiutin sijoitetaan imuosaan, mikä antaa uusia mahdollisuuksia mittaustilanteessa. Sen uskottiin parantavan mittaustuloksia. Kaiutinta, joka oli edellisessä opinnäytetyössä todettu ominaisuuksiltaan sopivaksi irrottamaan pölyä paperin pinnasta, haluttiin myös käyttää. Tämä tarkoitti sitä, että imuosasta täytyi tehdä aiempaan versioon verrattuna suurempi, jotta kyseinen kaiutin tulisi mahtumaan sen sisään. Siksi koko keräin piti mallintaa uudestaan isommaksi.

Työn vaatimuksena oli saada keräin mallinnettua ja 3D-tulostettua, jotta mittauksia voitaisiin suorittaa. Tämä tarkoitti sitä, että opinnäytetyön tekijän täytyi osata käyttää mallinnusohjelmia ja TAMK:n 3D-tulostimia.

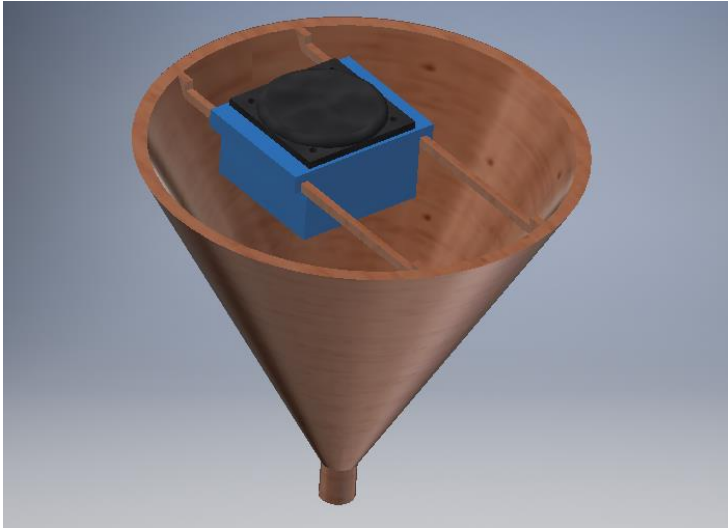
4 TYÖN KULKU

4.1 Suunnittelu ja mallintaminen

Työn aluksi suunniteltiin pölynkeräimelle ratkaisu, joka toimisi halutuilla vaatimuksilla. Kaiutin haluttiin sijoittaa keräimen sisälle, joten aikaisempaa mallia piti muuttaa. Mallintaminen alkoi mukailemalla edellisen version muotoja muuttamalla kappaleen mittoja suuremmiksi. Kappaletta mallintaessa piti huomioida muutamia kappaleen kokoa rajoittavia tekijöitä. Mittauksia tehdään pääasiassa A4 kokoiselle paperille, joten paperin pienemmän sivun mitta on määräävä tekijä keräimen halkaisijan koolle. Mitattavan paperin tulee peittää keräin, jotta mittausnäyte ei vääristy paperin ulkopuolelta tulleesta pölystä. Lisäksi paperin pitää peittää keräimen imuosa ja ulkokuori, jotta kuoren ja imuosan väliin syötetty paineilma luo ylipaineen imuosan keskelle paperin toimiessa kantena. Tällöin paperipölyhiukkaset kulkeutuvat helpommin mittalaitteelle. Arkkikoko A4 paperille on 297 mm x 210 mm. Keräimen halkaisija pitää siis olla alle 210 millimetriä. Toinen mittoja määrittävä tekijä on kaiuttimen koko (LIITE 1). Kaiutinkotelo täytyy suunnitella kaiuttimelle sopivaksi, jolloin kotelo vaikuttaa imuosan ja keräimen lopputulokseen. Kaiuttimen toivottiin myös olevan liikuteltavissa ja hienosäädettävissä sekä pystysuunnassa paperia kohden että siitä pois päin. Tällä saataisiin kaiutin kohdistettua irrottamaan pölyä paperista mahdollisimman tehokkaasti.

4.1.1 Versio 1

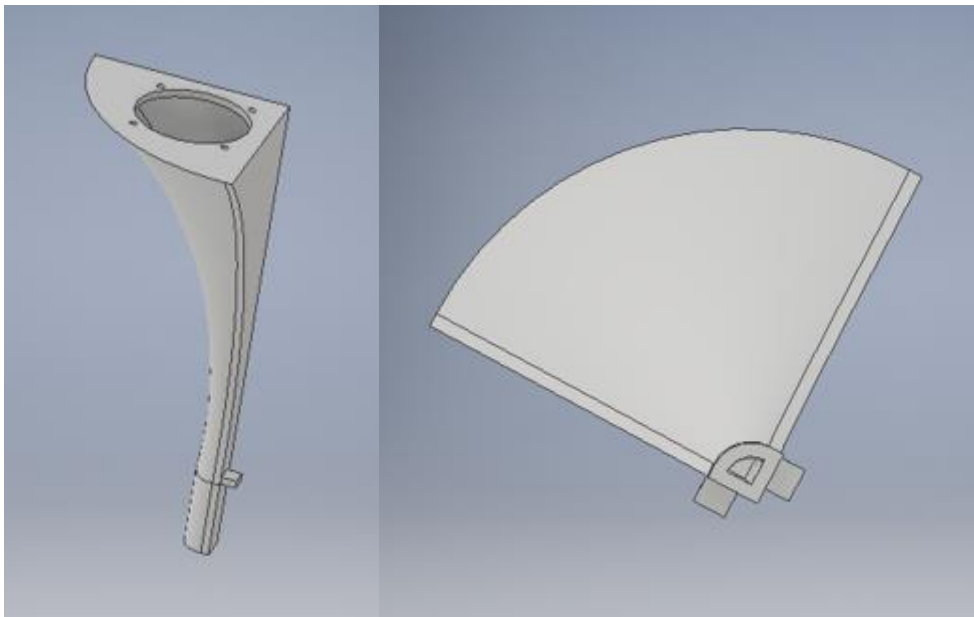
Ensimmäisessä versiossa ajatus oli tehdä imuosaan palkit, joita pitkin kaiutinkotelo halutessaan voitaisiin liikuttaa sivuttaissuunnassa (KUVA 8). Näin pystyttäisiin liikuttamaan kaiuttimen sijoitusta eri kohdille paperia. Tässä versiossa ongelmaksi aiheutui kaiuttimen virtapiuhojen vieminen virtalähteelle, minkä takia versiota ei viimeistelty loppuun. Tämä versio saattaisi toimia langattomalla kaiuttimella ja kappaleen hienosäätämällä.



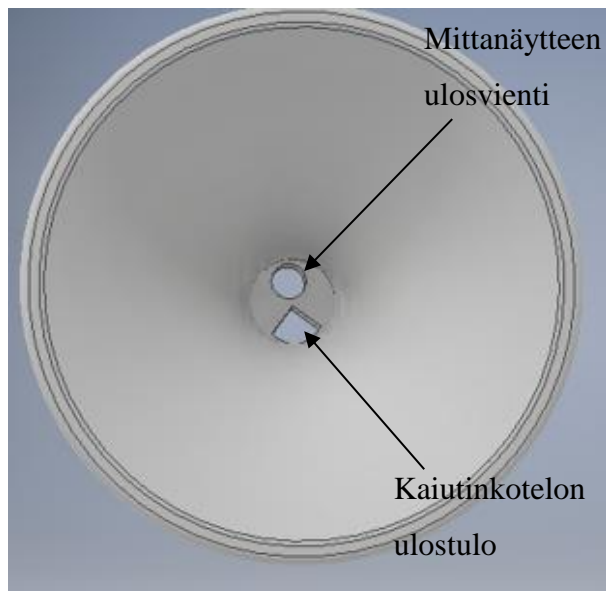
KUVA 8. Keräimen ensimmäisen version kokoonpanokuva imuosasta, kaiutinkotelosta ja kaiuttimesta.

4.1.2 Versiot 2 & 3

Toiseen versioon kaiutinkotelo suunniteltiin siten, että kaiuttimen piuhoille olisi ulosvienti-
 aukko (KUVA 9). Kotelon ja imuosan kosketuspinnat muotoiltiin saman muotoisiksi,
 jotta pintojen väliin ei mittaustilanteessa kulkeudu pölynäytettä. Kotelolle tehtiin imu-
 osaan reikä, joka asettaa kotelon paikoilleen (KUVA 10). Samaa ideaa käytettiin myös
 kuoriosan ja imuosan asettelussa.

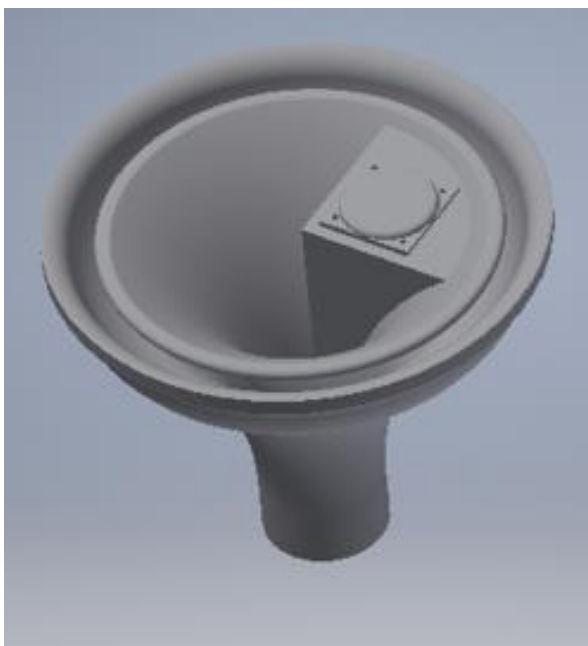


KUVA 9. Toisen version kaiutinkotelo kuvattuna yläviistosta ja alapuolelta



KUVA 10. Toisen version imuosa ylhäältä kuvattuna

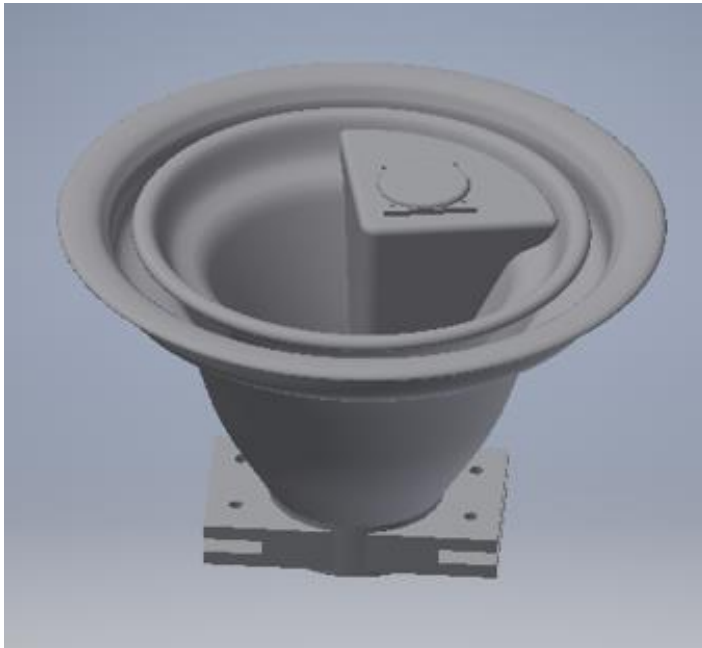
Keräimen kokoonpano muodostettiin siten, että ulkokuoren ja imuosan väliin jäi paineilmalle tila (KUVA 11). Tämän lisäksi kuoren, imuosan ja kaiuttimen pintojen korkeuserot olivat tarkkaan mitoitettut. Aiheesta tarkemmin kohdassa [Versio 6](#).



KUVA 11. Toisen version kokoonpanokuva

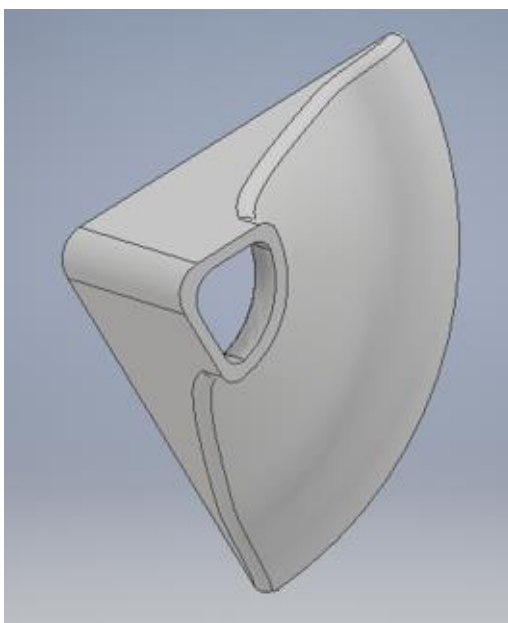
Versioon kolme paranneltiin joitain muotoja edellisestä versiosta, mutta se on idealtaan hyvin samanlainen. Kuorisosaa ja imuosaa kasvatettiin leveyssuunnassa ja kuoriosan jaluksaan tehtiin kiinnityslevyille paikat, jotta keräin saataisiin asetettua erillisillä levyillä

mittauspaikkaan kiinni (KUVA 12). Tämä haluttiin kuitenkin muuttaa siten, että kiinnittimet olisivat kiinteinä kuoren rungossa samalla tavalla, kuin aikaisemmassa opinnäytetyössä.



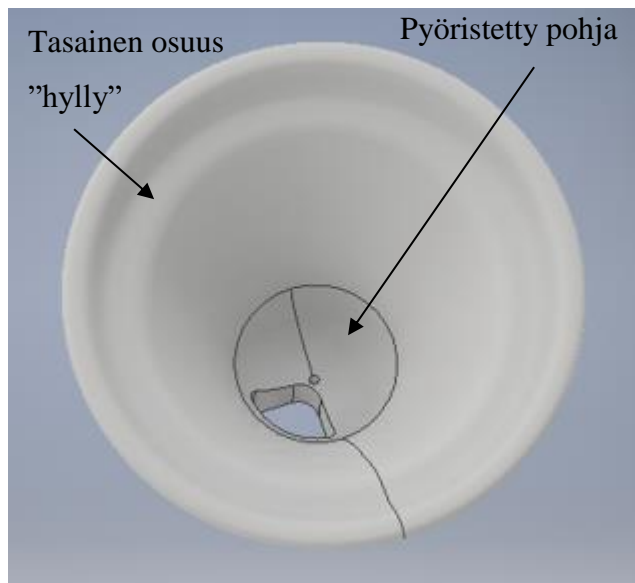
KUVA 12. Kolmannen version kokoonpanokuva

Kaiutinkoteloä suurennettiin, jotta ilma kulkeutuisi paremmin ulos kotelon sisältä. Kaiutinkotelon pinnat pyöristettiin, jotta ilmavirta liikkuisi mahdollisimman tasaisesti imuosan pohjalle aiheuttamatta pyörteitä (KUVA 13).



KUVA 13. Kolmannen version imuosa alaviistosta kuvattuna

Myös imuosan pohja pyöristettiin, jottei pölynäyte kerääny sen pintaan. Tässä ongelmaksi aiheutui imuosan sisäpinnan muoto suuaukon alapuolella. Kohta oli liian kalteva ja näin ollen muodosti tasaisen osuuden eli ”hyllyn”, johon pölynäyte saattaisi kerääntyä (KUVA 14).



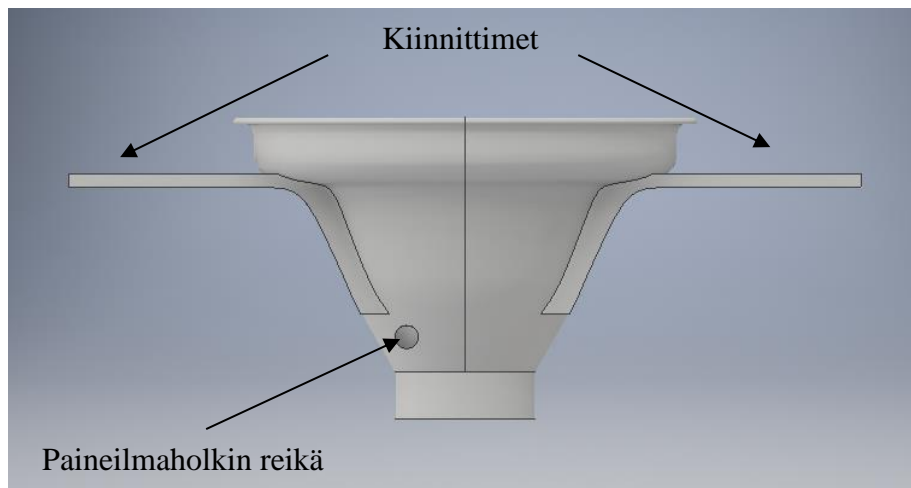
KUVA 14. Kolmannen version imuosa yläviistosta kuvattuna

Imuosan pohjan pyöristyksestä huolimatta tämä versio ei ollut vielä täysin vaatimusten mukainen. Imuosan haluttiin olevan muodoiltaan sen mallinen, että sisäpuolen pinta kaareutuu mittanäytteen ulosvientiin saakka, jolloin imuosaan ei muodostu pohjaa. Tämä edesauttaa pölynäytteen kulkeutumista mittalaitteelle.

4.1.3 Versiot 4 & 5

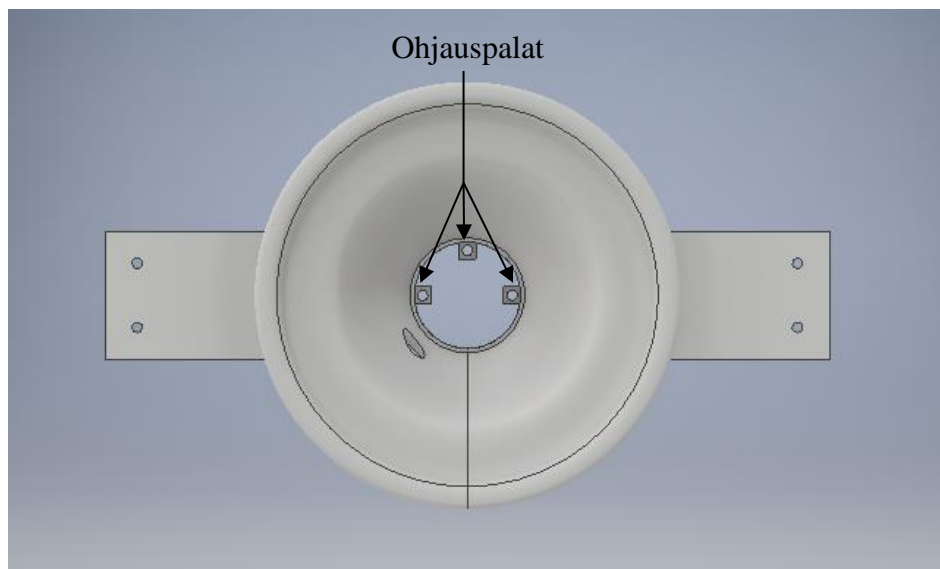
Versioon neljä tehtiin halutut muutokset ja lopputulos alkoi olla odotetun mukainen. Versio viisi on malliltaan sama, mutta se on viimeistelty tulostuskuntoon.

Kuoriosaan tehtiin kiinnittimet, joiden läpi menevillä ruuvitangoilla kappale kiinnitettäisiin mittauspöytään kiinni. Tämän lisäksi kappaleeseen tehtiin paineilmaholkille reikä, joka sijoitettiin kyljen reunaan (KUVA 15). Tämä tehtiin siksi, että paineilma lähtisi kiertämään kuoren ja imuosan välistä tilaa ja näin ollen ilma poistuisi tasaisesti joka puolelta keräintä.



KUVA 15. Viidennen version kuoriossa sivusta kuvattuna

Kuoriosan pohjaan tehtiin ohjauspalat, joiden avulla imuosa asettuu paikoilleen (KUVA 16). Ohjauspaloihin tehtiin reiät, joista imuosa lukitaan kuoreen ruuveilla kiinni.

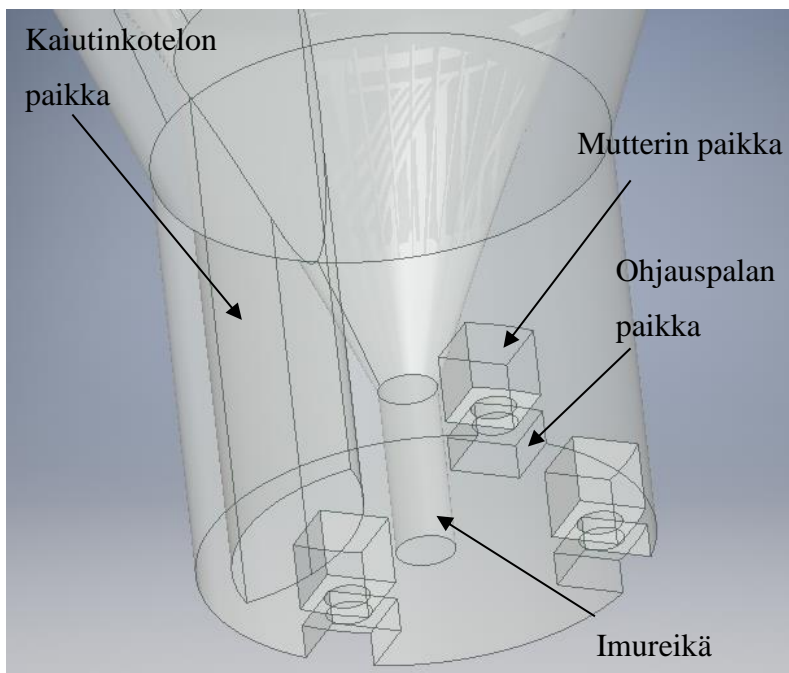


KUVA 16. Viidennen version kuoriossa ylhäältä kuvattuna

Imuosa muutettiin sisäpinnaltaan täysin kaarevaksi, ja se päättyy mittalaitteelle vievään imureikään. Imuosan pohjaan tehtiin paikat kuoren ohjauspalaille ja muttereille, joiden avulla kappaleet saadaan lukittua toisiinsa (KUVAT 17 ja 18).



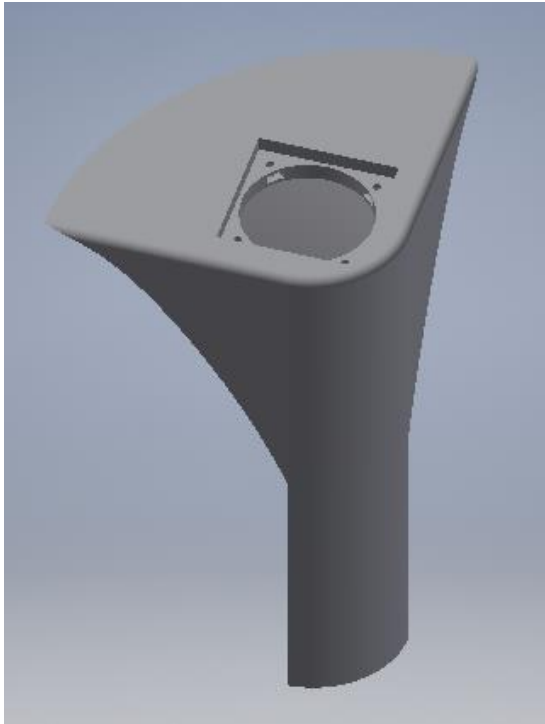
KUVA 17. Viidennen version imuosa läpinäkyvä



KUVA 18. Viidennen version imuosan jalusta läpinäkyvä

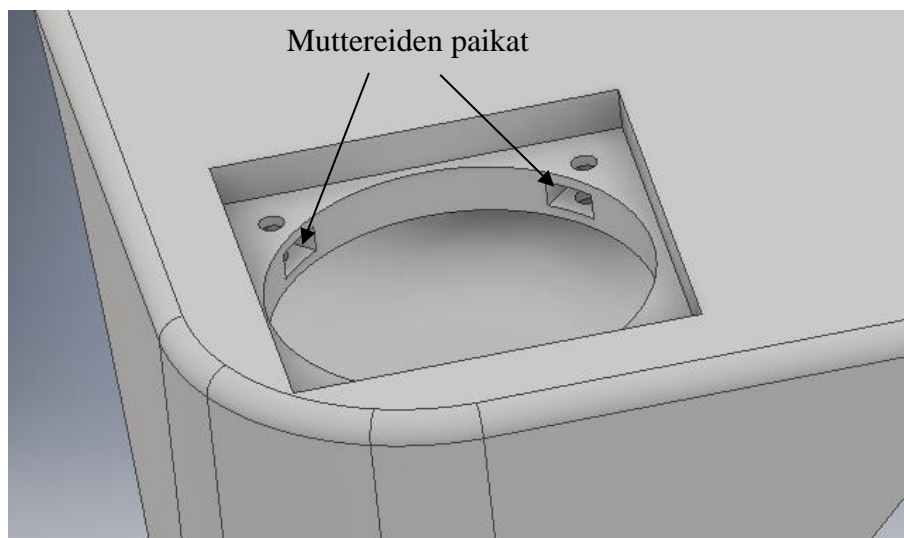
Kaiutinkoteloä muutettiin mukailemaan imuosan uutta sisäpintaa. Uutena ideana kaiuttimen kiinnityslevylle tehtiin kotelon pintaan upotus, jolloin levy olisi kotelon pinnan kanssa samalla korkeudella (KUVA 19). Näin saatiin estettyä pölyn kertymistä levyn reu-

noille ja tehtyä kotelon pinnasta tasaisempi. Upotus tehtiin lopulta puolitoista milliiä syvemmäksi, kuin kaiuttimen levyn paksuus, jotta kaiutinta voidaan halutessa laskea kauemmas paperin pinnasta. Kaiutinta voidaan nostaa lähemmäs paperia eri paksuisilla prikoilla. Jos kaiutin halutaan asettaa syvennyksen pohjaa vasten, voidaan kaiutinlevy peittää erillisellä levyllä, jolla saadaan pinta tasattua kotelon pinnan kanssa.



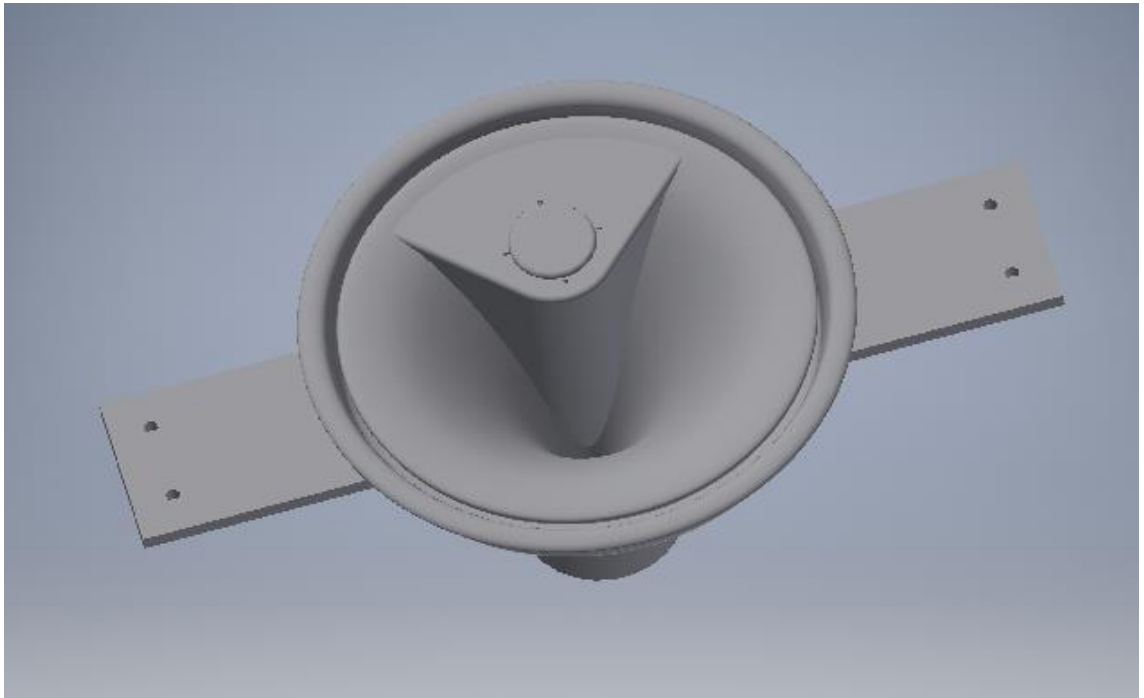
KUVA 19. Viidennen version kaiutinkotelo

Kaiutin kiinnitetään ruuveilla koteloon, joten koteloon tehtiin muttereille upotukset samalla tavalla kuin imuosaan (KUVA 20). Mutteripaikkoja on yhteensä neljä.

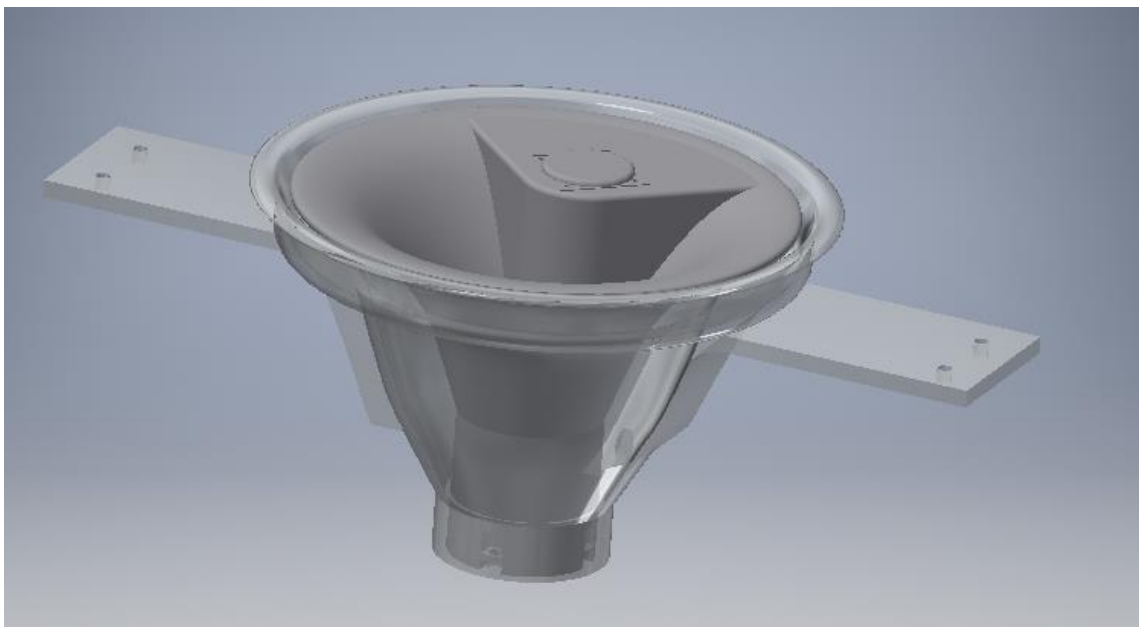


KUVA 20. Kaiutinkotelon upotus kaiuttimelle viidennessä versiossa

Versio viisi vastasi etukäteen asetettuja vaatimuksia ja kokoonpano oli yhteensopiva (KUVAT 21 ja 22). Näin ollen 3D-tulostukset voitiin aloittaa. 3D-tulostuksista lisää kappaleessa [4.2 3D-tulostaminen](#).



KUVA 21. Viidennen version kokoonpanokuva yläviistosta kuvattuna



KUVA 22. Viidennen version kokoonpanokuva kuoriossa läpinäkyvänä

4.1.4 Versio 6

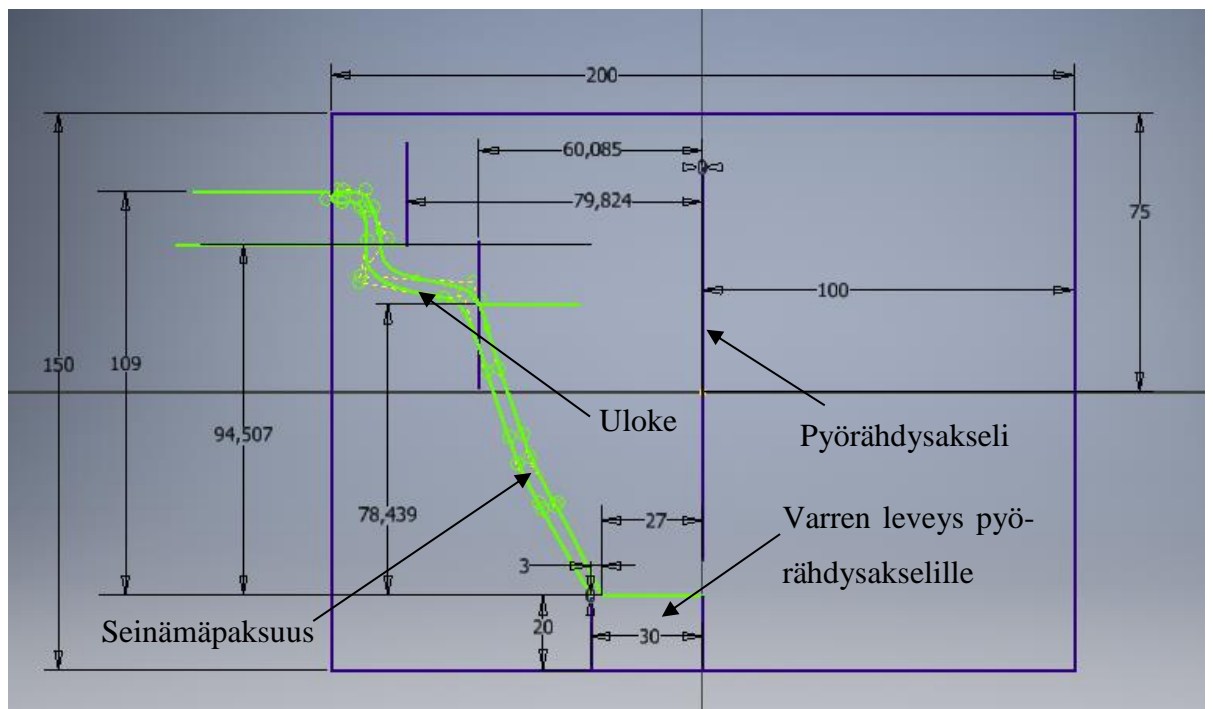
Pölynkeräimestä tehtiin vielä kuudes versio epäonnistuneiden tulostusyritysten jälkeen. Versiota viisi piti muuttaa muotoon, joka olisi mahdollista 3D-tulostaa ja samalla täyttäisi laitteelle asetetut vaatimukset. Kuoriosassa ja imuosassa oli liian paljon ulokkeita, jotka oli mahdoton tulostaa ilman ongelmia. Kappaleiden ulkopinnan muotoja täytyi muuttaa loivempiin kulmiin, jotta tulostus olisi mahdollista suorittaa järkevästi. Kaiutinkotelo oli ainoa osa, jota ei tarvinnut muuttaa. Tämä johtui siitä, että imuosan sisäpinta pysyi samana, eikä kotelo muodostanut ulokkeita tulostettaessa kappaletta pituussuunnassa pohja ylöspäin. Asiasta tarkemmin kappaleessa [4.2 3D-tulostaminen](#).

Siirryttäessä viidennestä versiosta kuudenteen kappaleen kuoriossa muuttui muodoiltaan huomattavasti (KUVA 23). Kiinnityslaipat poistettiin kokonaan ja tilalle tehtiin erillisille laipoille kolot, johon laipat saadaan lukittua ruuveilla. Kuoren vartta suurennettiin, jotta kulma varrelta suuaukolle saatiin mahdollisimman loivaksi.

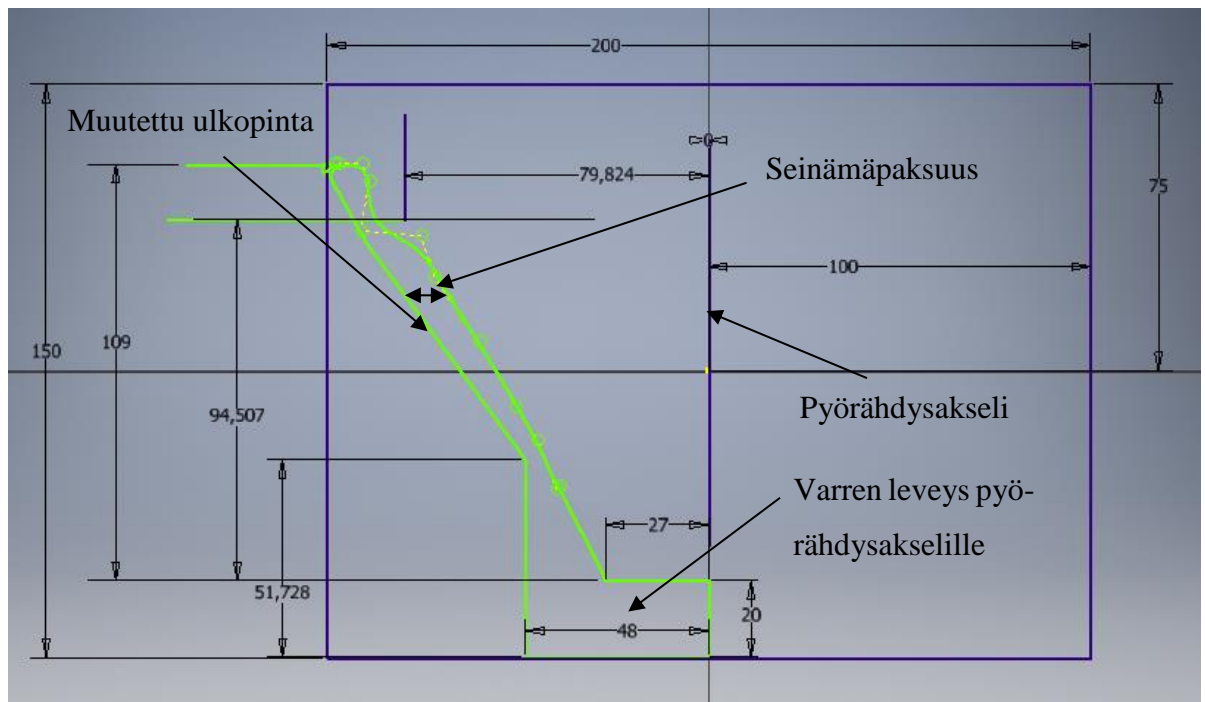


KUVA 23. Kuudennen version kuoriossa läpinäkyvä

Version viisi ulkomuodot mukailivat sisäpinnan muotoja ja tämä muodosti niin sanotun ulokkeen, joka täytyi muuttaa. Tässä ideana oli saada mahdollisimman ohuet seinämät, jolloin tulostusainetta ei kuluisi turhaan ja kappale olisi kevyempi. Seinämäpaksuudet kuitenkin muutettiin versioon kuusi, jotta tulostus olisi mahdollista suorittaa (KUVAT 24 ja 25). Kuoren vartta suurennettaessa piti huomioida mittalaitteen kahvan etäisyys näytettä keräävälle putkelle, johon keräin asetetaan. Jos varsi olisi liian iso, kahva jouduttaiisiin poistamaan mittalaitteesta ja tämä aiheuttaisi lisää työtä. Kahvan etäisyys putkesta ja kahvan korkeus ovat noin 50 millimetriä (mm).

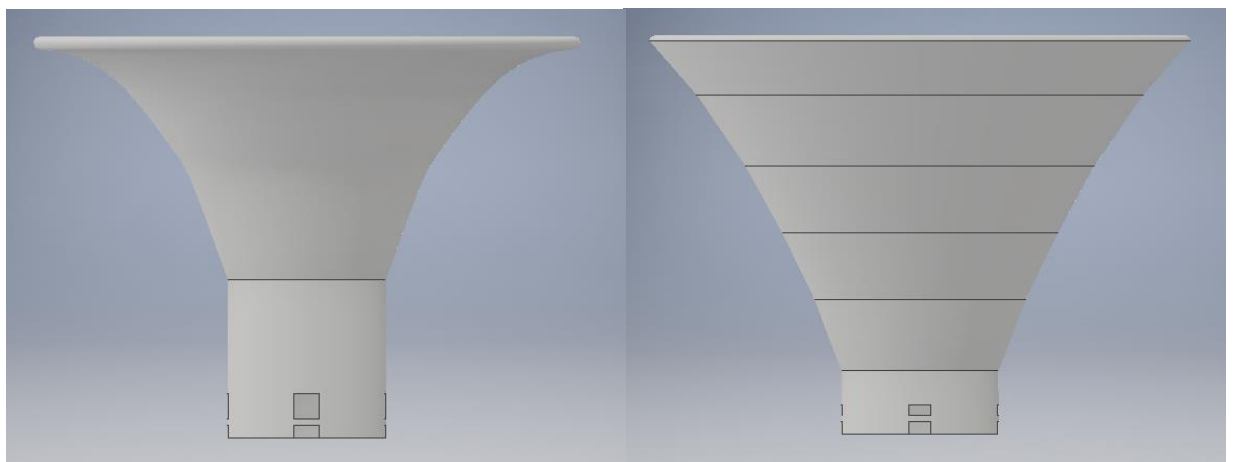


KUVA 24. Viides versio "Sketch" muodossa eli piirtovaiheessa



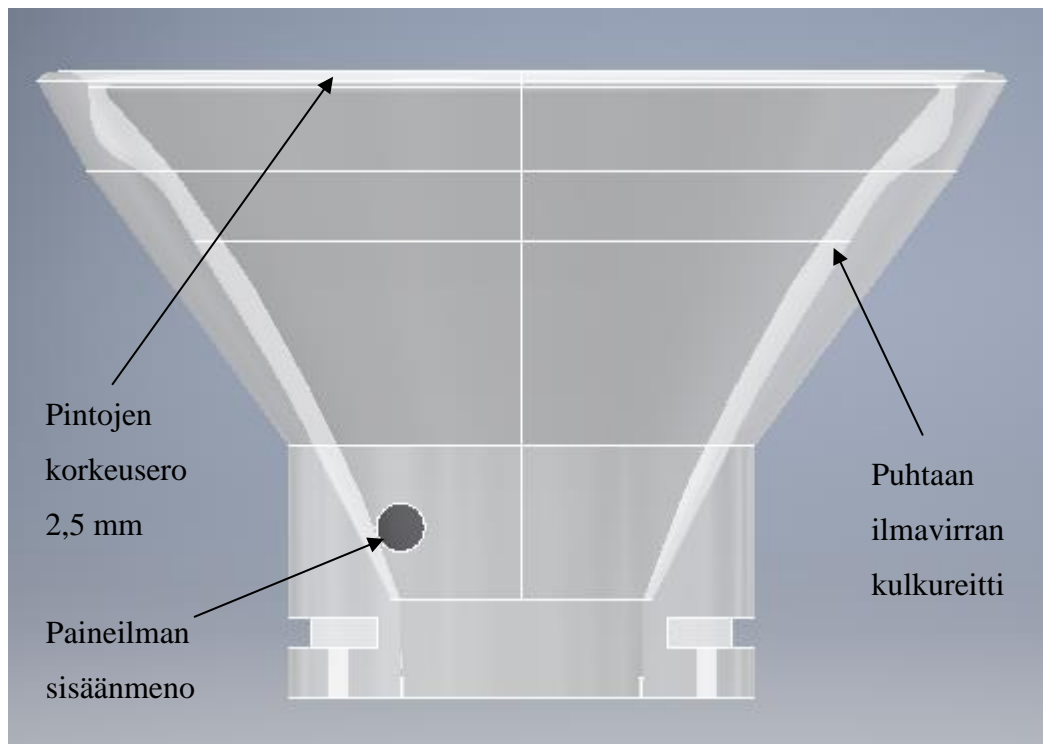
KUVA 25. Kuudes versio "Sketch" muodossa

Kun kuoriossa oli muutettu astetta suuremmaksi, voitiin myös imuosan ulkomuotoa kasvattaa. Imuosan sisäpinta haluttiin säilyttää samanlaisena, koska kaiutinkotelo joka oli yhteensopiva mallinnetun sisäpinnan kanssa, oli jo onnistuneesti tulostettu. Imuosan ulkopinnan kulmaa muutettiin loivemmaksi ja tulostamisen helpottamiseksi kulmaa kasvatettiin kerros kerrokselta (KUVA 26).



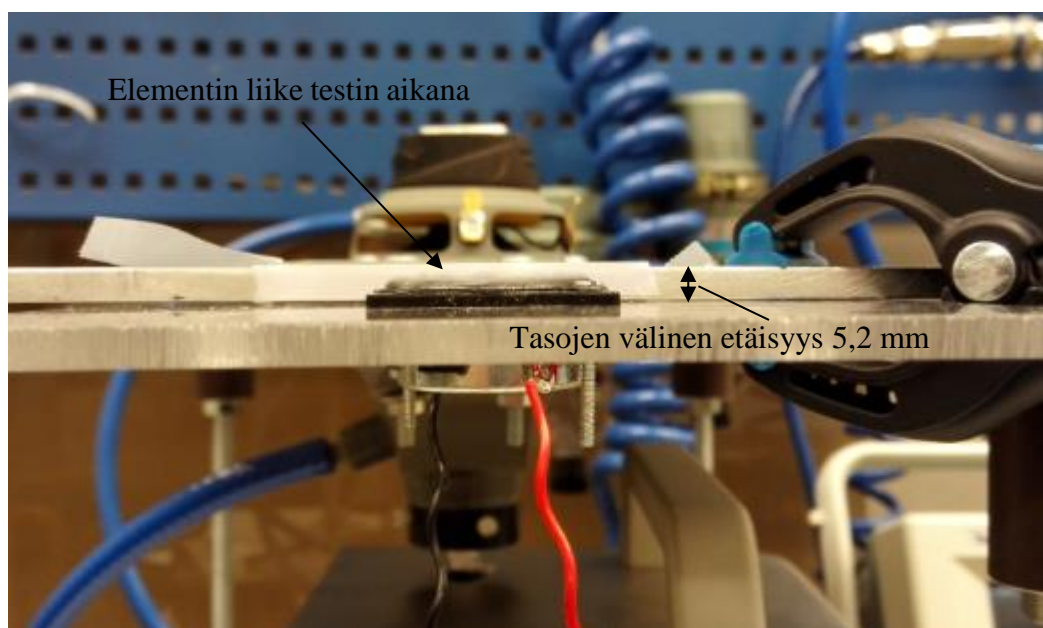
KUVA 26. Vasemmalla imuosan versio viisi ja oikealla muutettu, kuudes versio

Kappaleet muodostettiin siten, että kuoriosan ja imuosan välinen korkeusero on 2,5 mm. Näiden kahden pinnan välinen ero oli todettu toimivaksi edellisissä opinnäytetöissä, jotta paineilma kulkeutuu kuoren ja imuosan välistä imuosan sisäpuolelle (KUVA 27).



KUVA 27. Kuudennen version kuoriosan ja imuosan kokoonpanokuva, jossa kuoriosassa on esitetty läpinäkyvänä

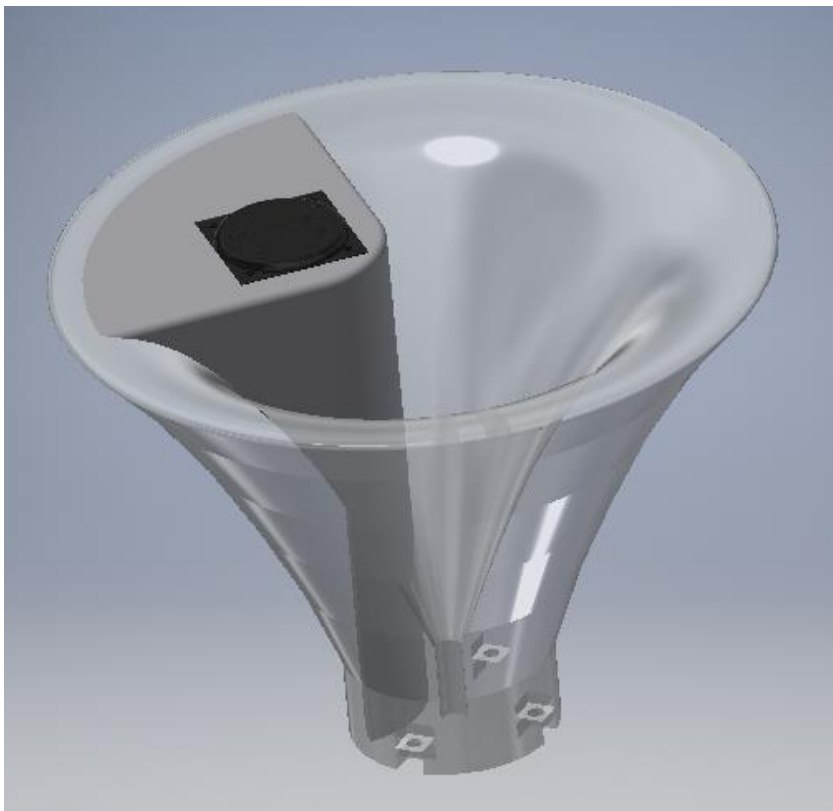
Paperin pinnan ja työssä käytettävän kaiuttimen alustan pohjan välinen ero pitää olla 5,2 mm, jotta kaiuttimelementti ei osu paperin pintaan. Tämä mitta oli myös todettu edellisessä työssä, mutta tarkistimme asian testaamalla kaiuttimen elementin liikettä käyttäen samaa taajuutta mitä mittaustilanteessa käytetään. Kaiuttimen kiinnityslevyn pohja asetettiin 5,2 mm päähän paperista ja elementin liikkeestä otettiin kuvia testin aikana (KUVA 28).



KUVA 28. Kaiuttimelementin liikkeen testaus

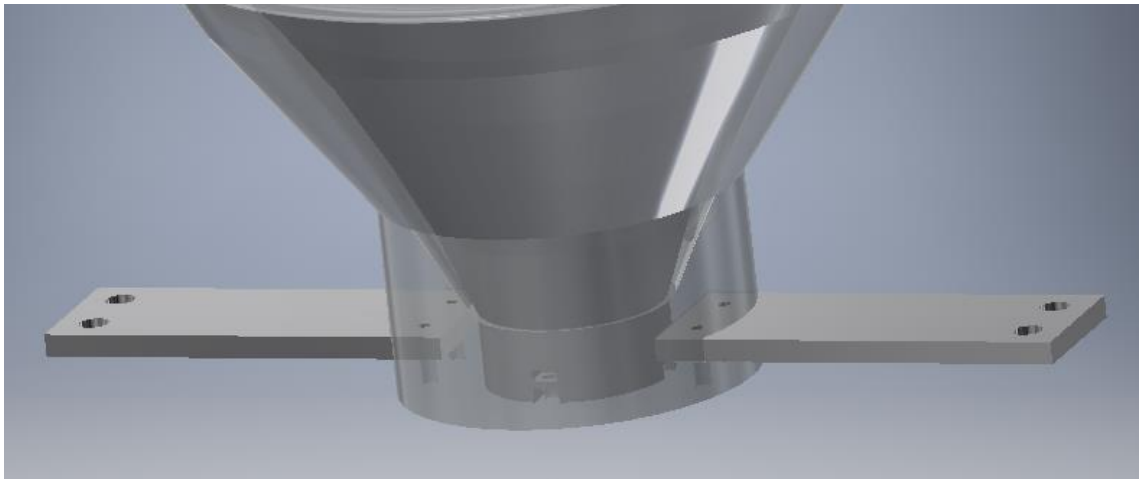
Testistä voitiin todeta, ettei elementti osuisi paperiin tältä etäisyydeltä. Kun mitataan paperin pölyävyyttä keräimen avulla, saattaa paperi kuitenkin vetäytyä kaiutinta kohden imun takia. Tämän vuoksi kaiutinkoteloon tehtiin syvennys säätövaralla, jotta kaiutinta voitaisiin tarvittaessa siirtää kauemmas paperista. Kuoriosan ulkopinnan ja kotelon syvennyksen välinen ero on 6,8 mm.

Kuvasta 29 näkyy, kuinka kaiutinkotelo asettuu imuosaan. Koteloon asetettu kaiutin on mallinnukseen nostettu 1,5 mm syvennyksen pohjasta, jolloin kaiuttimen kiinnityslevy on kotelon pinnan tasalla. Tämä nosto toteutettiin erillisillä prikoilla.



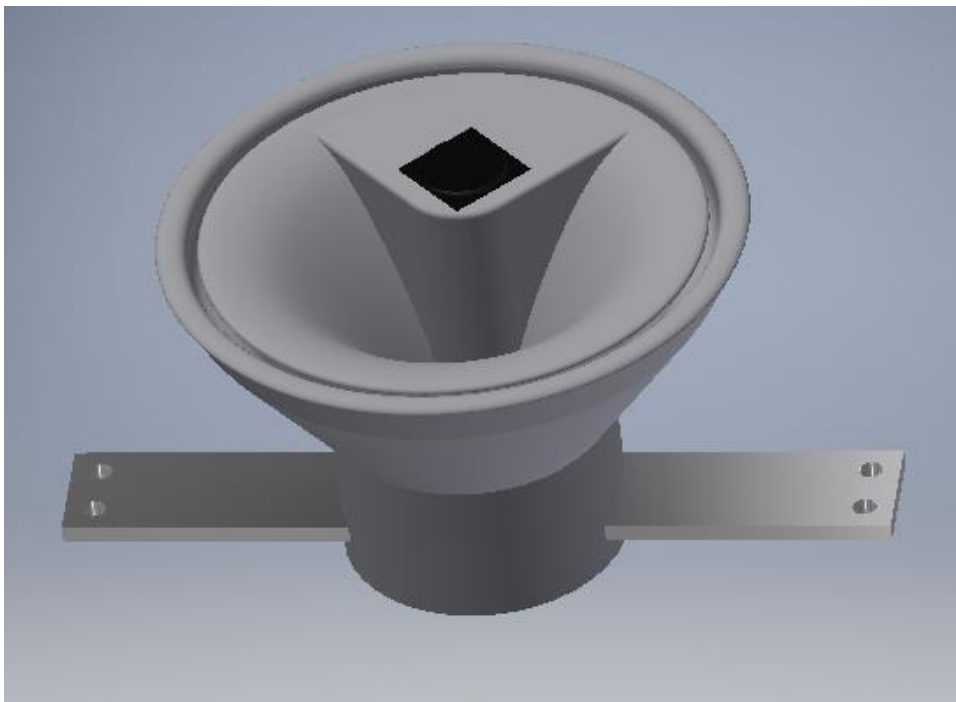
KUVA 29. Kuudennen version kokoonpanokuva imuosasta (läpinäkyvä), kaiutinkotelosta (harmaa) ja kaiuttimesta (musta)

Lopuksi kuoriosalle suunniteltiin kiinnityslaipat, jotka tehtiin alumiinista. Laippoihin tehtiin kierrereiät toiseen päähän ja toiseen kierretangolle olevat reiät. Laipat kiinnitetään ruuveilla kuoriosan pohjaan (KUVA 30).



KUVA 30. Kuudennen version kokoonpanokuva laipoista kuoriosassa (kuoriossa muutettuna läpinäkyväksi)

Keräin kiinnitetään mittauspaikalle ruuvitangoilla, jotka kiristetään laippoihin muttereilla. Mallinnusvaiheen lopullinen kokoonpano kuvassa 31.

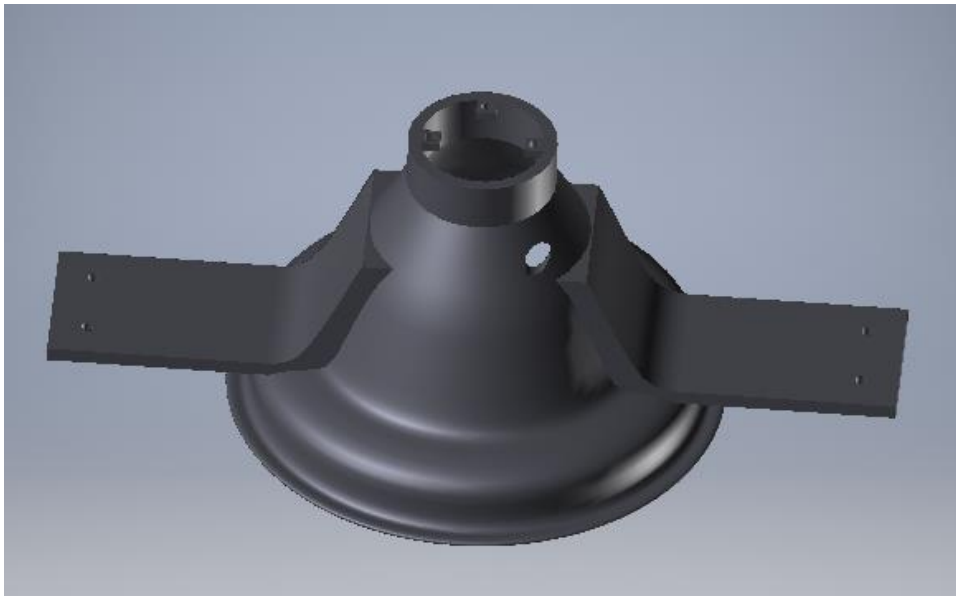


KUVA 31. Kuudennen version lopullinen kokoonpanokuva

4.2 3D-tulostaminen

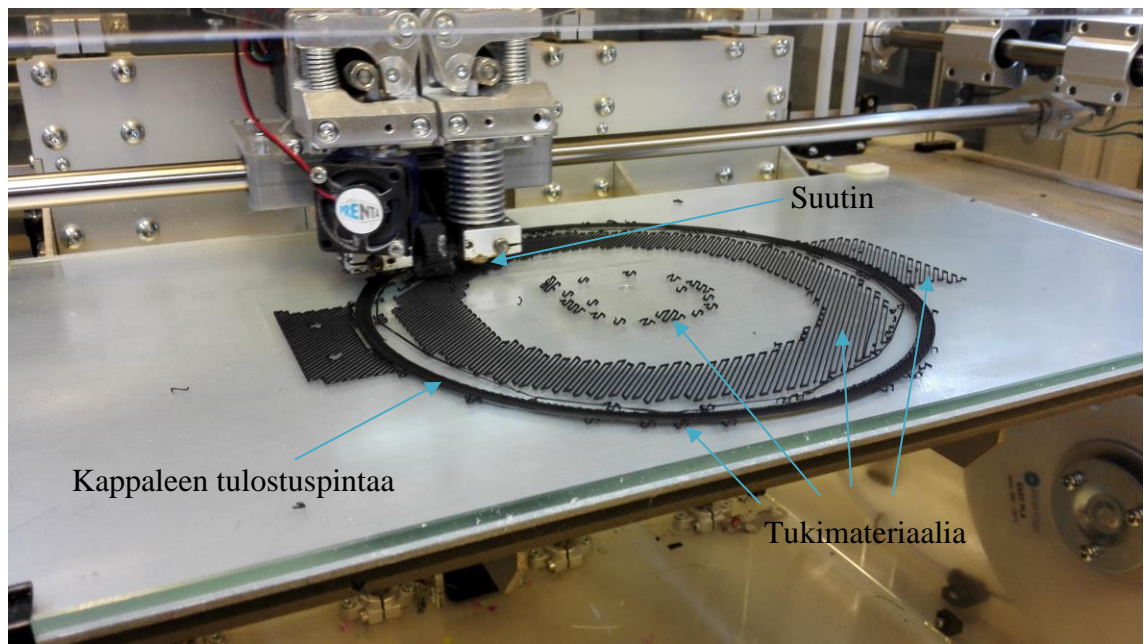
4.2.1 Kuoriossa

Suunnittelun edetessä pisteeseen, jossa mallinnukset olivat yhteensopivia, aloitettiin 3D-tulostustyöt. Versioita kappaleista oli kertynyt jo useampia ja tulostaminen aloitettiin version viisi mallinuksista. Aluksi tulostukseen laitettiin kuoriossa, joka oli malliltaan kuvan 32 muotoinen. Kuoriossa päätettiin tulostaa suuaukko tulostusalustaa vasten, jolloin ulkomuotoa ei tarvitsisi tukea tukimateriaalilla. Näin päin tulostettaessa kappaleen sisäpinta ei ole laadultaan yhtä hyvää kuin ulkopinta, koska sisäpinta tulostui tukimateriaalin päälle. Tämä ei haittaa kuoriosassa, koska kuoriosan sisäpinta ei ole kosketuksissa mitausnäytteiden kanssa. Tällä tavalla saatiin laskettua tulostamiseen käytettyä aikaa. Arvioitu tulostusaika kuoriosalle oli noin 30 tuntia. Kuoriosan tulostamiseen käytettiin Prenta 3D-printteriä.



KUVA 32. 3D-tulostukset aloitettiin kuoriosan viidennestä versiosta

Kuoriosan tulostaminen epäonnistui kolmesti ensimmäisen tunnin kohdalla, koska tulokset eivät pysyneet tulostusalustassa kiinni (KUVA 33). Tämä todennäköisesti johtui siitä, että tulostusalustaa vasten olevaa pinta-alaa oli todella vähän, joten kappale ei kiinnittynyt alustaan kunnolla. Kuoriosan suuaukko on pyöristetty, jotta ilmavirta pääsee kulkeutumaan paperin ja kuoriosan välistä myös ulospäin. Tästä johtuen kappaleessa ei ollut juuri lainkaan tasaista pintaa tulostusalustaa vasten.



KUVA 33. Viidennen version kuoriosan tulostus Prenta 3D-printterillä

Kuvasta X näkee, kuinka vähän kappaleen varsinaista tulostuspintaa oli tulostusalustaa vasten. Suurin osa tässä vaiheessa tulostuneesta materiaalista olikin tukimateriaalia. Kuvassa vasemmanpuolimmainen tukimateriaalia kuvaava nuoli osoittaa tulostuspinnan alle tulostettua tukimateriaalia. Tämä kertoo siitä, että tasaista osuutta ei tässä ollut juuri lainkaan, koska tulostettavaa pintaa nostettiin tukimateriaalin avulla tulostusalustasta lähes välittömästi. Tämän seurauksena tulostettu materiaali ei tarttunut kunnolla alustaan kiinni.

3D-tulostimen suutin sijaitsee todella lähellä tulostusalustaa, joten mitä enemmän irtonainen tulostusaine nousee alustasta, sitä todennäköisempää on, että jossain vaiheessa se tarttuu suuttimeen. Tämän seurauksena suutin repäisee tulostuksen irti alustasta ja tulostus täytyy keskeyttää. Juuri näin kävi myös tässä version viisi pohjalta tehdyssä tulostusyrityksessä.

4.2.2 Kuoriosan muutokset

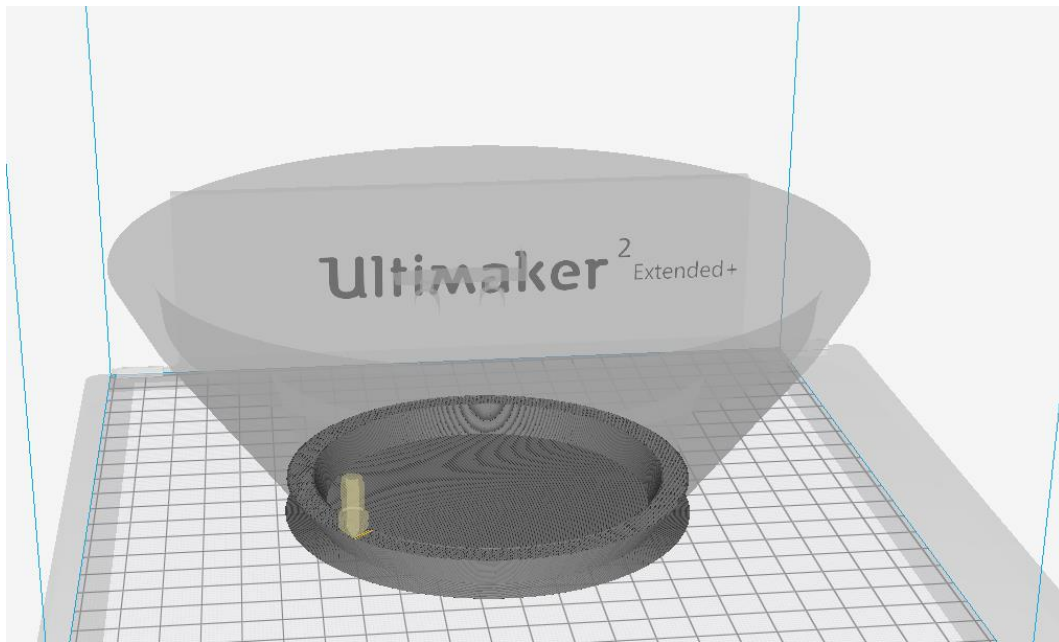
Kuoriosaa muutettiin kuvan 34 mukaiseksi, jotta tulostus onnistuisi ilman tukimateriaalia ja se olisi mahdollista tulostaa pystysuuntaan kappaleen pohja tulostusalustaa vasten ([Versio 6](#)). Tämä muutti tilannetta siten, että ulko- ja sisäpinta olivat laadultaan yhtä hy-

viä, koska kumpikaan pinta ei tulostuisi tässä tapauksessa tukimateriaalin päälle. Tulostamisen helpottamiseksi kappaleen ulkopinnan muotoa loivennettiin, jotta kappaletta tulostettaessa ei tarvitse käyttää tukimateriaalia. Kappaleelle mallinnettiin ylimääräinen tukipohja, jonka päälle kappale tulostui. Tämä takasi materiaalin tarttumisen tulostusalustaan. Tämän lisäksi kappaleesta poistettiin reunoilla olevat kiinnityslevyt kokonaan. Nämä muutokset lyhensivät tulostusaikaa huomattavasti ja pinnan laatu parantui.



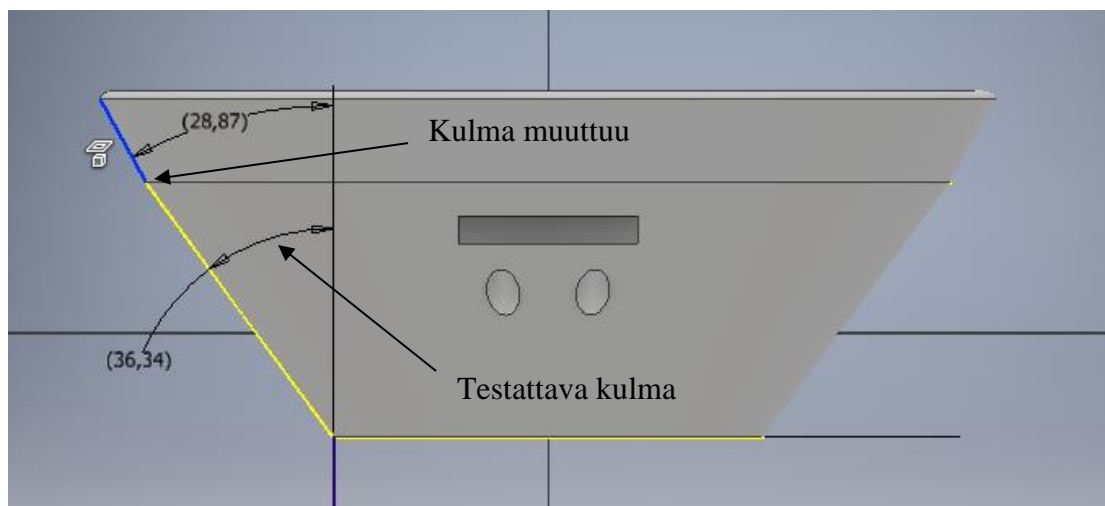
KUVA 34. Kuoriosan muutettu tulostettavampaan muotoon

Ennen muutetun kuoriosan tulostamisen aloittamista haluttiin varmistua, että tulostin todella pystyy tulostamaan kappaleen mallinnetussa kulmassa. Testin vuoksi kuoriosasta mallinnettiin versio, josta oli poistettu kokonaan varsi, ja kappale alkoi suoraan varren jälkeisestä osuudesta (KUVA 35). Tämä laitettiin tulostumaan, jotta voitaisiin todeta, onnistuisiko kulman tulostaminen ilman tukimateriaalia. Tulostaminen keskeytettiin noin puolen tunnin kohdalla, kun voitiin todeta, että tulostaminen onnistuu ilman tukimateriaalia. Tulostin oli tässä vaiheessa tulostanut jo useita kerroksia ja muoto erottui selkeästi.



KUVA 35. 3D-tulostusohjelma Curan simulointi kuoriosan testiversiosta

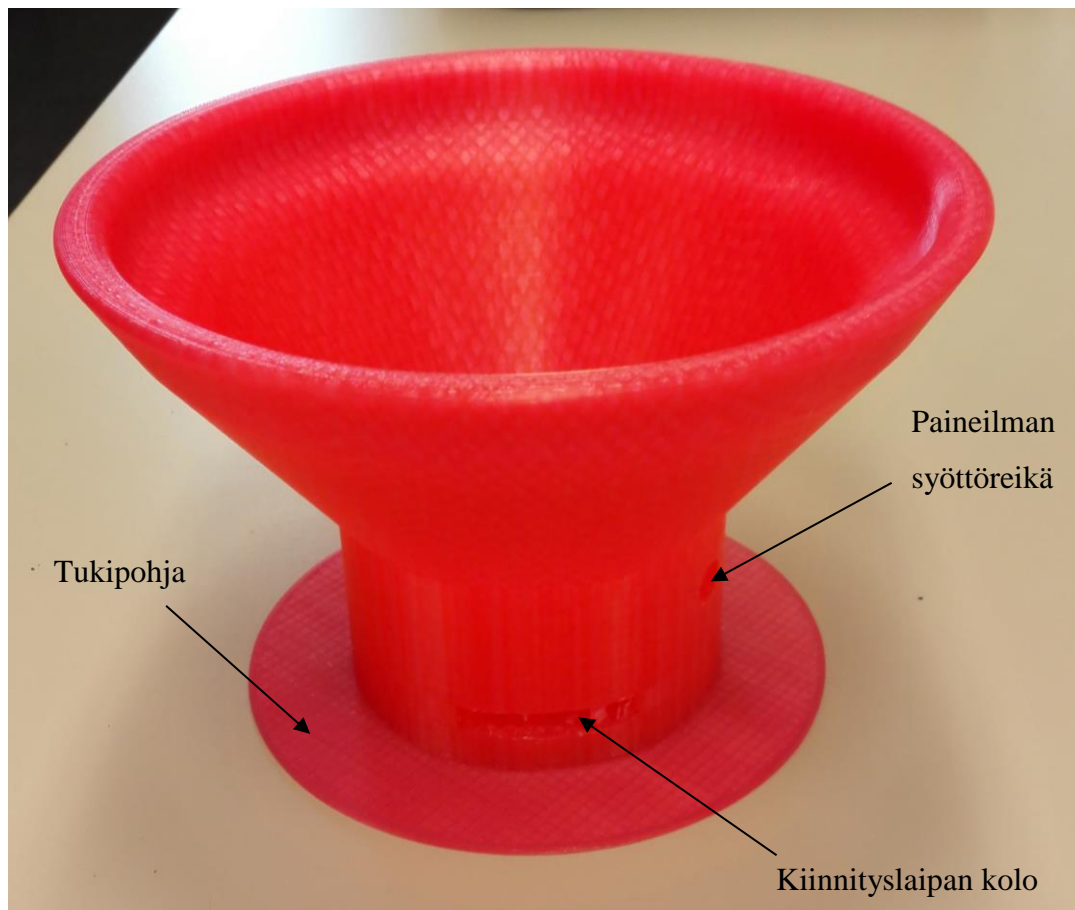
Testikappaletta ei tarvinnut tulostaa loppuun asti, koska kulma pysyy samana kuvasta 36 näkyvään siniseen viivaan asti, jonka jälkeen tulostuskulma loivenee ja tulostaminen helppottuu.



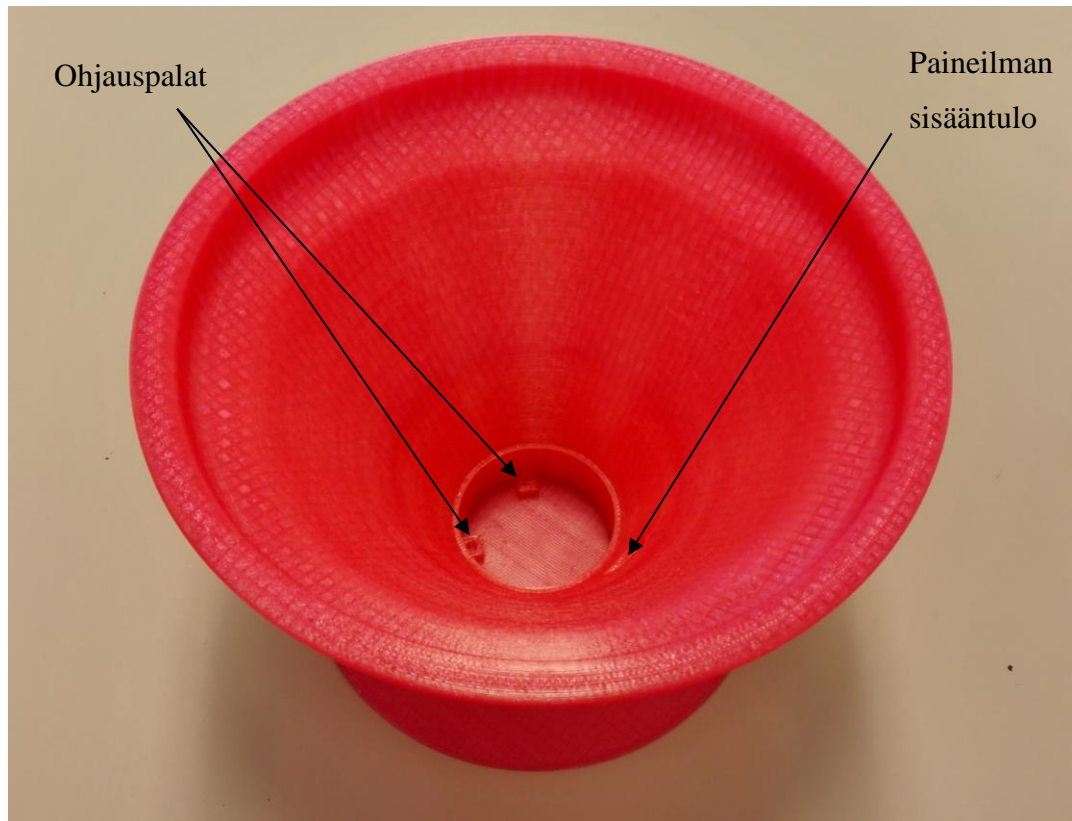
KUVA 36. Testiversio kuoriosan tulostamiseen

Tulostamisen testaaminen yksinkertaistetulla mallikappaleella oli perusteltua, koska aikaa ja tulostusmateriaalia olisi mennyt huomattavasti hukkaan, jos kappale olisi laitettu tulostumaan kokonaisuutena ja kulman tulostaminen ei olisi onnistunutkaan. Koska kappaleen varsi on suurelta osin umpimateriaalia, olisi tulostamiseen tarvittu jo monta kerrosta tulostusmateriaalia, ennen kuin olisi huomattu, että kulman tulostaminen ei onnistukaan ilman tukimateriaalia.

Testin jälkeen laitettiin tulostumaan kokonainen kappale. Kuoriosaa tulostaessa voitiin käyttää pienempää materiaalin täyttöä kuin muissa osissa, koska kappaleen pinta ei ole kosketuksissa mittausnäytteisiin. Pientä materiaalin täyttöä käytettäessä tulostusjälki ei ole yhtä tasaista kuin suurta täyttöä käytettäessä. Tämän takia kappaleen pinnasta huomaa tulostuksesta muodostuneet kerrokset (KUVA 37 ja 38). Version kuusi kuoriosan tulostus kesti yön yli ja onnistui ensimmäisellä tulostusyrityksellä.



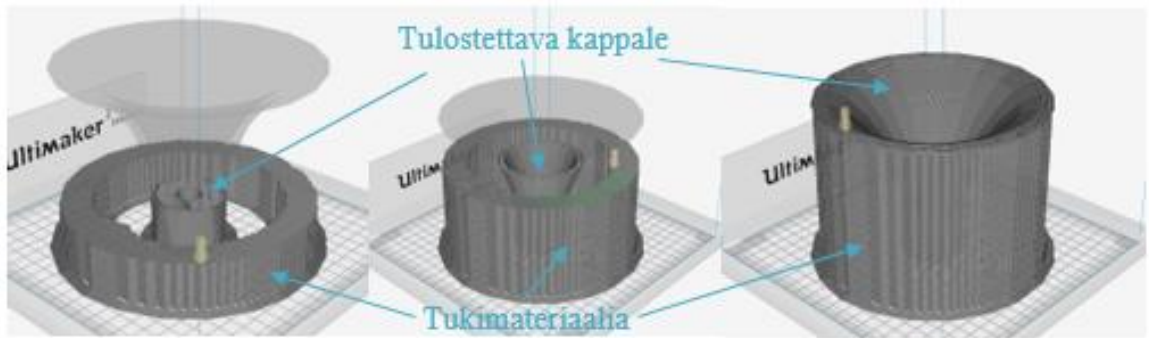
KUVA 37. Kuoriosaa tulostuksen jälkeen ennen viimeistelyä



KUVA 38. Kuoriosan sisäpuoli tulostuksen jälkeen

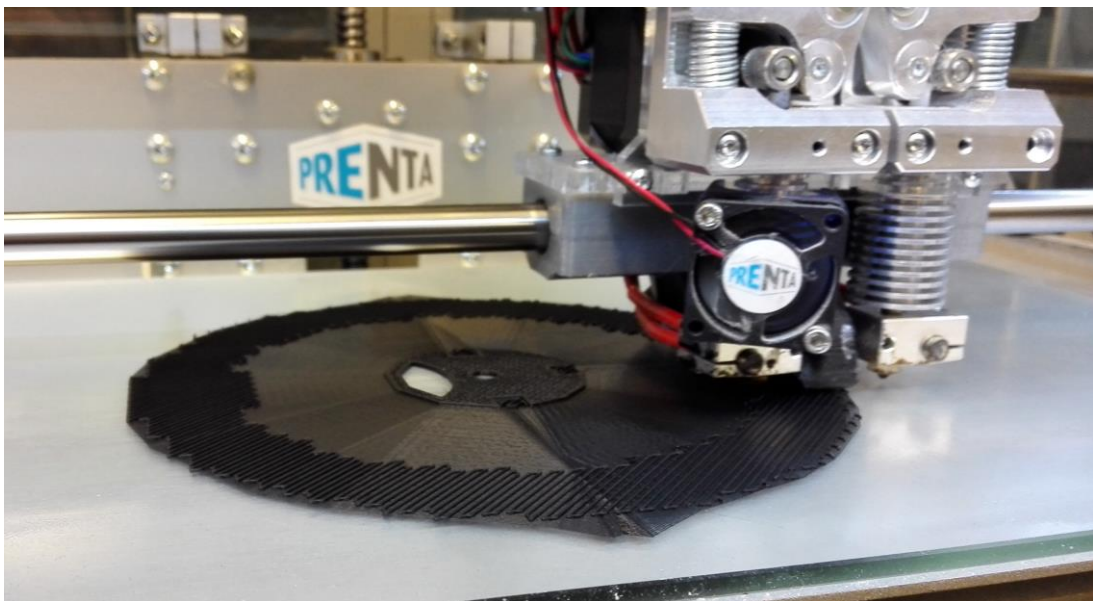
4.2.3 Imuosa

Myös imuosan tulostaminen aloitettiin versiosta viisi. Sitä yritettiin tulostaa kuoriosan epäonnistuneiden tulostusyritysten jälkeen. Imuosassa tärkeää oli saada sisäpinta mahdollisimman tasaiseksi ja hyvälaatuiseksi, jotta mittausnäyte kulkeutuisi mittalaitteelle mahdollisimman sujuvasti ja ongelmitta. Tästä syystä imuosa täytyi tulostaa pystyasennossa sisäpuoli ylöspäin. Näin sisäpuolen pinnanlaatu olisi paras mahdollinen. Ulkopinta täytyi tukea tukimateriaalilla, jotta tulostaminen onnistuisi. Imuosan suuaukko muodosti kappaleeseen melko suuren ulokkeen, joten tukimateriaalia tarvittiin paljon tulostamisen suorittamiseen (KUVA 39), mikä lisäsi tulostusaikaa huomattavasti.



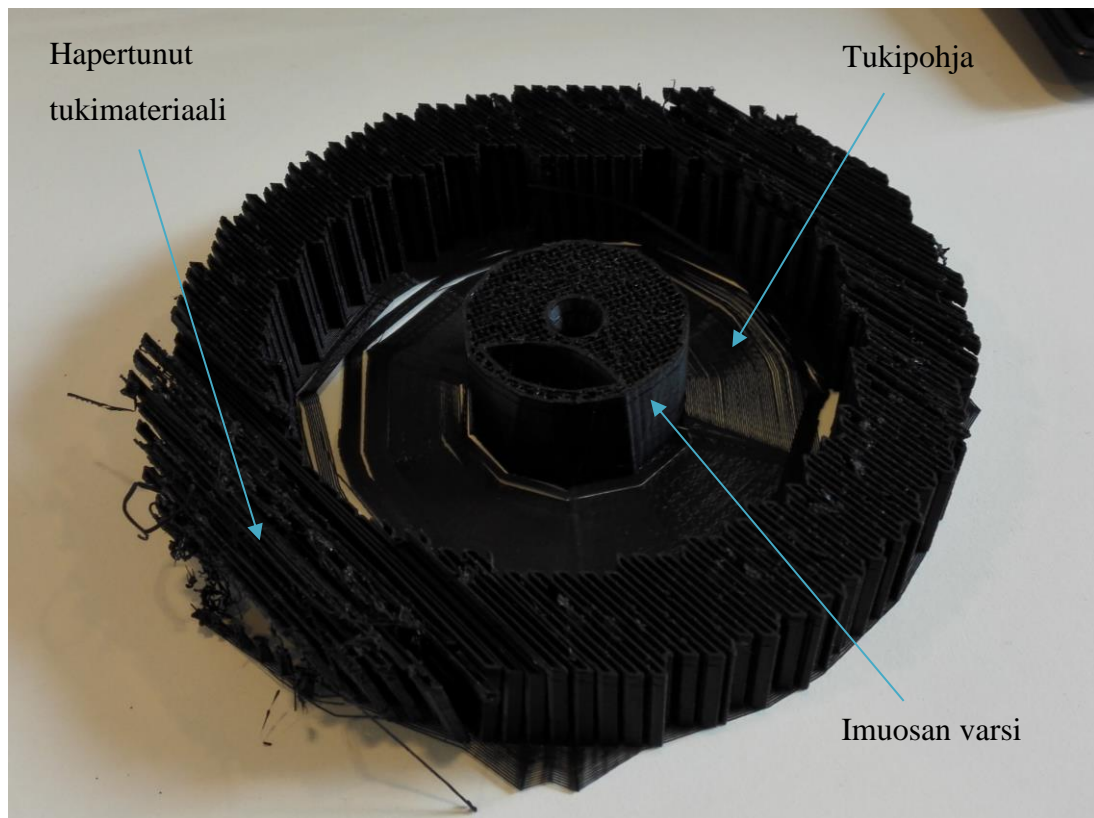
KUVA 39. Viidennen version imuosan 3D-tulostamisen simulointia tukimateriaalin käytöstä

3D-tulostusohjelmalla CURAlla tulostusasetuksista lisättiin tukipohja avittamaan materiaalin kiinnittymistä tulostusalustaan. CURAN asetuksista määritetty tukipohja ei kuitenkaan ole yhtä varma, kuin mallintamalla lisätty tukipohja, mikä johtuu tuen paksuudesta. Tulostamisen alkuvaiheessa kuitenkin huomattiin, että materiaali näytti kiinnittyvän alustaan hyvin, joten tulostus jätettiin käyntiin (KUVA 40).



KUVA 40. Viidennen version imuosan tulostaminen

Lupaavasta alusta huolimatta, tukipohja oli kuitenkin jonkin ajan kuluttua irronnut alustasta ja tukimateriaali hapertunut pahasti toiselta puolelta (KUVA 41), minkä takia tulostaminen jouduttiin keskeyttämään.

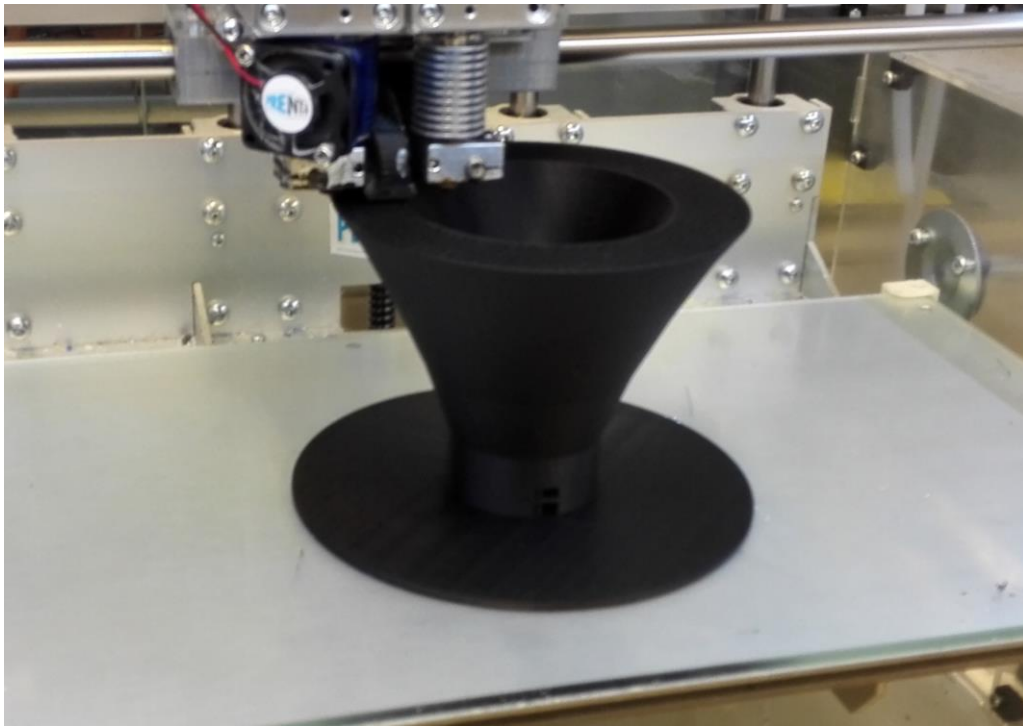


KUVA 41. Viidennen version imuosan epäonnistunut 3D-tuloste

Kuvasta X näkee, kuinka ohut asetuksista lisätty tukipohja on. Se on osasy tulostuksen epäonnistumiseen. Tässä vaiheessa huomattiin, että kappale oli myös muutettu väärällä tavalla mallinnusohjelmalta tulostusohjelmaan, mikä aiheutti kuvassa 41 näkyvän kulmikkaan muodon imuosan varrelle. Vaikka tulostaminen ei olisi keskeytynyt, kappale olisi jouduttu tulostamaan uusiksi, koska se ei olisi ollut yhteensopiva kuoriosan kanssa.

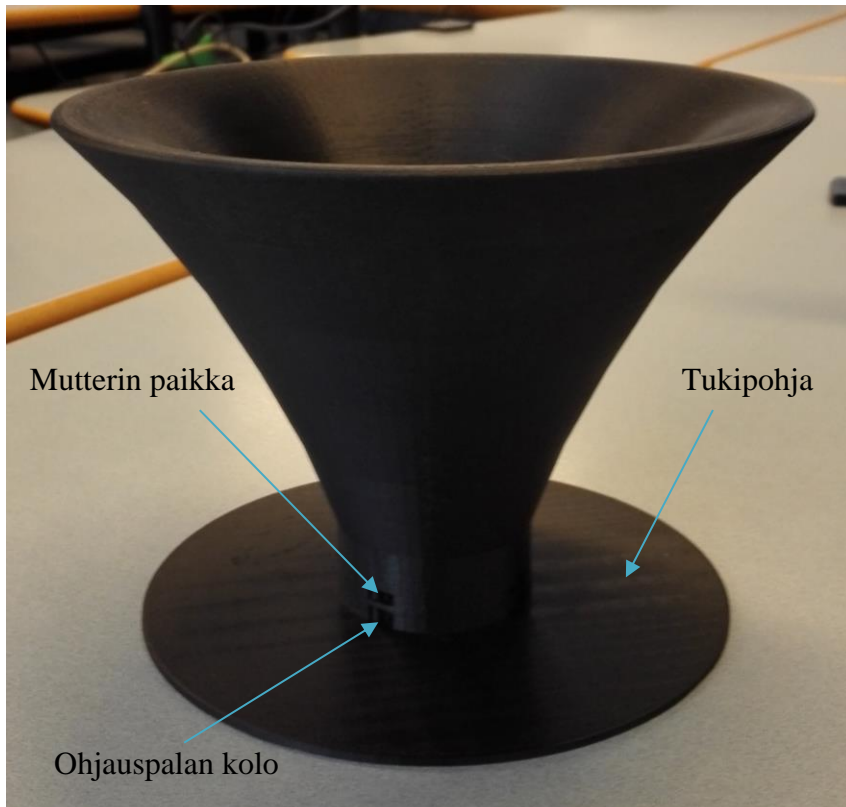
4.2.4 Imuosan muutokset

Näistä virheistä opittuna imuosaa muutettiin muotoon, joka olisi helpompi tulostaa, ja mallinnuksen muutos tulostusohjelmalle tehtiin tällä kertaa oikealla tavalla. Imuosan mallinnukseen lisättiin tukipohja, jotta tuloste pysyisi varmasti alustassa kiinni. Version kuusi imuosa laitettiin tulostukseen ennen kuoriosaa (KUVA 42).

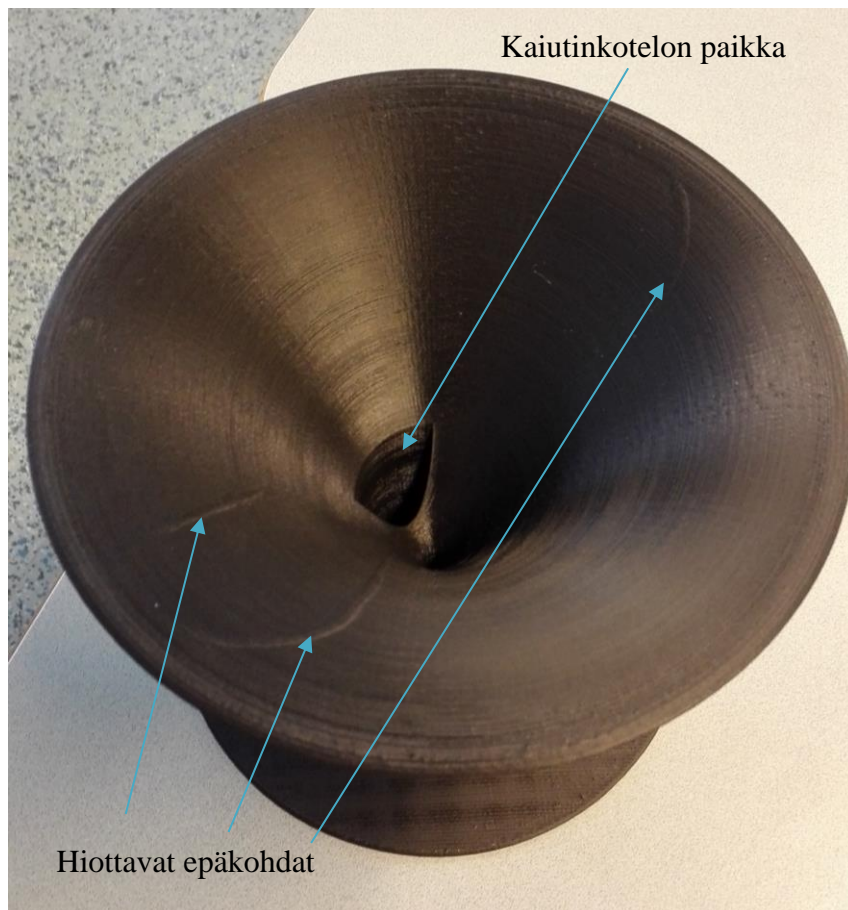


KUVA 42. Kuudennen version imuosan tulostus viimeisellä kolmanneksella

Pitkästä tulostusajasta huolimatta imuosan tulostus onnistui (KUVA 43). Imuosan sisäpintaan oli tulostamisen aikana kuitenkin muodostunut muutamia epäkohtia, jotka täytyi hioa pois (KUVA 44).



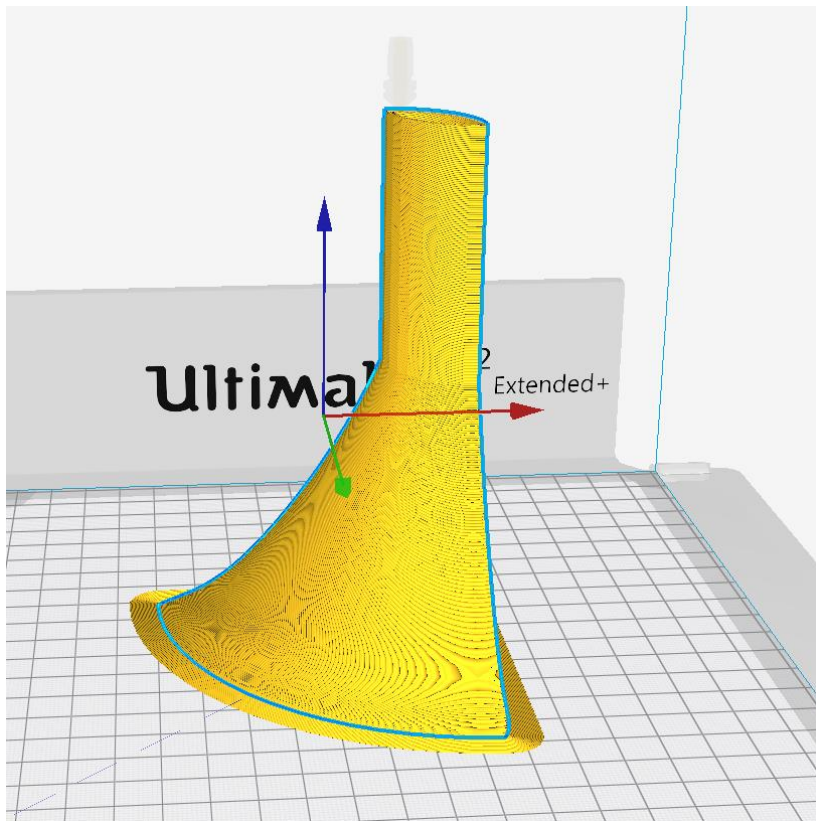
KUVA 43. Imuosa tulostuksen jälkeen



KUVA 44. Imuosan sisäpuoli ennen viimeistelyä

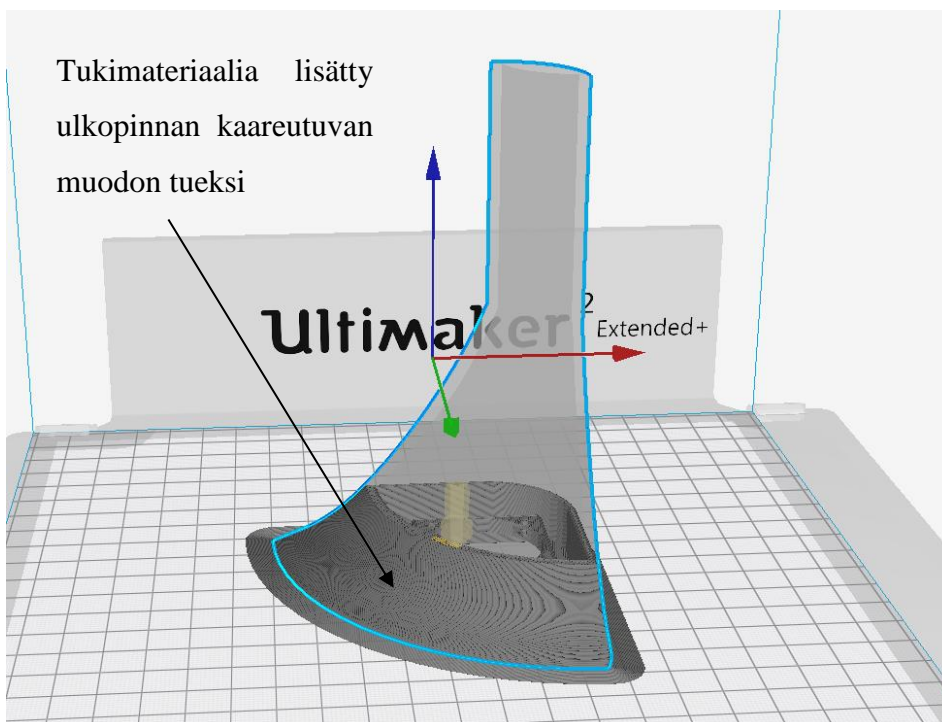
4.2.5 Kaiutinkotelo

Kaiutinkotelon viides versio laitettiin tulostumaan Ultimaker Extendet+ tulostimella samaan aikaan, kuin kuoriosan viidettä versiota tulostettiin Prentalla. Kotelo tulostettiin pystysuuntaan kotelon kansi tulostusalustaa vasten (KUVA 45).



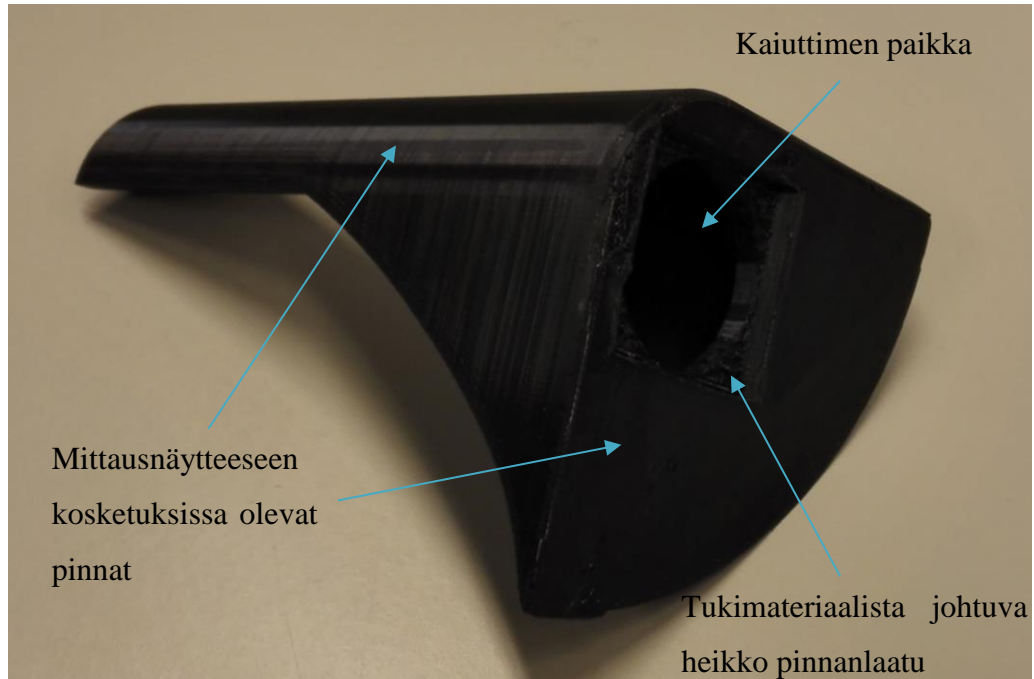
KUVA 45. Kaiutinkotelon tulostusasetusten säätö CURAlla

Kotelo tulostettiin ilman ulkopuolisia tukimateriaaleja. Tukimateriaalia lisättiin ainoastaan kaiuttimen upotukseen, mutterin koloihin ja kotelon sisään tukemaan ulkopinnan kaarta. (KUVA 46).



KUVA 46. 3D-tulostusohjelma Curan simulointi kaiutinkotelon tulostamisesta

Kotelon tulostus onnistui ensimmäisellä yrittämällä ja se kesti noin 13 tuntia. Tulostaminen kesti useita tunteja tulostusmateriaalin kerrospaksuudesta ja täytöstä johtuen. Suurta materiaalin täyttöä käyttämällä saatiin ulkopinta mahdollisimman tasaiseksi (KUVA 47). Kotelon pinta täytyy olla tasainen, jotta mittausnäyte kulkeutuu mahdollisimman tehokkaasti mittalaitteelle eikä juutu kotelon epätasaiseen pintaan kiinni.



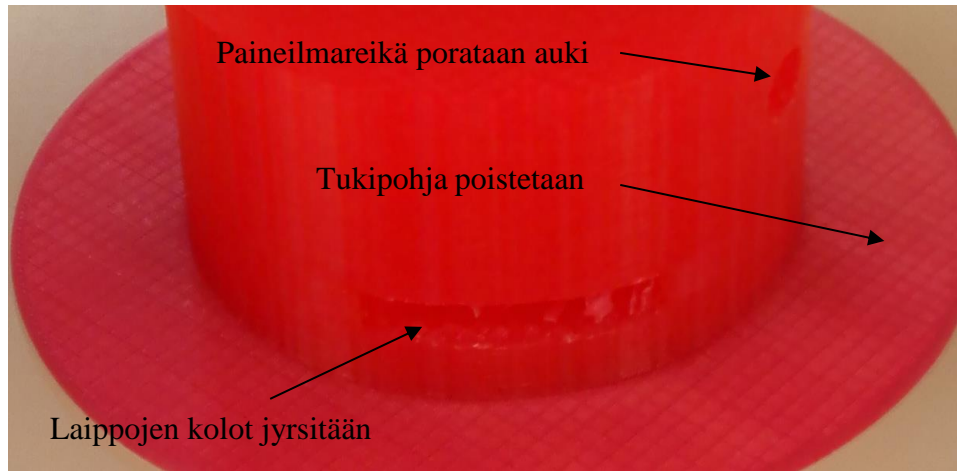
KUVA 47. Kaiutinkotelo ennen viimeistelyä

Se, että kotelo tulostettiin onnistuneesti ennen imuosaa, tarkoitti työn etenemisen kannalta sitä, että jos imuosaa jouduttaisiin muuttamaan, sen sisäpinta ja kotelon liitoskohdat halettiin pitää samoina, jottei kotelo jouduttaisi tulostamaan uudestaan.

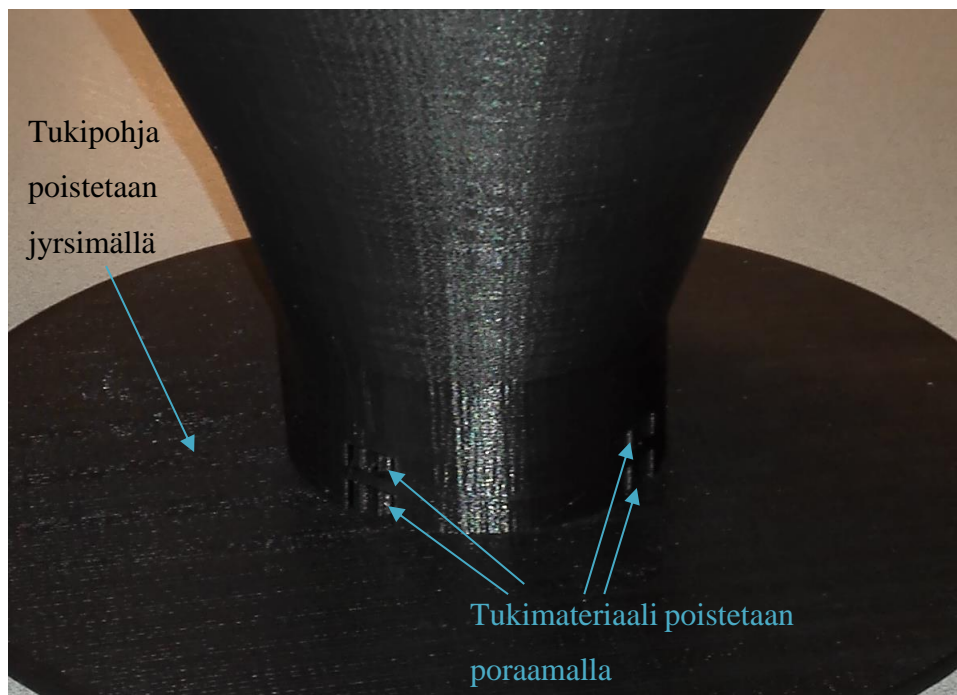
4.3 Kappaleiden viimeistely ja kokoonpano

Ennen mittausten aloittamista tulostetut kappaleet täytyi viimeistellä. Esimerkiksi kuori- ja imuosaa tulostettaessa käytettiin tukipohjaa, joka täytyi poistaa. Lisäksi ylimääräinen tukimateriaali poistettiin esimerkiksi muttereiden, ohjuren ja kiinnityslaippojen paikoilta.

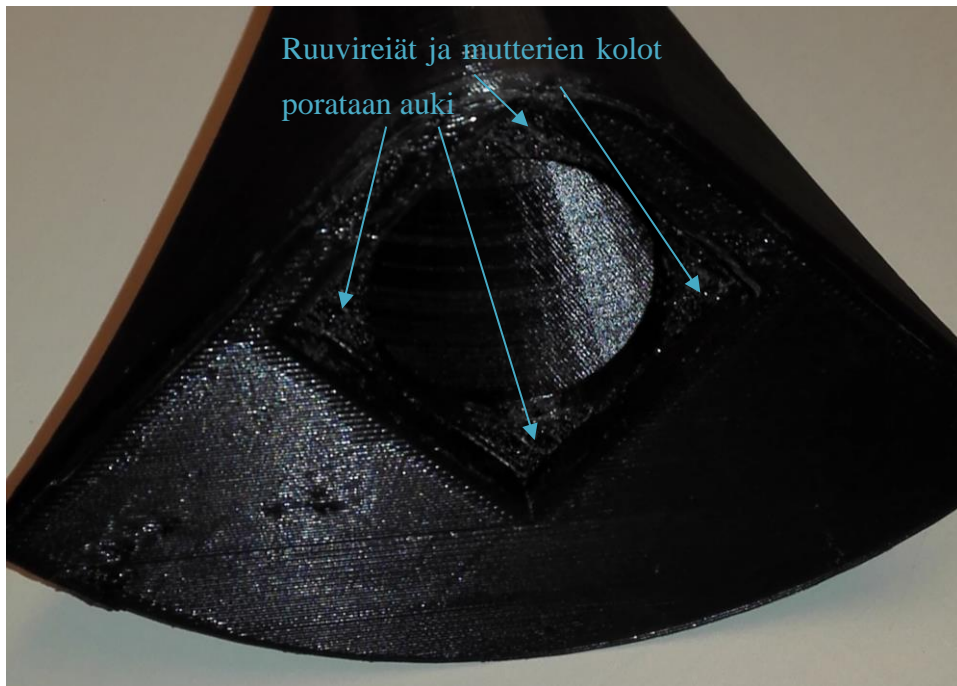
Kappaleiden tukipohjat poistettiin jyrsimällä ja esimerkiksi laippojen kolot voitiin jyrsiä auki tukimateriaalista. Kaikki reiät, jotka oli tuettu tukimateriaalilla, porattiin auki. (KUVA 48-50)



KUVA 48. Kuoriosalle tehtävät viimeistelyt

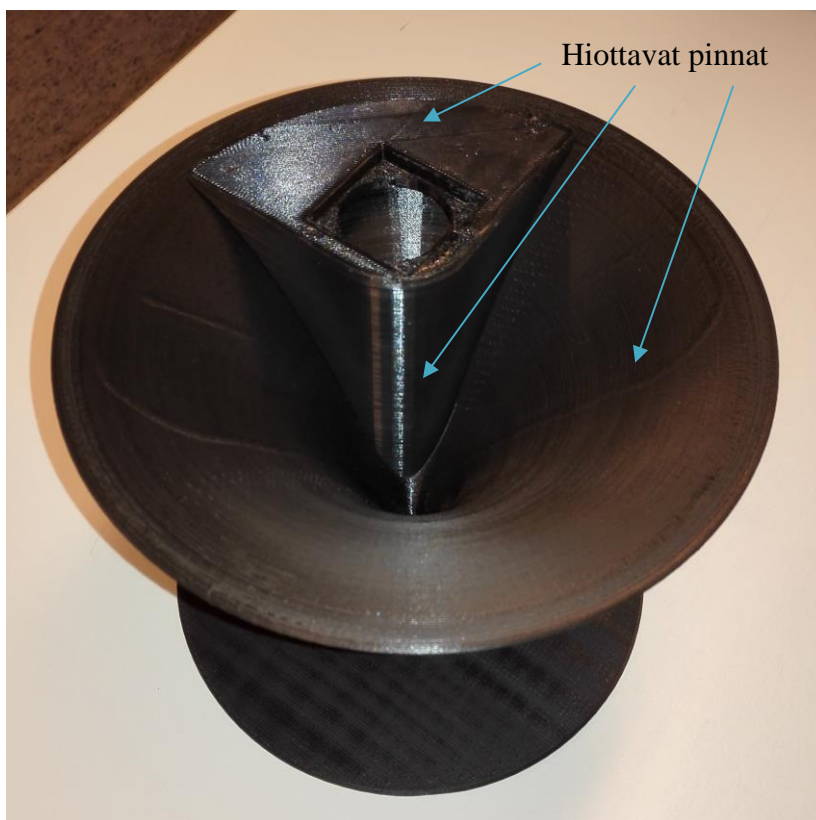


KUVA 49. Imuosalle tehtävät ulkopuoliset viimeistelyt



KUVA 50. Kaiutinkotelosta poistettava tukimateriaali

Mittausnäytteeseen kosketuksissa olevat pinnat täytyi hioa ja lakata, jottei näyte tartu pintaan kiinni. Näitä pintoja olivat kaiutinkotelon pinnat, jotka eivät ole kosketuksissa imuosaan ja imuosan sisäpuoli (KUVA 51).



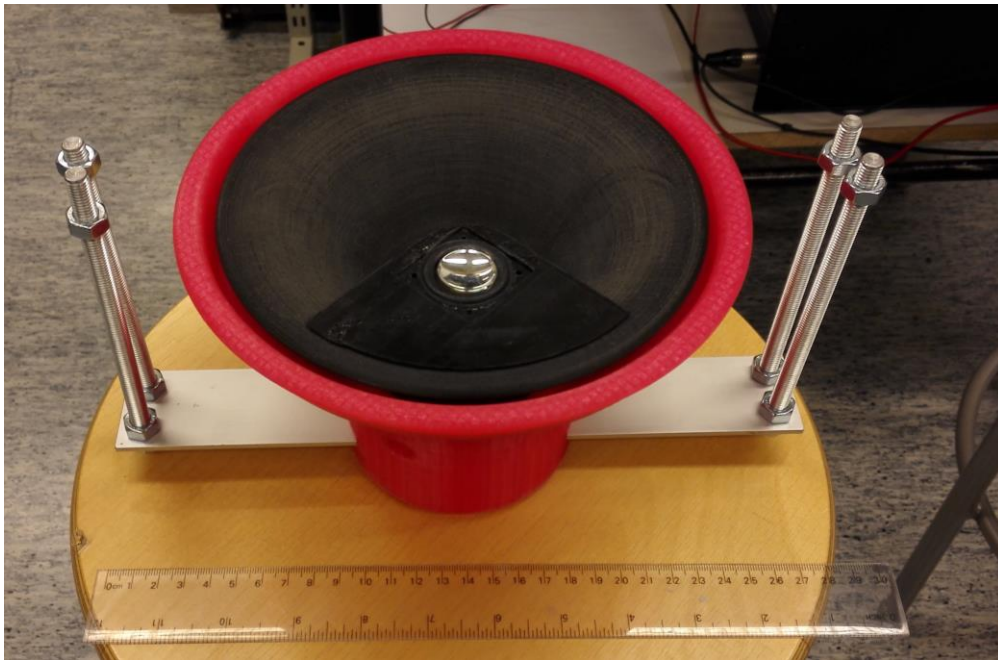
KUVA 51. Kaiutinkotelo liitettynä imuosaan ennen viimeistelyä

Viimeistelyiden jälkeen kappaleet pantiin kokoon. Kappaleisiin asennettiin mutterit mutteripaikoille, jolloin voitiin lukita kappaleet toisiinsa ruuveilla. Kuoriosaan asennettiin kiinnityslaipat, joihin oli valmiiksi kiinnitetty ruuvitangot (KUVA 52).

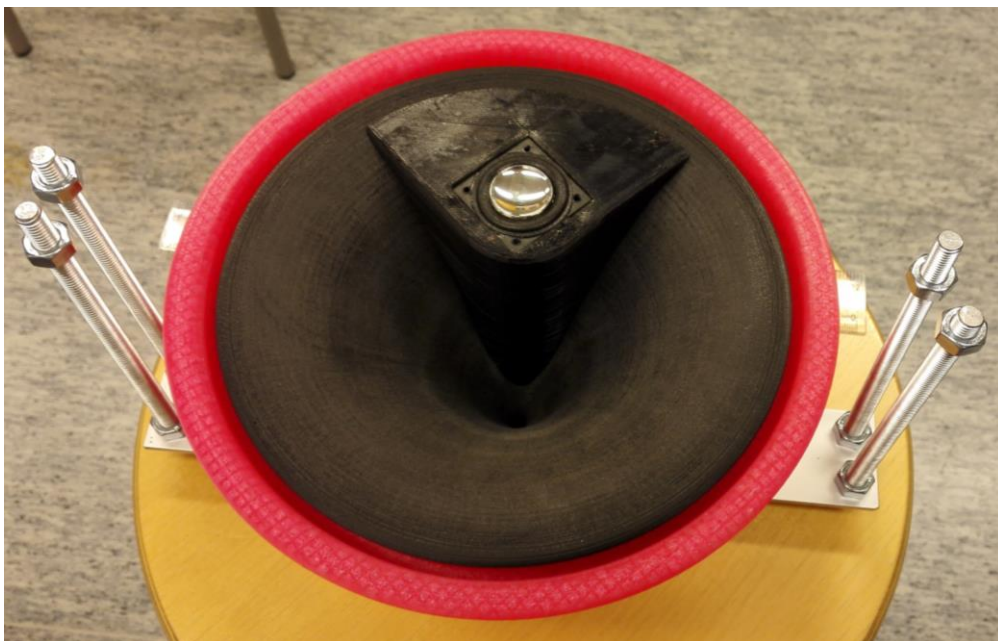


KUVA 52. Kiinnityslaipat asennettuna kuoriosaan

Imuosa lukittiin ruuveilla kuoriosaan kiinni ja kaiutinkotelo asetettiin imuosaan paikoilleen. Kaiutinkotelo ei lukittu aluksi imuosaan mitenkään, vaan se pysyy paikoillaan, koska osat osuvat napakasti yhteen. Mittaukset voitiin suorittaa ilman, että kotelo liimattiin imuosaan, mutta kun keräin on todettu toimivaksi voidaan kotelo vielä lukita liimamalla se imuosaan kiinni. Kaiutin lukittiin ruuveilla koteloon ja kaiuttimen johdot tuotiin virtalähteelle kotelon sisältä. Tämän jälkeen keräin oli valmis asennettavaksi mittauspai- kalle (KUVAT 53 ja 54).



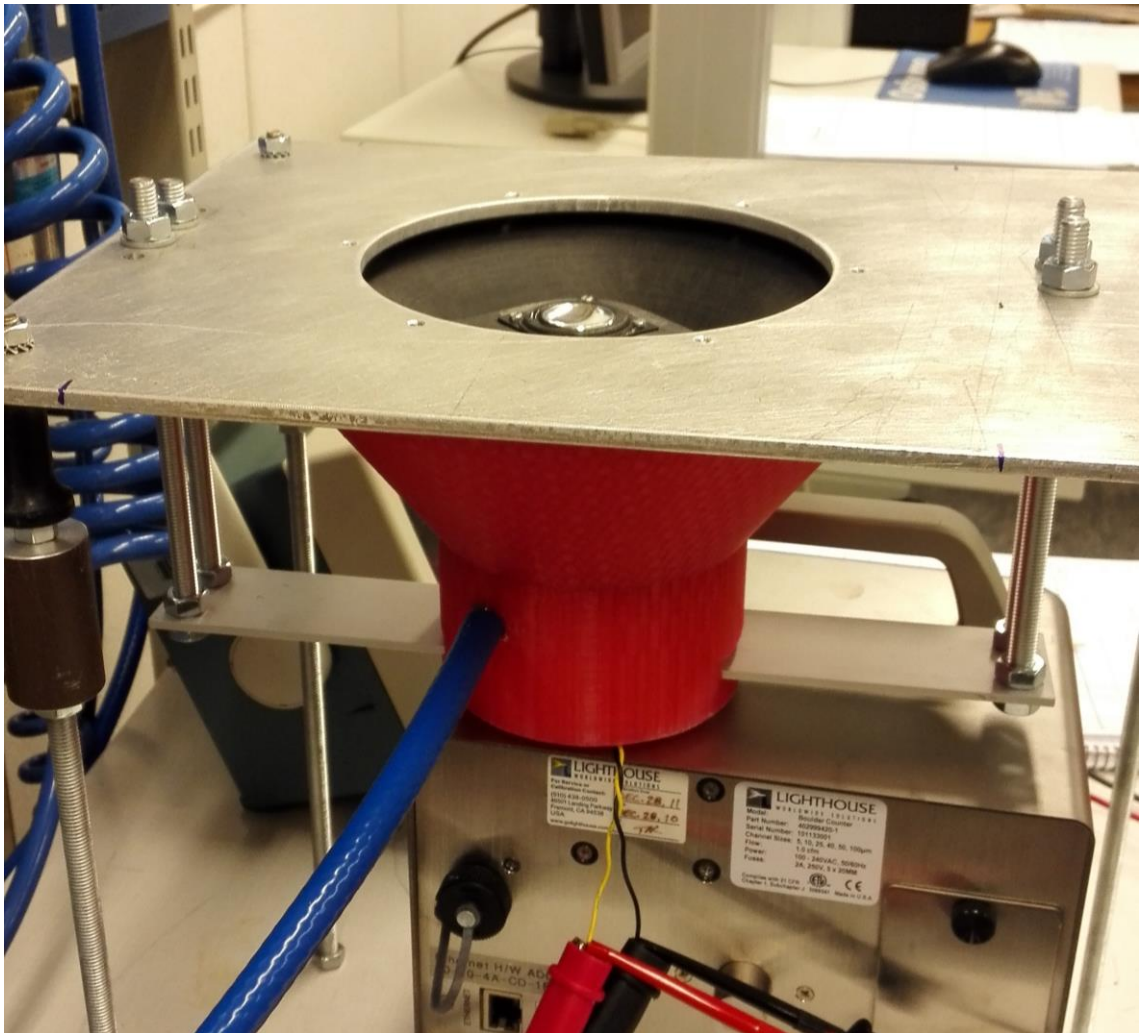
KUVA 53. Pölykeräimen kokoonpano



KUVA 54. Pölykeräimen kokoonpano

4.4 Mittaukset

Mittauksia suoritettiin kappaleiden viimeistelyiden jälkeen, kun kokoonpano oli valmis. Mittauksia tehtiin kahtena eri päivänä. Torstaina 16.8.2018 valmisteltiin keräin mittauskuntoon (KUVA 55), minkä jälkeen mitattiin Nordic-kopiopaperin pölyävyyttä.

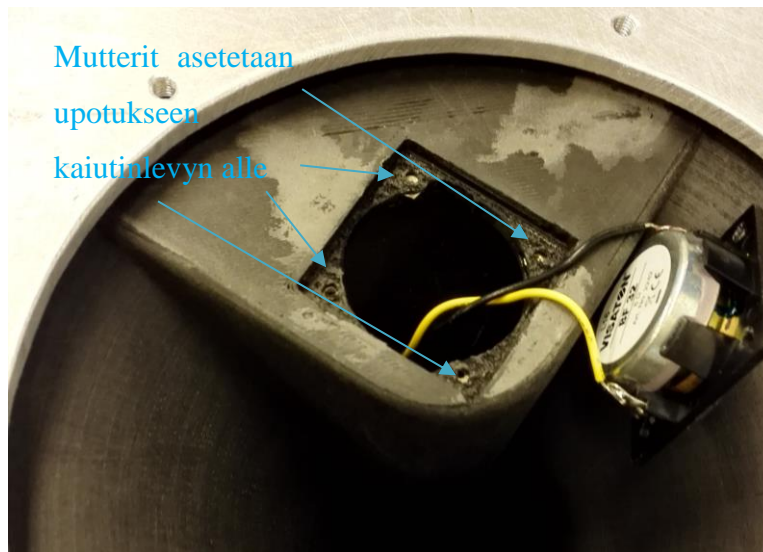


KUVA 55. Keräin asennettuna mittauspaikalle

Mittauksen alkuasetuksina toimivat kymmenen sekunnin mittainen kaiuttimen aiheuttama ravistelu Audacityn ääniraidalla, jonka taajuusasteikko on 100–200 hertsiä (Hz). Syötettävän paineilman virtaus oli asetettu 45 litraa minuutissa (l/min). Kaiuttimen syöttöjännite oli 15 voltia (V). Ennen mittauksia mitattiin myös huoneen ilman lämpötila (24,7 °C) ja RH-arvo (40 %).

Aluksi paperia mitattaessa tulokset näyttivät pölyhiukkasten osalta nollassa. Tämä ei voinut kuitenkaan johtua pelkästään keräimestä, koska kokeilimme mitata myös huoneilmaa ilman paperia, jolloin mittalaite tunnisti useita hiukkasia. Vaihdoin ravistelun taajuusasteikkoa välille 50–300 Hz kymmenen sekunnin ajalle, mutta tulokset eivät muuttuneet. Tämän jälkeen kokeilimme muuttaa paineilman virtausta tasolle 30 l/min, mutta tämäkään muutos ei muuttanut lopputulosta. Lopuksi mittasimme kaiuttimen etäisyyttä paperista mittauksen aikana. Tästä ilmeni, että kaiuttimen elementti ääri-asennossaan mittauksen aikana oli 2,75 mm päässä paperista. Kaiutin oli asetettu kotelon upotuksen pohjaa

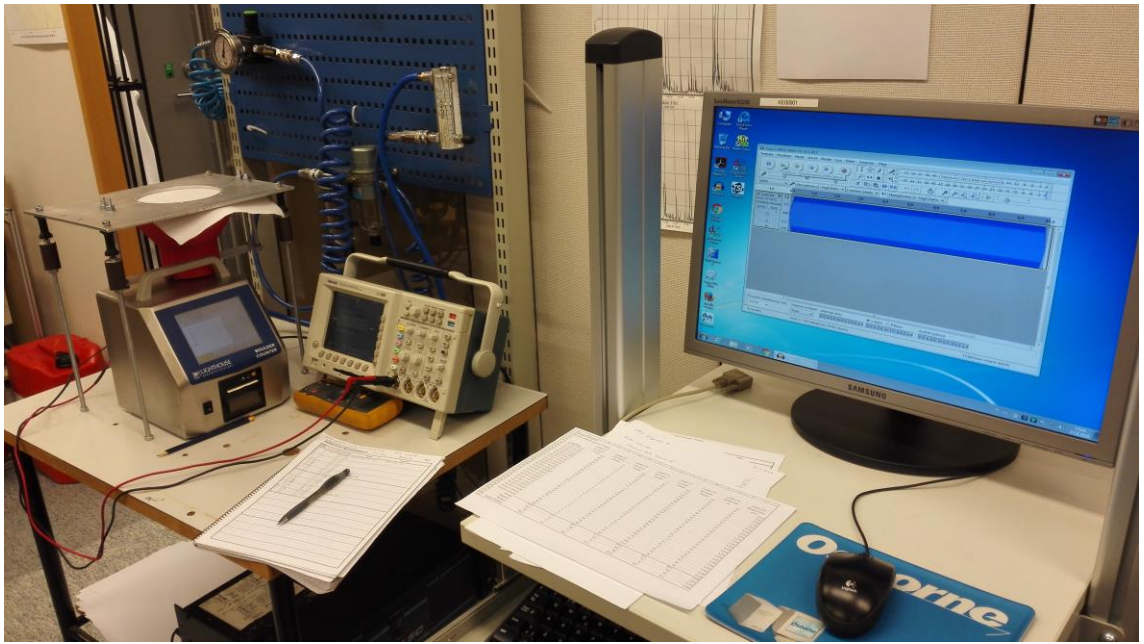
vasten, mikä tarkoitti sitä, että olimme testanneet kaiutinta kaikkein suurimmalla etäisyydellä paperista, mikä kyseisellä keräimellä oli mahdollista suorittaa. Tämä upotus oli tehty juuri sitä varten, että kaiutinta olisi mahdollista liikuttaa, jos kuvan 28 ([Kaiutinelementin liikkeen testaus](#)) mitattu etäisyys ei olisi mittaustilanteessa riittävä. Kaiutinta nostettiin asettamalla mutterit kaiutinlevyn alle (KUVA 56). Mutterit olivat 2,4 mm korkeita, joten mittauksen aikana kaiuttimen elementti on noston jälkeen 0,35 mm päässä paperista. Kaiuttimen nostaminen vaikutti positiivisesti mittaustulokseen ja näin ollen hiukkasia kertyi mittauslaitteelle.



KUVA 56. Kaiuttimen nostaminen

Kopiopaperien mittaukset suoritettiin lopulta 100–200 Hz taajuuden ravistelulla kymmenen sekunnin ajalta ja virtausnopeutena käytettiin 35 l/min. Kopiopapereista mitattiin kaksikymmentä arvoa per puoli, mutta jokainen mittaus tehtiin eri paperille. Näin ollen mittauksia tehtiin yhteensä neljäkymmentä. Tarkemmat tiedot liitteessä X.

Toinen mittauskerta suoritettiin perjantaina 17.8.2018 ja tällä kertaa mitattiin SharpCell Oy:n lähettämiä paperinäytteitä (KUVA 57). Papereita oli laaduiltaan neljää erilaista ja jokaisesta paperilaadusta tehtiin kymmenen mittausta: viisi per puoli. Mittaukset suoritettiin samalla tavalla kuin kopiopaperien mittaukset eli samaa paperia käytettiin vain kerran.



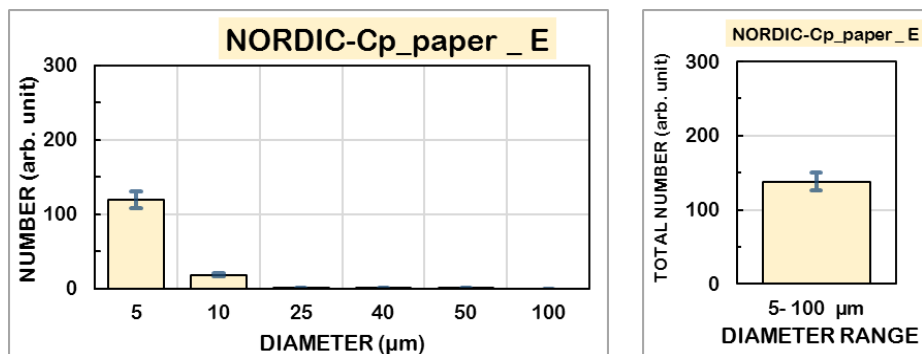
KUVA 57. SharpCell Oy:n paperien mittaukset

Myös SharpCell Oy:n paperien mittaukset suoritettiin 100–200 Hz taajuuden ravistelulla kymmenen sekunnin ajalta ja virtausnopeutena käytettiin 35 l/min. Kaiuttimen syöttöjännite oli 15V. Huoneen ilman lämpötila oli 24,5 °C ja RH arvo oli 41,8 %. Tarkemmat tiedot liitteestä X.

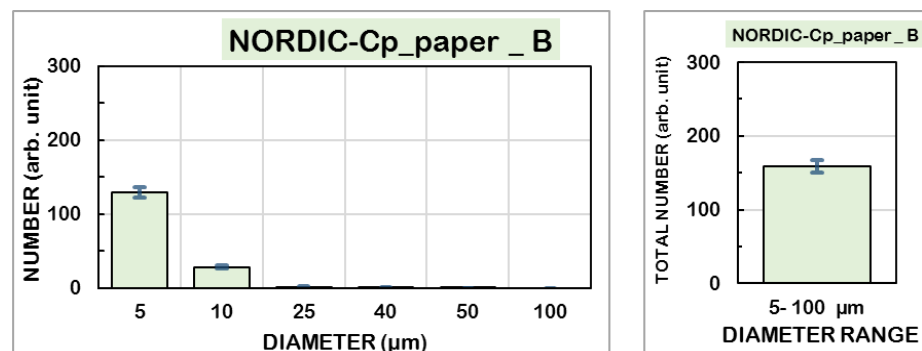
5 MITTAUSTULOKSET

SharpCell Oy:n mitattuja paperilaatuja on neljää erilaista ja kustakin paperilaadusta esitetään E- ja B-puolien mittaustulokset. Nordic-kopiopapereiden mittaustulokset on myös esitetty E- ja B-puolilta, vaikka kopiopaperin puolet eivät olleetkaan toisistaan poikkeavia. Mittaustulokset ovat esitetty diagrammeissa ja ne kuvaavat kunkin paperin keskiarvollaista hiukkasmäärää paperia kohden. Diagrammien pystyrivi esittää hiukkasten määrää ja vaakarivi hiukkasten kokoa. Mitattavat hiukkaskoot ovat 5, 10, 25, 40, 50 ja 100 mikrometriä (μm).

Nordic-kopiopaperin pölyävyysmittausten tulokset on esitetty kuvioissa 1 ja 2. Tuloksissa esiintyy paljon viiden mikrometrin pölyhiukkasia. Nämä hiukkaset ovat huonepölyä ja niitä esiintyy tuloksissa paljon, koska mitattavia kopiopapereita ei oltu säilytetty pölyämättömässä tilassa.



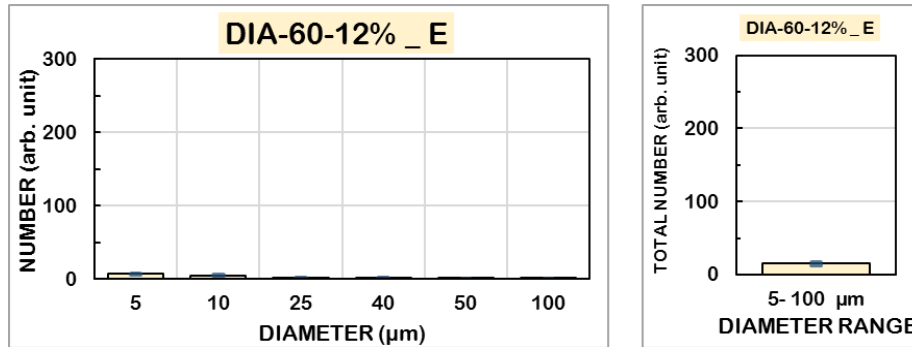
KUVIO 1. Nordic kopiopaperin E-puolen mittaustulokset



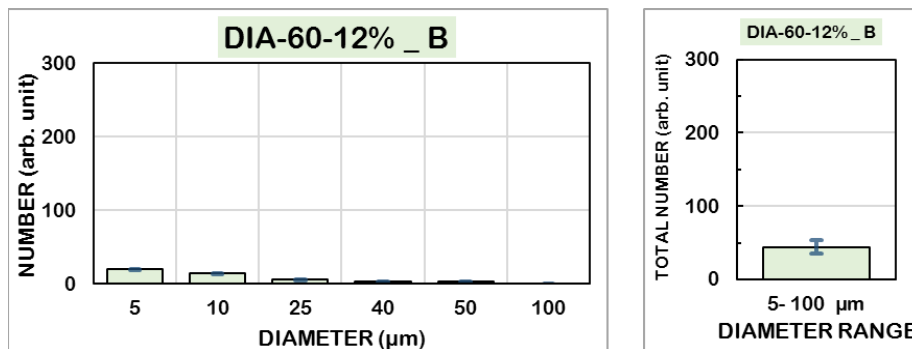
KUVIO 2. Nordic kopiopaperin B-puolen mittaustulokset

SharpCell Oy:n papereista ensimmäisenä on esitetty DIA-60–12%. Tulokset jäivät odotettua pienemmiksi ja esimerkiksi sadan mikrometrin hiukkasia mitattiin DIA-60–12%

paperin E-puolelta keskiarvollisesti paperia kohden vain yksi kappale ja B-puolelta ei yhtään. DIA-60–12% paperin mittaustulokset on esitetty kuvioissa 3 ja 4. Kuvioista näkee, että B-puolelta mitatut arvot ovat suuremmat kuin E-puolen, mutta B-puolen mittaustuloksissa on myös enemmän virhearvoa. Tällä paperilaadulla oli suurin ero eri puolien välisessä pölyävyydessä.

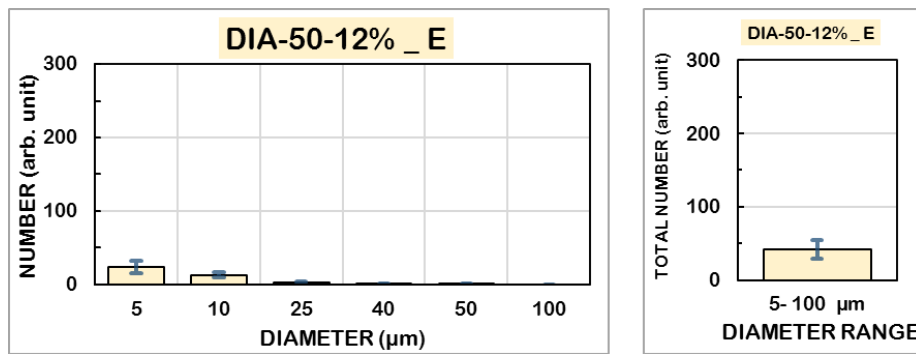


KUVIO 3. SharpCell paperin DIA-60-12% E-puolen mittaustulokset

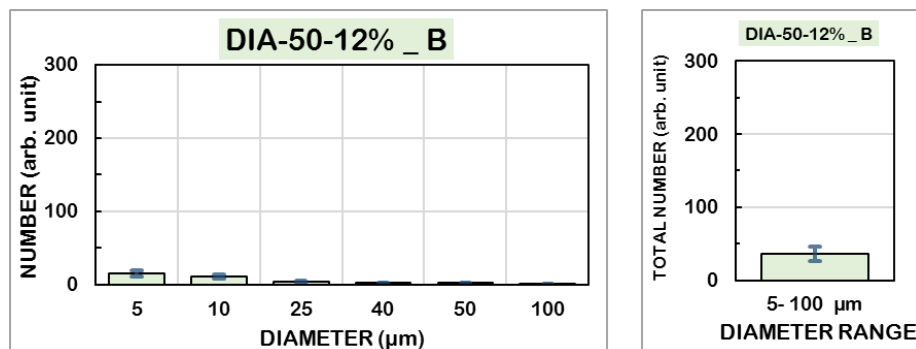


KUVIO 4. SharpCell paperin DIA-60-12% B-puolen mittaustulokset

Toinen SharpCellin mitattava paperi oli laadultaan DIA-50–12%. Tämänkin paperilaadun kohdalla mittaustulokset jäivät alhaisiksi. Viiden mikrometrin kokoisia hiukkasia mitattiin alle 30 kappaleen verran ja sadan mikrometrin hiukkasia ei tuloksissa näkynyt lainkaan. Muita hiukkaskokoja esiintyi muutamia. Tulokset on esitetty kuvioissa 5 ja 6.

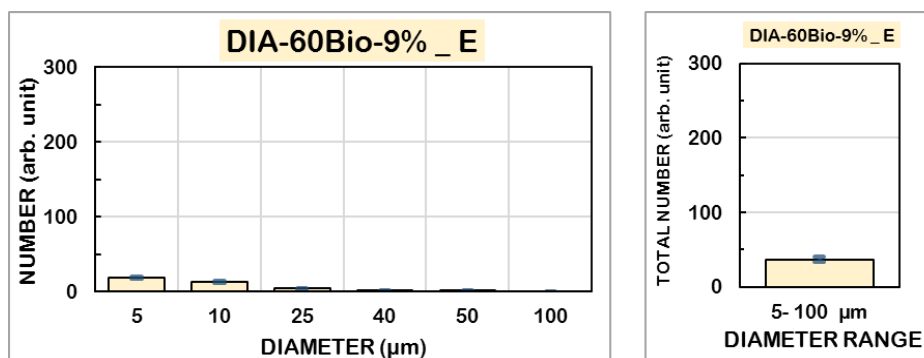


KUVIO 5. SharpCell paperin DIA-50-12% E-puolen mittaustulokset

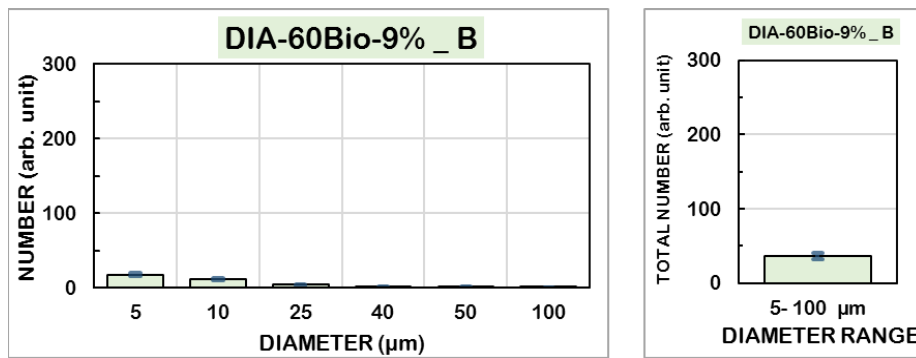


KUVIO 6. SharpCell paperin DIA-50-12% B-puolen mittaustulokset

Kolmas paperilaatu oli DIA-60Bio-9%. Tulokset olivat hyvin samankaltaisia, kuin aikaisemmillä papereilla. Suuria hiukkasia esiintyi vain muutamia ja pienimpiä alle kaksikymmentä. DIA-60Bio-9% mittaustulokset on esitetty kuvioissa 7 ja 8.

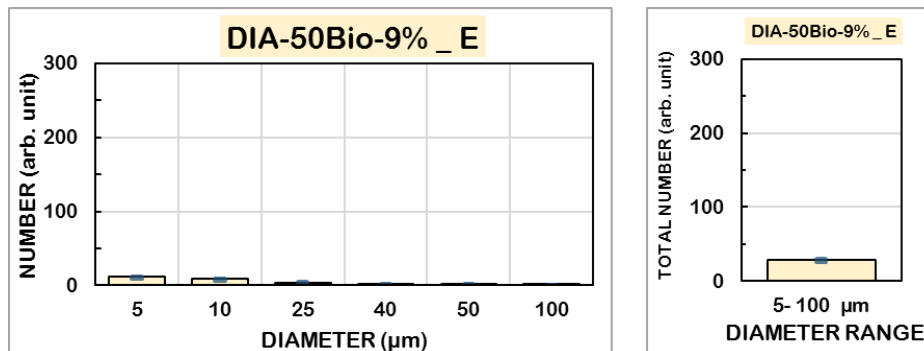


KUVIO 7. SharpCell paperin DIA-60Bio-9% E-puolen mittaustulokset

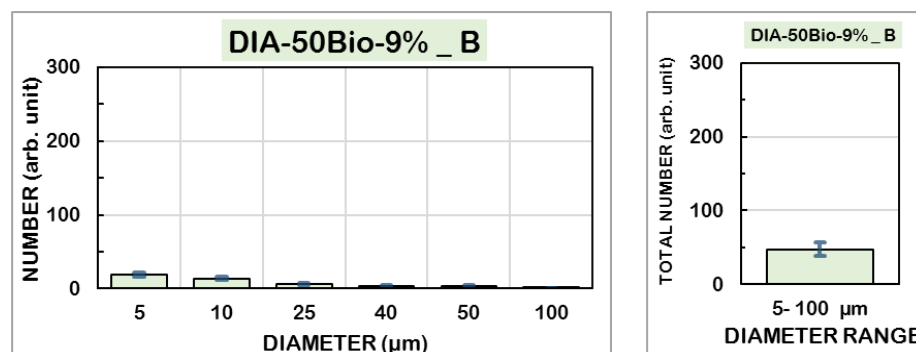


KUVIO 8. SharpCell paperin DIA-60Bio-9% B-puolen mittaustulokset

Viimeinen mitattava paperilaatu oli DIA-50Bio-9%. Tästä paperilaadusta irtosi B-puolelta kaikkein eniten hiukkasnäytteitä, mutta E-puolelta näytteitä irtosi toiseksi vähiten. DIA-50Bio-9% mittaustulokset on esitetty kuvioissa 9 ja 10.



KUVIO 9. SharpCell paperin DIA-50Bio-9% E-puolen mittaustulokset



KUVIO 10. SharpCell paperin DIA-50Bio-9% B-puolen mittaustulokset

5.1 Vertailu edelliseen laitteeseen

Myös Chaudet Alexisin harjoitustyössä *Improvement of a paper dust measuring collecting device by 3D printing* suunnittelemalla keräimellä on tehty samankaltaisia mittauk-

sia. Suurimmat näiden kahden laitteen väliset tuloserot sijoittuvat jokaisessa paperilaadussa pienimpiin hiukkasiin. Tuloserot pienenevät, kun vertaillaan suurempien hiukkasten lukumäärää. Alla esitettyssä taulukossa vertaillaan molempien laitteen mittaustuloksia paperilaaduista DIA-60Bio-9% ja DIA-50Bio-9%. Näiden paperilaatujen yhteenlasketut erot hiukkasmäärissä olivat toiseksi suurimmat ja toiseksi pienimmät. Vertailusta jätettiin pois suurimman eron ja pienimmän eron aiheuttaneet paperilaadut, jotta mahdolliset virheelliset mittaukset saatiin karsittua pois. Taulukoissa on esitetty jokaisen hiukkaskokoon mitattujen määrien keskiarvo paperia kohden. Taulukossa 1 on vanhan sekä uuden keräimen mittaustulokset paperista DIA-60Bio-9% kuviopuolelta eli E-puolelta.

TAULUKKO 1. Keräinten mittaustulosten välinen vertailu paperista DIA-60Bio-9%_E

Paper type/Code	PARTICLE SIZE (μm)						SIZE RANGE
	5	10	25	40	50	100	5...100 μm
	<i>N (counts)</i>	<i>N (counts)</i>	<i>N (counts)</i>	<i>N (counts)</i>	<i>N (counts)</i>	<i>N (counts)</i>	<i>N_{tot} (counts)</i>
	<i>S_M</i>	<i>S_M</i>	<i>S_M</i>	<i>S_M</i>	<i>S_M</i>	<i>S_M</i>	<i>S_M</i>
DIA-60Bio-9%_E Vanha keräin	52 9	27 4	9 2	3 1	2 0	1 0	94 16
DIA-60Bio-9%_E Uusi keräin	18 1	13 2	4 1	1 0	1 0	0 0	37 4

Taulukosta 1 nähdään, että suurimpien hiukkasten ero on vain muutamia yksiköitä ja hiukkasten yhteenlaskettu ero johtuu viiden ja kymmenen mikrometrin hiukkasista. Näissä ero on huomattavasti suurempi. Vertaillaan seuraavaksi saman paperilaadun backgroundia eli B-puolta (TAULUKKO 2).

TAULUKKO 2. Keräinten mittaustulosten välinen vertailu paperista DIA-60Bio-9%_B

Paper type/Code	PARTICLE SIZE (μm)						SIZE RANGE
	5	10	25	40	50	100	5...100 μm
	<i>N (counts)</i>	<i>N (counts)</i>	<i>N (counts)</i>	<i>N (counts)</i>	<i>N (counts)</i>	<i>N (counts)</i>	<i>N_{tot} (counts)</i>
	<i>S_M</i>	<i>S_M</i>	<i>S_M</i>	<i>S_M</i>	<i>S_M</i>	<i>S_M</i>	<i>S_M</i>
DIA-60Bio-9%_B Vanha keräin	30 7	16 3	5 1	1 0	1 0	0 0	53 12
DIA-60Bio-9%_B Uusi keräin	18 2	12 2	4 1	2 1	1 1	0 0	36 5

B-puolelta mitatut arvot ovat molemmilla keräimillä hyvin saman suuruisia. Jälleen suurimmat erot muodostuvat viiden mikrometrin hiukkasissa. Kymmen mikron hiukkasissa on myös eroa, mutta tällä kertaa ero on jo huomattavasti pienempi. Hiukkaskokoluokassa

25 ja 40 mittaustulokset ovat yhden hiukkasen erolla ja 50 sekä 100 mittaustulokset ovat täsmälleen samat.

Vertaillen uuden keräimen mittaustuloksia paperin DIA-60Bio-9% eri puolilta, voidaan todeta, että tulokset ovat hyvinkin saman suuruisia molemmilta puolin paperia. Vanhan keräimen tapauksessa E-puolen tulokset ovat kuitenkin puolet suurempia kuin B-puolen vastaavat.

Tarkastellaan vielä toista paperilaatua ennen johtopäätöksien muodostamista. Taulukkoon 3 on kerätty paperin DIA-50Bio-9% kuviopuolen mittaustulokset.

TAULUKKO 3. Keräinten mittaustulosten välinen vertailu paperista DIA-50Bio-9%_E

Paper type/Code	PARTICLE SIZE (μm)						SIZE RANGE
	5	10	25	40	50	100	5...100 μm
	<i>N (counts)</i> <i>S_M</i>	<i>N (counts)</i> <i>S_M</i>	<i>N (counts)</i> <i>S_M</i>	<i>N (counts)</i> <i>S_M</i>	<i>N (counts)</i> <i>S_M</i>	<i>N (counts)</i> <i>S_M</i>	<i>N_{tot} (counts)</i> <i>S_M</i>
DIA-50Bio-9%_E Vanha keräin	44 13	26 8	9 2	2 1	1 1	0 0	83 24
DIA-50Bio-9%_E Uusi keräin	11 1	9 1	4 1	2 1	1 0	1 0	28 2

Tuloksista huomataan, että yhteenlaskettujen hiukkasten ero on valtava. Tämä johtuu jälleen kahden pienimmän hiukkaskoon tuloksista. Muuten mittaukset ovat saman suuruiset. Lopuksi taulukkoon 4 on kerätty saman paperilaadun B-puolen mittaustulokset.

TAULUKKO 4. Keräinten mittaustulosten välinen vertailu paperista DIA-50Bio-9%_B

Paper type/Code	PARTICLE SIZE (μm)						SIZE RANGE
	5	10	25	40	50	100	5...100 μm
	<i>N (counts)</i> <i>S_M</i>	<i>N (counts)</i> <i>S_M</i>	<i>N (counts)</i> <i>S_M</i>	<i>N (counts)</i> <i>S_M</i>	<i>N (counts)</i> <i>S_M</i>	<i>N (counts)</i> <i>S_M</i>	<i>N_{tot} (counts)</i> <i>S_M</i>
DIA-50Bio-9%_B Vanha keräin	46 10	29 6	11 2	3 1	2 1	0 0	91 17
DIA-50Bio-9%_B Uusi keräin	19 2	14 2	6 2	4 2	4 2	0 0	47 9

Tämän paperilaadun B-puolelta mitatut hiukkasmäärät ovat molemmilla laitteilla suuremmat, kuin E-puolen hiukkasmäärät. Lisäksi B-puolen mittauksissa uudella keräimellä on saatu vanhaa keräintä suuremmat hiukkasarvot kokoluokissa 40 ja 50 mikrometriä.

Kaiken kaikkiaan näyttäisi siltä, että keräimillä saadut tulokset eivät eroa juurikaan toisistaan suurten hiukkasten osalta. Pienissä hiukkasmäärissä on suurempiakin eroja. Tästä tulee mieleen, onko mahdollisesti aikaisemmin mitattuihin papereihin tarttunut huonepölyä ennen mittaustilannetta. Toinen skenaario, mikä voisi selittää eron saattaisi johtua siitä, että vanhalla keräimellä ja mittausjärjestelmällä huonepölyä kulkeutuu mittalaitteelle järjestelmän ulkopuolelta. Yksi mahdollisuus tietenkin on, että uusi keräin ja sen järjestelmä ei yksinkertaisesti irrota pölyä paperin pinnasta yhtä paljon tai kuljeta irrottaensa pölyä mittalaitteelle yhtä tehokkaasti kuin vanha keräin. Tämä on kyseisiä skenaarioista todennäköisin, koska mitattavat paperit on säilytetty laminaarikaapissa eli puhtasilmakaapissa. Kaappiin ei kulkeudu lainkaan huonepölyä, joten paperien pinnat eivät ole olleet kosketuksissa huoneesta aiheutuvaan pölyyn. Vanhassa järjestelmässä käytettiin myös suurempaa kaiutinta ja siksi kaiuttimen aiheuttama purske on mahdollisesti ollut suurempi. Tämä voi olla yksi syy siihen, miksi vanha systeemi irrottaa enemmän pölyhiukkasia paperin pinnasta kuin uusi systeemi.

6 POHDINTA

Työn tavoitteina oli saada mallinnettua ja 3D-tulostettua paperipölynkeräin, jolla voitaisiin mitata eri paperilaaduista irtoavien pölyhiukkasten määrää. Tavoitteet saavutettiin, koska suunniteltu keräin oli lopulta yhteensopiva kokonaisuus. Muutamien 3D-tulostusyritysten jälkeen keräin tulostettiin onnistuneesti ja pienen hienosäädön jälkeen myös mittauksissa saatiin jokseenkin vertailukelpoisia tuloksia.

Kun lasketaan paperien molempien puolien mittaukset yhteen, hiukkasnäytteitä mitattiin keskiarvallisesti kaikista SharpCellin papereista 71 kappaletta paperia kohden. Tulos tuntuu määrällisesti jokseenkin pieneltä, kun verrataan aiemmin mitattuihin tuloksiin samoista papereista. Erot ovat joihinkin mittauksiin verrattuna useita satoja tai jopa tuhansia hiukkasia. Uudella laitteella saatu mittaustulosten jakauma on kuitenkin pieni, eikä tuloksissa ole suurta hajontaa. Tämä kertoo tuloksien tasaisuudesta ja luotettavuudesta.

Kun pohditaan tuloksien tasaisuutta, uudella pölynkeräimellä mitatut arvot ovat hyvin stabiileja. Eniten mittauskertaa kohden mitattuja hiukkasia mitattiin viiden mikrometrin kokoluokasta ja niidenkin vaihteluväli oli vain muutamia kymmeniä kappaleita. Tarkalleen SharpCellin papereista mitattu pienin arvo näissä hiukkasissa oli neljä kappaletta ja suurin 51 kappaletta (LIITE 2). Mitatuissa tuloksissa ei siis esiinny hirveästi virhearvoa.

Tarkkaa laitteiden välistä vertailua on kuitenkin hankala tehdä, koska hiukkasnäytettä keräävä pinta-ala ei ole yhtä suuri. Vanhan pölynkeräimen suuaukon pinta-ala on 0,0108.. neliometriä (m^2) ja uuden 0,0314.. m^2 . Uudella keräimellä on siis yhden mittauksen aikana mitattu noin kolme kertaa suurempaa pinta-alaa, kuin vanhalla keräimellä. Vanhalla keräimellä mitattiin samaa paperia kolmesta eri kohdasta, kun taas uudella laitteen koosta johtuen vain yhdestä. Tämä tarkoittaa sitä, että vanhalla keräimellä mitattu pinta-ala yhtä paperia kohden on ollut 0,0324.. m^2 ja uudella 0,0314.. m^2 . Tässä työssä vertaillaan kuitenkin kaikkien mittausten keskiarvoa eikä yhdestä paperista saatuja mittaustuloksia, joten ero mittauspinta-alojen koossa ei liene lopputuloksen kannalta tärkeä.

Vähäisiksi jääneet tulokset voivat johtua monestakin eri syystä. Esimerkiksi pölynkeräimen suurempi koko voi vaikuttaa ilmavirran tasaisuuteen sen kulkiessaan mittalaitteelle.

Tämä voi johtaa siihen, että jotkut hiukkaset eivät kulkeudu ilmavirran mukana mittalaitteelle saakka vaan ”putoavat kyydistä” ja tarrautuvat kiinni imuosan seinämiin. Myös kaiuttimen ja kaiutinkotelon sijainti paperin alapuolella imuosan sisällä voivat vaikuttaa hiukkasten kulkeutumiseen mittalaitteelle. Kaikissa pölynkeräimestä aiemmin toteutetuissa versioissa imuosa ja kaiutin ovat olleet sijoitettuna eri puolille paperia. Näin ollen yksipuolisessa versiossa osa hiukkasista saattaa jäädä jumiin kotelon päälle tai kaiuttimen elementtiin. Yksi selitys voi liittyä myös kaiuttimen sijaintiin vaakasuunnassa. Paperia värisytetään mittausalueen reunasta, kun taas aiemmissa järjestelmissä kaiutin värisytti paperia mittausalueen keskeltä.

Jatkossa voisikin selvittää, jääkö imuosan tai kaiutinkotelon pintaan hiukkasia mittausten aikana. Tämä täytyisi selvittää siten, että ennen mittauksia hiottaisiin tutkittavat pinnat puhtaiksi ja mittausten jälkeen pintoja tarkasteltaisiin mikroskoopilla. Myös ilmavirran kulkua voisi tarkastella simulointiohjelmilla. Tästä selviäisi kulkeutuuko ilmavirta halutulla tavalla mittalaitteelle. Jatkossa voisi myös selvittää, muuttuvatko mittaustulokset uudella pölynkeräimellä, jos kaiuttimen siirtäisi alkuperäiseen paikkaansa paperin päälle imuosan vastakkaiselle puolelle. Tätä voisi myös kokeilla suuremmalla kaiuttimella, jota käytettiin aiemmalla pölynkeräimellä tehdyissä mittauksissa. Tällä tavalla saataisiin selville, kummalla puolella paperia kaiutin irrottaisi tehokkaammin pölyä paperin pinnasta.

LÄHTEET

Ahlholm, L. 2010. Sylinterikuivatuksen tehostaminen. Konetekniikan koulutusohjelma. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Aittamaa, T. 2007. Development of laboratory device for linting and dusting measurements in POLYTEST project. Paperitekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Tutkintotyö.

Haaramo, A. 2010. Pölymittalaite LPA ja sanomalehti- ja luettelopaperin pölyäminen. Paperitekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Jänichen, J. 2013. Paperikoneen online-pölymittauksen tuotekehitys. Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Lyly, J. 2017. Paperin pölymittauslaitteen tuotekehitys. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Mäkelä, J. 2014. Täyteaineen vaikutus paperin lujuteen. Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Mäkipää, I. 2013. Particle measurement with PM10 impactor and image analysis in Polytest project. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Prowledge Oy. 2016. KnowPap. Paperitekniikan ja automaation oppimisympäristö. Luettu 25.7.2018. <http://www.knowpap.com/suomi/index.htm>

LITTEET

Liite 1 (2). BF 32 – 8 Ohm, kaiutin

Breitband-Systeme / Fullrange Systems

VISATON^{GERMANY}[®]

BF 32 - 8 Ohm

Art. No. 2242



3,2 cm (1,3") Breitbandlautsprecher mit breitem, ausgewogenem Frequenzgang und sehr guter Tieftonwiedergabe. Mit kräftigem Neodym-Antrieb. Geeignet für Anwendungen, die zugleich geringe Abmessungen und gute Musik- und Sprachwiedergabe fordern. Quadratischer Korb mit vier Befestigungslöchern ermöglicht einfache Montage.

3.2 cm (1.3") fullrange speaker with a wide and balanced frequency response and very good low range reproduction. With powerful Neodymium driver. Suitable for applications where slim construction and good music and speech reproduction are requested. Square basket with four mounting holes for easy mounting.

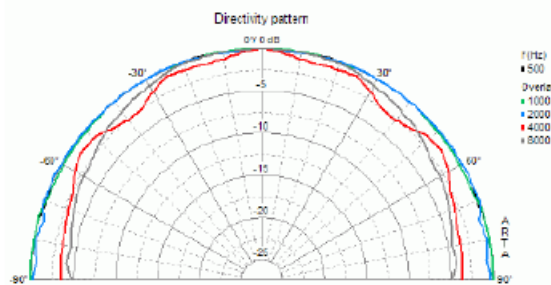
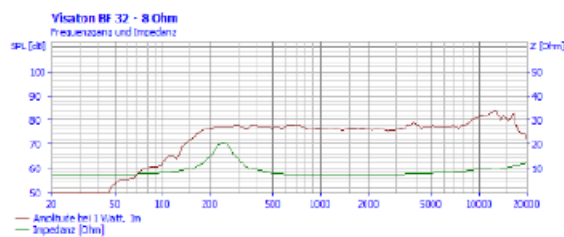
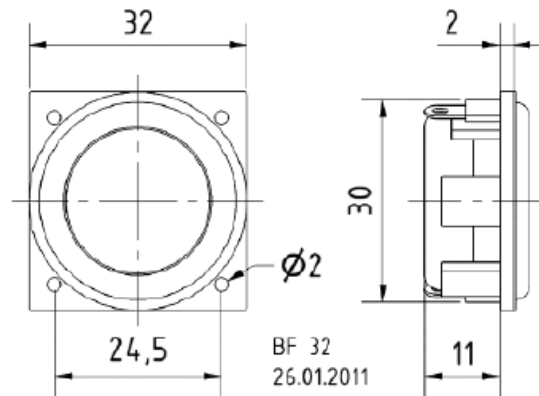
Anwendungsmöglichkeiten / Typical applications

- Flachbildschirme (TV und PC)
- Infoterminals
- andere kompakte Geräte und Automaten zur Sprach- und Musikwiedergabe

- flat screens (TV and PC)
- info terminals
- other compact devices speech and music reproduction

BF 32 - 8 Ohm

Art. No. 2242



Technische Daten / Technical data

Nennbelastbarkeit Rated power	2 W
Musikbelastbarkeit Maximum power	5 W
Nennimpedanz Z Nominal impedance Z	8 Ohm
Übertragungsbereich Frequency response	150-20000 Hz
Mittlerer Schalldruckpegel Mean sound pressure level	78 dB (1 W/1 m)
Resonanzfrequenz f_s Resonance frequency f_s	220 Hz
Schwingspuldurchmesser Voice coil diameter	20 mm
Wickelhöhe Height of winding	3 mm
Schallwandöffnung Cutout diameter	31,5 mm
Gewicht netto Net weight	0,028 kg

Liite 2. SharpCell paperien mittaustulokset päivältä 16.8.2018

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Signature: Administrator							
2	16.8.2018 13:43:55 to 17.8.2018 13:43:55							
3		Location 011	Location 011	Location 011	Location 011	Location 011	Location 011	Location 011
4		5.0 micron	10.0 micron	25.0 micron	40.0 micron	50.0 micron	100.0 micron	Sample Volume
5	Time Stamp	(Counts)	(Counts)	(Counts)	(Counts)	(Counts)	(Counts)	(ft ³)
6	17.8.2018 11:27:25	51	19	2	0	0	0	0.333
7	17.8.2018 11:29:17	13	8	2	1	1	0	0.333
8	17.8.2018 11:31:13	8	6	1	0	0	0	0.333
9	17.8.2018 11:33:00	10	8	1	1	1	0	0.333
10	17.8.2018 11:34:41	37	24	7	3	3	0	0.333
11	17.8.2018 11:40:30	33	23	8	4	4	1	0.333
12	17.8.2018 11:41:42	11	9	5	3	3	0	0.333
13	17.8.2018 11:43:11	12	7	3	2	1	0	0.333
14	17.8.2018 11:44:24	6	6	1	1	1	1	0.333
15	17.8.2018 11:46:34	15	9	5	2	2	0	0.333
16	17.8.2018 11:52:31	14	10	1	1	1	0	0.333
17	17.8.2018 11:53:30	20	17	6	2	2	0	0.333
18	17.8.2018 11:54:36	20	15	3	0	0	0	0.333
19	17.8.2018 11:55:41	17	8	3	1	1	0	0.333
20	17.8.2018 11:56:49	20	16	7	0	0	0	0.333
21	17.8.2018 11:58:40	13	9	3	1	0	0	0.333
22	17.8.2018 11:59:39	17	11	5	2	2	1	0.333
23	17.8.2018 12:00:44	23	17	3	2	2	0	0.333
24	17.8.2018 12:01:48	20	13	7	3	3	0	0.333
25	17.8.2018 12:02:53	15	8	2	0	0	0	0.333
26	17.8.2018 12:06:24	15	11	2	0	0	0	0.333
27	17.8.2018 12:07:44	9	7	4	1	1	1	0.333
28	17.8.2018 12:08:53	9	6	4	3	2	1	0.333
29	17.8.2018 12:11:03	12	8	5	2	2	0	0.333
30	17.8.2018 12:12:14	12	11	6	2	2	2	0.333
31	17.8.2018 12:13:53	22	18	7	3	3	0	0.333
32	17.8.2018 12:15:36	17	13	7	4	4	0	0.333
33	17.8.2018 12:17:12	12	7	2	2	2	0	0.333
34	17.8.2018 12:18:10	19	12	3	1	1	0	0.333
35	17.8.2018 12:19:14	26	19	11	10	10	2	0.333
36	17.8.2018 12:22:08	4	4	0	0	0	0	0.333
37	17.8.2018 12:23:09	7	6	0	0	0	0	0.333
38	17.8.2018 12:24:14	6	5	2	1	1	1	0.333
39	17.8.2018 12:25:27	8	7	3	2	2	0	0.333
40	17.8.2018 12:26:29	9	4	2	1	0	0	0.333
41	17.8.2018 12:28:26	14	12	4	3	3	0	0.333
42	17.8.2018 12:29:23	33	22	6	2	2	0	0.333
43	17.8.2018 12:30:24	22	16	8	3	3	0	0.333
44	17.8.2018 12:31:39	16	13	9	4	4	0	0.333
45	17.8.2018 12:32:57	13	6	1	1	1	0	0.333
46	Average	16.5	11.3	4.0	1.9	1.8	0.3	0.333
47	Maximum	51	24	11	10	10	2	0.333
48	Minimum	4	4	0	0	0	0	0.333
49	Standard Deviation	9.3	5.4	2.7	1.8	1.8	0.5	0.000