



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Leo Heikkilä

# Moottorigeneraattorin kotelointiluokituksen korotus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

6.5.2021

Tekijä Otsikko	Leo Heikkilä Moottorigeneraattorin kotelointiluokituksen korotus
Sivumäärä Aika	39 sivua 6.5.2021
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine	Ajoneuvosuunnittelu
Ohjaajat	Lehtori Sanna Heikkinen
<p>Moottorigeneraattorit eli aggregaatit mahdollistavat sähkön saannin tilanteissa, joissa yleinen sähkönjakeluverkko ei ole käytettävissä. Veden ja pölyn pääsy laitteeseen voi haitata sen turvallista käyttöä tai aiheuttaa vikatilanteita. Käyttöympäristön haittatekijöiden vaikutusta pyritään minimoimaan suojakoteloinnilla, jonka taso ilmaistaan IP-luokitusjärjestelmällä.</p> <p>Tämä insinöörityö syntyi Oy Brandt Ab:n tarpeesta saada tietoa kannettavan aggregaatin laitekotelon suojaluokituksen parantamismahdollisuuksista. Työn tavoitteena oli selvittää voiko Honda EU22i -mallin aggregaatin IP-luokitusta nostaa IPX4-tasolle yksinkertaisilla menetelmillä. Tehtävänä oli valmistaa ja testata prototyyppi ja kuvata työn eri vaiheet.</p> <p>Suunnittelun tuloksena päädyttiin vahvistamaan aggregaatin suojausta laitteen kotelointiin asennettavilla lisäsuojaimilla. Suojaimet mallinnettiin Autodesk Inventor Professional 2019 -CAD-ohjelmistolla ja valmistettiin 3D-tulostamalla Creality CR-10S Pro V2 -tulostimella PLA-muovista.</p> <p>Aggregaatille tehtiin virtaus-, paine-ero- ja lämpötilatestit. Testaus tehtiin sekä ilman lisäsuojauksia että suojauskokoonpanon kanssa. Prototyypille tehtiin myös veden sisään tunkeutumisen testi. Testauksessa ei ollut käytettävissä SFS-EN 60529 -standardin mukaisia testausolosuhteita, vaan työvaihe simuloitiin käytössä olevissa olosuhteissa.</p> <p>Virtaus- paine-ero- ja lämpötilatestien tulokset osoittivat, etteivät valmistetut lisäsuojat aiheuttaneet merkittävää haittaa laitteen toiminnalle. Veden sisääntunkeutumistestissä havaittiin kuitenkin veden kulkeutuneen aggregaatin sisäosiin. Testien perusteella toteutettu suojausratkaisu rajoitti laitteeseen tunkeutuneen veden määrää, mutta lisäsuojauksella ei silti täytetty IPX4-suojausluokan vaatimuksia.</p> <p>Työn tulosten perusteella voidaan todeta, ettei valmiin aggregaatin IP-luokituksen nostaminen ole helppoa, vaan kotelointiluokituksen vaikuttavat ratkaisut pitäisi tehdä jo laitteen suunnitteluvaiheessa. Työssä kerättyä tietoa voidaan käyttää, jos ongelmaa halutaan lähestyä uudella tavalla, kun pyritään nostamaan valmiin laitteen suojausta.</p>	
Avainsanat	IP-luokitus, kotelointiluokitus, moottorigeneraattori, aggregaatti

Author Title	Leo Heikkilä Improving the IP-rating of a Portable Engine Generator
Number of Pages Date	39 pages 6 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Professional Major	Automotive Design Engineering
Instructors	Sanna Heikkinen, Senior Lecturer
<p>Engine generators enable access to electricity when a general power supply network is unavailable. Water or dust entering the device can affect its safe use and cause malfunctions. Hazardous factors from the operating environment are minimized with a protective casing, and its resistance to intrusion is indicated with the IP rating system.</p> <p>This thesis was created to help Oy Brandt Ab gain information on how to enhance the level of protection offered by the casing enclosing a portable generator. This project aimed to determine if the IP rating of a Honda EU22i-generator could be improved to IPX4 using simple methods. The goal was to create and test a prototype and report each working stage.</p> <p>The designing process resulted in creating additional protective add-on equipment that was attached to the body of the casing. The protective add-ons were modeled with Autodesk Inventor Professional 2019 CAD-software and manufactured with 3D printing using Creality CR-10S Pro V2 printer and PLA as printing material.</p> <p>Flow, pressure difference and temperature tests were performed on the generator both with the additional protection on and off. A water ingress test was also carried out on the prototype. Access to testing conditions following the SFS-EN 60529 standard were not available for this project, so the process was simulated with accessible materials and methods.</p> <p>The flow, pressure difference and temperature tests indicated that the protective add-ons did not have a significant negative effect on the function of the generator. Following the water ingress test, water intrusion into the device was detected. The tests suggest that the protective design succeeded in limiting water ingress into the generator but it did not meet the requirements needed for an IPX4 rating.</p> <p>Results from this project indicate that enhancing the IP rating of a finished generator product is challenging, and improvements to the protection level of its casing should already be addressed in the designing process. Information gathered in this thesis can be applied if developing a new approach to reinforce the protection of a completed device.</p>	
Keywords	Portable engine generator, IP-rating

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Sähkölaitteiden koteloituokat	2
3	Honda EU22i aggregaatti	4
4	Työn esivalmistelu	8
4.1	Lähtökohdat suunnittelutyölle	8
4.2	Aggregaatin lämpötilojen mittaus	9
4.3	Aggregaatin jäähdytysilmamäärän selvitys	12
4.4	Paine-eromittaus	14
5	Suojausratkaisujen suunnittelu ja valmistus	15
5.1	Suojattavat rakenteet	15
5.2	Suojausvaihtoehtojen kartoitus ja valinta	18
5.2.1	Sivuilma-aukot	19
5.2.2	Poistoilma-aukko	21
5.2.3	Etupaneeli	25
5.3	Suojauskokoonpano	26
6	Testaus ja tulokset	28
6.1	Virtaustestit suojatulle laitteelle	28
6.2	Paine-erotesti suojatulle laitteelle	29
6.3	Lämpötilatestit suojatulle laitteelle	30
6.4	Testi veden sisääntunkeutumiselle	32
6.5	Yhteenveto tuloksista	36
7	Pohdinta	36
	Lähteet	38

## Lyhenteet

CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CHT	Cylinder head temperature, sylinterikannen lämpötila
IP-koodi	Koodausjärjestelmä, jolla ilmaistaan koteloinnilla aikaansaatu suojaus
PLA	Polylactic Acid, Polylactidi, termoplastinen polyesteri ja yleinen 3D-tulostuksessa käytetty materiaali
RTV-silikoni	Room temperature vulcanizing, huoneen lämpötilassa vulkanoituva silikoni
3D-tulostus	Valmistustekniikka, jossa kappale luodaan kasvattamalla sitä kerros kerrokselta kolmiulotteisen tietokonemallin avulla

## 1 Johdanto

Varavoimakoneet mahdollistavat sähkönsaannin paikoissa ja tilanteissa, jolloin yleinen jakeluverkko ei ole käytettävissä. Pienimuotoisen sähköntarpeen voi kattaa esimerkiksi kannettavalla moottorigeneraattorilla, jonka kuka tahansa voi ostaa suhteellisen edullisesti. Siirrettäviä pienjännitteisiä moottorigeneraattorilaitteistoja kutsutaan yleisesti aggregaateiksi. (Piiskinen & Mannila 2017; Siirrettävän, pienjännitteisen moottorigeneraattorin liittäminen sähkölaitteistoon 2019.)

Laitteen elinkaariodotukseen, luotettavuuteen ja toimintaan vaikuttavat monet käyttöympäristön tekijät. Laitteeseen päässyt pöly ja vesi voivat aiheuttaa vikatilanteita ja turvallisuusriskejä. Näitä käyttöympäristön haittatekijöitä pyritään minimoimaan suojaavalla koteloinnilla.

IP-luokka eli kotelointiluokka ilmoittaa, miten hyvin laite tai sen sisäiset komponentit on suojattu ulkoisten tekijöiden kuten kappaleiden, pölyn ja kosteuden sisään pääsyn estämiseksi. Se kertoo, millaisessa ympäristössä tuotetta on turvallista käyttää, ja antaa myös kuluttajalle apua sopivan laitteen valinnassa omiin tarkoituksiin. (Mitutoyo 2017: 3.)

Tämän opinnäytetyön lähtökohtana on ollut Oy Brandt Ab:n tarve saada tietoa keinoista aggregaatin laitekotelon suojausluokan parantamiselle. Työn tavoitteena on selvittää mahdollisuutta nostaa Honda EU22i -mallin aggregaatin IP23M-luokitusta IPX4- tai korkeamman kotelointiluokan vaatimukset täyttäväksi. Opinnäytetyön tavoitteena on soveltaa opiskelussa hankittuja tietoja ja taitoja käytännön ongelman ratkaisemiseen itsenäisesti luovalla tavalla. Opinnäytetyön tarkoituksena on kuvata suojarakenteiden suunnittelu, toteutus ja testaus. Tarkoituksena on myös rakentaa prototyyppi ja simuloida standardien mukaista testausta.

## 2 Sähkölaitteiden koteloiluokat

Sähkölaitteiden ja laitekoteloiden suojausasteen määrittämisessä on käytössä kansainvälinen IP-luokitusjärjestelmä. Se määrittelee suojauksen ulkoisia haittoja vastaan kuten vieraiden esineiden, pölyn ja veden sisään tunkeutumiselle. Koteloiluokka määritetään standardisoiduilla testausmenetelmillä. Standardissa SFS-EN 60 529:1992+ A1:2000+A2:2013 + AC:2019 on esitelty luokituksen sisältö. (Sähkölaitteiden koteloiluokat 2019: 1.)

Koteloiluokka ilmaistaan IP-koodilla. IP-koodi koostuu kahdesta tunnusnumerosta, sekä mahdollisesta lisäkirjaimesta ja täydentävästä kirjaimesta. Tunnusnumero voidaan korvata kirjaimella "X" silloin, kun sitä ei tarvitse ilmaista. Molempien tunnusnumeroiden pois jääminen merkitään kirjaimilla "XX". Jos lisäkirjain tai täydentävä kirjain jätetään pois, ei niitä korvata muilla merkeillä. (SFS-EN 60529:1992 + A1:2000 + A2:2013 + AC:2019 2019: 14.)

IP-koodin ensimmäinen tunnusnumero ilmoittaa, miten laitteen vaaralliset osat on kosketussuojattu ja miten laite on suojattu vieraiden esineiden sisään tunkeutumiselta. Ensimmäinen tunnusnumero ilmoittaa myös suojauksen pölyn sisään tunkeutumiselta. (SFS-EN 60529:1992 + A1:2000 + A2:2013 + AC:2019 2019: 16.)

Toisella tunnusnumerolla ilmaistaan, kuinka koteloilu suojaa haitalliselta veden sisään tunkeutumiselta. Toisen tunnusnumeron ilmoittama luokka merkitsee numeroon 6 asti sitä, että koteloilu täyttää myös kaikki alempien luokkien vaatimukset. Toisen tunnusnumeron 7 ja 8 mukaiset koteloinnit eivät täytä suoraan luokan 5 ja 6 vaatimuksia, ellei niitä kaksoiskoodata, esimerkiksi IPX5/IPX7. Myöskään luokan 9 ei tarvitse täyttää luokkien 5–8 vaatimuksia, ellei sitä kaksois- tai kolmoiskoodata. (Sähkölaitteiden koteloiluokat 2019: 2.)

Lisäkirjaimia käytetään vain tapauksissa, joissa todellinen kosketussuojaus on parempi kuin tunnusnumeron ilmoittama luokka tai silloin kun ensimmäinen tunnusnumero on korvattu kirjaimella X ja vaarallisten osien kosketussuojaus halutaan ilmoittaa. Täydentävällä kirjaimella voidaan laitekohtaisissa standardeissa ilmaista täydentävä tieto. Täydentävä kirjain merkitään toisen tunnusnumeron tai lisäkirjaimen jälkeen. (SFS-EN

60529:1992 + A1:2000 + A2:2013 + AC:2019 2019: 20.) Taulukossa 1 on kerrottu kotelointiluokkien eri numeroiden ja kirjainten merkitykset.

Taulukko 1. SFS-EN 60529:1992 + A1:2000 + A2:2013 + AC:2019 Sähkölaitteiden kotelointiluokat (IP-koodi) (Sähkölaitteiden kotelointiluokat 2019: 4).

Osat	Numerot tai kirjaimet	Merkitys laitesuojauksessa	Merkitys henkilösuojauksessa
Kirjaimet	IP	—	—
Ensimmäinen tunnusnumero	0 1 2 3 4 5 6	Suojaus vieraiden esineiden ja pölyn sisäänpääsytä  suojaamaton kun halkaisija $\geq$ 50 mm kun halkaisija $\geq$ 12,5 mm kun halkaisija $\geq$ 2,5 mm kun halkaisija $\geq$ 1,0 mm pölysuojatusti pölytiivisti	Vaaralliset osat kosketussuojattu  Suojaamaton Nyrkiltä Sormelta Työkalulta Langalta Langalta Langalta
Toinen tunnusnumero	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9	Suojattu veden sisäänpääsyn haitallisilta vaikutuksilta  suojaamaton pystysuoraan tippuvalta vedeltä tippuvalta vedeltä (laitteen kallistus 15 astetta) satavalta vedeltä roiskuvalta vedeltä vesisuihkulta voimakkaalta vesisuihkulta lyhytaikaisesti upotettuna jatkuvasti upotettuna suojaus korkeapaineiselta ja korkealämpötilaiselta vesisuihkulta	—
Lisäkirjain (vapaaehtoinen)	A B C D	—	Vaaralliset osat kosketussuojattu  Nyrkiltä Sormelta Työkalulta Langalta
Täydentävä kirjain (vapaaehtoinen)	H M S W	Täydentävän tiedon merkitys  Suurjännitelaitte Vesisuojauks koestettu laitteen ollessa käynnissä Vesisuojauks koestettu laitteen ollessa pysähdyksissä Laitte on koestettu erityisiin sääolosuhteisiin	



### 3 Honda EU22i -aggregaatti

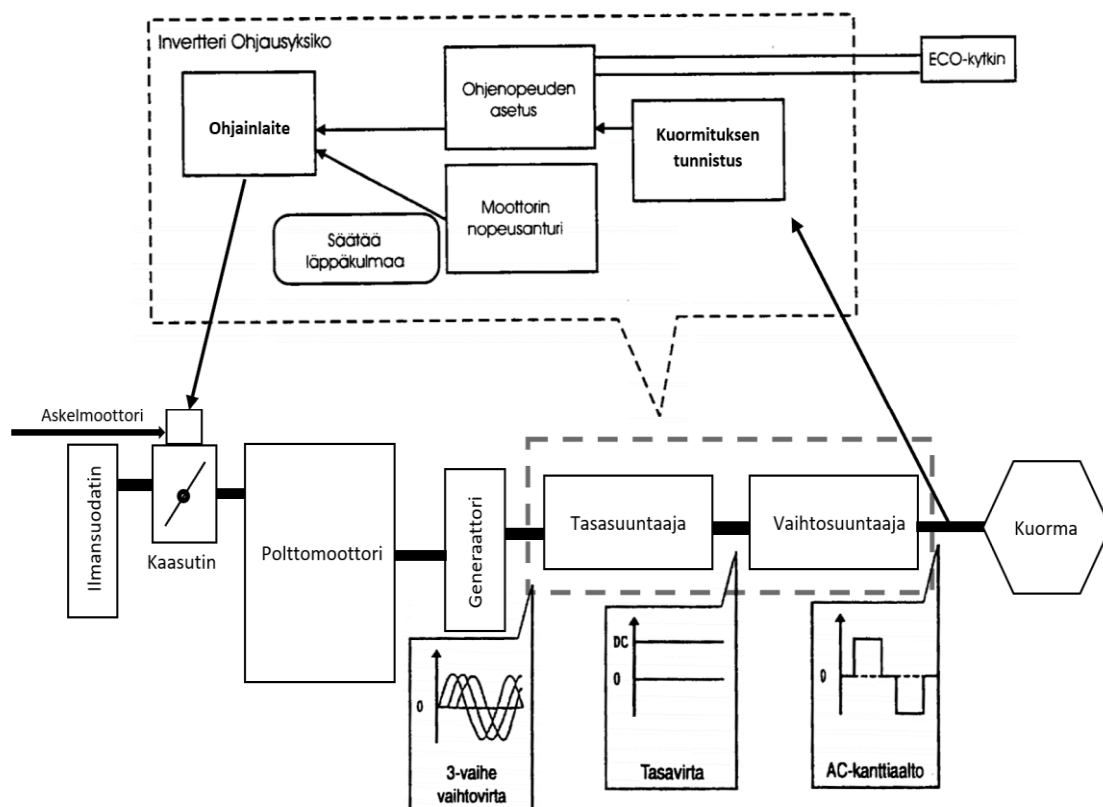
Työssä käsiteltävä laite on Hondan EU22i -invertteriaggregaatti, joka näkyy kuvassa 1. Se on salkkumallinen kannettava moottorigeneraattori. EU22i on päivitetty malli edeltäjästä EU20i -generaattorista. Honda toi ensimmäiset EU-sarjan generaattorit markkinoille vuonna 1998. Ne olivat luokassaan ensimmäisiä generaattoreita, joissa oli tietokoneohjattu siniaaltoinvertteri. Sarjan generaattoreiden suunnittelun lähtökohtana on ollut kehittää mahdollisimman kevyt ja kompakti laite, joka pystyy tuottamaan sähköä kotitalouksien laitteille. Suunnittelussa on keskitytty myös laitteen melutason alentamiseen, polttoaineenkulutuksen ja pakokaasupäästöjen pienentämiseen. Tyypillisesti tämän koluokan aggregaattia käytetään esimerkiksi leirinnässä asuntovaunun sähköistyksessä tai työmailla erilaisten työkalujen sähkönsyötössä. Invertterillä tuotetun sähkön siniaallon vääristymät ja taajuuden vaihtelut ovat pieniä, joten laite soveltuu myös elektronisten kuormien kuten tietokoneiden virtalähteeksi. (Generators; Kouchi ym. 2001: 36.)



Kuva 1. Honda EU22i -invertteriaggregaatti.

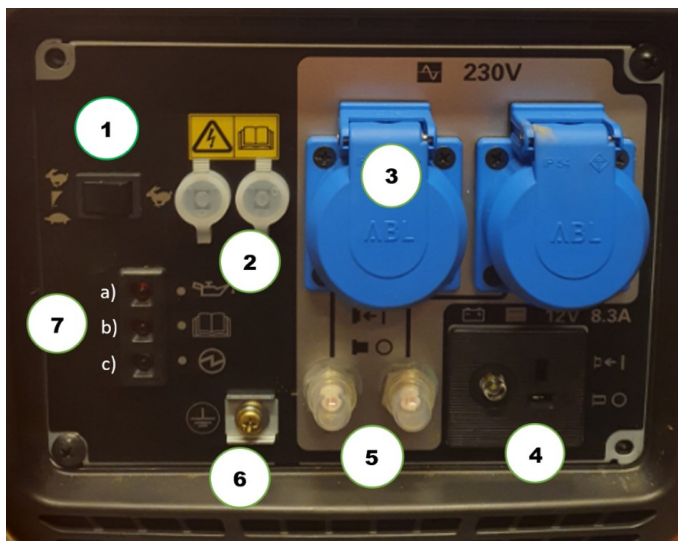
EU22i:ssä on salkkumallinen kotelorakenne, jossa kaikki käyttölaitteet on pakattu laitteen runkona toimivan muovisen kuoren sisälle. Salkkurakenne suojaa laitteen komponentteja ja tekee aggregaatista helposti liikuteltavan. Kotelorakenteen hyötynä on myös äänieristys käyttölaitteiden ja ympäristön välillä.

Aggregaatti koostuu bensiinikäyttöisestä, yhdellä tuulettimella varustetusta ilmajäähdytteisestä 121 cm<sup>3</sup>:n nelitahtimoottorista, kolmivaiheisesta moninapaisesta vaihtovirta-generaattorista sekä invertteriyksiköstä. Invertterillä tarkoitetaan teollisuuselektronikassa yleisesti vaihtosuuntaajaa (Linja-aho 2013: 47). Kun on kyseessä invertteriaggregaatti, termillä viitataan pääteasteeseen, joka sisältää elektronisesti ohjatun tasa-vaihtosuuntaajan. Kuvassa 2 invertteriaggregaatin toimintaperiaate on kuvattu yksinkertaistulla lohkokaaviolla.



Kuva 2. Invertteriaggregaatin toimintaperiaate (Generaattorit 2013).

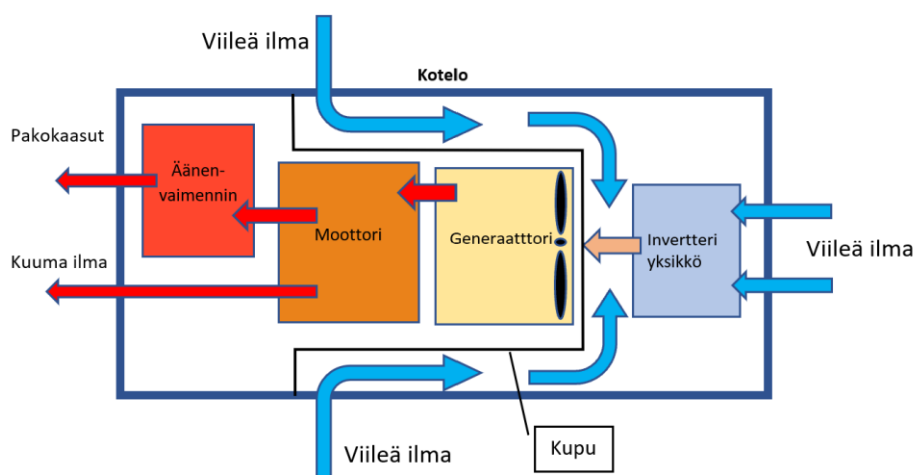
Laite on varustettu kahdella 230 V:n 16 A:n pistorasialla. Aggregaatti pystyy tuottamaan 2,2 kW:n maksimitehon ja syöttämään 1,8 kW jatkuvaa sähkötehoa. Akkujen lataamista varten laitteessa on 12 V:n tasajännitelähtö. Mainittava ominaisuus on myös kuormituksen tunnistava tyhjäkäyntiautomaatiikka, joka säätää moottorin kierrosnopeutta kuormitustilanteen mukaan. Järjestelmää kutsutaan Eco-kaasu-nimellä, ja se voidaan kytkeä katkaisijasta pois päältä, jolloin aggregaatin käyntinopeus nousee ja kierrokset pysyvät vakaana. Kuvassa 3 aggregaatin käyttöpaneeli ja sen toiminnot selitettynä.



- 1) Eco-kaasukytkin
- 2) Rinnakkaisyhteyden pistokkeet
- 3) Vaihtovirtapistorasias
- 4) Tasavirtapistorasias ja tasavirtapiirin ylikuormasuojas
- 5) Vaihtovirtapiirin ylikuormasuojas
- 6) Maadoitusliitin
- 7) Varoitusvalot
  - a) Öljynvaroitusvalo
  - b) Ylikuormanilmaisins
  - c) Ulostulovirran merkkivalo

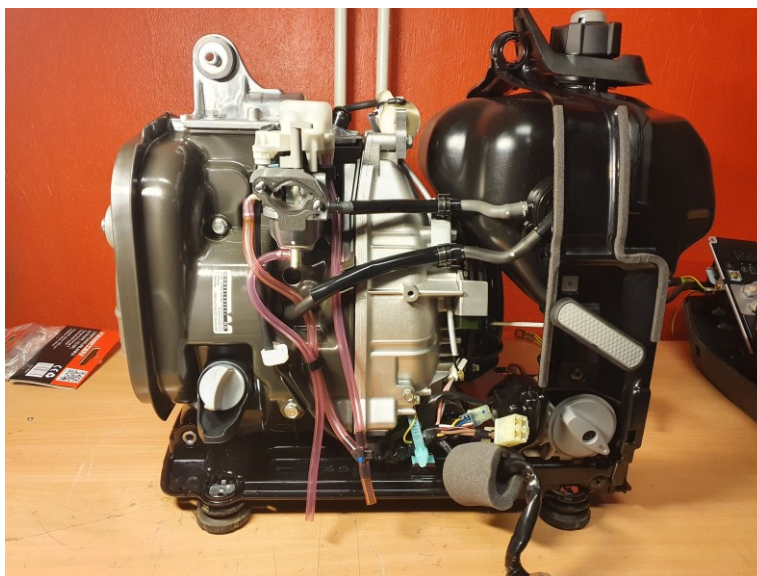
Kuva 3. Aggregaatin käyttöpaneeli.

Aggregaatin pääkomponentit, joita ovat invertteriyksikkö, vaihtovirtageneraattori, moottori ja äänenvaimentaja, on järjestetty laitteen sisälle peräkkäin kylmimmistä kuumimpaan aloittaen vähiten lämpöä säteilevästä komponentista. Jäähdytysilman virtaus on ohjattu ensin viileämpien komponenttien yli, jolloin jäähdytyksen hyötysuhde on parempi ja tarvittavan jäähdytysilman määrä pienempi. Kyseisen konstruktion avulla on pystytty pitämään myös laitteen leveys minimissään. Kotelossa on viisi ilmanvaihtoaukkoa, joista neljä on ilman sisäänottoa varten ja yksi poistolle. Poistoaukko on kotelon takana yhdessä pakoputken kanssa. Sisäänottoaukot sijaitsevat kotelon edessä käyttöpaneelin ylä- ja alapuolella sekä molemmilla sivuilla. Sivuilma-aukot sijaitsevat sivulla kotelon takaosassa. Sivuilma-aukkojen sijoituksella kotelon takaosaan on tarkoitus luoda jäähdyttävä ilmavirta kotelon takaosiolle. Se auttaa vähentämään moottorin lämpösäteilyn aiheuttamaa ulkokuoren lämpötilan nousua. Järjestely auttaa pitämään myös kaasuttimen ja moottorin imuilman viileämpänä. (Kouchi ym. 2001: 41.) Kuvassa 4 on kaavio järjestelmän toimintaperiaatteesta.



Kuva 4. Aggregaatin jäähdytysilmankierto.

Aggregaatissa on tyypiltään avonapainen kestmagnetoitu generaattori. Se korvaa vauhtipyörän, jolloin erillistä vauhtipyörää ja generaattoria ei tarvita. Tällä on säästetty tilaa sekä minimoitu painoa. Generaattori, moottori ja äänenvaimentaja on pakattu kuvun sisään, mikä eristää ne muusta kotelosta. Kupu koostuu alumiinisesta staattorikotelosta ja siihen liitetystä kaksiosaisesta muovikuoresta. Kuvun avulla saadaan aikaan kaksikerrosrakente, joka vaimentaa moottorista syntyviä ääniä ja estää lämpimän ilman takaisinkierron kotelossa. Rakenteen myötä järjestelmän tuulettaminen onnistuu yhdellä tuulettimella. Kuvassa 5 aggregaatin ulkokuori on poistettu ja sisärakenne näkyvissä.



Kuva 5. Aggregaatti ilman kotelointia.

Laitteessa on tehtaalta tullessaan IP23M-kotelointiluokitus. Se tarkoittaa, että laitteen vaaralliset osat on suojattu sormella koskettamiselta ja että testaustyökaluna käytettävä nivelsormi, jonka halkaisija on 12 mm ja pituus on 80 mm, säilyttää riittävän etäisyyden vaarallisista osista. Kotelointi suojaa laitetta halkaisijaltaan yli 12,5 mm esineiltä, eikä pallomainen esinekoetin tunkeudu kokonaan laitteen sisälle. Kotelointi suojaa laitetta satavalta vedeltä, eikä enintään 60 asteen kulmassa satava vesi aiheuta haittaa. Täydentävä kirjain M tarkoittaa, että suojaus veden haitalliselta sisään tunkeutumiselta on testattu laitteen osien liikkua eli moottorin pyöriessä. (SFS-EN 60529:1992 + A1:2000 + A2:2013 + AC:2019 2019: 19.)

## 4 Työn esivalmistelu

### 4.1 Lähtökohdat suunnittelutyölle

Tavoitteeksi asetettiin nostaa kotelon suojausluokitus tasolle IPX4. Rakenteellisia ratkaisuja mietittiin myös IP54-luokituksen näkökulmasta, mutta sen täyttymiselle ei annettaisi niin suurta painoarvoa työssä. Ensimmäisen tunnusnumeron 5 vaatimusten mukaan laitteen kotelon pitää suojata vaarallisia osia langalla koskettamiselta eikä halkaisijaltaan 1,0 mm etäisyyskoetin saa tunkeutua koteloinnin sisälle. Koteloinnin pitää olla pölysuojattu. Pölyn tunkeutumista koteloon ei ole kokonaan estetty, mutta pölyä ei saa päästä laitteeseen niin, että se häiritseisi sen toimintaa tai käyttöturvallisuutta. Toisen tunnusnumeron (4) mukaan kotelointi suojaa kaikista suunnista roiskavalta vedeltä ja sen haitallisilta vaikutuksilta. (SFS-EN 60529:1992 + A1:2000 + A2:2013 + AC:2019 2019: 19.)

Lähtökohtaisesti suurimpana haasteena aggregaatin kotelon suojausluokituksen nostamisessa ja tiiviyden parantamisessa on se, että kotelon sisällä on ilmajäähdytteinen polttomoottori sekä muita lämpöä tuottavia ja jäähdytystä vaativia komponentteja, joiden jäähdytysilmankierto tapahtuu koteloinnissa olevien aukkojen kautta. Työssä ei ollut tarkoitus suunnitella laitetta uudestaan, joten vaihtoehtoisten jäähdytysratkaisujen miettimisestä luovuttiin. Se asetti selkeät rajat sille, että suojausten nostamiseksi ei voitu uhrata laitteen jäähdytysilman saantia kotelon aukkoja tukkimalla. Tärkeää oli varmistua siitä, että tehtävät muutokset eivät aiheuta haittaa laitteen toiminnalle. Tämän vuoksi ensimmäiseksi selvitettiin, mitkä ovat laitteen normaalit toimintalämpötilat ja kuinka paljon jäähdytysilmaa laite tarvitsee kyetäkseen jäähdyttämään sen sisällä olevia komponentteja.

Muutosten vaikutusta jäähdytykseen voidaan arvioida vertaamalla mittaustuloksia ennen suojausta ja suojauksen jälkeen.

#### 4.2 Aggregaatin lämpötilojen mittaus

Lämpötilojen mittauksessa oleellista on valita asianmukaiset mittauspaiikat. Honda R&D:n tutkimuksessa äänieristetyn koteloidun aggregaatin jäähdytystä oli arvioitu kaasuttimessa olevan polttoaineen, sylinterikannen, staattorin ja öljyn lämpötilaa mittaamalla. Tässä työssä pyrittiin käyttämään samoja mittauspaiikkoja kuin Honda R&D tutkimuksessa. (Fukuda ym. 2003: 233.)

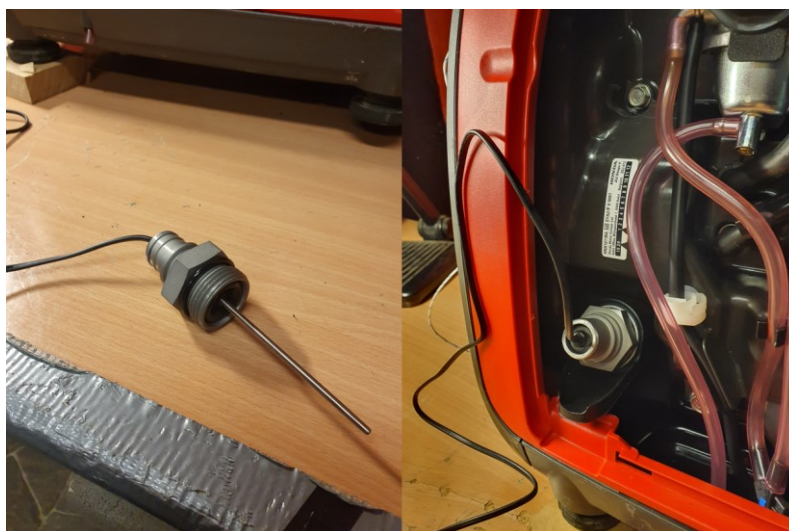
Aggregaatin toimintalämpötilojen selvitykseen käytettiin K-tyypin termopareja. Termoparit valikoituivat mittaasantureiksi käytännöllisyytensä vuoksi. Mittausjärjestely on yksinkertainen ja edullinen toteuttaa. Termoparilangat on helppo asentaa laitteen sisälle, ja anturipäät pystytään pujottamaan ahtaisiinkin mittauspaiikkoihin. Termopareilla on myös laaja lämpötilan mittaalue, -200–1300 °C (Halko ym. 1992: 45). Kuvassa 6 on käytetyt mittalaitteet.



Kuva 6. Mittauksessa käytetty yksikanavainen mittari k-tyypin termopareille sekä puikko- ja lan- kamallin anturielementit.

Aggregaatista mitattiin öljyn, staattorin ja sylinterinkannen lämpötila. Polttoaineen lämpötila jätettiin mittaamatta, sillä se olisi vaatinut kaasuttimen kohokammion

muokkaamista anturia varten eikä tätä tietoa koettu näin suuren vaivan arvoiseksi. Öljyn lämpötila saatiin mitattua puikkomallisella termoparianturilla öljyntäyttöreiästä, jolloin anturin mittapää oli suoraan kosketuksissa moottoriöljyn kanssa. Anturille tehtiin adapteri hydraulikkaliittimestä, joka voitiin kiertää öljyntäyttökorkin paikalle. Puikkoanturi tiivistettiin adapteriin läpivientikumeilla. Kuvassa 7 on valmis öljynlämpötila-anturi.



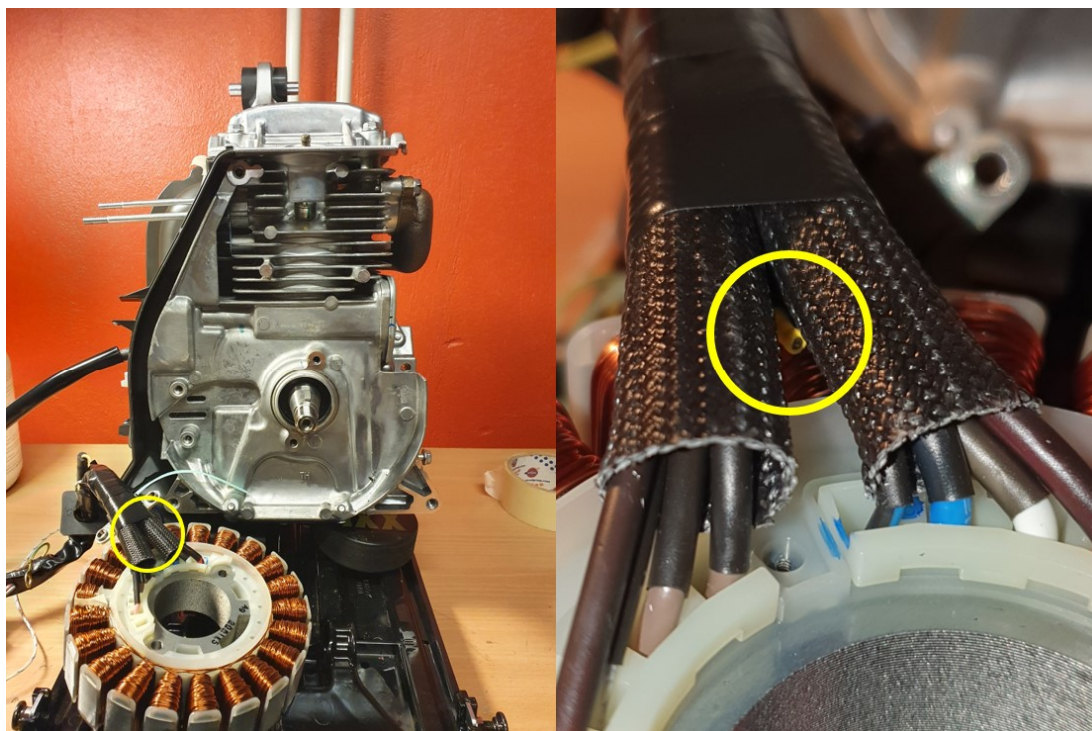
Kuva 7. Öljynlämpötila-anturi.

Sylinterikannen lämpötilan (CHT) mittaamiseen on olemassa siihen varta vasten tarkoitettuja termopareja, jotka voidaan asentaa sytytystulpan alle rengasliittimellä. Näitä ei aikataulun puitteissa ollut saatavilla, joten sovellettiin lankamallin anturia ja letkunkiristintä, jolla anturin mittapää saatiin puristuksiin sytytystulpan juureen. Kuvaan 8 on merkitty CHT-anturin sijoitus.



Kuva 8. Sylinterikannen lämpötila-anturi.

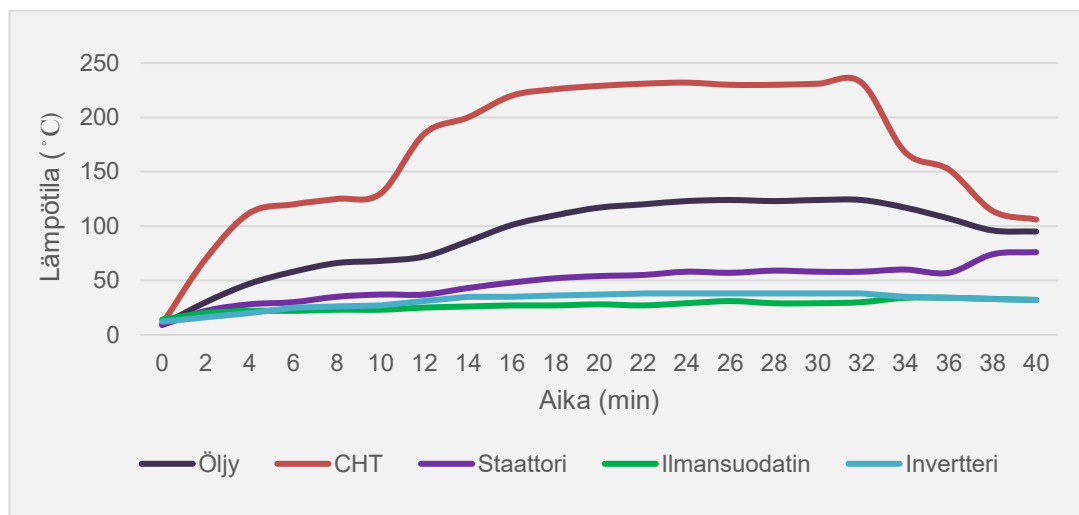
Staattorin lämpötila mitattiin lankamalla termoparilla käämityksen takapuolelta. Anturi asennettiin mittaamaan staattorikotelon ilmanlämpötilaa. Kuvassa 9 näkyy anturin sijainti staattorissa.



Kuva 9. Staattori irrotettuna. Termoparin mittapää on ympyröity keltaisella.

Sylinterikannen, staattorin ja öljyn lämpötilan lisäksi mitattiin invertterin ulkokuoren lämpötilaa sekä ilmansuodattimen kotelon sisälämpötilaa. Mittauksessa aggregaatin lämpötiloja mitattiin ensin kymmenen minuutin ajan tyhjäkäynnillä ilman kuormaa. Kymmenen minuutin jälkeen laitteeseen lisättiin 1,8 kW:n kuorma, joka on valmistajan ilmoittama jatkuvan käytön maksimikuorma. Kuormana käytettiin 2000 W:n kuumailmapuhallinta, joka säädettiin sähkönkulutusmittarin avulla ottamaan 1800 W:n sähköteho. Aggregaattia käytettiin tällä kuormituksella 22 minuuttia, minkä jälkeen ei havaittu enää merkittäviä muutoksia lämpötiloissa. Mittausta jatkettiin vielä kymmenen minuuttia laitteen ollessa sammutettuna. Kuvassa 10 näkyy lämpötilojen kehittyminen.



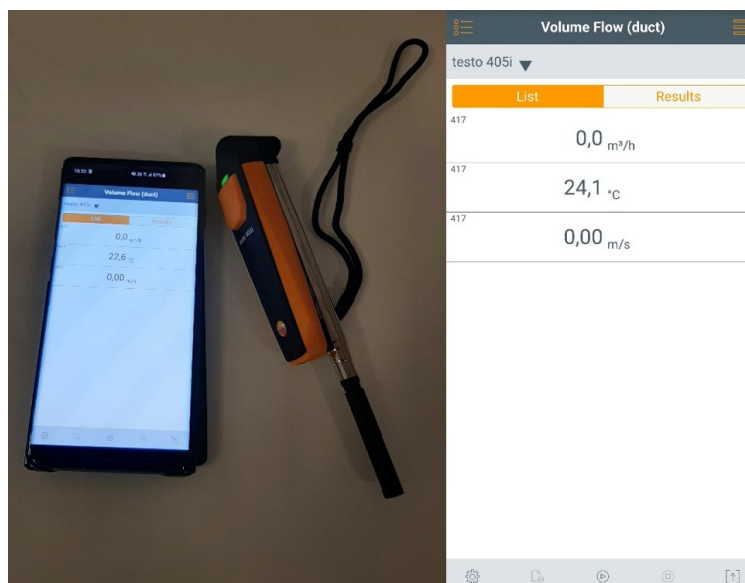


Kuva 10. Aggregaatin lämpötilojen kehitys.

Huoneen lämpötila, jossa mittaus suoritettiin, oli mittaushetkellä 22 °C. Aggregaattia oli säilytetty ulkona, minkä takia komponenttien lämpötila oli aloitushetkellä alle huoneenlämmön. Lämpötila nousi kuormituksen alla parhaimmillaan sylinterikannessa noin 232 asteeseen, öljyn lämpötila 124 asteeseen ja staattorin lämpö 59 asteeseen. Invertteriyksikön lämpötila nousi 38 asteeseen ja ilmansuodatin 31 asteeseen. Aggregaatin sammumuksen jälkeen moottori alkaa jäähtyä ja lämpö johtua ympäristöön, mikä puuttuvan jäähdytysilman kierron vuoksi näkyy staattorin ja kotelon lämpötilan nousuna.

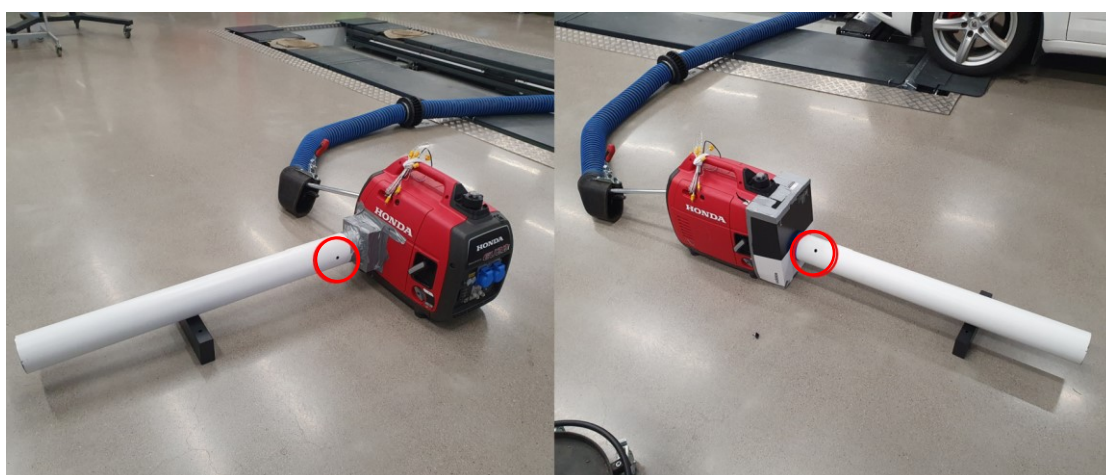
#### 4.3 Aggregaatin jäähdytysilmamäärän selvitys

Laitteen tarvitseman jäähdytysilman määrän selvittämiseksi käytettiin ilmastointikanavien mittauksiin tarkoitettuja käsimittalaitteita. Yleisimpiä mittalaitteita ilmastointimittauksissa ovat siipipyöranemometrit, paine-eromittarit ja kuumalanka-anemometrit. Kotelon sisäänuloilman virtausnopeutta ei tiedetty, mutta se arvioitiin pieneksi, joten mittalaitteeksi valittiin kuumalanka-anemometri. Se sopii pienille virtausnopeuksille kaasumaisten aineiden mittaamiseen. (Halko ym. 1992: 108.) Kuvassa 11 mittalaitteena käytetty Testo 405i Smart probe -kuumalanka-anemometri. Laitetta käytetään älypuhelinsovelluksen avulla, josta mittausdata on helposti siirrettävissä taulukkomuotoon.



Kuva 11. Testo 405i -kuumalanka-anemometri ja mittaamiseen tarvittava Testo Smart probes -puhelinsovellus avattuna.

Kuumalanka-anemometri mittaa ilman virtausnopeutta. Tilavuusvirran laskemiseksi virtausnopeus on mitattava kanavasta, jonka dimensiot tiedetään. Kanavana käytettiin halkaisijaltaan 100 mm:n PVC-putkea. Mittauskanavan pituudeksi valittiin yksi metri. Mittauspiste sijoitettiin putken päähän, jotta virtaus olisi mahdollisimman laminaarista mittauspisteessä. Mittausputki liitettiin aggregaatin ilma-aukkoihin pahvista leikatuilla adaptereilla, ja saumat tiivistettiin ilmastointiteipillä. Kuvassa 12 näkyy virtausmittausjärjestely.



Kuva 12. Virtausmittausjärjestely. Mittauspiste on ympyröity kuvassa.

Virtausmittaukset suoritettiin aggregaatin korotetulla käyntinopeudella. Virtausnopeus kanavassa ei ole yhtä suurta jokaisessa poikkileikkauksen pisteessä vaan hidastuu kanavan reunoilla. Oikean tuloksen saamiseksi on virtaus mitattava koko poikkileikkauksen matkalta. Mittaustapana käytettiin ajastettua keskiarvoa, jolloin käyttäjä aloittaa ja lopettaa mittaustapahtuman manuaalisesti, ja sovellus laskee tältä ajalta anturin mittaaman virtausnopeuden keskiarvon. Mittaustekniikkana käytettiin 10 sekunnin vetoa. Vedolla tarkoitetaan mittaustekniikkaa, jossa mittalaite työnnetään ensin kanavaan ja virtaus mitataan koko poikkileikkauksen matkalta yhdellä liikkeellä. Mittaustulos on suuresti riippuvainen mittalaitteen käsittelystä ja siitä, missä kohtaa anturi viettää eniten aikaa kanavan poikkileikkauksen matkalla. Jotta tulokset olisivat yhdenmukaisia, on anturia vedettävä mahdollisimman tasaista nopeutta ja mittapää pidettävä kohtisuorassa ilmavirtaukseen nähden. Mittausvirheen pienentämiseksi vetoja tehtiin vähintään kymmenen jokaista selvittävää tilavuusvirtaa kohden ja niistä laskettiin keskiarvo. Mittaukset tehtiin kotelon sivuilma-aukoille sekä etupaneelille. Tulokset on esitelty taulukossa 2.

Taulukko 2. Tilavuusvirran mittaustulokset.

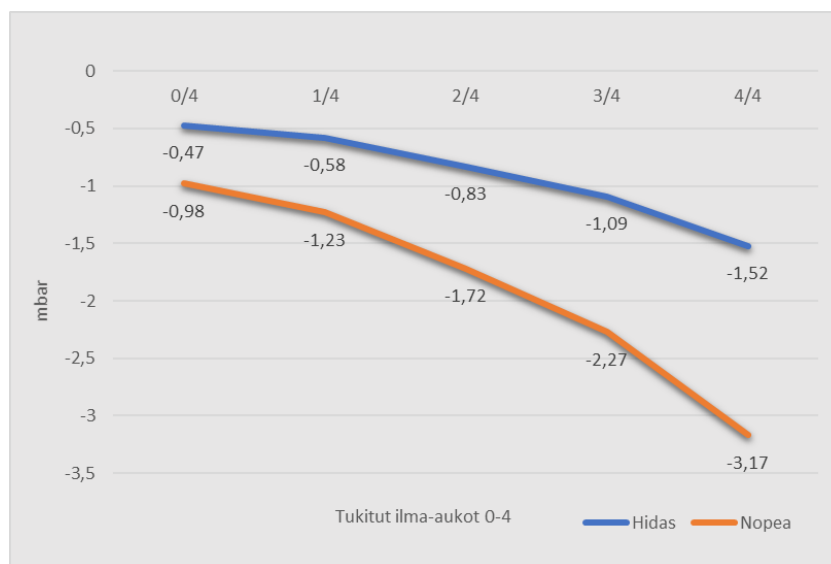
<i>Vakioaggregaatti</i>				
	[m <sup>3</sup> /h]	[m/s]	[l/h]	[l/s]
Oikea sivu	52,8	1,9	52758,3	14,7
Vasen sivu	44,2	1,6	44171,4	12,3
Etiosa	96,4	3,4	96441,7	26,8
<b>Yhteensä</b>	<b>193,4</b>	<b>6,8</b>	<b>193371,4</b>	<b>53,7</b>

Tilavuusvirta on esitetty kolmessa eri yksikössä havainnollistamisen helpottamiseksi. Mittaustulokset ovat näkyvissä kullekin mittaustaikalle erikseen. Yhteensä laite ottaa ilmaa sisään noin 54 litraa sekunnissa.

#### 4.4 Paine-eromittaus

Kotelolle tehtiin myös paine-eromittaus. Ulkoilman ja kotelon sisäpuolen välistä paineeroa mitattiin Testo 510i -paine-eromittarilla. Mittauksen tarkoitus oli selvittää, kuinka paljon kotelon sisään muodostuu alipainetta normaalissa käytössä ja kuinka paljon se kasvaa, kun koteloinnin aukkoja tukitaan. Tällä tavalla voitiin havaita, jos lisäsuojaus aiheuttaisi merkittävää vastusta kotelon sisä- ja ulkopuolen välillä. Paine-eromittarin positiivinen lähtö liitettiin kotelon kuoreen sytytystulpan huoltoluukkuun tehtyyn reikään ja

negatiivinen lähtö pidettiin ulkoilman paineessa, jonka arvona käytettiin 1013 mbar:a. Koteloinnin ilmanottoaukkoja tukittiin ilmastointiteipillä yksi kerrallaan paine-eroa mitaten. Mittaus tehtiin tyhjäkäynnillä sekä korotetulla käyntinopeudella. Kuvasta 13 näkyy alipaineen kehitys ilmaukkojen pinta-alan pienentyessä.



Kuva 13. Paine-ero kahdella eri käyntinopeudella.

Normaalissa käyttötilanteessa kotelon paine-ero oli hitaalla käyntinopeudella noin -0,5 mbar ja nopealla noin -1 mbar. Tilanteessa, jossa kaikki ilmanottoaukot oli tukittu, alipaine tippui nopealla käyntinopeudella -3 mbar tasolle.

## 5 Suojusratkaisujen suunnittelu ja valmistus

### 5.1 Suojattavat rakenteet

Tässä luvussa esitellään aggregaatin rakenteet, joita on muutettava tai joita joudutaan tavalla tai toisella suojaamaan IPX4- tai IP54-luokitusta ajatellen. Laitteen kotelo ei ole suojausluokan nostamisen kannalta rakenteeltaan yksinkertainen. Koteloinnissa on ilmanottoaukkojen lisäksi useita aukkoja, esimerkiksi huoltoluukkujen ja koristelistojen kiinnityspitimelle. Laitteen pohjalevyssä on reikiä, ilmeisesti kondenssiveden poistoa varten. Myös rikastinvivulla on iso aukko huoltoluukussa. Kuvassa 14 rakenteet ovat näkyvissä.



Kuva 14. Aggregaatin pohjalevy ja rikastinvivun aukko huoltoluukussa.

Lukuisat aukot kotelossa muodostavat lisäähaasteita suojauksen nostamiselle, koska jokainen tiivistämätön paikka mahdollistaa veden ja pölyn sisäänpääsyn. Kotelon osat on tiivistetty toisiaan vasten solutiivistenauhalla, jonka alkuperäisen IP23M-luokituksen perustella pitäisi suojata laitetta ainakin satavalta vedeltä. Pääpaino työssä kohdistettiin kuitenkin ilmanvaihtoaukkojen suojaamiseen, sillä ne vaikuttavat eniten suojauksen tasoon.

Aggregaatin molemmilta sivuilla sijaitsevat ilmanottoaukot, joissa on seitsemän suorakulmion muotoista 6 x 45 mm:n aukkoa upotuksien yläosassa. Muoto pakottaa ilman virtaamaan ylöspäin sen kulkiessa aukosta. Poistoilma-aukko on suojattu harvalla loivaikulmaisella ritilällä, joka estää lähinnä äänenvaimentimen koskettamisen kämmenellä, mutta se ei juurikaan pysty estämään roiskeveden pääsyä koteloon. Kuvassa 15 on rakenteet näkyvissä.



Kuva 15. Vasemmalla sivuilmaukon suojaus huoltoluukussa luukun takapuolelta kuvattuna. Oikealla aggregaatin takapäähän suojaus.

Aggregaatin etuosassa on monta suojauksessa huomioitavaa kohdetta: kaksi ilmanottoaukkoa sekä useita vedelle alttiita instrumentteja. Roiskesuojaus puuttuu Eco-kaasukytimestä, varoitusvalopaneelistä sekä tasavirtapistokepaneelistä. Maadoitusliittimien ympärillä on aukkoja, ja lisäksi tiivistys puuttuu käyttöpaneelin ja koteloinnin väliltä. Kuvaan on 16 ympyröity punaisella mahdollisia roiskevedelle alttiita kohteita.



Kuva 16. Roiskevedelle alttiita kohteita kotelon etuosassa.

## 5.2 Suojausvaihtoehtojen kartoitus ja valinta

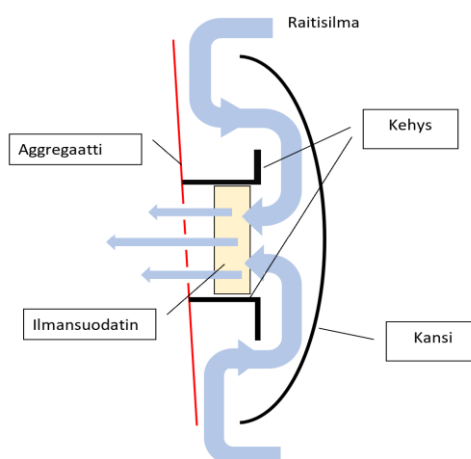
Suojaustavan kehittämiseksi etsittiin ideoita muun muassa ilmanvaihtoventtiileistä ja erilaisista suojatuista elektroniikkalaitteiden koteloista. Valmiita ratkaisuja, joita olisi ollut helppo soveltaa aggregaattiin, ei juuri löytynyt, minkä takia ongelmaan pyrittiin keksimään oma toimiva ratkaisu luovalla tavalla. Ensimmäinen idea oli asettaa aggregaatti erillisen suojalaatikon sisään, joka suojaisi laitetta kaikista mahdollisista suunnista. Tällöin välttyttäisiin yksittäisten kohteiden suojaamiselta eikä tarvitsisi huolehtia alkuperäisen kotelon tiiviyydestä. Laatikosta olisi myös helppo valmistaa testattava prototyyppi. Ideasta kuitenkin luovuttiin, koska ensimmäiseksi ei haluttu kokeilla ”kotelo kotelon sisällä” -tyyppistä ratkaisua. Epäilyksenä oli, että ratkaisu myös heikentäisi salkkumallisen aggregaatin parasta puolta eli liikuteltavuutta ja tekisi siitä isomman sekä kömpelömmän käyttäjä.

Työssä haluttiin keskittyä kevyempään ratkaisuun, joka säilyttäisi mahdollisimman pitkälle laitteen alkuperäisen ulkomuodon ja vaatisi mahdollisimman vähän muokkauksia kotelointiin. Keskityttiin siis kehittämään suojaimia, jotka liitettäisiin vedelle alttiiden kohteiden päälle. Tällaisia suojaimia käytettäessä laitteen oma kotelointi toimisi osana suojausta ja paketti saataisiin todennäköisemmin pysymään kompaktina ja kevyenä. Ratkaisun kääntöpuolena otettiin riski siitä, että alkuperäinen kotelointi on suojauksen heikoin lenkki eikä se suojaisi riittävästi luukkujen ja paneelien saumojen kohdilta.

Jo aikaisessa vaiheessa suunnitteluprosessia päätettiin, että koteloiden prototyypit valmistettaisiin 3D-tulostamalla. Suojaimet tulisivat olemaan täysin kustomoidut aggregaattia varten ja muodoiltaan monimutkaisia, minkä vuoksi niiden käsin valmistaminen olisi huomattavan työlästä tai mahdotonta. 3D-tulostaminen mahdollistaisi myös nopeat suunnitteluiteraatiot, ja prosessi uudesta ideasta valmiiseen kappaleeseen voitaisiin toistaa useaan otteeseen jopa saman päivän aikana. Työssä käytettiin Creality CR-10S Pro V2 -3D-tulostinta. Tulostusmateriaalina käytettiin PLA-muovia helpon tulostettavuuden ja pienten materiaalikustannusten vuoksi. CAD-ohjelmistona käytössä oli Autodesk Inventor Professional 2019.

### 5.2.1 Sivuilma-aukot

Sivuilma-aukkojen suojaksi kehittyi idea aukon päälle asennettavasta koteloinnista, jonka geometria suojaa ilmanottoaukon kaikista suunnista. Kotelon malli mahdollistaa myös ilmansuodattimen käyttämisen. Kuvassa 17 on luonnos suojausratkaisusta.



Kuva 17. Konsepti suojakotelon toimintaperiaatteesta.

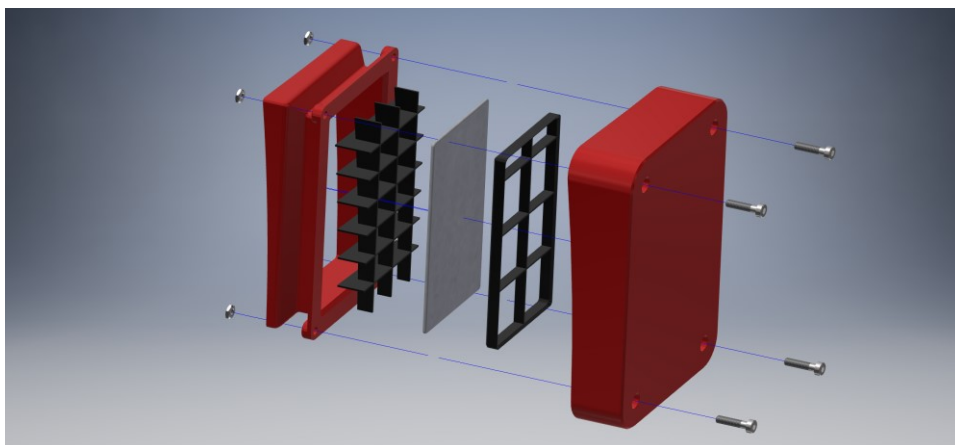
Kotelo koostuu kahdesta osasta: kehyksestä ja kannesta. Kehyksessä on laippa, joka toimii portaana ja estää veden valumisen kotelon sisälle. Kansi kiinnittyy kehykseen ja suojaa ilma-aukkoa joka suunnasta suoralta vesisuihkulta. Ilma pääsee kulkemaan kannen ja kehyksen välistä kiertäen ikään kuin s-mallisen lenkin. Kehyksen sisään voidaan halutessa asentaa ilmansuodatin pölyn sisään tunkeutumisen vähentämiseksi.

Hyvin istuvien suojaimien mallintamiseksi olisi 3D-skannerista ollut paljon apua, mutta tällaista työvälineitä ei ollut käytössä, joten tarvittavat pintojen muodot kopioitiin käsitönnä aggregaatin paneeleista viivoittimen ja työntömitan avulla. Kaarevia pintoja mitattaessa viivoitinta pidettiin referenssipintana ja työntömitalla mitattiin etäisyys viivoittimesta mitattavaan pintaan. Mittaustekniikalla päästiin varsin hyvään tarkkuuteen, ja osista saatiin riittävän tarkat jo ensimmäisellä mittauskerralla.

Sivukoteloiden rakenteessa kehyksen takapinta on muotoiltu istumaan aggregaatin koteloa vasten tiiviisti. Kehyksen laipan reunoilla on upotukset kuusiomuttereille, joihin suojakansi voidaan ruuvata kiinni. Kehyksen sisälle asennetaan ilmansuodatinkangas, jota varten kehyksessä on erillinen korotusrilä. Korotusrilä estää kangasta imeytymästä



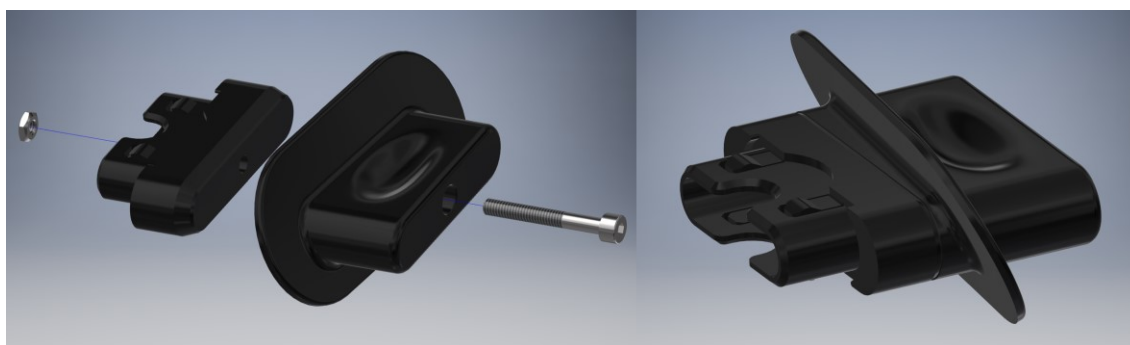
aggregaatin ilmareikiä vasten jättäen enemmän suodatuspinta-alaa kankaaseen. Kangasta vasten painautuu kannen suunnasta lukitusritilä, jotta se pysyy kehyksen sisällä. Kuvassa 18 on esitetty CAD-räjätyskuva sivukotelon rakenteesta.



Kuva 18. Sivukotelon kokoonpano.

Kehyksen ja kannen välissä ilma kulkee suorakulmion muotoisesta aukosta. Kotelon aiheuttaman virtausvastuksen minimoimiseksi aukon pinta-ala on pyritty pitämään samana tai suurempana kuin aggregaatin alkuperäinen ilmanottoaukko. Minimipinta-ala sai olla 1890 mm<sup>2</sup>. Tämä onnistui 10 mm:n ilmaraolla kehyksen ja kannen välissä. Kotelon kiinnitys ilmanottoaukon päälle tapahtuu kaksipuoleisella teipillä, joka helpottaa kiinnittämistä ja aggregaatin kotelo säästyy ylimääräisiltä muokkaustoimenpiteiltä.

Rikastinvivun aukon suojaksi suunniteltiin tulppakonstruktio, joka kiinnittyy kynsillä rikastinvivun aukkoon. Tulppa on kynsikiinnityksen myötä nopeasti irrotettavissa, mikäli vipua tarvitsee käyttää. Kuvassa 19 on esitetty rikastinvivun aukon suojausratkaisu.

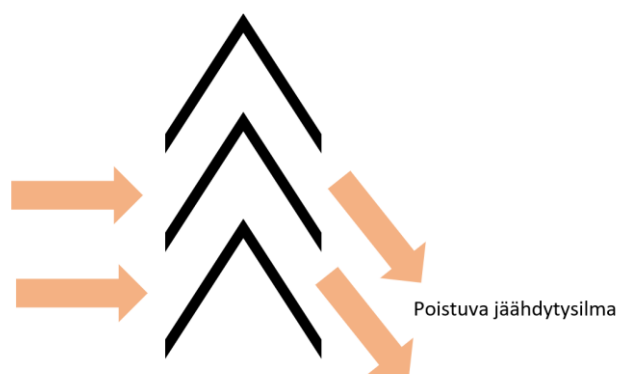


Kuva 19. Rikastinvivun aukon suojausratkaisu.

Tulppa yritettiin ensin toteuttaa o-rengastiivisteellä, mutta aukon epäsymmetrisen muotoilun vuoksi tulppa oli hankala mitoittaa sopivan kokoiseksi. O-rengastiivistyksestä luovuttiin, ja päädyttiin suojaamaan rikastinvivun upotus kokonaan laipparakenteen avulla. Kaksiosainen kokoonpano tehtiin helpottamaan käsin tehtävää mitoitusyötä. Aukkoon hyvin istuva suojain onnistuttiin toteuttamaan valmistamalla ensin sisempi kynsiosa ja mitoittamalla sen avulla ulompi laippaosa.

### 5.2.2 Poistoilma-aukko

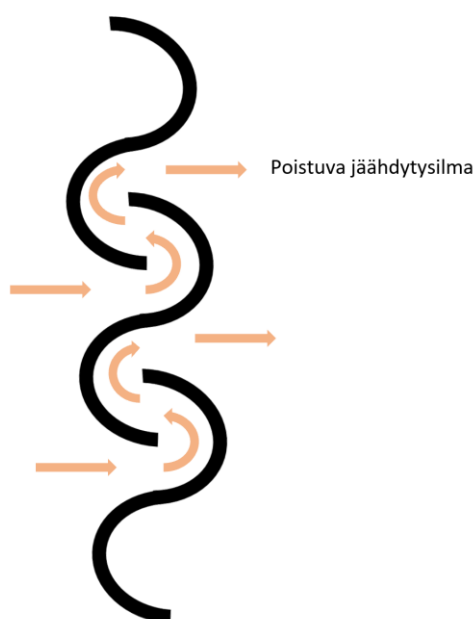
Aggregaatin poistoilma-aukon suojaaminen oli ongelmallisempaa kuin ilmanottoaukkojen suojaus. Suurin ongelma oli kehittää konstruktio, joka säilyttäisi poistoilma-aukon pinta-alan ja suojaisi riittävästi joka suunnasta ilman, että suojasta tulisi liian isoa. Sivukoteloissa käytettyä konseptia oli hankala soveltaa takasuojan kanssa, koska suoja olisi tällöin puhaltanut kuumaa jäähdytysilmaa takaisin eteenpäin ja kohti sivuilma-aukkoja. Poistoilma-aukon pinta-ala olisi pienentynyt puolella alkuperäisestä, ja kotelosta olisi tullut silti valtavan kokoinen. Ratkaisuksi harkittiin erilaisia metalliverkkosuodattimia, jotka voitaisiin asentaa kasettina poistoilma-aukon eteen. Metalliverkon olisi tarkoitus päästää ilma virtaamaan lävitseen, mutta hidastaa roiskuvan veden nopeutta niin, ettei se pääse kotelon sisälle asti. Liesituulettimen rasvasihtä on esimerkki tyyppillisestä kasettimallisesta metalliverkkosuodattimesta, jolla ideaa voitiin testata. Pikaiset testit käsisuihkulla rasvasihdille osoittivat, ettei sihti yksinään riittäisi veden torjumiseen ilman, että sihdin ja aggregaatin välille jätettäisiin pitkä etäisyys tai lisättäisiin sihdin taakse roiskeilta suojaava ritilä. Heräsi ajatus, voisiko sopivalla ritilän muotoilulla pysäyttää roiskeveden tunkeutumisen laitteeseen. Idean testaamiseksi valmistettiin kaksi eri ritiläprofiileilla toteutettua ratkaisua. Ensimmäinen oli v-profiililla varustettu ritiläkokoonpano, jossa V:n muotoiset rivat on ladottu päällekkäin niin, että alemman rivin kärki on aina ylempänä kuin ylemmän rivin helma. Kuvassa 20 on luonnos v-ritilästä.



Kuva 20. V-ritilän luonnos.

Ideana on, että v-profiilin ulompi siipi torjuu ylaviistosta ja sisempi profiili alaviistosta roiskuvan veden. Tällaisella geometrialla toteutettu ritilä säilyttää poistoaukon pinta-alan riittävän kokoisena 200 x 200 mm:n kokoisella ritiläasetilla.

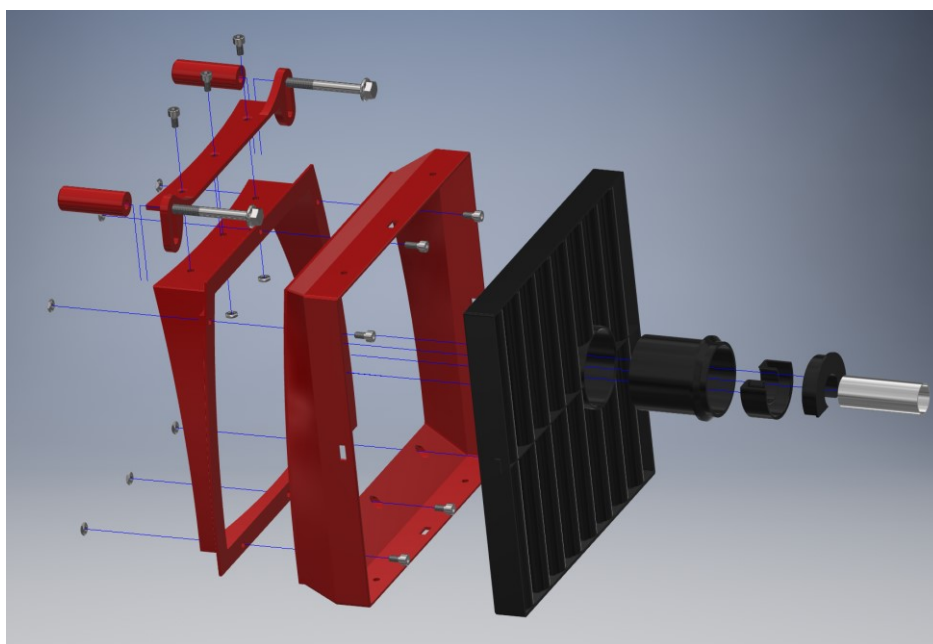
Toinen vaihtoehto oli s-profiileilla toteutettu ritiläkokoontalo. Ritilän tarkoitus on hidastaa roiskuvan veden nopeutta kierrättämällä se kahden täyskäännöksen läpi. S-profiililla toteutettu ritilä suojaa tasaisemmin eri suunnista, mutta rajoittaa poistoaukon pintaa-alaa huomattavasti v-profiilia enemmän. Kuvassa 21 on luonnos s-ritilästä.



Kuva 21. S-ritilän luonnos.

Osaksi ritiläratkaisua oli valmistettava kotelo, johon suojaritilän pystyy kiinnittämään. Suunnittelukriteereinä oli, että kotelo pitää pystyä liittämään aggregaattiin helposti ja sen pitää ohjata jäähdytysilma taaksepäin laitteesta. Kotelo mitoitettiin sopivaksi v-ritilän 200 x 200 mm:n kasetille.

Kotelo suunniteltiin kiinnitettäväksi aggregaatin takapaneelin pulttikiinnityksellä. Kiinnitys tapahtuu alkuperäisistä takapaneelin yläkiinnityspisteistä ja kahdesta takapaneeliin poratusta reiästä läpipulteilla. Kotelo tiivistyy takapaneeliin solutiivistenauhalla. Takasuojasta mallinnettiin useita versioita. Lopullisen konstruktion määrittäviä tekijöitä olivat 3D-tulostettavuus, helppo asennettavuus aggregaattiin ja nopea ritiläkasetin irrottamismahdollisuus. Takasuoja koostuu kymmenestä eri osasta: takapaneeliin tiivistävästä huuli-osasta, yläkiinnitystelineestä, kahdesta kiinnitysholkista, ritilänkehyksestä, ritiläkasetista, pakoputken holkista, holkin tiivistimestä ja pakoputken suojavaipasta. Kuvassa 22 on CAD-räjätyskuva takasuojan kokoonpanosta.



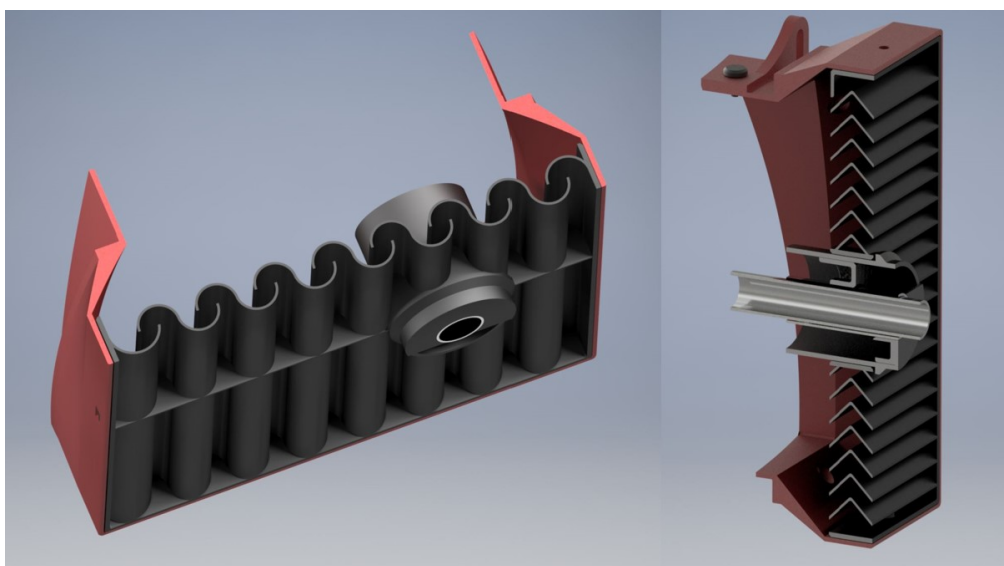
Kuva 22. Takasuojan kokoonpano.

Kotelon osat on pultattu yhteen M4-kuusiokolopulteilla. Ritiläkasetissa on ulokkeet, joilla se kiinnittyy kehyksen vastinaukkoihin. Pakoputken päälle lisättiin suojavaippa lämpösuojaksi. Suojavaipan ja pakoputken välillä on noin 1 mm:n ilmarako. Suojavaippa on kiinnitetty kahdella tiivistinosalla ritilään asennettavaan holkkiosaan. Tiivistimien on

tarkoitus toimia labyrinttina, joka toimii roiskesuojana ja päästää samalla jäähdytysilman virtaamaan suojavaipan ympärillä.

Suojaritulöitä testattiin alustavasti käsisuihkulla ennen varsinaista IP-luokitus testiä. Testillä oli tarkoitus tuoda esiin mahdollisia ongelmia ritilöissä ja havainnollistaa, onko niillä alkuunkaan mahdollisuutta toimia. Ritilät ja kotelo koottiin irrallisena takapaneeliin ja koekeltiin, pääseekö vesi tunkeutumaan kokoonpanosta läpi.

Käsisuihkutesteissä v-ritilä suojasi kohtalaisesti pienen vesisuihkun paineelta. Virtauksen kasvaessa se läpäisi yhä enemmän ja enemmän vettä. S-ritilä ei päästänyt juurikaan vettä läpi. Poikkeuksena tapaus, jossa veden virtaus osui yläviistosta tukiripaan ritilän keskelle. Tukiripa toimi ohjaimena, josta vesi pääsi roiskumaan takapaneelin sisäpuolelle. S-ritilä toimi kokonaisuutena paremmin, joten sitä päätettiin käyttää jatkossa kaikkiin testeihin. Kuvassa 23 on esitetty s- ja v-ritilän CAD-mallit poikkileikkattuna valmiin ritiläprofiilin havainnollistamiseksi.



Kuva 23. S-ritilä ja v-ritilä poikkileikkattuna

Takaritulään kohdistuu suuri lämpökuormitus, jolloin PLA-muovi valmistusmateriaalina ei olisi optimaalinen valinta. PLA-muovin lasittumislämpötila on noin 50–80 °C (Vouyiouka & Papaspyrides 2012). Lasittumislämpötilassa muovi pehmenee ja muuttuu viskoosiksi sulaksi tai kumimaiseksi materiaaliksi (Alonen 2018). Todennäköistä olisi, ettei takaritulä valmistettuna PLA-muovista kestäisi ilman sulamista kuuman pakoputken välittömässä

läheisyydessä. Vaihtoehtoisia tulostusmateriaaleja harkittiin, mutta huonosta lämpötilankestosta huolimatta pysyttäydettiin PLA-muovissa. Kustannukset ja vaivannäkö pelkän ritilän valmistamista varten olisivat nousseet muutoin suureksi ja katsottiin, että paremmasta materiaalista saatu hyöty ei toisi lisäarvoa työhön. Aggregaattia testattaessa olisi huomioitava, että ritilän ollessa paikallaan on moottorin käyttöä jaksotettava, eikä kovan kuormituksen lämpötilatestejä voitaisi tehdä ritilä asennettuna.

### 5.2.3 Etupaneeli

Käyttöpaneelille suojausta harkittiin ensin konstruktiolla, jossa paneeli olisi erillisen kotelon sisällä. Kotelossa olisi luukku, jonka voisi avata ja sulkea silloin, kun paneeliin olisi päästävä käsiksi. Hyvänä puolena olisi ollut helppo suojaus paneelille ja sen instrumenteille. Haasteena ideassa oli muun muassa pistorasioille kytkettävien kaapeleiden reititys ja tiivistys. Koteloon olisi mahdollisesti voitu toteuttaa erilaisia läpivientiratkaisuja kaapeleille, mutta käytännön operoiminen tällaisen ratkaisun kanssa vaikutti hankalalta.

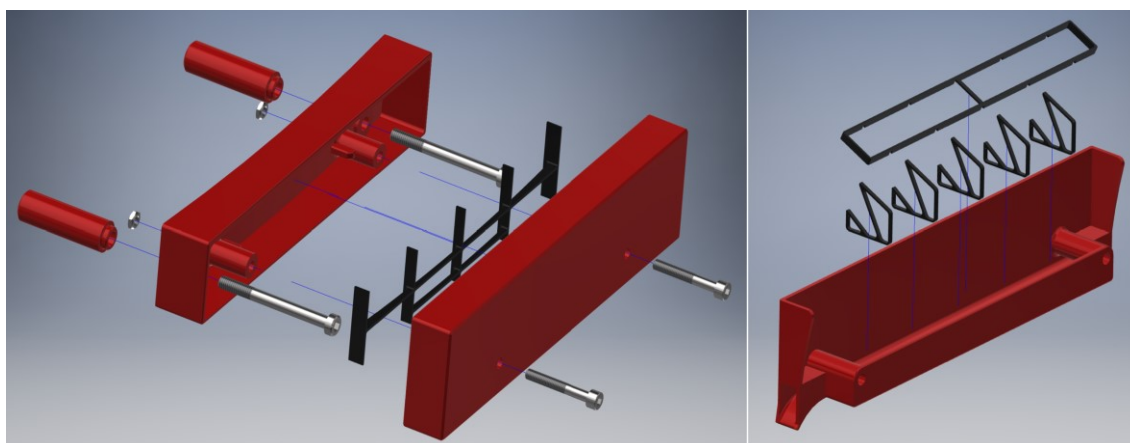
Käyttöpaneelin instrumentit päätettiin suojata roiskesuojilla kukin erikseen. Se oli yksinkertaisempi tapa toteuttaa suojaus ja pitäisi laitteen käytettävyyden edelleen lähellä normaalia. Eco-kaasukytkimen 16 x 9 -katkaisijalle roiskesuojaksi löytyi valmis silikonisuoja. DC-pistokkeelle, varoitusvaloille ja maadoituspisteelle valmistettiin suojat mittojen mukaan. Kuvassa 24 näkyy etupaneelin roiskesuojausratkaisu.



Kuva 24. Etupaneelin instrumenttien suojausratkaisu ympyröitynä.

Roiskesuojat käyttöpaneelin instrumenteille olisivat ihanteellisessa tilanteessa kaikki läpinäkyvää silikonia. Tasavirtapistokkeelle olisi myös hyvä olla avattava luukku. Prototyypin valmistamisen helpottamiseksi suojat tehtiin kiinteiksi puristusovitteisiksi kappaleiksi ja tulostettiin muiden komponenttien tapaan PLA-muovista.

Etupaneelin alemman ilma-aukon suojaksi sovellettiin sivuilma-aukoista tuttua kotelo-suojarakennetta. Ylemmän ilma-aukon suojan kohdalla kokeiltiin kourumaista rakennetta, joka peittää ilma-aukon kauttaaltaan ja ohjaa valumavedet ulos kourun sivuilta. Kourusuoja on huomattavasti kompaktimpi kuin kotelosuoja, mutta ilmansuodattimen asennus siihen ei ole kovin käytännöllistä. Kuvassa 25 esitetty aggregaatin etuosan suojausratkaisut.



Kuva 25. Vasemmalla alemman etuilma-aukon suojakotelo. Oikealla ylemmän etuilma-aukon suojakouru.

Alempaan koteloon saa asennettua ilmansuodattimen vaivattomasti paikalleen. Yläkouruun tehtiin kehikko, jolla voidaan painaa suodatinkangas ilma-aukkoa vasten. Käytännössä kehikkoratkaisu on kömpelö, eikä se anna suojaa ilmansuodattimelle. Tällä tavoin kuitenkin pystyttiin virtausmittaukset tekemään niin, että jokaisessa ilmanotossa oli suodatin paikallaan.

### 5.3 Suojauskokoonpano

Valmiiseen kokoonpanoon kuuluu yli 30 3D-tulostettua osaa sekä kiinnitystarvikkeita, pultteja, muttereita, kaksipuoleista teippiä ja solutiivistenauhaa. Laitteen pohjan aukkoja

ei tulpattu, vaan ne peitettiin testien ajaksi ilmastointiteipillä. Takasuojaan vuorattiin sisäpuolelle useampi kerros alumiiniteippiä lämpösuojaksi. Luukkujen ja paneelien saumoja ei tiivistetty erikseen silikonilla tai vastaavalla tiivistysaineella, koska haluttiin nähdä, onko kotelo tarpeeksi tiivis sellaisenaan. Kuvassa 26 valmis suojauskokoonpano.

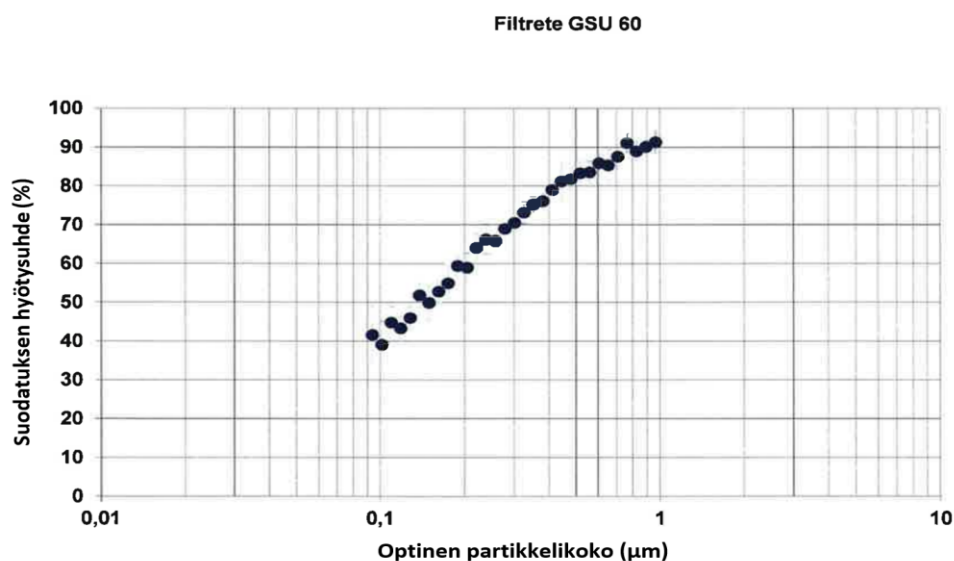


Kuva 26. Valmis suojauskokoonpano.

PLA-filamenttia kului 841 g, ja tulostusaika kokoonpanon osille oli noin 95 tuntia. Tähän ei ole laskettu mukaan joidenkin osien tulostamisessa tarvittuja tukimateriaaleja, joten todellinen käytetty materiaalin määrä ja tulostusaika ovat hieman korkeampia. Lisäsuojaus toi lisää pituutta laitteelle 85 mm ja leveyttä 80 mm.

Ilmansuodatinmateriaaliksi valittiin tuloilmaventtiileihin tarkoitettua Filtrete GSU-60 -suodatinkangasta, joka täyttää suodatusluokituksen F7-F9 vaatimukset. Se pystyy suodattamaan tehokkaasti partikkelikoon 0,3–1  $\mu\text{m}$  hiukkaset. Kuvassa 27 näkyy suodatinmateriaalin erotusaste hiukkaskoon suhteen.





Kuva 27. Filtrete GSU 60 -suodatinkankaan erotusaste (Mattila & Niemeläinen 2015).

## 6 Testaus ja tulokset

### 6.1 Virtaustestit suojatulle laitteelle

Virtausmittaukset toistettiin suojatulle laitteelle samalla tavalla kuin suojaamattomalle. Korotetulla käyntinopeudella, mittaustekniikkana kymmenen sekunnin vedot, joiden keskiarvo kirjattiin mittauspöytäkirjaan. Virtaukset mitattiin suodattimien kanssa sekä ilman suodattimia pelkät kotelot asennettuna. Tulokset on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Suojatun laitteen virtausmittaustulokset.

	<i>Suodattimilla</i>				<i>Ei suodattimia</i>				
	[m <sup>3</sup> /h]	[m/s]	[l/h]	[l/s]		[m <sup>3</sup> /h]	[m/s]	[l/h]	[l/s]
Oikea sivu	41,8	1,5	41840	11,6	Oikea sivu	57,7	2,0	57680	16,0
Vasen sivu	24,4	0,9	24400	6,8	Vasen sivu	35,3	1,3	35300	9,8
Etuosa	53,3	1,9	53250	14,8	Etuosa	90,6	3,2	90640	25,2
<b>Yhteensä</b>	<b>119,5</b>	<b>4,2</b>	<b>119490</b>	<b>33,2</b>	<b>Yhteensä</b>	<b>183,6</b>	<b>6,5</b>	<b>183620</b>	<b>51,0</b>

Virtausmittaukset paljastivat suuren eron suodattimilla varustetun ja ilman suodattimia varustetun laitteen välillä. Suodattimet rajoittivat ilman sisäänpääsyä laitteeseen noin 35 %. Vakiolaitteeseen verrattuna suodattimilla varustettu versio rajoitti ilmankulkua noin 38 % ja pelkillä kotelolla varustettu versio noin 5 %.

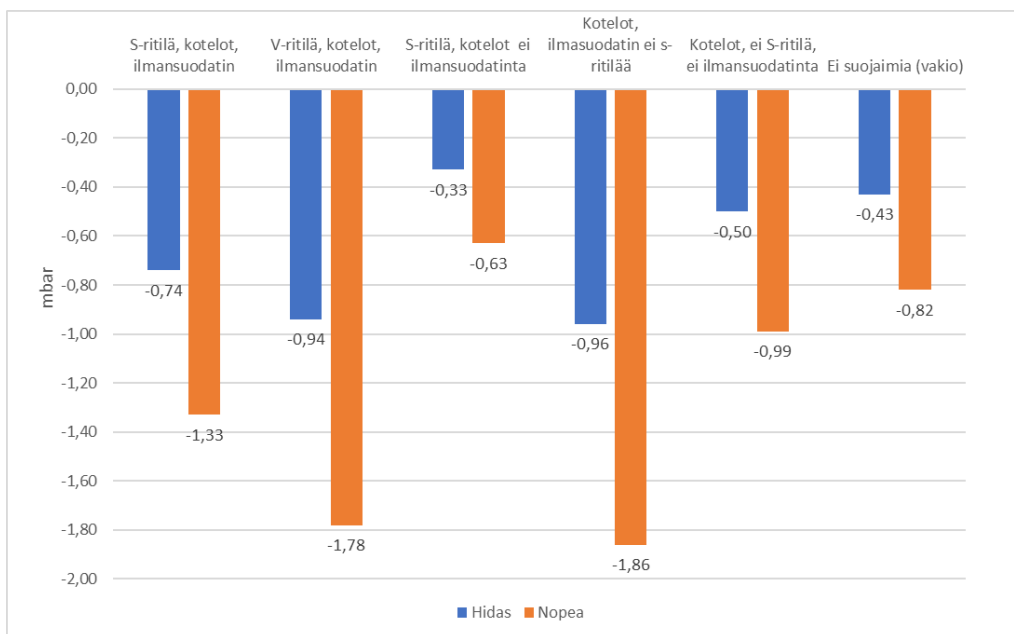
## 6.2 Paine-erotesti suojatulle laitteelle

Paine-erotestit suoritettiin useilla eri kokoonpanoilla. Tarkoituksena oli testata takaritulän, suodattimien ja kotelointien vaikutusta ja selvittää mikä kokoonpano aiheuttaa eniten vastusta.

Testatut kokoonpanovaihtoehdot olivat

- s-ritilä, kotelot ja suodattimet asennettuna
- v-ritilä, kotelot ja suodattimet asennettuna
- s-ritilä, kotelot, ei suodattimia
- kotelot ja suodattimet asennettuna, ei s-ritilää
- pelkät kotelot asennettuna, ei s-ritilää eikä suodattimia
- ilman suojaimia (vakiokokoonpano).

Kuvaan 28 on koottu pylväsdiagrammi hitaalla ja nopealla käyntinopeudella mitatuista alipaineen arvoista eri kokoonpanovaihtoehdoilla.



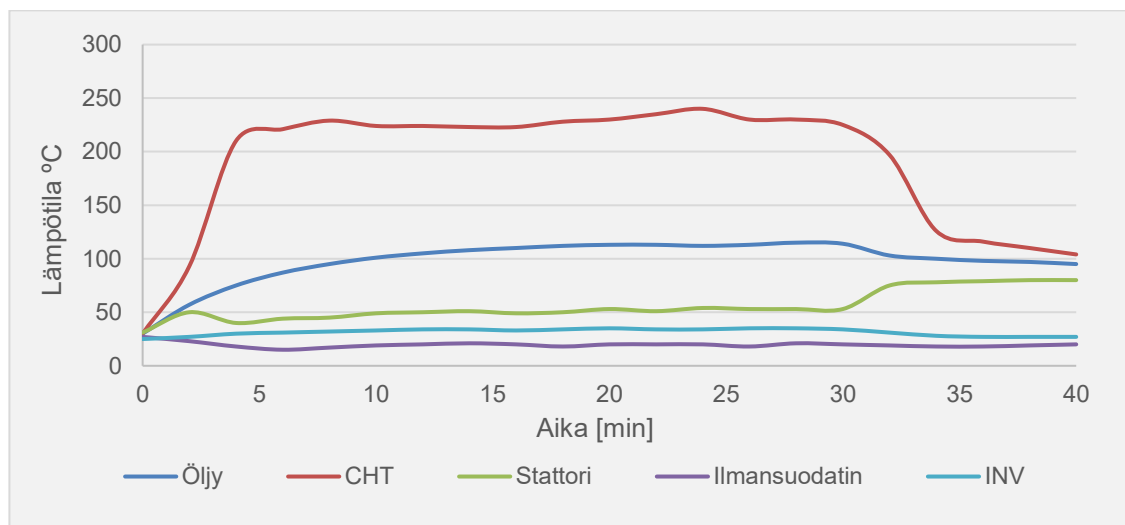
Kuva 28. Pylväsdiagrammi mitatuista paine-eroista.

Mittauksista selviää, että kokoonpanoilla on selkeä vaikutus alipaineen suuruuteen. Eniten alipainetta aiheutti kombinaatio, jossa ei ollut takaritulää, mutta kotelot ja ilmansuodattimet olivat asennettuna. Mittausten perustella takaritulän asennus näyttäisi heikentävän alipainetta kotelossa, mikä vihjaa ritilän vastustavan ilman ulospääsyä. Verrattaessa tuloksia ensimmäisen mittauksen tuloksiin, täysi suojauskokoonpano, jossa s-ritilä on paikallaan sekä ilmansuodattimet ja kotelot ovat asennettuna, vastaa tilannetta, jossa 1/4 koteloen ilmanottoaukoista on tukittu. Tuloksista voidaan päätellä, että paine-eromittaus tukee virtausmittauksia ja pelkät kotelot ilmanottoaukkojen päällä eivät lisää vastusta juuri ollenkaan. Suurin vaikutus on takaritulän ja ilmansuodattimien asennuksella.

### 6.3 Lämpötilatestit suojatulle laitteelle

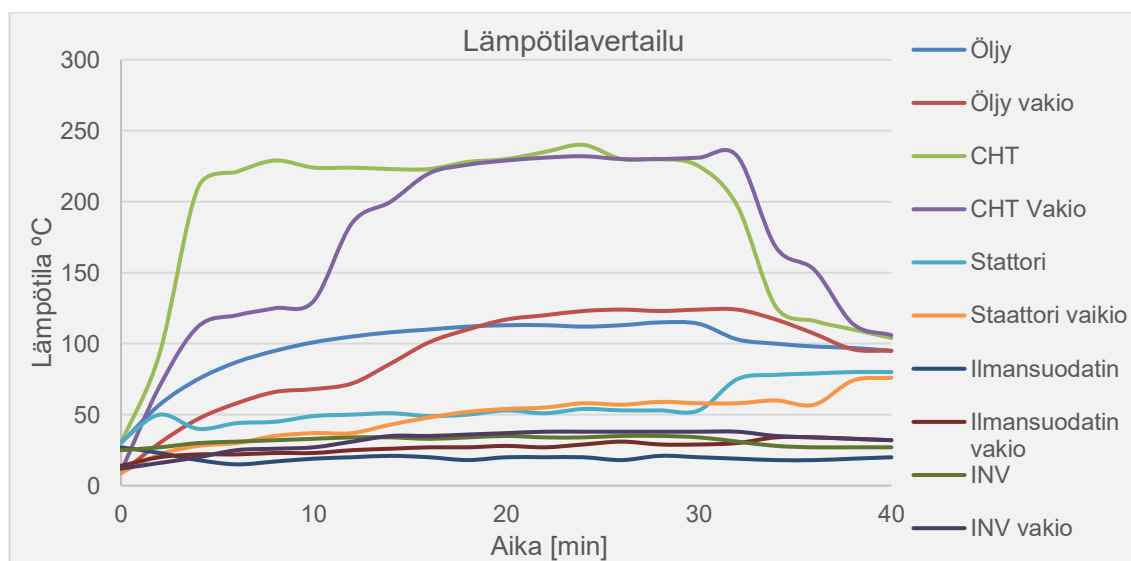
Lämpötilatestit suoritettiin kotelot ja ilmansuodattimet asennettuna ilman takaritulää. Mittaustilanteessa käytetty kokoonpano vastaa paine-erotestien perustella tilannetta, jossa 2/4 koteloen ilmanottoaukoista on tukittu. Ensimmäisen lämpötilamittauksen alussa tehty kymmenen minuutin tyhjäkäyntiosuus jätettiin pois ja aggregaattia käytettiin alusta alkaen 1,8 kW:n kuorma kytkettynä 30 minuuttia. Tämän jälkeen laite sammutettiin ja mitausta jatkettiin vielä kymmenen minuuttia. Mittaus jouduttiin suorittamaan viileämmässä

olosuhteissa kuin ensimmäisellä kerralla. Mittausympäristön lämpötila testin aikana oli noin 13 °C. Kuvassa 29 näkyy lämpötilojen kehittyminen suojatulla laitteella.



Kuva 29. Suojatun laitteen lämpötilakäyrät.

Mittauksissa todetut lämpötilat suojatun ja suojaamattoman laitteen välillä pysyivät huomattavan lähellä toisiaan. Suurimmat erot lämpötiloissa näkyvät aikajanan alussa, missä tyhjäkäyntiosuus jätettiin pois. Ensimmäisessä mittauksessa laite sammutettiin 32 minuutin kohdalla, mikä on myös siirtänyt vakiolaitteenkuvaajia hiukan eteenpäin. Suojatun- ja vakiolaitteen lämpötilakäyrät esitetty kuvassa 30.

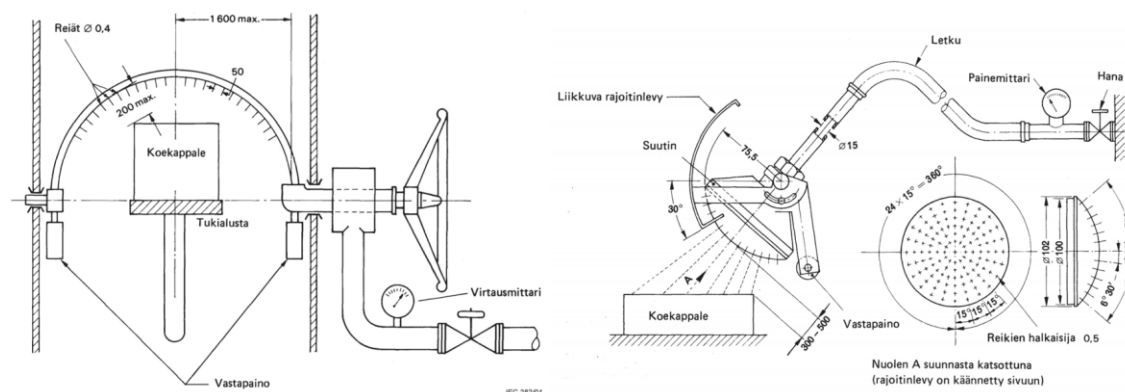


Kuva 30. Suojatun ja suojaamattoman (vakio laitteen) lämpötilakäyrät.

Kylmemmissä olosuhteissa tehty mittaus on nähtävissä lämpötiloista, ja suojatun laitteen lämpötilat ovat juuri lämpötilaeron verran eli noin 9 °C matalampia. Sylinterikannen lämpötila pysytteli suojatulla laitteella samoissa lukemissa vakiolaitteen kanssa, paikoitellen korkeammallakin.

#### 6.4 Testi veden sisään tunkeutumiselle

Laitteelle ei ollut mahdollista tehdä laboratoriotason testejä, joten SFS-EN 60529 -standardin mukaiset testiolosuhteet IPX4-kotelointiluokitukselle yritettiin kopioida mahdollisimman hyvin kotioloissa tehtäviksi. Standardin mukainen testi voidaan tehdä kuvan 32 mukaisella kaariputkella tai käsikäyttöisellä suutinlaitteella.



Kuva 31. Vaihtoehtoiset testauslaitteet toisen tunnusnumeron (3) ja (4) testaamiseen (SFS-EN 60529:1992 + A1:2000 + A2:2013 + AC:2019 2019: 38).

Työtä varten ei ollut mahdollista saada käyttöön virallista testilaitetta, joten testilaitte valmistettiin saatavilla olleista materiaaleista itse. Kaariputki vaikutti rakenteeltaan yksinkertaiselta toteutusta, joten se valittiin testausvälineeksi. Kaariputki taivutettiin alumiinista sähköasennusputkesta. Putkessa tuli olla 0,4 mm:n reikiä koko 180°:n alueella 50 mm:n välein. Reiät toteutettiin 3D-tulostetuilla suuttimilla, joihin porattiin 0,4 mm:n halkaisijan keskireikä. Putki tulpattiin toisesta päästä, ja suuttimet tiivistettiin putkeen RTV-silikonilla. Putkeen asennettiin kahva helpottamaan sen käsittelyä. Kuvassa 32 nähdään testiä varten valmistettu kaariputki.



Kuva 32. Valmis kaariputki.

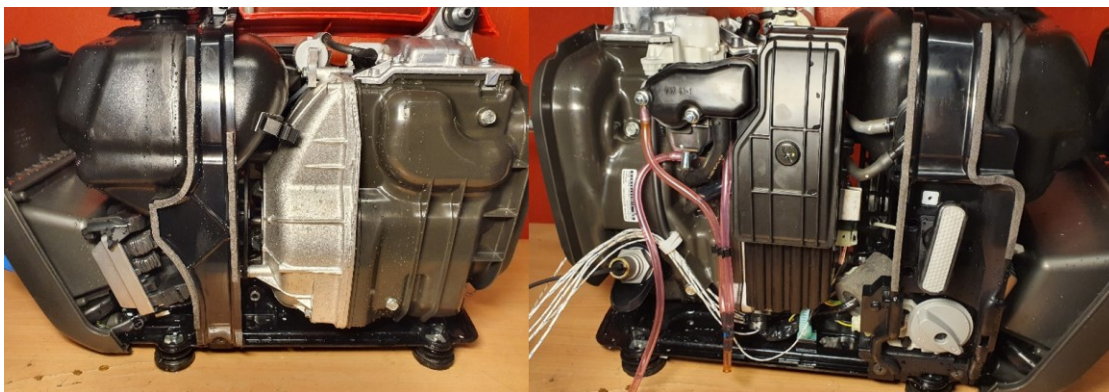
Standardin mukainen IPX4-testi kestää 10 minuuttia. Testissä kaariputkea liikutellaan lähes 360°:n kulmassa 180° pystytason molemmiin puolin ja yksi liikejakso on (2 x 360°) ja se kestää noin 12 sekuntia. Veden virtaus säädetään niin, että keskimääräinen virtausmäärä reikää kohti on 0,07 l/min. Testissä testattavan kotelon alustan on oltava reiitetty siten, että se ei toimi esteenä. Koteloa pitää pystyä suihkuttamaan kaikista suunnista kaariputkea liikuttamalla.

Reiitetyn alustan virkaa testissä toimitti kenkäteline. Kaariputken toinen pää tuettiin alustapukkiin, jota vasten sitä pyöritettiin. Vedenvirtaukseksi säädettiin 0,07 l/min per suutin, jolloin kokonaisvirtausmäärä oli noin 2 l/min. Virtaus säädettiin sopivaksi mittaamalla kaariputkesta virrannut vesi sangon ja sekuntikellon avulla. Kuvassa 33 näkyy testausjärjestely.



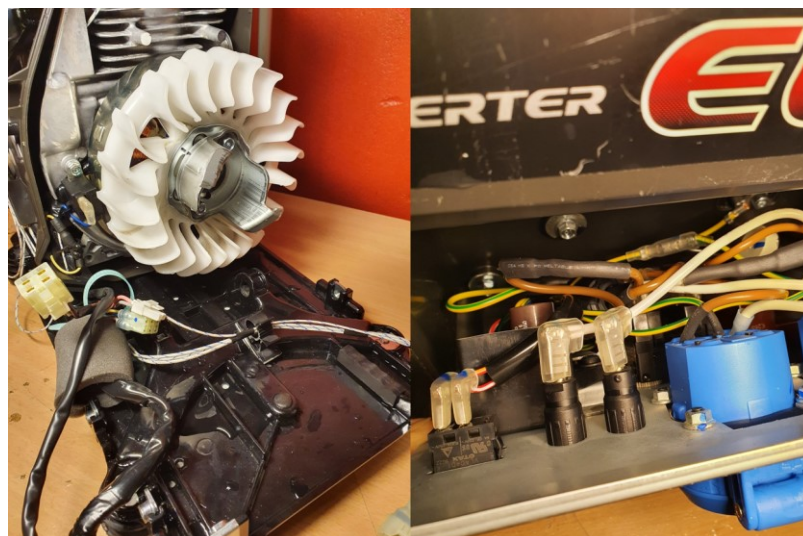
Kuva 33. IPX4-testausjärjestely.

Aggregaatin ulkopuoli kuivattiin testin jälkeen, jotta kotelon ulkopinnoilla oleva vesi ei päätyisi laitteen sisään ja vääristäisi testituloksia. Kuivauksen jälkeen laite purettiin ja veden sisään tunkeutumista tarkastettiin alue kerrallaan. Vesi oli löytänyt tiensä aggregaatin sisälle suojauksesta huolimatta. Kuvissa 34 ja 35 laite on purettu tarkastelua varten ja vettä on näkyvissä sisäpinnoilla.



Kuva 34. Aggregaatti ulkokuoret poistettuna.

Vettä löytyi pisaroituneena ympäri aggregaatin sisäosia, mutta positiivinen yllätys oli, että mikään paikka ei lainehtinut. Suurin osa vedestä oli laitteen pohjalla pohjalevyn potoissa. Myös staattorikotelon sisälle ja etupaneelin taakse oli kulkeutunut muutamia pisaroita.



Kuva 35. Staattorikotelo ja etupaneeli irrotettu tarkastusta varten.

Ilmansuodatinmateriaalit olivat kuivia sivusuojakoteloissa, joten ne näyttivät suoriutuneen tehtävästään. Etupaneelin suojista oli vaikea sanoa, päästivätkö ne vettä läpi vai eivät. Takasuojasta oli päässyt roiskumaan vähän vettä läpi, mikä näkyi äänenvaimentimen ja jäähdytyskäytävän pinnoilla. Vesi oli päässyt myös itse äänenvaimentajan sisään avonaisesta pakoputkesta.

Mahdollisia veden sisääntunkeutumiskohteita suojattujen kohteiden lisäksi oli muutamia. Huoltoluukkujen kiinnityspisteet vaikuttivat merkittävilta vuotokohteilta. Luukkujen kiinnitysnastojen välittömästä läheisyydestä löytyi paljon roiskepisaroita, ja sytytystulpan huoltoluukun alla sylinterikannen potero oli täynnä vettä. Aggregaatin koteloinnin saumojen tiivisteet olivat märkiä, ja vaikutti, että myös osa sauma-alueista olisi vuotanut.

Virallisesti veden sisääntunkeutumistestien jälkeen tulisi standardin SFS-EN ISO 8528-13:2016 (2016: 22) mukaan pienitehoisille moottorigeneraattoreille tehdä vuotovirta ja jännitelujuustestit IEC 60335-1: 2013, 16.3, taulukon 7 mukaisesti. Lisäksi peruseristyksen pintavälien tulisi olla IEC 60335-1:2013, 29.2, taulukon 17 mukaisia. Tämän työn puitteissa ei ollut tarpeellista tehdä näin tarkkoja toimenpiteitä eteenkään, koska suojausta ei saatu toivotulle tasolle.



## 6.5 Yhteenveto tuloksista

Työssä tehtyjen testien perustella vastaavanlaisella kotelarakenteella suojattu laite parantaa laitteen suojausta merkittävässä määrin, mutta se ei pysty täyttämään IPX4-luokan vaatimuksia sellaisenaan. Kotelointi parantaa suojausta myös vieraiden esineiden sisään tunkeutumiselta. Silmäääräisesti arvioimalla ja 2,5 mm:n poranterää apuna käyttäen, suojien avulla voidaan päästä lähelle IP3X-tason suojausta pohjalevyn reikien ollessa tulpattuja. Pölysuojauksen kannalta pölyn tunkeutumista ei voida estää kokonaan, mutta järjestelmän avulla sisään imetty jäähdytysilma pystytään suodattamaan ja pölyn kertymistä laitteen sisälle voidaan vähentää. Virtaus ja paine-erotestien perustella ilmanottoaukkojen koteloiminen työssä esitetyillä menetelmillä ei aiheuta haittaa laitteen toiminnalle. Lisäämällä ilmansuodattimet ja suojan poistoilma-aukon päälle virtausvastus kasvaa huomattavasti, mutta se ei näy juurikaan laitteen komponenttien toimintalämpötiloissa. Tämän perusteella virtausvastuksen nousun haittavaikutus on vähäinen, mutta pidemmässä käytössä olisi suositeltavaa kasvattaa poistoilma-aukon ja ilmansuodattimien pinta-aloja toimintavarmuuden lisäämiseksi.

## 7 Pohdinta

Opinnäytetyössä saavutettiin asetetut tavoitteet suunnitella, toteuttaa ja testata suojausratkaisun prototyyppi. Suojausratkaisu pystyi rajoittamaan veden ja pölyn sisään tunkeutumista kotelointiin, mutta Hondan EU22i -aggregaattiin suojausmenetelmä ei ollut riittävä eikä kotelointiluokitusta kyseisellä menetelmällä pystytty toteuttamaan. Epäselvää on, olisiko tunkeutuneen veden määrä haitannut laitteen käyttöä millään tavalla. Pitämällä pohjalevyn reiät avonaisina olisi myös suurin osa tunkeutuneesta vedestä valunut ulos laitteesta. Lähtökohtana oli kuitenkin estää vedentunkeutuminen kotelointiin kokonaan. Suojausratkaisu sellaisenaan aggregaatissa oli erittäin epämiellyttävä käyttää, koska suojaimia piti varoa laitetta käsiteltäessä ja kantokahvasta kannettaessa sivusuojaimet ottivat kantajan jalkaan kiinni. Rakennetulla suojauskokoonpanolla olisi mahdollisesti voitu päästä parempaan lopputulokseen, jos suojien kokoa ja geometriaa olisi muutettu ja olisi keskitytty tiivistämään laitteen kaikki saumat huolellisesti. Suojausratkaisut ja niiden hyödyntämät geometriat saattaisivat soveltua paremmin myös kokonaan toisenlaisiin sovelluksiin, joissa tarvitaan ilmanvirran läpäisevää roiskevedensuojausta. Jatkossa voisi kokeilla aiemmin mainittua ideaa asettaa aggregaatti erilliseen

suojalaatikkoon tai mahdollisesti poistaa laitteen alkuperäinen kotelointi kokonaan ja valmistaa uusi suojarakenne alkuperäisen tilalle.

Työssä saatiin kerättyä mielenkiintoista tietoa aggregaatin lämpötiloista, jäähdytysilmavirroista ja kotelon paine-eroista. Kerättyä aineistoa on mahdollisuus hyödyntää, jos projektia halutaan jatkaa yrityksen toimesta ja kokeilla, onnistuisiko kotelointiluokituksen parantaminen jollain eri keinolla. Tehdyn työn ja tulosten perusteella kotelointiluokituksen nosto valmiiseen aggregaattiin ei kuitenkaan ole helppoa, ja korkeampi suojausaste pitäisi olla huomioitu jo tuotteen suunnitteluvaiheessa.

Työssä saatujen tulosten luotettavuutta pitää tarkastella varauksella. Työvaiheet on toteutettu rajallisilla resursseilla ja vaillinaisissa olosuhteissa, joten on selvää, että tarkkuus ei vastaa laboratoriotasoa. Testeissä käytetyt menetelmät ovat pääosin sovellettuja ratkaisuja, ja on mahdollista, että kaikkia asioita ja muuttujia ei ole otettu huomioon. Myös käytetyt materiaalit ja tarvikkeet on valittu sen mukaan, mitä on ollut helposti saatavilla ja joilla työtä on voitu viedä eteenpäin mahdollisimman vaivattomasti sekä kustannustehokkaasti. Kokonaisuutena työ tarjosi opettavaisen prosessin testausmenetelmien ja valmiiden suojausratkaisujen suunnittelusta sekä toteuttamisesta. Ennen kaikkea työ harjoitti luovaa ajattelua ja ongelmanratkaisukykyä, sillä valmista kirjallisuutta tai esimerkkejä vastaavista muutostöistä ja testeistä oli heikosti tarjolla.

## Lähteet

Alonen, Antti. 2018. Muovin lisäävä valmistus ja materiaaliominaisuudet: SLS vs MJF. Verkkoaineisto. 3D-tulostusblogi Savonia. <<https://blogi.savonia.fi/3dtulos-tus/2018/11/08/muovin-lisaava-valmistus-ja-materiaaliominaisuudet-sls-vs-mjf/>>. Luettu 3.3.2021.

Fukuda, Tory; Maruyama Katsumi; Takemura Kazuhito & Suzuki Shinichi. 2003. Study of Sound Isolation Structure for Engine Generators. Technical Review Vol15. No.2, s. 229–234.

Generaattorit 2013. Generaattorityypit.pdf. Verkkoaineisto. hondapower.fi <<https://www.hondapower.fi/content/download/23374/194849/file/Generaattori-Tyytit.pdf>>. Luettu 28.2.2021.

Generators. Verkkoaineisto. Honda Power Products.com <Technology - Honda Power Products (honda-powerproducts.com)>. Luettu 28.2.2021.

Halko, Pekka & Härkönen, Sakari & Lähteenmäki, Ilkka & Välimaa, Taisto. 1992. Teollisuuden mittaustekniikka. Perusmittauksia. 1–2. painos. Helsinki: VAPK-kustannus.

Kouchi, Toshifumi; Shimizu, Motohiro; Hirose, Tadafumi & Sugimoto, Yukio. 2001. Development of the Lightweight, Compact Sine Wave Inverter-Equipped EU16i Generator. Technical Review Vol13. No.2, s. 35–42.

Linja-aho, Vesa 2013. Sähkö ja hybridiajoneuvojen sähkötyöturvallisuus. 2. painos. Autoalan Koulutuskeskus Oy.

Mattila, Inga & Niemeläinen, Matti 2015. Suodatinmateriaalien hiukkaserotusastemittaukset. Verkkoaineisto. <<https://www.terveysilma.fi/userData/70300/tiedostot/tutkimustuloksia/Filtrete-suodatinkankaan>>. Luettu 6.3.2021.

Mitutoyo 2017. IP-luokitusopas. Käytännön pikaopas IP-merkintöihin. Verkkoaineisto. <[https://www.mitutoyo.fi/application/files/8415/5888/4590/Handbook\\_Ingress\\_Protection\\_FI.pdf](https://www.mitutoyo.fi/application/files/8415/5888/4590/Handbook_Ingress_Protection_FI.pdf)>. Luettu 1.3.2021.

Piiskinen, Jorma & Mannila, Markku 2017. Verkkoaineisto Tekniikan maailma 08/2017 <TM Vertailu: Pienet 2 kW:n aggregaatit - Rakennusmaailma> Luettu 2.3.2021.

SFS-EN 60529:1992 + A1:2000 + A2:2013 + AC:2019 Sähkölaitteiden koteloitiluokat (IP-koodi) Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 8528-13:2016:en Mäntäpolttomootoreilla toimivat vaihtovirtageneraattorilaitteistot. Osa 13: Turvallisuus. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Siirrettävän, pienjännitteisen moottorigeneraattorin liittäminen sähkölaitteistoon. 2019. ST 52.40. Verkkoaineisto. Sähköinfo Oy. <<https://severi-sahkoinfo-fi.ezproxy.metropolia.fi/item/570?search=ST%2052.40>>. Luettu 2.3.2021.

Sähkölaitteiden kotelointiluokat. 2019.SFS-EN 60529 + A1. 2000. Verkkoaineisto. Sähköinfo Oy. <<https://severi-sahkoinfo-fi.ezproxy.metropolia.fi/item/2051?search=kotelointiluokka>>. Luettu 2.3.2021.

Vouyiouka, S.N, Papaspyrides CD 2012. Polymer Science: A Comprehensive Reference. Ring-Opening Polymerization and Special Polymerization Processes. Verkkoaineisto. < Poly (Lactic Acid) - an overview | ScienceDirect Topics>. Luettu 2.3.2021.