

Ville Lehmusvuori

Ulospuhalluslaitteen tuotekehitys

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Huhtikuu 2014




MAMK

University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

	Opinnäytetyön päivämäärä 30.4.2014				
Tekijä(t) Ville Lehmusvuori	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikan koulutusohjelma, LVI-tekniikka				
Nimeke Ulospuhalluslaitteen tuotekehitys					
Tiivistelmä Tässä opinnäytetyössä kehitettiin ja suunniteltiin uutta katolle sijoitettavaa ulospuhalluslaitetta Jeven Oy:lle. Uuden ulospuhalluslaitteen on tarkoitus estää veden pääsy jäteilmakanavaan ja toimia pienellä painehäviöllä sekä olla hinnaltaan kilpailukykyinen. Tavoitteena on saada mitattua tietoa prototyypin avulla ulospuhalluslaitteen painehäviöstä ja vedenerotuksesta. Tuloksista nähdään, voidaanko laitetta ryhtyä markkinoimaan vai tuleeko sitä kehittää eteenpäin. Ulospuhalluslaitteen päätehtävä on estää veden ja lumen pääsy jäteilmakanavaan. Toiseksi laitteen tulisi toimia mahdollisimman pienellä painehäviöllä ja suurella ulospuhallusnopeudella. Ulospuhalluslaitteen tulisi myös olla rakennusarkkitehtuuriin sopivan näköinen, koska se on yksi näkyvimmistä taloteknisistä laitteista rakennuksen katolla. Ulospuhalluslaitteen prototyyppi suunniteltiin siten, että saadaan tehtyä mahdollisimman kattavat mittaukset painehäviöistä ja vedenerotuksesta. Prototyyppiin suunniteltiin liikutettava katto ja pohja, jotta saadaan muutettua ulospuhalluskäyrien liitoskohtaa ja prototyypin sisäistä ilmatilavuutta. Painehäviömitaukset toteutettiin viidelle prototyypin säätöasennolle mittaamalla staattista painetta juuri ennen laitetta. Prototyypin eri säätöasentojen vedenerotusta testattiin suihkuttamalla vettä sisään ulospuhallusaukoista ja punnitsemalla kanavaan päässeän veden määrä. Lopuksi eri säätöasennolle tehtiin kokeet merkkisavulla, jonka avulla nähtiin, kuinka ilmasuihkut käyttäytyvät prototyypistä lähtiessään. Painehäviön ja vedenerotuksen välillä huomataan selkeä yhteys ulospuhallusprototyypin mittaustuloksia tarkasteltaessa. Painehäviön ollessa pieni vesi pääsee sisään kanavaliitoksesta ja silloin, kun vesi ei pääse sisään kanavaliitoksesta painehäviöt kasvavat liian suureksi. Ulospuhallusprototyypin avulla saatiin mitattua tietoa laitteen ulospuhalluskäyrien liitoksen sijoittamisesta ja vedenerotuksen uudelleen järjestämisestä laitteeseen.					
Asiasanat (avainsanat) Ulospuhallushajottaja, jäteilma, tuotekehitys, painehäviö, vedenerotus					
Sivumäärä 53 + 6	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">Kieli</td> <td style="width: 50%;">URN</td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	Kieli	URN	Suomi	
Kieli	URN				
Suomi					
Huomautus (huomautukset liitteistä)					
Ohjaavan opettajan nimi Marianna Luoma	Opinnäytetyön toimeksiantaja Jeven Oy				

DESCRIPTION

		Date of the bachelor's thesis 30.4.2014
Author(s) Ville Lehmusvuori	Degree programme and option Building Services Engineering	
Name of the bachelor's thesis Product development of new extract air roof hood		
Abstract <p>In this thesis we developed and designed a new roof hood of extract air for Jeven Oy. New roof hood is ment to be manufactured so it doesn't let water inside the extract air duct, it operated with small pressure loss and it is possible to manufacture with low costs. Goal in this thesis was to get information with prototype. Information that we wanted to measure was the pressure loss levels for different prototype adjustment positions and how rain protection works in those adjustment positions. When we get measured information from prototype it's possible to decide how to proceed with product development.</p> <p>Main function for roof hood is to prevent water and snow getting inside the extract air duct. Second function for roof hood is to maintain high exhaust velocity with small pressure loss. Third thing is that roof hood should fit in modern architectural theme, because roof hood is one of the most visible applications for building services at the roof.</p> <p>Prototype of the roof hood was designed so it's possible to do as comprehensive measurements as possible for pressure loss and rain protection. Prototype has moveable bottom and top parts so it's possible to change adjustment position for different measurements. Pressure loss measurements were made for five different adjustment positions, by measuring static pressure just before prototype. Rain protection was tested by spraying water inside extract air outlets and weighing amount of water that gets inside exhaust air duct. Finally we did smoke tests for different adjustment positions to see how air plume will behave after it gets out of the prototype.</p> <p>From results we can see that pressure loss and rain protection are linked together in this prototype. When the pressure loss is small, water will get inside duct. But when pressure loss is large, rain protection works. We got more information about this roof hood design with prototype and now we know what adjustment position is best for small pressure loss.</p>		
Subject headings, (keywords) Roof Hood, Extract air, product development, pressure loss, rain protection		
Pages 53 + 6	Language Finnish	URN
Remarks, notes on appendices		
Tutor Marianna Luoma	Bachelor's thesis assigned by Jeven Oy	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	ULOSPUHALLUSLAITTEEN TARKOITUS JA MITOITUSPERUSTEET	2
2.1	Jäteilmaluokitus ja epäpuhtaudet	4
2.2	Jäteilman seinäpuhallus	5
2.3	Jäteilman kattopuhallus	7
3	TUTKIMUSMETELMÄT	12
3.1	Ulospuhallusprototyypin suunnittelu.....	13
3.2	Koejärjestelyt.....	16
3.2.1	Painehäviön mittaus	18
3.2.2	Vedenerotuksen mittaus.....	21
3.2.3	Savukoe.....	23
3.3	Mittalaitteet.....	24
4	TULOKSET	25
4.1	Painehäviömittaukset.....	26
4.2	Vedenerotusmittaukset	31
4.3	Savukokeet.....	33
5	TULOSTEN TARKASTELU	36
5.1	Tulosten vertailu	36
5.2	Virheentarkastelu.....	41
6	POHDINTA	45
7	JÄTEILMAN ULOSPUHALLUKSEN SUUNNITTELU	46
7.1	Jäteilmaluokka	47
7.2	Ulospuhalluslaitteen korkeus.....	47
7.3	Ulospuhallusnopeus.....	48
7.4	Tuulen vaikutus	48
7.5	Laitteen aiheuttama ääni	50
7.6	Ulospuhalluslaitteen valinta.....	50
	LÄHTEET.....	52

LIITTEET

- 1 TSI TA-465 kalibrointitodistus
- 2 Mittauspöytäkirjat

1 JOHDANTO

Nykyaikaisissa ilmanvaihtojärjestelmissä rakennuksesta poistetaan epäpuhtauksia sisältävää ilmaa ilmanvaihtokoneen tai huippuimurin avulla rakennuksen korkeimmalle kohdalle vesikaton yläpuolelle. Tätä rakennuksesta poistettavaa ilmaa kutsutaan jäteilmaksi. Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa D2 jäteilma luokitellaan neljään luokkaan ilman sisältämien epäpuhtauksien perusteella, jossa luokka 1 sisältää vain vähäisiä määriä epäpuhtauksia ja luokka 4 sisältää runsaasti epäpuhtauksia ja hajuja [1]. Jäteilman pääsy raittiinilman sisäänottoaukkoon tulisi estää ulospuhalluslaitteen oikealla sijoittamisella ja valinnalla. Alla olevassa kuvassa 1 on esimerkki katolle sijoitettusta ulospuhalluslaitteesta.



KUVA 1. Esimerkki katolle sijoitetusta ulospuhalluslaitteesta [2]

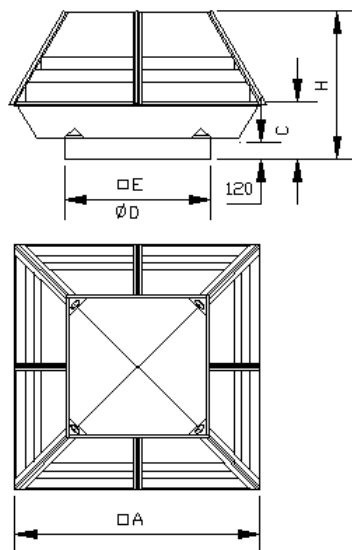
Tämän opinnäytetyön teettää Jeven Oy, jonka tuotevalikoimasta löytyy kirjoittamishetkellä neljä erilaista ulospuhalluslaitetta. Uutta ulospuhalluslaitetta lähdetään kehittämään jotta saataisiin markkinoille uusi, pienellä painehäviöllä toimiva ja edullinen tuote. Uuden ulospuhalluslaitteen tulee estää veden ja lumen pääsy kanavistoon, vaikka ilmanvaihto olisi kytketty pois päältä. Katolle sijoitettuna ulospuhalluslaite on yksi talotekniikan näkyvimmistä osista, tämän takia laitteen ulkonäköön tulee myös kiinnittää

huomiota. Ulospuhalluslaitteen rakennuskohteeseen valitsee yleensä IV-suunnittelija yhdessä arkkitehdin kanssa.

Tavoitteena on saada aikaiseksi yksinkertaisella tuoterakenteella valmistettava ulospuhalluslaite, jonka tulee estää veden pääsy kanavaan ja toimia pienellä painehäviöllä. Tarkoituksena suunnitella ja valmistaa prototyyppi, jonka avulla saadaan mitattua tietoa laitteen painehäviöstä ja vedenerotuskyvystä. Opinnäytetyössä kootaan myös ulospuhalluslaitteen suunnitteluohje, josta on hyötyä IV-suunnittelijoille ja laitevalmistajille.

2 ULOSPUHALLUSLAITTEEN TARKOITUS JA MITOITUSPERUSTEET

Opinnäytetyössä kehitetään katolle asennettavaa ulospuhalluslaitetta pientaloa suurempiin rakennuksiin, esimerkiksi asuinkerrostaloihin, toimistorakennuksiin, liikuntahalleihin tai muihin suuriin rakennuksiin. Laitteen on tarkoitus toimia ilmavirta-alueella $0,2 \text{ m}^3/\text{s} - 10 \text{ m}^3/\text{s}$, tämä tarkoittaa, että laitteesta tehdään monelle eri ilmavirta-alueelle sopivat koot. Laitteen oikean koon valinta on tärkeää mitoittaessa ulospuhalluslaitetta, jotta saadaan pidettyä ulospuhallusnopeus suurena ja painehäviö pienenä. Alla olevassa kuvassa 2 ja taulukossa 1 on esimerkkinä ulospuhalluslaitteen koko- ja mitoitus tiedot.



KUVA 2. Pyramid-ulospuhalluslaitteen mitat [3]

TAULUKKO 1. Esimerkki pyramid-ulospuhalluslaitteen mitoitustiedoista [3]

Koko	A	C	H	liitäntä E	ilmavirta-alue	painehäviö	Paino
200	420	180	335	ø 212	220-400 l/s	40-120 Pa	10 kg
250	420	180	335	ø 262	300-550 l/s	40-120 Pa	10 kg
315	670	220	465	ø 327	500-1000 l/s	40-120 Pa	15 kg
400	670	220	465	400 x 400	750-1300 l/s	40-120 Pa	15 kg
500	840	250	550	500 x 500	900-1500 l/s	35- 90 Pa	30 kg
630	1055	290	660	630 x 630	1500-2100 l/s	40- 90 Pa	50 kg
800	1340	330	810	800 x 800	2100-3800 l/s	40-120 Pa	70 kg
1000	1675	380	975	1000 x 1000	3800-5500 l/s	40- 90 Pa	100 kg
1250	2095	450	1220	1250 x 1250	5500-9000 l/s	50-120 Pa	150 kg

Yleisesti käytetty ulospuhallusnopeus jäteilmän poistoon on 8-10 m/s. Kun ulospuhallusnopeus kasvaa, niin kasvaa ulospuhalluslaitteen aiheuttama ääni. Ulospuhalluslaitteen sijoitusta on tällöin mietittävä myös äänitekniikan kannalta. Yleisesti kannattaa välttää ulospuhalluslaitteen asentamista oleskelu ja kulkutilojen läheisyyteen, esimerkiksi terassien ja patioiden yläpuolelle tai viereen. Erityisen kosteaa jäteilmaa poistaessa on jäteilmalaitteen sijoituksessa huomioitava, ettei kosteus pääse kondensoitumaan lähellä sijaitseviin rakenteisiin. [4. s. 113.]

Ulospuhalluslaitteen päätehtävä on estää veden ja lumen pääsy ilmanvaihtojärjestelmään. Ilmanvaihdon ollessa päällä ulospuhalluslaitteen läpi virtaa jäteilmaa, joka estää tehokkaasti lumen ja veden pääsyn laitteen sisälle. Kun ilmanvaihto kytketään pois päältä laitteen sisälle voi sataa lunta tai vettä, laitteen tulee olla kuitenkin rakennettu siten, etteivät lumi ja vesi pääse ilmanvaihtojärjestelmään. Suomen rakennusmääräyskokoelmien osan D2 kohdassa 3.8.4 sanotaan, että ilmanvaihtojärjestelmään liitettävän ulkoilmalaitteen on oltava rakenteeltaan sellainen, että se estää veden ja lumen pääsyn kanavistoon haitallisessa määrin [1. s. 21].

Kylmällä säällä on mahdollista, että kostea jäteilma kondensoituu laitteen metallipinnoille ja mahdollisesti jäätyy. Jäätymistä pystytään estämään kasvattamalla ulospuhallusnopeutta tai valitsemalla oikea ulospuhalluslaite kosteaa ilmaa sisältävään kohteeseen. Ulospuhallusnopeuden kasvattaminen laitteen jäätyminen estämiseksi perustuu kentällä saatuihin havaintoihin, eikä aiheesta ole vielä tarkempaa tutkimusta. Ulospuhalluslaitteen materiaalin valinnalla on myös vaikutusta jäätymiseen. Joillakin materiaaleilla, kuten alumiinilla on hyvä lämmönjohtokyky, 237 W/(m · K), kun taas esimerkiksi teräs ei johda lämpöä niin hyvin, 45 W/(m · K) [5, s. 72–75]. Alumiinin hyvä

lämmönjohtavuus takaa sen, että ulospuhalluslaite lämpenee nopeammin ulospuhalluslämpötilaan, jolloin jäteilman kosteus ei pääse kondensoitumaan laitteeseen yhtä helposti. Jäätymiseen vaikuttaa myös tuoterakenne. Malleissa, joissa veden pääsy kanaavaan estetään alaspäin suunnatun kartion avulla, on havaittu jäätymistä kun puhalletaan kosteaa ilmaa laitteen läpi.

2.1 Jäteilmaluokitus ja epäpuhtaudet

Suomen rakennusmääräyskokoelmissa [1] jäteilma luokitellaan neljään poistoilmaluokkaan. Luokan 1 poistoilma sisältää vain vähäisiä määriä epäpuhtauksia, ja nämä epäpuhtaudet ovat suurimmalta osaltaan lähtöisin ihmisistä ja rakenteista. Luokan 1 poistoilmaa on yleensä esimerkiksi toimistoissa, pienissä toimistotarvikevarastoissa, opetustiloissa ja liiketiloissa, joiden hajukuormitus on pientä. Luokan 2 poistoilma sisältää hieman epäpuhtauksia, ja tämän luokan poistoilmaa on esimerkiksi asuinhuoneissa, ruokailutiloissa, kahvikeittiöissä, myymälöissä, suuremmissa toimistorakennusten varastoissa, pukuhuoneissa ja savuttomissa ravintoloissa. Luokan 3 poistoilmaa on tiloissa joissa sisäilma sisältää kosteutta, kemikaaleja ja hajuja tai tiloissa, joiden käyttötarkoituksen mukaiset prosessit heikentävät poistoilman laatua. Luokan 3 poistoilmaa on esimerkiksi WC- ja peseytymistiloissa, asuinhuoneistojen keittiöissä, jakelu- ja opetuskeittiöissä sekä suurissa kopiointitiloissa. Luokan 4 poistoilma sisältää pahanhajuisia tai epäterveellisiä epäpuhtauksia suuria määriä. Luokan 4 poistoilmaa on esimerkiksi ammattikeittiöissä, pesuloissa, parkkihalleissa, kemiallisissa laboratorioissa ja tupakointitiloissa. Jäteilman luokitus vaikuttaa ulospuhalluslaitteen sijoitukseen, korkeuteen ja ulospuhallusnopeuteen. [1, s. 12.]

Jäteilman sisältämät epäpuhtaudet voivat olla kaasumaisia, kiinteitä tai biologisia. Hiilidioksidi on yleisin kaasumainen jäteilman sisältämä epäpuhtaus. Hiilidioksidin pääasiallinen lähde on sisätiloissa uloshengitysilma, mutta sitä syntyy myös kaikessa palamisessa [4. s. 22]. Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa D2 ohjeistetaan, että sisäilman hiilidioksidipitoisuus olisi enintään 1200 ppm huonetilan käyttöaikana, kun sääolosuhteet ovat normaalit [1. s. 7]. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on normaalisti 380–400 ppm. Muita kaasumaisia epäpuhtauksia ovat esimerkiksi häkä, otsoni, radon, typpioksidi ja formaldehydit sekä muut orgaaniset kaasut.

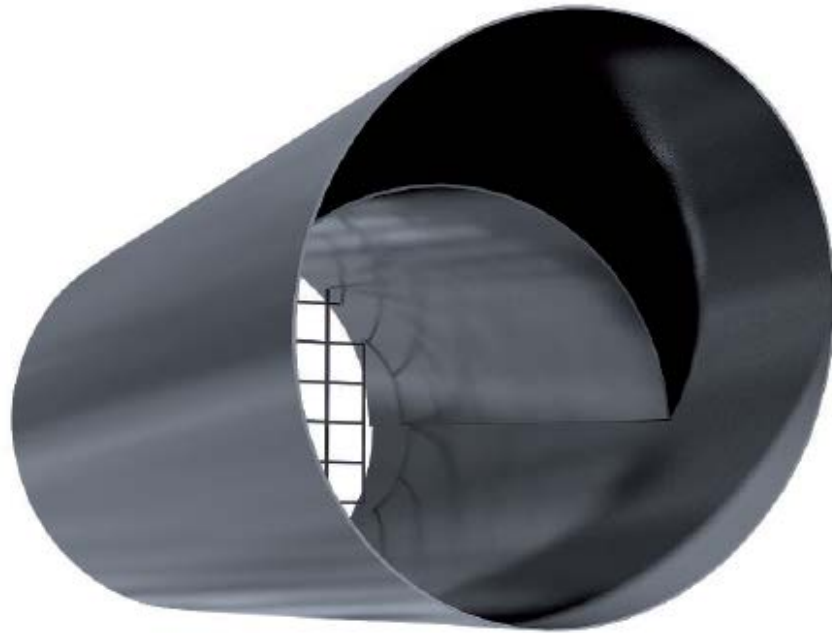
Monet sisäilman kiinteistä epäpuhtauksista jäävät poistoilmakanavistoon tai poistoilmasuodattimiin, eikä tällöin pääse ulospuhallushajottajaan asti. Poistoilmasuodattimina käytetään yleensä karkeasuodattimia, jotka erottavat suurimmat hiukkaset 2 µm:stä eteenpäin. Suurin osa pölyhiukkasista on halkaisijaltaan yli 2 µm, joten vain pienimmät pölyhiukkaset puhalletaan jäteilmän mukana ulos. Juuri alle 2 µm halkaisijaltaan olevat hiukkaset pääsevät kulkeutumaan keuhkojen ääreisosiin, joten ne voivat olla erityisen haitallisia. Muita kiinteitä epäpuhtauksia ovat esimerkiksi asbesti, mineraalivillat ja tupakan savu. Tupakan savu koostuu tuhansista eri yhdisteistä, joiden halkaisija on 0,01 - 1 µm. Nämä yhdisteet pääsevät poistoilmasuodattimien lävitse ja ulospuhalluksen mukana katolle. [4.]

Biologisia epäpuhtauksia ovat esimerkiksi erilaiset allergeenit, pölypunkit, homeet, ja bakteerit sekä virukset. Allergeenit ovat ulkoa tulevia ärsyttäviä ja haitallisia aineita. Joillakin henkilöillä keho yli reagoi näihin ulkopuolelta tuleviin ärsykkeisiin ja aiheuttaa allergisen reaktion. Allergeeneja ovat yleensä valkuaisaineita sisältävät pölyt, kuten siitepölyt ja eläinten ihosta lähtevä pöly. Siitepöly on halkaisijaltaan yli 10 µm, jolloin se saadaan helposti suodatettua karkeasuodattimilla. Bakteerit ovat pieniä 0,035 – 25 µm kokoisia eliöitä, joiden pääasiallinen lähde on ihminen itse. Bakteerien pitoisuus ilmassa ei kuvaa ilman terveydellistä haittaa, vaan bakteerien taudinaiheuttamiskyky. [4.]

2.2 Jäteilmän seinäpuhallus

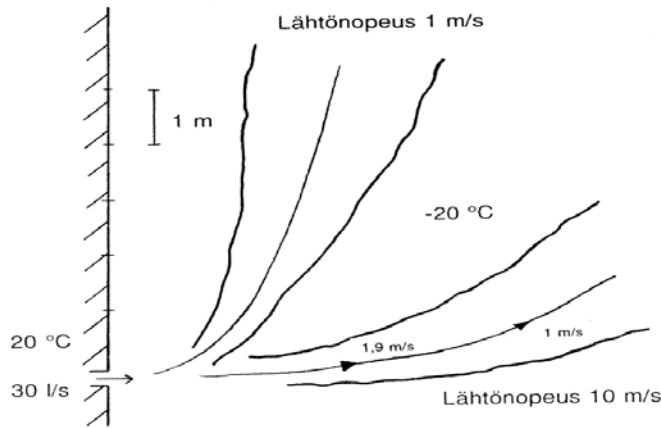
Suomen rakennusmääräyskokoelmien osa D2 kohta 3.4.2.1 ohjeistaa ”Jäteilma johdetaan yleensä rakennuksen korkeimman osan vesikaton yläpuolelle ja puhallus suunnataan yleensä ylöspäin, jotta jäteilmän pääsy ulkoilmalaitteisiin, ikkunoihin ja oleskelualueille estetään.” Joissakin tapauksissa voi olla kuitenkin edullisempaa puhalltaa jäteilma ulos seinässä olevan jäteilmalaitteen kautta, esimerkiksi asuinkerrostalon huoneistokohtaisen ilmanvaihdon tapauksessa. Suomen rakennusmääräykset mahdollistavat luokan 1 jäteilmän seinäpuhalluksen muutamien rajoituksin. Rajoittavia tekijöitä ovat etäisyys naapuritonttiin sekä vastapäiseen taloon, maksimi-ilmavirta 1 m³/s, jäteilma- ja ulkoilmalaitteen etäisyys toisiinsa nähden sekä ulospuhallusnopeus. Ulospuhalluslaitetta ei myöskään saa sijoittaa soppitilaan. [1, s.13 – 14.] Seinäulospuhalluslaitteesta on esimerkki kuvassa 3. Kuvassa oleva laite on Climecon Oy:n valmistama UPA-

seinäulospuhalluslaite, jota valmistetaan kolmessa eri koossa, 125 mm, 160 mm ja 200 mm.



KUVA 3. Esimerkki seinäulospuhalluslaitteesta [6.]

Rakennusmääräyskokoelman ohjeistuksen takana on osittain VTT:n tekemä tutkimus seinäpuhalluksesta asuin kerrostaloissa. Tutkimuksen mukaan ilmasuihku lähtee ulospuhalluslaitteesta viuhkamaisena ja pyrkii tyynellä säällä lämpötilaerojen vaikutuksesta taipumaan joko ylös tai alaspäin. Ulospuhallusnopeus vaikuttaa siihen, kuinka jyrkästi ilmaviuhka lähtee taipumaan, tämä on havainnollistettu kuvassa 4. Suuren ulospuhallusnopeuden etuna on, että jäteilmapitoisuus laimenee enemmän, ennen kuin on vapaasti tuulen kuljetettavissa. [7.]



KUVA 4. Jäteilmaviuhkan taipuminen lähtönopeudella 1 m/s ja 10 m/s [7.]

VTT:n tutkimuksen mukaan jäteilman seinäpuhallus on toimiva ratkaisu asuin kerrostaloissa. Tutkimuksen molemmissa koekohteissa Tampereella ja Kuopiossa ei esiintynyt yhtään seinäpuhallukseen kohdistuvia moitteita ensimmäisen kahdeksan kuukauden aikana rakennusten käyttöönotosta. Tampereen koekohteessa ei myöskään havaittu kondenssi- tai likaantumisongelmia ulospuhalluslaitteissa, mutta Kuopiossa havaittiin kondensoitumiseen viittaavaa jäätä ja valumajälkiä puhallusaukkojen alapuolella. Valumajälkien syynä ei varsinaisesti ollut jäteilman seinäpuhallus, vaan seinän sisältä tulevan kosteuden tiivistyminen. [7.]

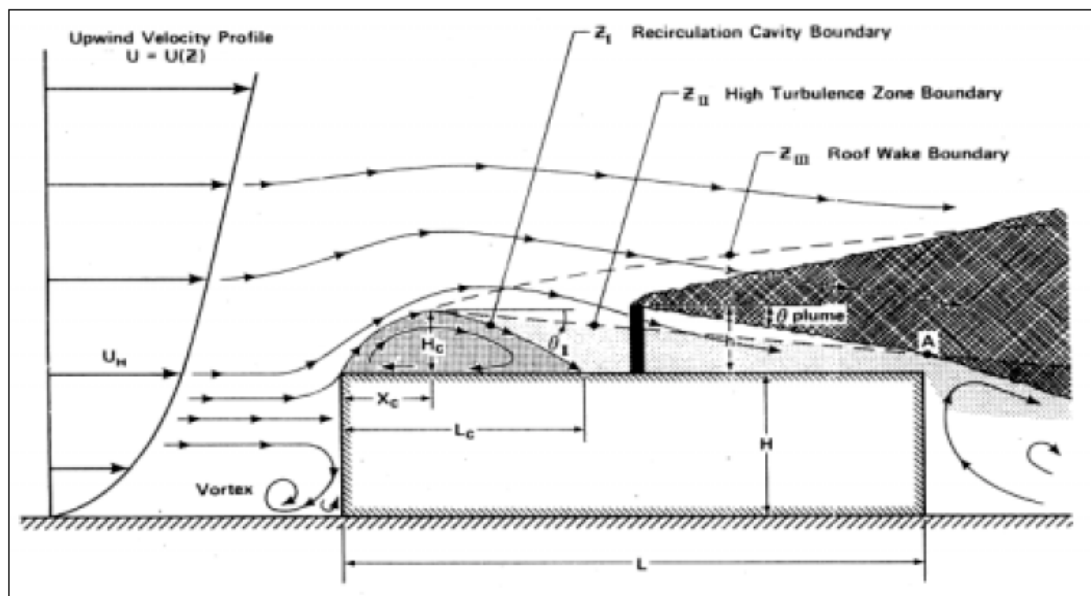
2.3 Jäteilman kattopuhallus

Suomessa yleisin tapa on johtaa jäteilma katolle ja puhaltaa se suurella nopeudella suoraan ylöspäin ulospuhalluslaitteen kautta. Katolle asennettuna ulospuhalluslaitteen tulee pitää vesi ja lumi poissa ilmanvaihtojärjestelmästä, joka avoimesta ulospuhallusaukosta pääsisi valumaan suoraan kanavaan. Ylöspäin suunnattuna ulospuhalluslaitteen ulospuhallusnopeuden kasvattaminen antaa helpotusta laitteen sijoitukseen suhteessa muihin laitteisiin ja alueisiin D2 taulukon 5 mukaan [1, s. 13].

Jäteilman kattopuhallusta on tutkittu paljon USA:ssa ja Kanadassa. Tutkimusten kohteena on ollut jäteilman leviäminen lähialueille tuulten ja rakennusten muodon vaikutuksesta. Esimerkiksi Montrealissa tehdyssä tutkimuksessa Stathopoulos ym. tutkivat katolta ulospuhalletun jäteilman leviämistä matalissa kerrostaloissa. Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida erilaisten muuttujien vaikutuksia jäteilman osuuteen raitisilma-

aukolla. Näitä muuttujia oli esimerkiksi ulospuhalluslaitteen korkeus, ulospuhallusnopeus ja tuulen aiheuttama turbulenssi. [8.]

Stathopoulosin ym. tutkimuksen tulosten perusteella tehtiin kattoulospuhalluksen suunnitteluohjeita. Tutkimuksessa kävi ilmi, että ulospuhalluslaite kannattaa sijoittaa keskelle rakennuksen kattoa, jos rakennuksen ympärillä ei ole korkeita tuuliesteitä. Keskelle kattoa sijoittamalla vältetään rakennuksen reunalle syntyvät pyörteet. Pyörteestä ja keskelle sijoitetusta ulospuhalluslaitteesta on esimerkki kuvassa 5. [8.]

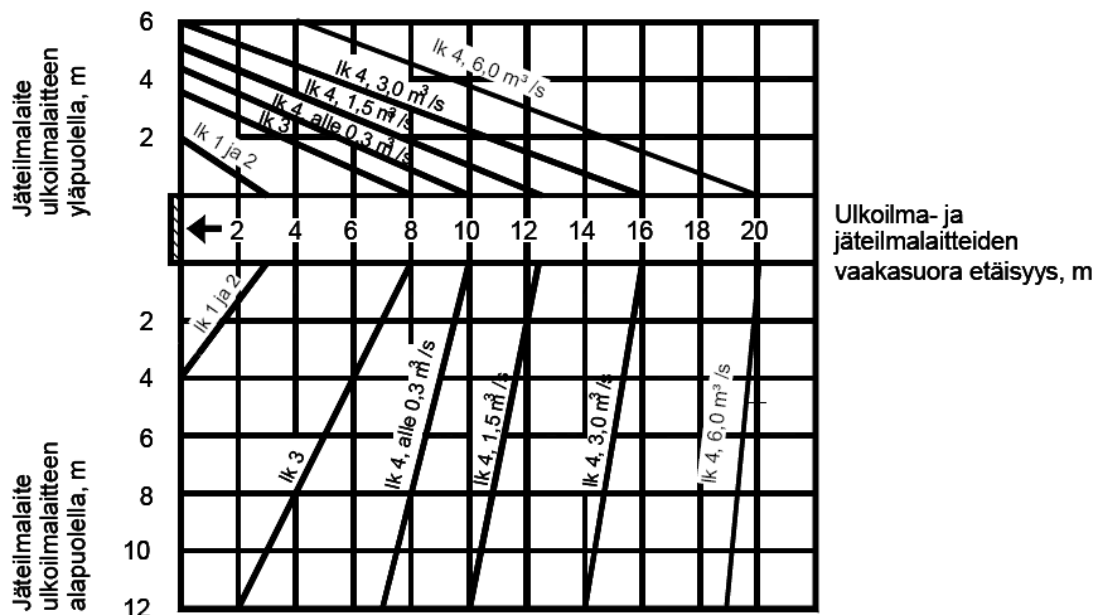


KUVA 5. Ulospuhalluslaite sijoitettuna keskelle kattoa, jolloin vältetään katon reunalle syntyvät pyörteet [8.]

Tutkimuksessa huomattiin myös, että jos kohderakennuksen vieressä on korkeampi rakennus tuulen alapuolella, niin ulospuhalluslaite kannattaa sijoittaa reunalle. Korkeampi rakennus toimii tällöin tuulen suojana, eikä pyörteitä pääse syntymään. Tutkimuksessa tuli myös ilmi, että nostamalla laitteen korkeutta yhdestä metrillä kolmeen metriin saadaan vähennettyä jäteilmän pitoisuutta ulospuhalluksen läheisyydessä kaksinkertaisesti, mutta kun etäisyys ulospuhalluslaitteeseen kasvaa yli 20 m muutos jäteilmän pitoisuudessa on mitätön. Ulospuhalluslaitteen korkeus tulisi olla yli 5 m, jotta saataisiin aikaiseksi merkittäviä vähennyksiä jäteilmän pitoisuudessa yli 20 m päässä laitteesta. Ulospuhallusnopeuden nostaminen 2,5-kertaiseksi vähentää jäteilmän pitoisuutta ulospuhalluslaitteen läheisyydessä 2,5-kertaisesti, mutta 20 m päässä tuulen nopeus vaikuttaa jäteilmän pitoisuuteen merkittävästi. Ulospuhallusnopeuden nostaminen pienillä tuulenopeuksilla voi vähentää jäteilmän pitoisuutta koko kattoalueella huomattavasti,

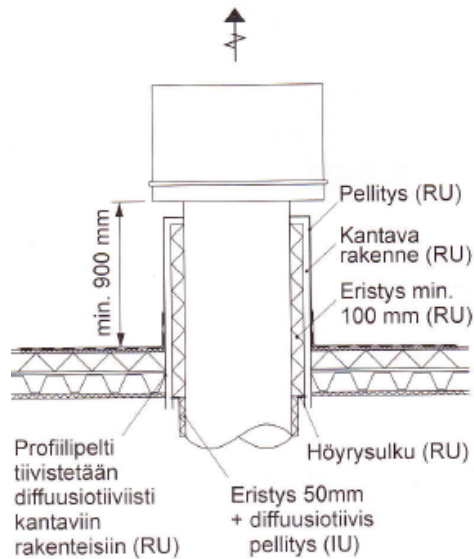
mutta suurilla tuulennopeuksilla ulospuhallusnopeuden kasvattamisella ei välttämättä ole vaikutusta. [8.]

Stathopoulosin ym. tutkimuksen tuloksia verratessa Suomen rakennusmääräyksiin huomataan, että yhtäläisyyksiä on paljon juuri ulospuhalluslaitteen korkeudessa ja ulospuhallusnopeudessa. Ulospuhalluslaitteen korkeus vaikuttaa jäte- ja ulkoilmalaitteen väliin etäisyyteen kuvan 6 mukaisesti. Korkea ulospuhallusnopeus antaa helpotusta laitteen sijoitukseen, sillä ylöspäin suunnatun ulospuhalluslaitteen etäisyys voidaan laskea laitteen yläpuolella sijaitsevasta pisteestä, joka on $1/3$ ulospuhallusnopeuden numeroarvosta m/s [1, s. 13]. D2 ei kuitenkaan ohjaa asentamaan ulospuhalluslaitetta keskelle kattoa reunoille muodostuvien pyörteiden varalta.



KUVA 6. Suomen rakennusmääräyskokoelmien osan D2 kuva jäte- ja ulkoilmalaitteen välisen etäisyyden mitoittamiseen [1, s. 13]

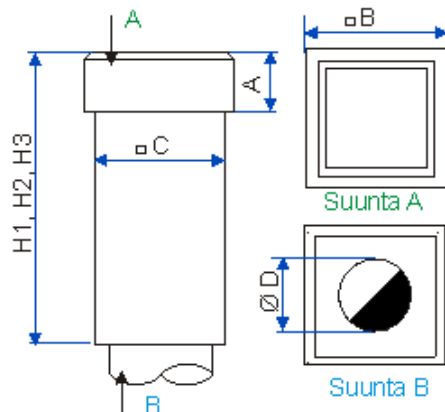
D2:sen mukaan ulospuhalluslaitteen etäisyys kattopinnasta tulee olla 900 mm, mutta jos laite asennetaan jyrkälle kattopinnalle, joka estää lumipeitteen muodostumisen, etäisyys voi olla pienempi. [1, s. 11] Kuvassa 7 on esitetty ulospuhalluslaitteen kattoläpiviennin asennusohje eristyksineen.



KUVA 7. Ulospuhallushajottajan asennusesimerkki katolle [4, s. 113]

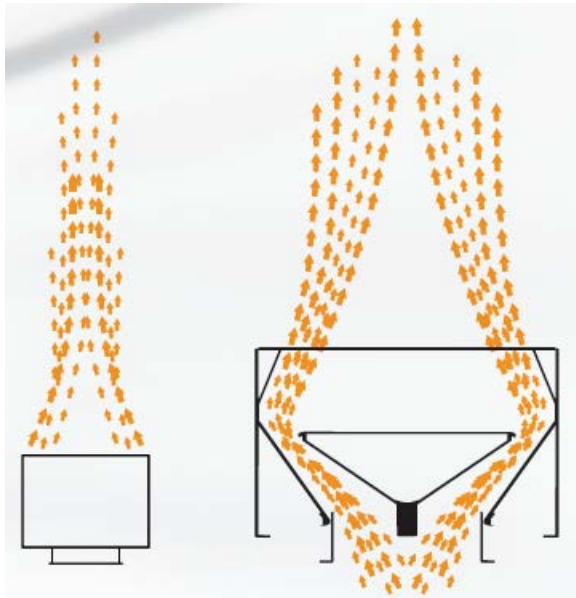
Katolle asennettavia ulospuhallushajottajamalleja ovat esimerkiksi Katjet, Otso-U, Eyma-2 ja HN. Kaikkien edellä mainitut laitteet on suunniteltu siten, että vesi ei pääse kanavistoon sisään ja jäteilman ulospuhallus on suunnattu ylöspäin. Kaikissa muissa ulospuhallushajottajissa, paitsi Katjetissa on vedenerotus toteutettu sisään rakennetulla kartiolla.

Jeven Oy valmistaa Katjet-ulospuhalluslaitetta, joka on yhdistetty ulospuhallushajottaja ja kattoläpivienti. Katjet on suunniteltu siten, että ilma puhalletaan suurella nopeudella suoraan ylöspäin. Veden pääsyn kanavistoon estää erityinen tuoterakenne, jonka ansiosta vedellä ei ole suoraa pääsyä kanavaan. Kuvassa 8 on Katjet-ulospuhallushajottajan periaatepiirros. Katjetia on saatavilla yhdeksässä eri koossa, suositellulle ilmavirta-alueelle 180 – 9700 dm³/s. Kuvassa näkyvät mitat muuttuvat laitteen liitoskoon mukaan. [9]



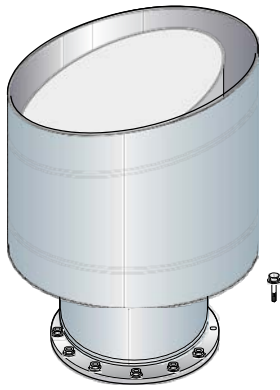
KUVA 8. Katjet-ulospuhallushajottaja [10.]

Climecon Oy valmistaa Otso-U-ulospuhallushajottajaa, jonka suunnittelun lähtökohtina ovat olleet laitteen muotoilu, korkea erotusaste ja matala painehäviö sekä tukeva rakenne. Kuvasta 9 näkee, kuinka ulospuhallushajottaja puhaltaa jätteilman pelkäästään ylöspäin. Veden pääsy kanavistoon on estetty alaspäin suunnatulla kartiolla ja vesikatkoilla liitoskauluksessaan. Otso-U-ulospuhallushajottajaa valmistetaan 11 eri koossa, suositellulle ilmavirta-alueelle 50 - 11000 dm³/s. [11.]



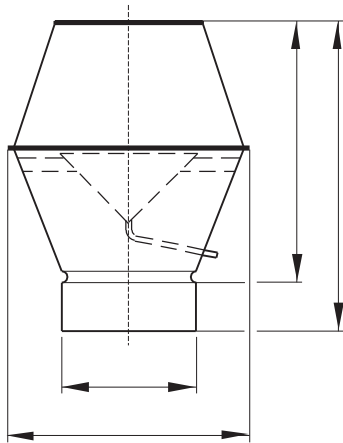
KUVA 9. Leikkaus Otso-U ulospuhallushajottajasta [11.]

Fläkt Woods Oy valmistaa Eyma-2-ulospuhallushajottajaa, joka on valmistettu alumiinin ja sinkin seoksella päällystetystä teräslevystä. Muotoilultaan laite sopii hyvin nykyaikaiseen rakentamiseen ja arkkitehtuuriin. Ulkomuodon suunnittelussa onkin käytetty apuna teollista muotoilijaa. Kuvassa 10 on piirros Eyma-2-ulospuhallushajottajasta. Veden pääsyn kanavistoon estää laitteen sisäkartio, vaikka ulospuhallus olisi pois toiminnasta. Eyma-2-ulospuhalluslaitteesta on saatavana 11 eri kokoa, suositellulle ilmavirta-alueelle 50 – 7400 dm³/s. [12.]



KUVA 10. Eyma-2-ulospuhallushajottaja [13.]

Lindab Oy valmistaa HN-ulospuhallushajottajaa, joka sopii normaaliin ja teollisuusilmanvaihtoon. Jäteilma puhalletaan ylös, jolloin epäpuhtaudet eivät pääse leviämään laitteen läheisyyteen. Tuote on valmistettu galvanoidusta teräksestä, mutta voidaan valmistaa myös haponkestävästä teräksestä tai alumiini-sinkkiseoksesta. Kuvassa 11 on leikkaus HN-ulospuhallushajottajasta, josta nähdään, että vedenpääsy kanavistoon on estetty alaspäin suunnatun kartion avulla. Kartioon kertynyt vesi poistetaan letkun avulla, joka kestää lämpötiloja -45°C - $+65^{\circ}\text{C}$. [14.]



KUVA 11. HN ulospuhallushajottaja [14.]

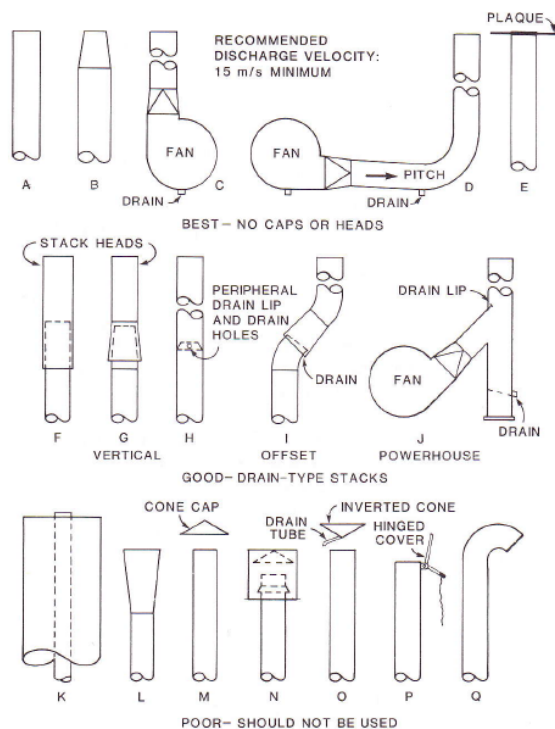
3 TUTKIMUSMETELMÄT

Tutkimuksessa on tarkoitus suunnitella ja valmistaa prototyyppi ulospuhalluslaitteesta, jolle tehdään painehäviö- ja vedenerotusmittaukset sekä savukokeet. Painehäviömittaukset toteutetaan standardien mukaisesti, jolloin tuloksia voidaan verrata muihin vastaaviin laitteisiin. Vedenerotusmittauksissa pyritään simuloimaan pahinta mahdollista

tilannetta, jossa vettä sataa todella paljon, eikä laitteen läpi virtaa ilmaa. Savukokeet tehdään, jotta nähdään, kuinka laitteesta lähtevä ilmasuihku käyttäytyy.

3.1 Ulospuhallusprototyypin suunnittelu

Suunnittelun lähtökohtana on, että toimiva laite voidaan valmistaa mahdollisimman pienin kustannuksin toimivaksi kokonaisuudeksi. Toimiva kokonaisuus muodostuu laitteesta, joka estää sadeveden pääsyn kanavistoon, toimii pienellä painehäviöllä ja on moderniin arkkitehtuuriin sopivan näköinen. Kuvassa 12 on esitetty erilaisia tyyppiesimerkkejä ulospuhalluslaitteista. Ylimmässä rivissä olevat laitemallit toimivat pienellä painehäviöllä, mutta eivät estä veden pääsyä kanavistoon. Malleissa, joissa vedenerotuksesta ei ole huolehdittu, ulospuhallusnopeuden tulisi olla vähintään 15 m/s, jotta vesi ei pääse kanavaan. Keskimmäisessä rivissä on laitemallit, joissa vedenerotus on toteutettu vedenpoistoaukoilla ja ulospuhallus on suunnattu ylöspäin mahdollisimman pienellä painehäviöllä. Mallien, joiden vedenerotuksesta on huolehdittu, suositeltava ulospuhallusnopeus on kuitenkin vähintään 10 m/s. Alimmassa rivissä olevien ulospuhalluslaitemallien käyttöä ei suositella missään tapauksessa. Ylös tai alas suunnattu kartio ulospuhalluslaitteen päässä ei toimi vedenerottimena. Tutkimusten mukaan sadevesi kulkeutuu yleensä viistosti tuulen mukana, joten kartio ei estä pisaroiden pääsyä kanavistoon ellei laitteen ympärille rakenneta seinä. [15.]



KUVA 12. Tyyppiesimerkkejä ylöspäin suunnatuista ulospuhallusaukoista [15.]

Kuvassa 13 on esitetty ulospuhallusprototyyppi, jolle on tehty mittaukset kesällä 2013. Kuvan prototyypissä on huomioitu, että jäteilma tulee puhaltaa suoraan ylöspäin. Kun puhallus suunnataan ylöspäin, saadaan jäteilma nousemaan pois kattopinnan läheisyydestä mahdollisimman tehokkaasti. Prototyypin ulospuhallusaukkojen paikka ja määrä oli muunneltavissa, joten painehäviömittaukset saatiin tehtyä monella eri vaihtoehdolla. Prototyypissä ei otettu huomioon kuitenkaan vedenerotusta. Uutta prototyyppiä lähdettiin suunnittelemaan aikaisemmin mitatun ulospuhallusprototyypin mallin ja mittaustulosten pohjalta. Uutta prototyyppiä suunniteltaessa tuli ottaa huomioon vedenerotus ja yksinkertaistaa tuoterakennetta.

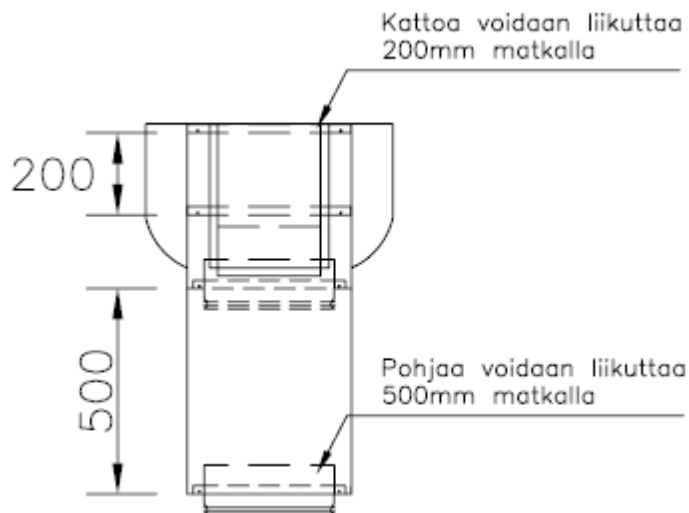


KUVA 13. Kesän 2013 ulospuhallusprototyyppi

kesän 2013 prototyypistä mitattiin painehäviö, niin että käyrät olivat asennettuna joko laitteen yläosaan tai laitteen alaosaan. Mittausten perusteella laitteen painehäviö oli pienempi silloin, kun käyrät oli kiinnitetty laitteen yläosaan, kuten kuvassa 13. Uutta prototyyppiä suunniteltaessa käyrien kiinnitys laitteen yläosaan nähtiin ongelmalliseksi, koska siinä on mahdollisuus, että vesipisara pääsee oikeassa kulmassa lentämään suoraan liitäntäkanavaan. Sateen aikana vesipisaralla on mahdollisuus päästä kanavaan, jos ulospuhallusaukosta on suora näköyhteys liitäntäaukkoon. Toinen mahdollisuus vedellä on päästä kanavaan roiskumalla ulospuhalluskäyrän kaarteesta. Uutta prototyyppiä kehitettäessä otettiin huomioon molemmat mahdollisuudet. Ratkaisuna oli kiinnittää ulospuhalluskäyrät laitteen alaosaan ja nostaa laitteen liitäntäkaulusta sisäpuolelle, jotta

roiskuva vesi ei lennä kanavaan vaan poistuu laitteesta. Laitteen sisälle ei haluttu myöskään tehdä alaspäin suunnattua kartiota, joka estäisi veden satamisen sisään kanavaan ja ohjaisi ilmaa ulospuhalluskäyriin. Kartiossa on mahdollista, että vesi kondensoituu kartion pinnalle ja tippuu kartion päästä kanavan sisälle. Ulospuhalluslaitteen sisälle päässyt vesi poistetaan laitteen pohjan kulmiin tehdyistä vedenpoisto-aukoista.

Ulospuhallusprototyyppi suunniteltiin korkeaksi mittauksia varten, jotta saadaan mitattua ulospuhalluslaatikon kokonaisilmatilavuuden ja käyrien liitoksen yläpuolelle jäävän ilmatilavuuden vaikutuksia laitteen painehäviöön. Kuvassa 14 on esitetty laitteen muunneltavuus eri testeihin. Kattoa voidaan liikuttaa 200 mm matkalla ja pohjaa saadaan liikutettua 500 mm matkalla. Katto ja pohja kiinnitetään auki porattavilla niiteillä mittauksia varten eri korkeuksille. Prototyyppi on suunniteltu siten, että pohjan ollessa yläasennossa ulospuhalluskäyrästä ei ole suoraa näköyhteyttä liitäntäaukkoon. Veden erotuskyvyn tulisi olla tällöin suurin, mutta painehäviön oletetaan kasvavan samalla.

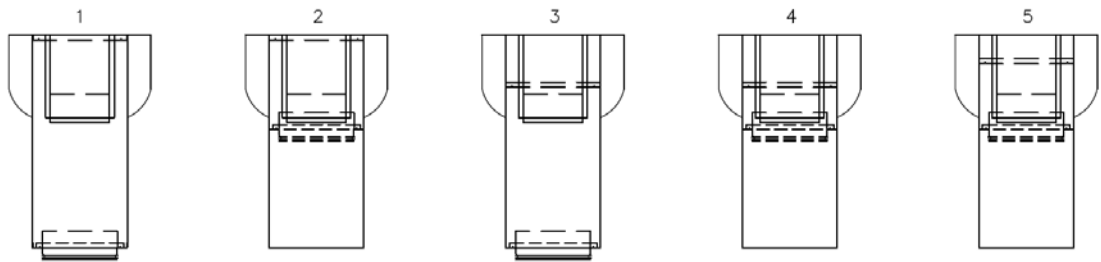


KUVA 14. Ulospuhallusprototyypin muunneltavuus eri testeihin

Prototyyppiä suunniteltaessa haluttiin katto liikuteltavaksi, jotta saadaan mitattua käyrien kiinnityskohdan yläpuolelle jäävän ilmatilavuuden merkitys painehäviöön. Tämä idea pohjautuu ilmastoinnin suunnittelussa käytettyyn menetelmään, jossa viimeinenkin runkkanavan haara tehdään haaraosalla ja pää tulpataan, vaikka se olisi mahdollista tehdä käyräosalla. Menetelmän tarkoitus on tasata painetta kanavassa ja tehdä jokainen päätelaite helpommin säädettäväksi. Ulospuhalluslaitteen tapauksessa ilmavirrat ovat niin suuria, että ilmatilavuus ulospuhallushaarojen liitoskohdan yläpuolella voi aiheuttaa paljon pyörteilyä ja painehäviöitä.

3.2 Koejärjestelyt

Mittauksissa pyritään käyttämään mahdollisimman tarkkoja mittausmenetelmiä ja mittalaitteita. Tämä tarkoittaa sitä, että mittareiden kalibroinnin tulee olla voimassa ja mittaukset toteutetaan laitevalmistajien ja standardien ohjeistuksen mukaan. Prototyypin mittaukset toteutetaan viidellä eri vaihtoehdolla, nämä viisi vaihtoehtoa on esitetty kuvassa 15. Kaikki mittaukset lähtötietoineen on listattuna taulukossa 2.



KUVA 15. Laitteen eri mittausten vaihtoehdot

Vaihtoehdossa 1 pohja on alhaalla ja katto ylhäällä, jolloin laatikon ilmatilavuus on suurimmillaan. Tämän vaihtoehdon mittausten perusteella saadaan tietoon, kuinka laatikon suuri ilmatilavuus vaikuttaa painehäviöön ja toimiiko vedenerotus, kun laatikon pohja on alhaalla.

Vaihtoehdossa 2 pohja ja katto ovat yläasennossa, joka tarkoittaa sitä, että ulospuhalluskäyrien liitos on alhaalla ja liitoskohtien yläpuolelle jää ilmatilavuutta. Vaihtoehdon 2 painehäviömittauksien perusteella saadaan tietää kannattaako ulospuhalluskäyriä liittää laatikon alaosaan, ja vedenerotustesti näyttää, toimiiko vedenerotus, kuten on suunniteltu.

Vaihtoehdossa 3 pohja ja katto ovat ala-asennossa, jolloin ulospuhalluskäyrien liitos tulee laatikon yläosaan. Painehäviömittaukset näyttävät, onko kannattavaa kiinnittää ulospuhalluskäyrät laatikon yläosaan, ja vedenerotustestin tuloksen tulisi olla sama kuin vaihtoehdolla 1, koska molemmissa on pohja alhaalla.

Vaihtoehdossa 4 katto on alhaalla ja pohja on ylhäällä, jolloin laatikon ilmatilavuus on pienimmillään. Painehäviömittausten tulosten perusteella saadaan tietää, voidaanko ulospuhallushajottaja toteuttaa pienellä ilmatilavuudella. Vedenerotustestin tuloksen tulisi olla sama kuin vaihtoehdolla 2, koska pohja on molemmissa ylhäällä.

Vaihtoehdossa 5 katto on keskellä ja pohja on ylhäällä. Tämän vaihtoehdon painehäviö mitataan, koska halutaan tietää, syntyykö laatikon yläosaan ilmapatjaa, joka ohjaisi ilman ulospuhalluskäyriin. Pohja on samalla kohdalla kuin vaihtoehdoissa 2 ja 4, joten vedenerotus toimii samalla tavalla.

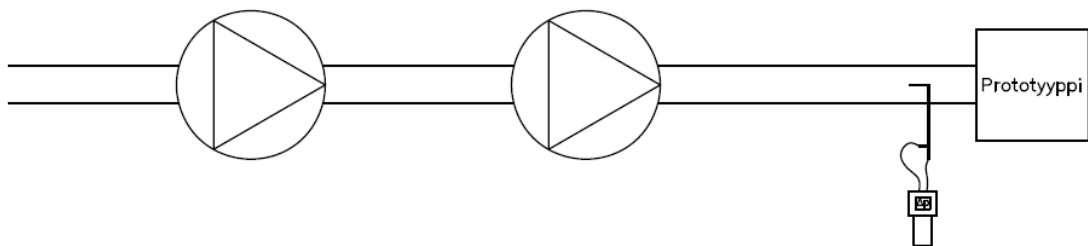
TAULUKKO 2. Koesarjojen esittely

Mittaus nro.	Päivämäärä	Vaihtoehto nro.	Ilmavirta dm ³ /s	Ilmatilavuus m ³	Mittaus
1	28.2.2014	1	250	0,152	Painehäviö
2	28.2.2014	1	350	0,152	Painehäviö
3	28.2.2014	1	450	0,152	Painehäviö
4	28.2.2014	1	600	0,152	Painehäviö
5	28.2.2014	1	800	0,152	Painehäviö
6	4.3.2014	2	250	0,064	Painehäviö
7	4.3.2014	2	350	0,064	Painehäviö
8	4.3.2014	2	450	0,064	Painehäviö
9	4.3.2014	2	600	0,064	Painehäviö
10	4.3.2014	2	800	0,064	Painehäviö
11	5.3.2014	3	250	0,112	Painehäviö
12	5.3.2014	3	350	0,112	Painehäviö
13	5.3.2014	3	450	0,112	Painehäviö
14	5.3.2014	3	600	0,112	Painehäviö
15	5.3.2014	3	800	0,112	Painehäviö
16	5.3.2014	4	250	0,032	Painehäviö
17	5.3.2014	4	350	0,032	Painehäviö
18	5.3.2014	4	450	0,032	Painehäviö
19	5.3.2014	4	600	0,032	Painehäviö
20	5.3.2014	4	800	0,032	Painehäviö
21	10.3.2014	5	250	0,024	Painehäviö
22	10.3.2014	5	350	0,024	Painehäviö
23	10.3.2014	5	450	0,024	Painehäviö
24	10.3.2014	5	600	0,024	Painehäviö
25	10.3.2014	5	800	0,024	Painehäviö
26	6.3.2014	1	0	0,152	Vedenerotus
27	6.3.2014	2	0	0,064	Vedenerotus
28	6.3.2014	3	0	0,112	Vedenerotus
29	6.3.2014	4	0	0,032	Vedenerotus
30	7.3.2014	1	350	0,152	Savukoe
31	7.3.2014	2	350	0,064	Savukoe
32	7.3.2014	3	350	0,112	Savukoe
33	7.3.2014	4	350	0,032	Savukoe

3.2.1 Painehäviön mittaus

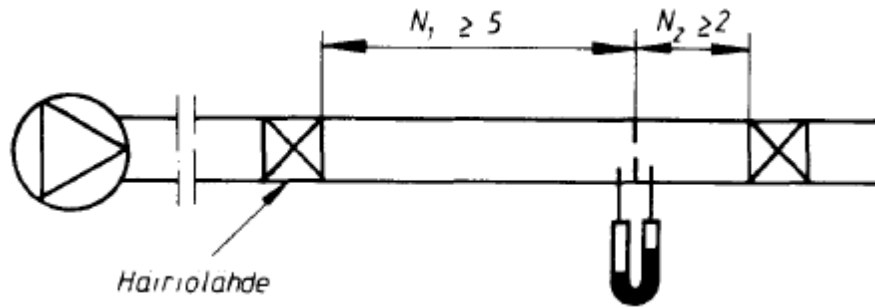
Prototyypin painehäviö mitataan viidellä eri ilmavirralla, jokaiselle laitteen vaihtoehdolle. Painehäviö mitataan välillä $250 \text{ dm}^3/\text{s} - 800 \text{ dm}^3/\text{s}$. Mittauksissa käytettävä ilmavirta-alue on valittu $\varnothing 315$ kanavaliitännällä varustettujen ulospuhalluslaitteiden ilmavirta-alueelle sopivaksi, jotta voidaan vertailla tuloksia muiden samankokoisten laitteiden painehäviön kanssa. Prototyypin painehäviö saadaan mittaamalla kanavassa oleva staattinen paine juuri ennen prototyyppiä.

Mittausjärjestelmän paineenkorotus saadaan aikaiseksi kahdella sarjaan kytketyllä ilmanvaihtokoneella. Puhaltimien sarjaan kytkennällä saavutetaan suurempi paineenkorotus, jolloin pystytään pitämään kaikissa mittauksissa lähes yhtä suuri tilavuusvirta, vaikka painehäviö muuttuisi. Ilmavirta laitteeseen säädetään taajuusmuuttajan avulla suoraan puhaltimien kierrosnopeutta muuttamalla, siten että tehotasot ovat 100 %, 80 %, 60 %, 50 % ja 40 %. Kuvassa 16 on esitetty kaaviokuva koejärjestelyistä.



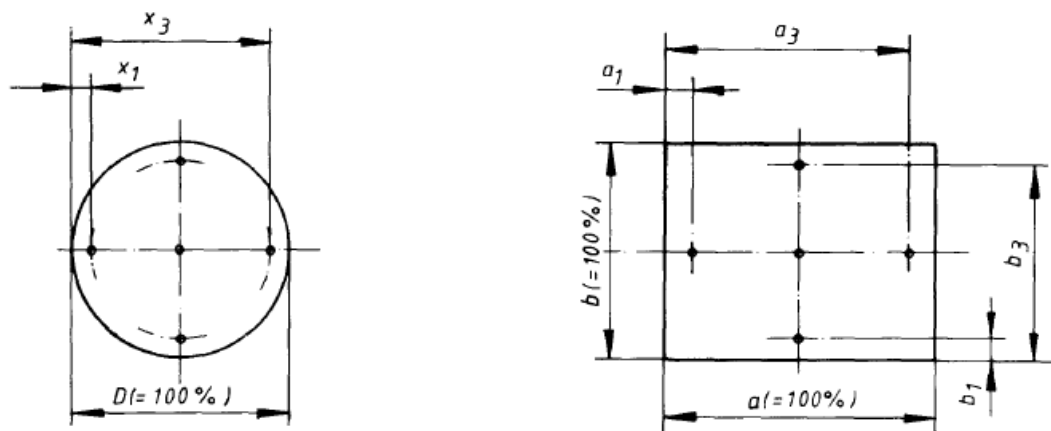
KUVA 16. Yksinkertaistettu kaaviokuva koejärjestelyistä

Paine-ero mitataan kanavaan poratun aukon kautta pitot-putkella, standardin SFS-5512 mukaisesti. SFS-5512-standardissa esitetään pienimmät hyväksyttävissä olevat suojaetäisyydet mittauksissa, ja tällöin menetelmän epätarkkuus on enintään $\pm 10 \%$. Kuvassa 17 on esitetty mittauskohdan etäisyys häiriölähteeseen suojaetäisyyskertoimen avulla. [16, s. 4].



KUVA 17. SFS-standardin mukainen suojaetäisyyskerroin [16, s. 4]

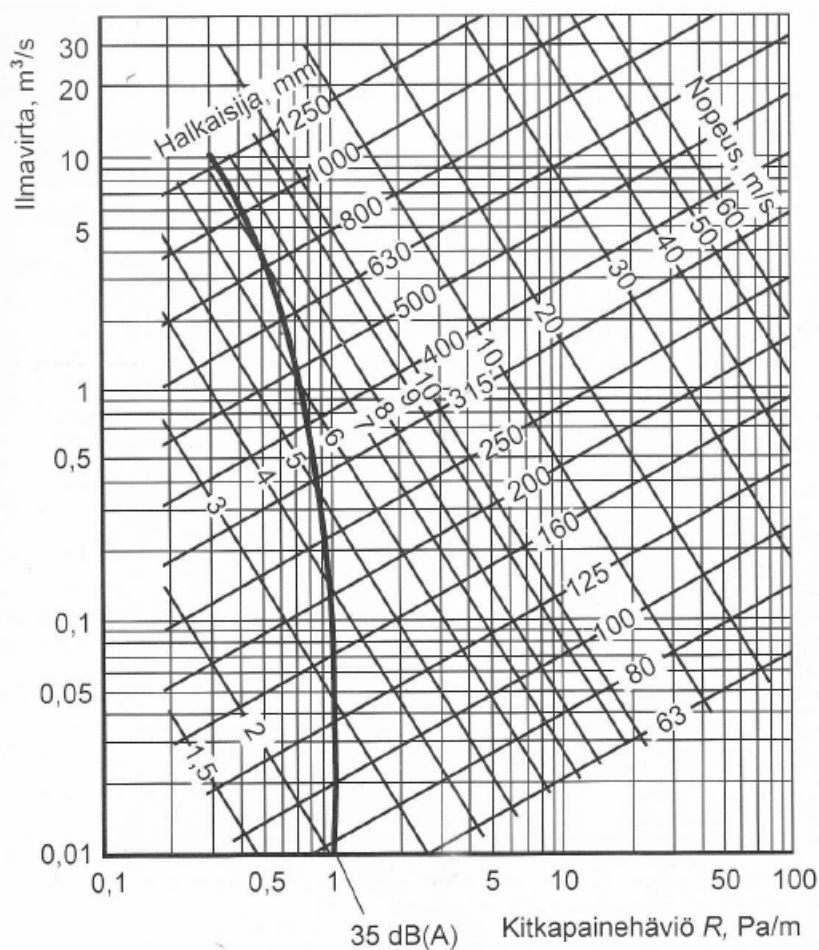
Pitot-putkella mitatessa käytetään viiden pisteen mittausmenetelmää paine-eron mittaukseen. Viiden pisteen mittausmenetelmä on esitelty SFS-5511-standardissa [17]. Viiden pisteen menetelmän mittaustarkkuus on riittävä prototyypin painehäviön mittaukseen. Menetelmässä valitusta mittauskohdasta mitataan viisi arvoa, jokainen arvo eri kohdasta kanavan poikkileikkausta. Viidenpisteen menetelmä on esitetty kuvassa 18. Reunoilla olevat mittauspisteiden etäisyys kanavan reunasta on 10 % kanavan halkaisijan pituudesta. [17, s. 5]



KUVA 18. Viiden pisteen menetelmä [17, s. 5]

Mittauskohta sijaitsee kanavassa 520mm laitteen pohjasta, jotta laitteen pohjan korkeusasemaa voidaan muuttaa. Suorassa kanavaosuudessa mittauspisteen jälkeen esiintyy painehäviötä, mutta puolen metrin matkalla painehäviö on hyvin pieni. Kuvassa 19 on pyöreiden ilmanvaihtokanavien kitkاپainehäviöt ilman nopeuden, ilmavirran ja kanavakoon mukaan. Prototyyppiin liitetyn kanavan halkaisija on $\varnothing 315$ ja mittauksissa käytettävä maksimi ilmavirta on $800 \text{ dm}^3/\text{s}$. Kuvasta 19 nähdään, että painehäviö on

tällöin 3 Pa/m eli 1,5 Pa 500 mm matkalle. Tuloksia tarkasteltaessa kanavan aiheuttama painehäviö otetaan huomioon.



KUVA 19. Pyöreiden ilmanvaihtokanavien kitkapainehäviöt [4, s. 117.]

Prototyypin painehäviö ja kanavan dynaaminen paine mitataan tallentavan mikromanometrin avulla, jokaisesta viidestä pisteestä minuutin ajalta, yhden sekunnin välein, ja lasketaan kaikkien pisteiden staattisen paineen ja dynaamisen paineen keskiarvo. Dynaamisen paineen ja kanavan koon avulla lasketaan virtausnopeus ja tilavuusvirta kaavojen 1, 2 ja 3 avulla.

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot P_d}{\rho}}, \quad (1)$$

,jossa v = virtausnopeus kanavassa [m/s]

P_d = dynaaminen paine [Pa]

ρ = ilman tiheys [kg/m³]

$$A = \pi \cdot r^2, \quad (2)$$

,jossa A = Pyöreän kanavan poikkipinta-ala [m²]

π = Pii

r = kanavan säde [m]

$$q_v = v \cdot A, \quad (3)$$

,jossa q_v = Tilavuusvirta [m³/s]

3.2.2 Vedenerotuksen mittaus

Ulospuhallusprototyypin vedenerotuskyky mitataan viemäröidyssä suihkuutilassa neljälle ensimmäiselle vaihtoehdolle erikseen. Mittauksissa prototyyppi kiinnitetään kanavaliitoksesta vesitiiviisti keräysastiaan, jonka tyhjäpaino tiedetään. Prototyypin yläpuolelle kiinnitetään suihkusuutin osoittamaan suoraan ulospuhalluskäyrään, 56 cm etäisyydelle käyrän suuaukosta. Prototyypin sivulle kiinnitetään statiiviin toinen suihkusuutin, joka osoittaa vinosti ulospuhalluskäyrän suuaukolle 25 cm etäisyydellä. Kuvassa 20 on esitetty vedenerotusmittauksen mittausjärjestelyt. Mittauksessa prototyypin sisälle lasketaan vettä 5 min ajan molemmista suihkusuuttimista, jonka jälkeen keräysastia irrotetaan ja kertyneen veden määrä punnitaan. Vedenerotustestissä simuloidaan pahinta mahdollista tilannetta, jossa laitteen läpi ei ole ollenkaan ilmapirta ja sadevesi tulee suurella virtaamalla suoraan ylhäältä ja vinosti tuulen vaikutuksesta. Vedenerotuksen koejärjestelyt kehitettiin yksinomaan tämän prototyypin testausta varten.



KUVA 20. Mittausjärjestelyt vedenerotus

Suihkusuuttimien virtaama mitataan mitta-astian ja sekuntikellon avulla molemmille suihkusuuttimille erikseen. Suihkujen lämpötila käännetään termostaatista mahdollisimman kylmälle ja virtaama säädetään mahdollisimman suureksi. Yhteisvirtaama suihkusuuttimista oletetaan olevan tällöin suurempi kuin Suomen rakennusmääräyskoelman osassa D1 ilmoitettu mitoitussade $0,015 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$, joka vastaa $54 \text{ dm}^3/\text{h}/\text{m}^2$ [18]. Suihkusuuttimista tuleva virtaama lasketaan kaavan 4 avulla.

$$q_v = \frac{V}{t}, \quad (4)$$

, jossa q_v = Tilavuusvirta [dm^3/s]
 V = Astian tilavuus [dm^3]
 t = aika joka menee astian täyttymiseen [s]

Suihkusuuttimista mitatut virtaamat ovat vinoon asennetulle suihkulle $0,171 \text{ dm}^3/\text{s}$ ja kohtisuoraan ylös asennetulle $0,195 \text{ dm}^3/\text{s}$. Yhteensä suihkuista tulee siis $0,366 \text{ dm}^3/\text{s}$ vettä pienelle alueelle, josta suurin osa laitteen sisälle. Virtaama on tällöin huomattavasti suurempi kuin Suomen rakennusmääräyksissä esiintyvän mitoitussateen virtaama, mutta laitteen tulisi myös tällöin estää veden pääsy kanavaan. Suurin koskaan mitattu minuutin sademäärä on $31,2 \text{ mm}/\text{m}^2$, joka vastaa $0,52 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ [19]. Jos vettä ei pääse

kanavan liitännästä sisään mittausten virtaamalla, voidaan laitteen vedenerotuksen todeta toimivan moitteettomasti.

3.2.3 Savukoe

Savukoe suoritetaan ulospuhallusprototyypin vaihtoehdoille 1-4, jolloin nähdään, kuinka ulospuhallusprototyypistä puhallettu jäteilma leviää. Kokeessa merkkisavukone laitetaan ilmanvaihtokoneen sisälle, jonka avulla savu puhalletaan laitteen läpi. Ilmavirta säädetään koetta varten noin $350 \text{ dm}^3/\text{s}$ taajuusmuuttajan avulla, jolloin ulospuhallusnopeus ei ole liian suuri kuvauksia varten. Savukoneella tuotetaan savua viiden sekunnin sykäyksinä, jonka aikana nähdään tulokset selkeästi ja pystytään dokumentoimaan ne. Savukoneena käytetään Martin Magnum 1200 savukonetta, joka on esitetty kuvassa 21.

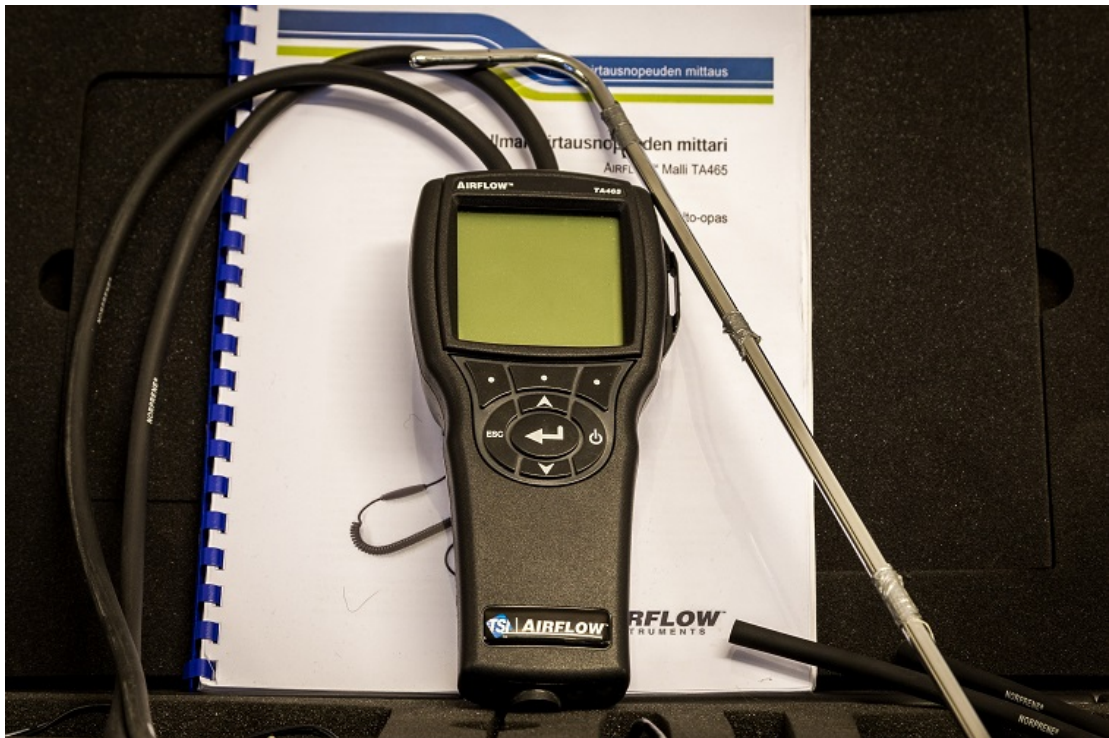
Savukokeessa kiinnitetään huomiota, kuinka nopeasti savu lähtee hajautumaan ympäristöön ja tuleeko kaikki savu ulospuhalluskäyristä. Laitteen sisälle muodostuu ylipaine, jolloin on mahdollista että, osa savusta tulee ulos vedenpoistoaukoista. Savukoe dokumentoidaan videokuvan ja valokuvien avulla sekä kokeesta kirjoitetaan ylös havaintoja.



KUVA 21. Martin Magnum savukone [20, s. 7.]

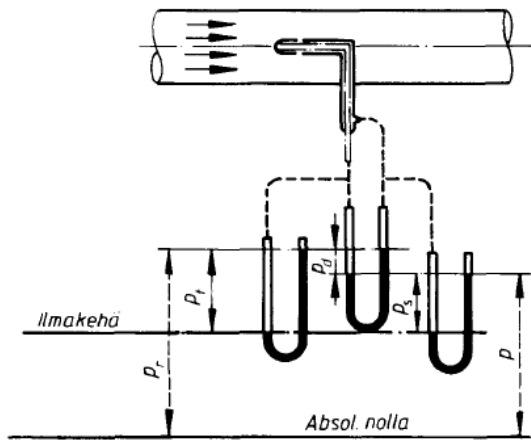
3.3 Mittalaitteet

Mikromanometri ja siihen liitetty pitot-putki soveltuvat hyvin virtausnopeuden ja paineen mittauksiin, mutta vaatii kohtuullisen mittaustarkkuuden saavuttamiseksi vähintään 3m/s kanavanopeutta. Pitot-putki ei vaadi kalibrointia, mutta elektroninen manometri vaatii vuosittaisen kalibroinnin SFS-5511 standardin mukaan. [17, s. 11.] Työssä käytetään TSI:n TA-465 Ilman virtausnopeuden mittaria, jonka kalibrointitodistus löytyy liitteestä 1. Mittari on kalibroitu lokakuun lopussa 2012, joten mittaushetkellä kalibroinnista on kulunut noin vuosi ja viisi kuukautta. Mittarin paineenmittaustarkkuus on ± 1 % mittarilukemasta [21, s. 40]. Alla olevassa kuvassa 22 on mittauksissa käytetty mittari ja pitot-putki.



KUVA 22. TSI TA-465 ilman virtausnopeuden mittari

Työssä mitataan pitot-putken avulla kanavasta dynaamista painetta (P_d) ja staattista painetta (P_s). Dynaamisen paineen mittauksessa pitot-putken molempiin paineenmittausyhteisiin liitetään mikromanometri mittausletkuilla. Staattista painetta mitatessa vain sivulle lähtevään mittaussyhteeseen liitetään mikromanometri paineenmittausletkun avulla, jolloin toinen letku jätetään liittämättä. Paineen mittaus Pitot-putkella on selvitetty kuvassa 23.



KUVA 23. Pitot-putkella mittaus ylipaineisesta kanavasta [16, s. 4.]

Vedenerotuksen mittauksessa käytetään tilavuudeltaan $8,2 \text{ dm}^3$ ämpäriä, jonka halkaisija on noin $\text{Ø}315\text{mm}$ ja paino 210g . Ämpäriin tilavuus kalibroidaan $1,8 \text{ dm}^3$ mittakuppilla. Kanavaan päässeän veden määrä saadaan punnitsemalla ämpäri vesitestin jälkeen mettler toledo vaa'alla, joka on kalibroitu 13.2.2006. Vaa'an maksimi paino on 60kg ja minimi 200g , tarkkuus on tällöin 10g . Kuvassa 24 on esitetty veden erotuksen mittamiseen käytetyt välineet.



KUVA 24. Vaaka Mettler Toledo ja mittausämpäri $8,2 \text{ dm}^3$.

4 TULOKSET

Painehäviön tulokset esitetään kuvaajina, jossa painehäviö on tilavuusvirran funktiona. Veden erotuksen tulokset esitetään kanavaan päässeän veden painona, ja savutestin tulokset selostetaan sanallisesti ja valokuvien avulla. Viidennelle vaihtoehdolle ei tehty

vedenerotustestiä eikä savutestiä. Viidennen vaihtoehdon mittaukset tehtiin neljän ensimmäisen vaihtoehdon tulosten analysoinnin jälkeen, joten vedenerotus- ja savutestin tekemistä ei nähty tarpeellisena. Mittauspöytäkirjat ja lasketut tulokset löytyvät liitteestä 2.

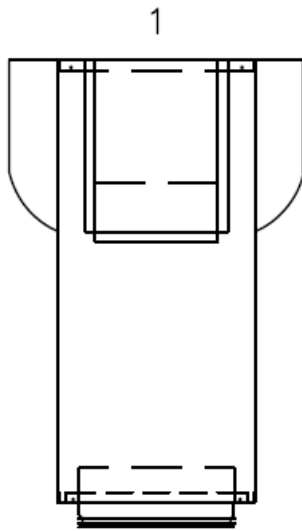
4.1 Painehäviömittaukset

Painehäviömittauksen lasketut ja mitatut tulokset on esitetty taulukossa 3. Tilavuusvirta on laskettu dynaamisen paineen, ilman tiheyden ja kanavan pinta-alan perusteella. Painehäviö on kanavasta mitattu staattinen paine 520 mm ennen ulospuhalluslaitetta. Kanavanopeus on laskettu dynaamisen paineen ja ilman tiheyden avulla. Ulospuhallusnopeus on laskettu kanavanopeuden ja ulospuhalluspinta-alan perusteella.

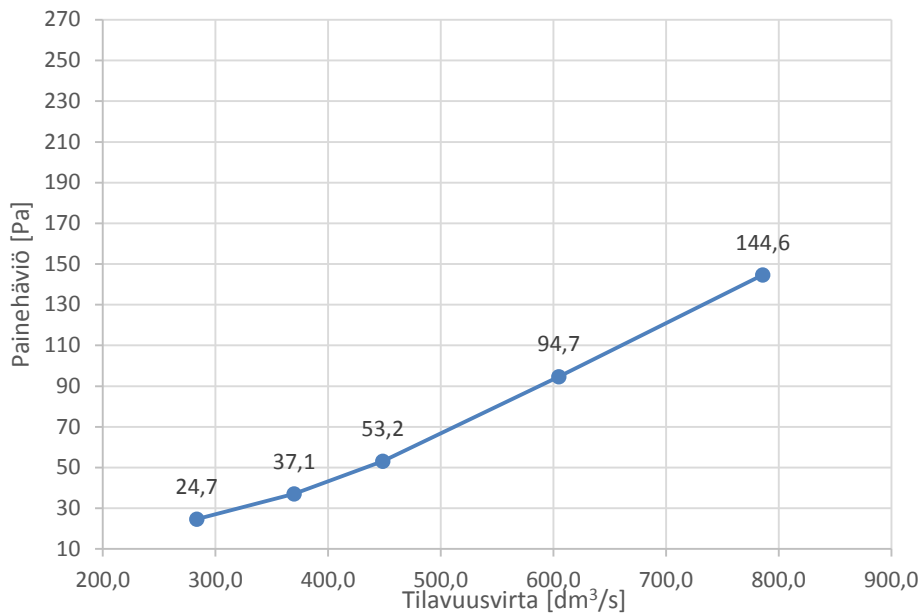
TAULUKKO 3. Painehäviömittauksen tulokset

Mittaus nro.	Vaihtoehto nro.	Tilavuusvirta [dm ³ /s]	Kanavanopeus [m/s]	Ulospuhallusnopeus [m/s]	Painehäviö [Pa]
1	1	786	10,1	8,4	144,6
2	1	604,9	7,8	6,5	94,7
3	1	448,6	5,8	4,8	53,2
4	1	369,9	4,7	3,9	37,1
5	1	283,4	3,6	3,0	24,7
6	2	763,6	9,8	8,2	239,8
7	2	604,9	7,8	6,5	157,2
8	2	454,1	5,8	4,8	87,7
9	2	372,6	4,8	4,0	59,4
10	2	300,4	3,9	3,3	37,8
11	3	795,4	10,2	8,5	131,9
12	3	639	8,2	6,8	84,9
13	3	474,4	6,1	5,1	47,7
14	3	389,5	5,0	4,2	32,6
15	3	311,7	4,0	3,3	20,9
16	4	755,7	9,7	8,1	265,4
17	4	603,2	7,7	6,4	171
18	4	449,8	5,8	4,8	95,6
19	4	371,2	4,8	4,0	65,3
20	4	295,4	3,8	3,2	41,7
21	5	758,4	9,7	8,1	238,7
22	5	603,2	7,7	6,4	153,5
23	5	454,1	5,8	4,8	86,2
24	5	373,9	4,8	4,0	58,4
25	5	297,1	3,8	3,2	37,3

Mittauksissa 1-5 prototyypin pohja oli kiinnitetty laatikon alareunan tasolle ja katto oli kiinnitetty laatikon yläreunan tasolle, tämä vaihtoehto mittauksiin 1-5 on esitetty kuvassa 25. Laatikon kokonaisilmatilavuus ilman ulospuhalluskäyriä on tällöin $0,152 \text{ m}^3$ ja käyrän liitoskohdan yläpuolelle jäävä ilmatilavuus on $0,04 \text{ m}^3$. Kuvassa 26 on esitetty ensimmäisen vaihtoehdon painehäviö tilavuusvirran funktiona. Kuvaajan y-akselilla on esitetty painehäviö [Pa] ja x-akselilla tilavuusvirta [dm^3/s].

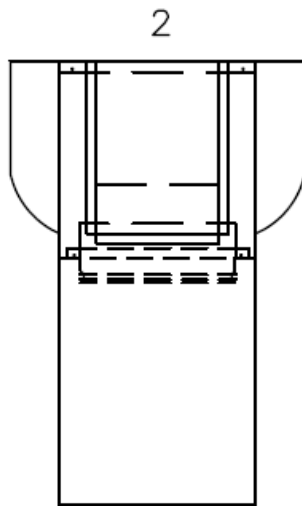


KUVA 25. Prototyypin vaihtoehto 1

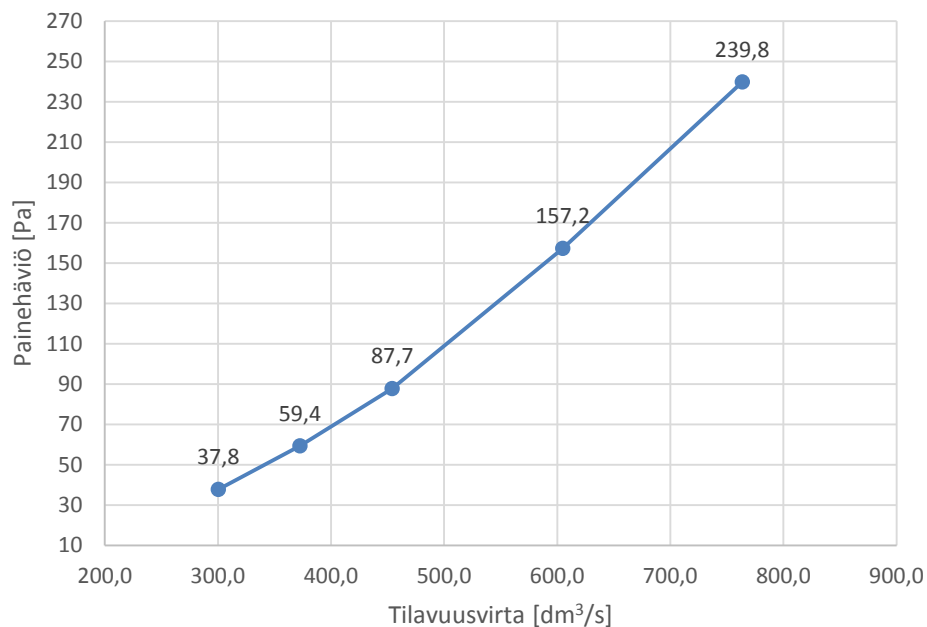


KUVA 26. Vaihtoehdon 1 painehäviökuvaaja

Mittauksissa 6-10 pohja oli kiinnitetty 500 mm ylemmäksi kuin mittauksissa 1-5 ja katto oli kiinnitettyä edelleen laatikon yläreunan tasolle. Vaihtoehto 2 on esitetty kuvassa 27. Laatikon kokonaisilmatilavuus ilman ulospuhalluskäyriä on tällöin $0,064\text{m}^3$ ja käyrän liitoskohdan yläpuolelle jäävä ilmatilavuus on $0,04\text{m}^3$. Kuvassa 28 on esitetty toisen vaihtoehdon painehäviö tilavuusvirran funktiona. Kuvaajan y-akselilla on esitetty painehäviö [Pa] ja x-akselilla tilavuusvirta [dm^3/s].



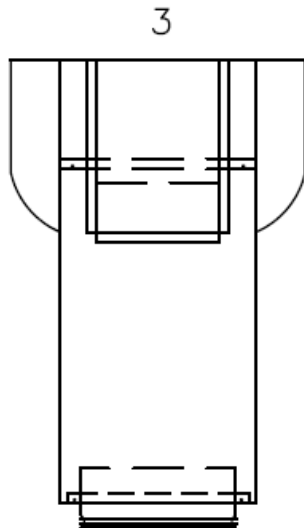
KUVA 27. Prototyypin vaihtoehto 2



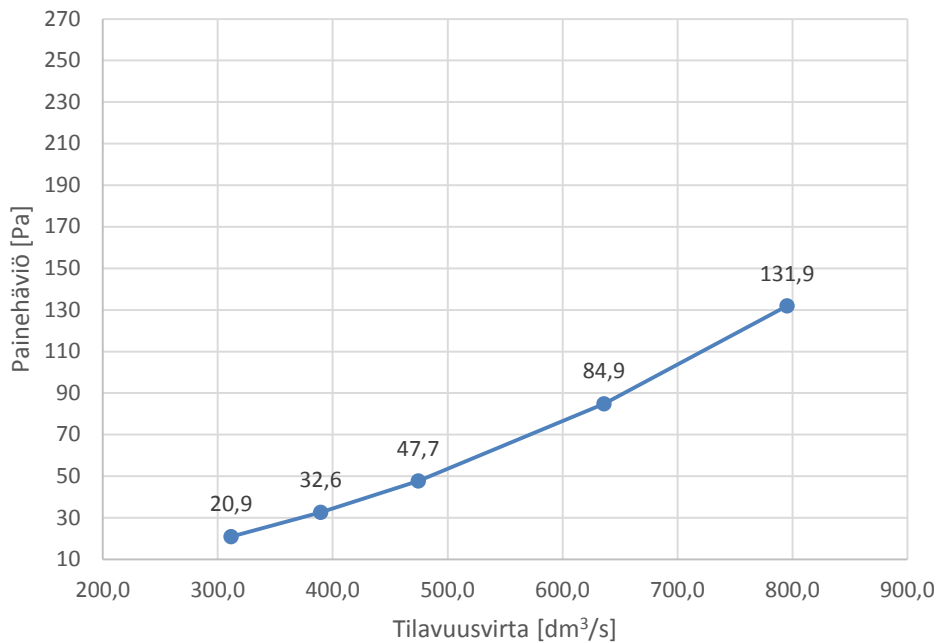
KUVA 28. Vaihtoehdon 2 painehäviökuvaaja

Mittauksissa 11–15 prototyypin pohja oli kiinnitettyä laatikon alareunan tasolle ja katto oli kiinnitettyä 200 mm laatikon yläreunasta alaspäin. Vaihtoehto mittauksiin

11–15 on esitetty kuvassa 29. Laatikon kokonaisilmatilavuus ilman ulospuhalluskäyriä on tällöin $0,112 \text{ m}^3$ ja käyrän liitoskohdan yläpuolelle jäävä ilmatilavuus on $0,008 \text{ m}^3$. Kuvassa 30 on esitetty kolmannen vaihtoehdon painehäviö tilavuusvirran funktiona.



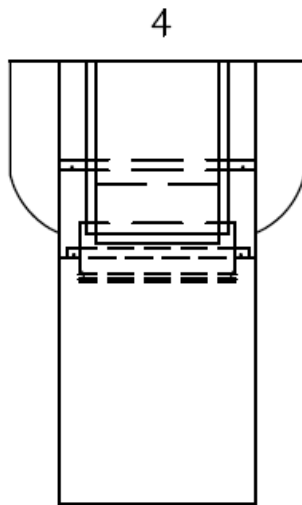
KUVA 29. Prototyypin vaihtoehto 3



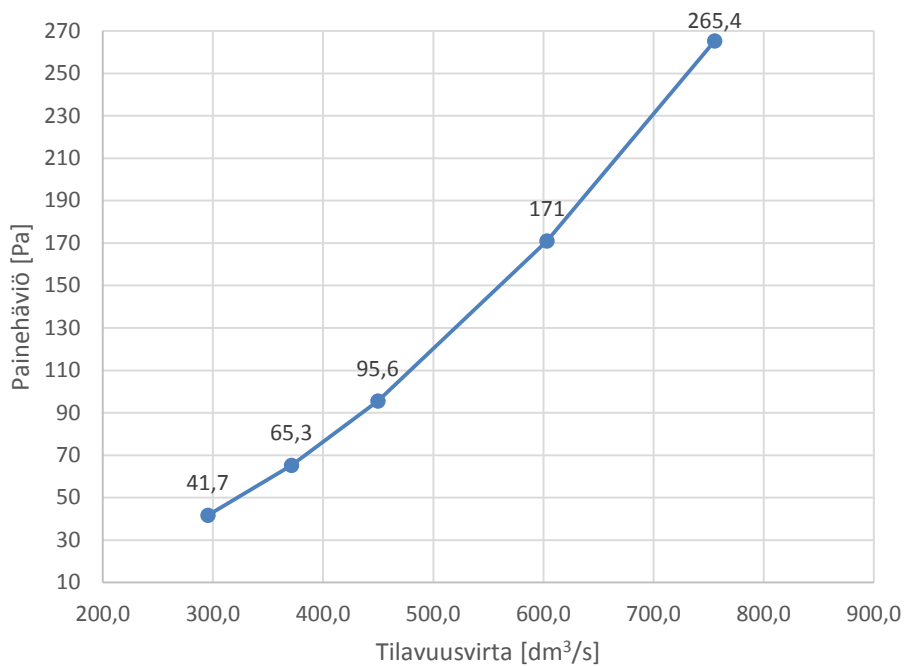
KUVA 30. Vaihtoehdon 3 painehäviökuvaaja

Mittauksissa 16–20 prototyyppi oli säädetty asentoon, jossa katto oli 200 mm yläreunasta alaspäin ja pohja on 500 mm alareunasta ylöspäin. Kuvassa 31 on esitetty prototyypin vaihtoehto mittauksiin 16–20. Laatikon kokonaisilmatilavuus ilman ulospuhalluskäyriä on tällöin $0,032 \text{ m}^3$ ja käyrien liitoksen yläpuolelle jäävä ilmatilavuus on

0,008 m³. Painehäviö on esitetty kuvassa 32 tilavuusvirran funktiona. Kuvaajan y-akselilla on esitetty painehäviö [Pa] ja x-akselilla tilavuusvirta [dm³/s].

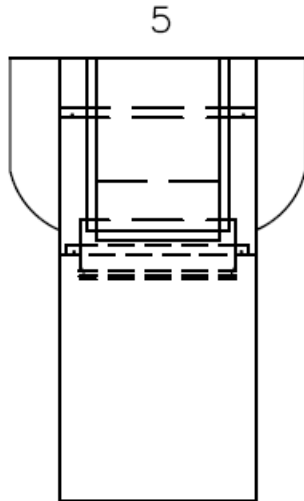


KUVA 31. Prototyypin vaihtoehto 4

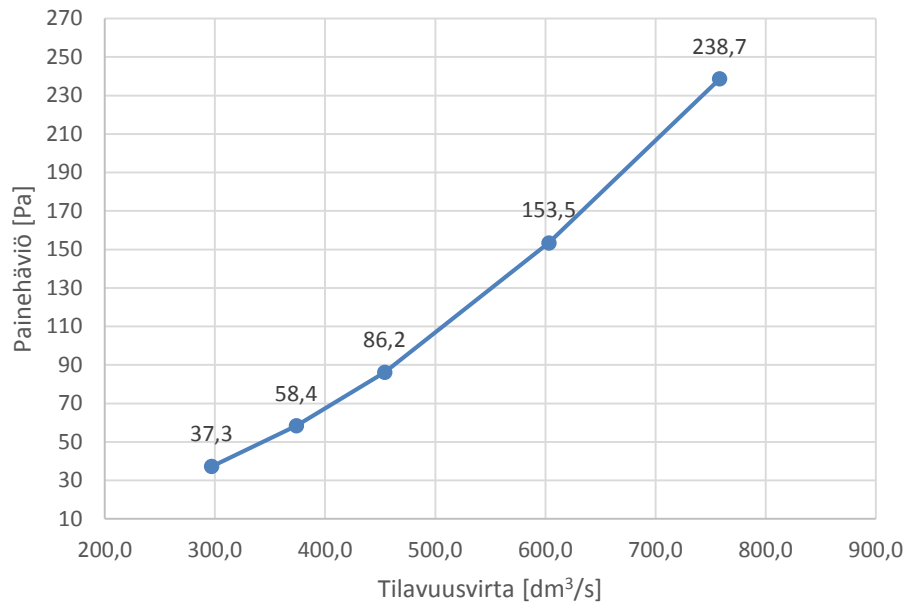


KUVA 32. vaihtoehdon 4 painehäviökuvaaja

Mittauksissa 21–25 prototyyppi oli säädetty asentoon, jossa pohja on 500 mm alareunasta ylöspäin ja katto on 100 mm yläreunasta alaspäin. Kuvassa 33 on esitetty prototyypin vaihtoehto 5. Laatikon kokonaisilmatilavuus ilman ulospuhalluskäyriä on 0,048 m³ ja ulospuhalluskäyrien liitoksen yläpuolelle jäävä ilmatilavuus on 0,024 m³. Kuvassa 34 on esitetty painehäviö tilavuusvirran funktiona.



KUVA 33. prototyypin vaihtoehto 5



KUVA 34. vaihtoehdon 5 painehäviökuvaaja

4.2 Vedenerotusmittaukset

Vedenerotusmittauksen tulokset on esitetty taulukossa 4. Vesivirta on suihkusuuttimista mitattu yhteisvirtaama ja kertynyt vesi on kanavaliitoksesta sisälle päässeän veden paino. Prototyypin läpi ei testin aikana puhallettu ilmaa, koska testissä pyrittiin simuloimaan pahinta mahdollista tilannetta.

TAULUKKO 4. Vedenerotusmittaustulokset

Mittaus nro.	Päivämäärä	Vaihtoehto nro.	Vesivirta dm ³ /s	Ilmavirta dm ³ /s	Kertynyt vesi g
26	6.3.2014	1	0,366	0	yli 8000
27	6.3.2014	2	0,366	0	10
28	6.3.2014	3	0,366	0	yli 8000
29	6.3.2014	4	0,366	0	10

Mittauksessa numero 26 keräysastiaan kertyi yli 8000g vettä. Mittauksen aikana vettä alkoi tulvimaan liitoskauluksen yli jo 2,5 minuutin kohdalla, jolloin testi keskeytettiin. Mittauksessa numero 27 keräysastiaan kertyi vain 10g roiskevettä viiden minuutin aikana. Keräysastiaan kertynyt vesi oli pisaroina pohjalla, josta pääteltiin, että vesi on roiskunut jostain osasta ulospuhalluskäyrää tai laitteen pohjalta. Mittauksessa numero 28 vettä kertyi keräysastiaan yli 8000g. Vesi alkoi tulvimaan liitöntäkauluksen yli 2,5 minuutin kohdalla, jolloin testi keskeytettiin. Mittauksessa numero 29 keräysastiaan kertyi 10g roiskevettä.

Vedenerotusmittauksen tulosten perusteella voidaan todeta, että vain pohjan asema laatikon sisällä vaikuttaa kanavaliitoksesta päässeeseen veden määrään, eikä katon liitoskorkeudella ole väliä. Testin vesivirralla prototyypin vedenpoistoaukkojen koko riitti poistamaan laatikon sisälle tulleen veden kokonaisuudessaan. Kuvassa 35 on prototyypin alareuna ja kulmassa sijaitseva vedenpoistoaukko, josta tulee testin aikana vettä ulos.



KUVA 35. Prototyypin vedenpoistoaukko

4.3 Savukokeet

Savukokeessa merkkisavua puhallettiin prototyypistä ilmavirralla 350 dm³/s. Ilmavirta valittiin pieneksi, jotta pystytään arvioimaan ja dokumentoimaan savukoiden tulokset hyvin. Jokaisesta savukokeesta otettiin valokuvat ja videokuvaa, sekä kirjattiin paikanpäällä ylös huomioita savun leviämisestä. Taulukkoon 5 on kerätty savukokeen lähtötiedot.

TAULUKKO 5. Savukokeen lähtötiedot

Mittaus nro.	Päivämäärä	Vaihtoehto nro.	Mittaustyyppi	Ilmavirta dm ³ /s	Ilmatilavuus m ³
30	7.3.2014	1	Savukoe	350	0,152
31	7.3.2014	2	Savukoe	350	0,064
32	7.3.2014	3	Savukoe	350	0,112
33	7.3.2014	4	Savukoe	350	0,032

Mittauksessa numero 30 nähtiin, että vedenpoistoaukosta savua tulee vain hyvin vähän ja ulospuhalluslaitteesta ylöspäin lähtevä savu kuroutuu aluksi yhteen keskelle ja kun virtausnopeus hidastuu savu alkaa levitä ympäristöön. Kuvassa 36 nähdään, että savu lähtee hyvin suoraan ylöspäin laitteesta, eikä pääse leviämään lähiympäristöön.



KUVA 36. vaihtoehtoon 1 savukoe

Mittauksessa numero 31 huomattiin, että savua tulee silmämääräisesti enemmän pohjan vedenpoistoaukoista kuin mittauksessa numero 30. Savu lähtee kuitenkin laitteesta suoraan ylöspäin, eikä pääse leviämään laitteen lähialueelle. Kuvasta 37 nähdään hyvin, kuinka savu yhdistyy aluksi keskellä ja lähtee vasta sitten leviämään sivuille, kun virtausnopeus pienenee.



KUVA 37. vaihtoehdon 2 savukoe

Mittauksessa 32 huomattiin, että pohjan vedenpoistoaukoista tulee savua hyvin vähän. Ulospuhalluskäyristä lähtevä ilma yhdistyy nopeasti keskellä, eikä leviä ulospuhalluslaitteen läheisyyteen. Kuvassa 38 nähdään, kuinka savu lähtee heti yhdistymään laitteesta lähdettyään.



KUVA 38. vaihtoehdon 3 savukoe

Mittauksessa numero 33 huomattiin, että ilmavirta on suurempi ulospuhalluskäyrien ulkoreunoilla ja keskelle laitteen yläpuolelle muodostuu pyörteitä. Käyristä lähtevät ilmasuihkut yhdistyvät kuitenkin keskellä, eikä pääse leviämään laitteen läheisyydessä. Pohjassa olevista vedenpoistoaukoista tulee savua runsaasti, joka leviää laitteen läheisyyteen. Kuvassa 39 nähdään vaihtoehdosta 4 ulos puhallettu savu. Kuva on otettu savun puhaltamisen alkuhetkeltä, niin siitä näkee hyvin, että virtaukset yhdistyvät keskellä lähes heti laitteesta lähdettyään.



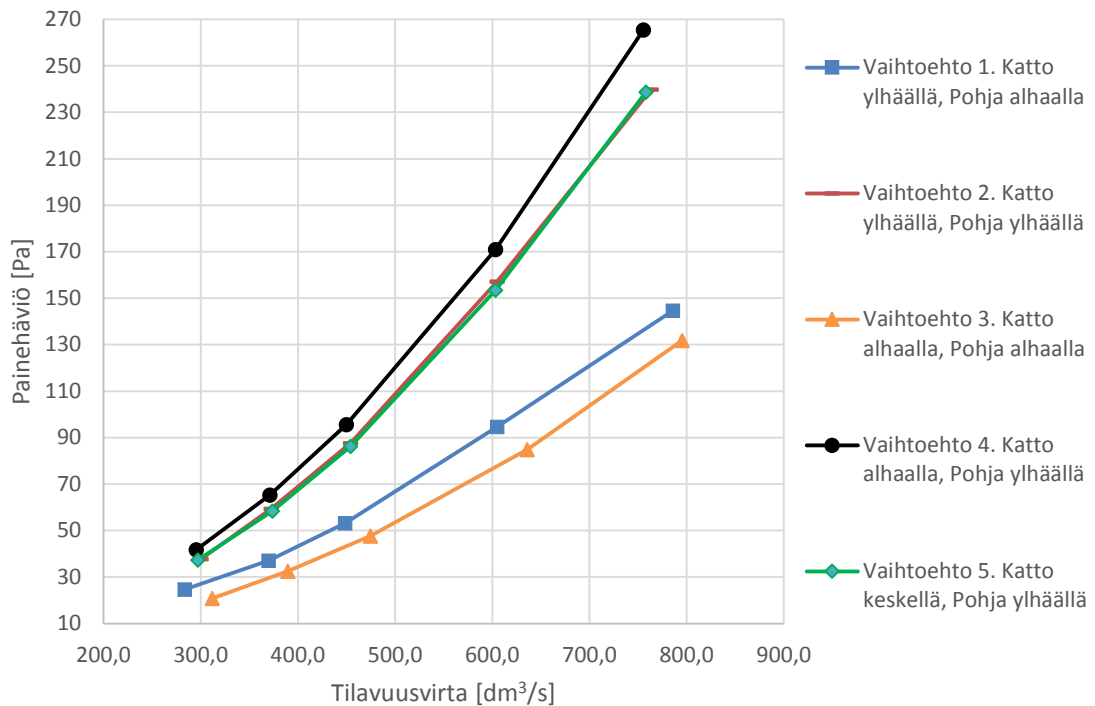
KUVA 39. Säätoasennon 4 savukoe

5 TULOSTEN TARKASTELU

Tuloksia tarkasteltaessa otetaan huomioon mitattujen arvojen virherajat. Painehäviömittauksissa mitattuja tuloksia on dynaaminen ja staattinen paine. Vedenerotustestissä mitattuja tuloksia on astiaan kerääntyneen veden paino ja suihkusuuttimien virtaama. Savukokeen tulokset dokumentoitiin videokuvana ja valokuvina. Vaihtoehtojen tuloksia verrataan toisiin säätoasentoihin ja muihin vastaaviin tuotteisiin, jotta saadaan muodostettua kokonaisvaltainen kuva prototyypin toimivuudesta. Vertailtavia asioita ovat painehäviö, vedenerotuksen ja painehäviön välinen yhteys sekä savukokeiden tulosten yhteys painehäviöön.

5.1 Tulosten vertailu

Aluksi verrataan vaihtoehtojen painehäviöiden tuloksia toisiinsa, jolloin nähdään millä laitteen vaihtoehdolla on pienin painehäviö. Kuvassa 40 on esitetty kaikkien mitattujen vaihtoehtojen painehäviö tilavuusvirran funktiona. Kuvaajasta nähdään, että pienin painehäviö oli vaihtoehdolla 3, jossa oli pohja alhaalla ja katto alhaalla. Suurin painehäviö oli vaihtoehdolla 4, jossa oli pohja ylhäällä ja katto alhaalla.



KUVA 40. vaihtoehtojen vertailu toisiinsa

Painehäviömittausten perusteella huomataan, että painehäviö on selvästi pienempi silloin kun pohja on alhaalla ja selvästi suurempi silloin, kun pohja on ylhäällä. Kuvasta 40 nähdään, että pohjan korkeusasema laitteen sisällä jakaa tulokset kahteen eri ryhmään. Pienemmän painehäviön ryhmään kuuluvat vaihtoehtojen 1 ja 3 tulokset, joissa pohja on alhaalla. Suuremman painehäviön ryhmään kuuluvat vaihtoehtojen 2, 4 ja 5 painehäviötulokset, joissa pohja on ylhäällä.

Tarkasteltaessa tuloksia kahdessa ryhmässä huomataan, että vaihtoehtojen 1 ja 3 painehäviön välillä on pieni ero. Vaihtoehdossa 1 katto on ylhäällä, jolloin painehäviö on suurempi kuin vaihtoehdolla 3, jossa katto on 200 mm alempana. Tämän perusteella voidaan todeta, ettei prototyypin yläosaan synny ilmapatjaa, joka ohjaisi ilman paremmin ulospuhalluskäyriin. Kun pohja on kiinnitetty alas, ilmatilavuus käyrien liitoskohdan yläpuolella aiheuttaa vain enemmän pyörteilyä ja painehäviöitä. Savukokeiden perusteella voidaan myös nähdä, että pohjan ollessa alhaalla ilma lähtee ulospuhalluskäyristä tasaisemmin kuin pohjan ollessa ylhäällä. Prototyypin vedenpoistoaukoista tulee myös huomattavasti vähemmän savua, kun painehäviö on pienempi.

Ryhmässä jossa pohja on ylhäällä, huomataan, että painehäviö on suurin silloin, kun katto on alhaalla, ja pienempi silloin, kun kattoa nostetaan 100mm tai 200mm. Kattoa nostettaessa 100 millimetristä 200 millimetriin painehäviö ei juurikaan muutu, mutta kun katto on alhaalla, painehäviö kasvaa selvästi. Pohjan ollessa ylhäällä ja katon alhaalla vaihtoehdossa 4 laatikon ilmatilavuus on hyvin pieni, ja kanavaliitoksesta purkautuva ilma törmää heti kattoon. Ilmasuihku joutuu kääntymään todella jyrkästi sivulle ja alas ennen kuin pääsee ulospuhalluskäyrän kohdalle. Suuri määrä jyrkkiä suunnanmuutoksia pienessä tilassa aiheuttaa paljon painehäviötä. Pohjan ollessa ylhäällä savukokeissa huomattiin, että ilmavirta on paljon suurempi käyrien ulkoreunoilla kuin sisäreunalla. Prototyypin vedenpoistoaukoista tulee huomattavasti enemmän savua, kun painehäviö kasvaa.

Pohjan korkeusasema jakaa mittaukset myös kahteen osaan vedenerotuksen osalta. Pohjan ollessa alhaalla kanavaliitos näkyy ulospuhallusaukosta, tällöin on mahdollista, että vesipisara pääsee lentämään suoraan kanavan sisään. Pohjan ollessa ylhäällä laite on suunniteltu siten, että kanavaliitokseen ei näe mistään kulmasta ulospuhallusaukolta. Testien perusteella huomattiin, että pohjan ollessa alhaalla kanavaliitoksesta menee suuri määrä vettä sisään. Mittauksissa 26 ja 28 keräysastia täyttyi 2,5 minuutissa, jonka perusteella voidaan todeta, ettei laite toimi tarkoituksen mukaisesti, kun kanavaliitos on näkyvissä ulospuhallusaukolta. Kahdessa vedenerotustestissä, jotka tehtiin pohjan ollessa ylhäällä, kanavaliitoksesta meni sisään vain 10g roiskevettä. Kuvassa 41 näkyy keräysastian pohjalle kertynyt vesi, kun pohja oli ylhäällä. Keräysastiaan päässeeseen veden on täytynyt roiskua ulospuhalluskäyrän kaarteesta tai laitteen pohjalta, koska vesi on pisaroina astian pohjalla.



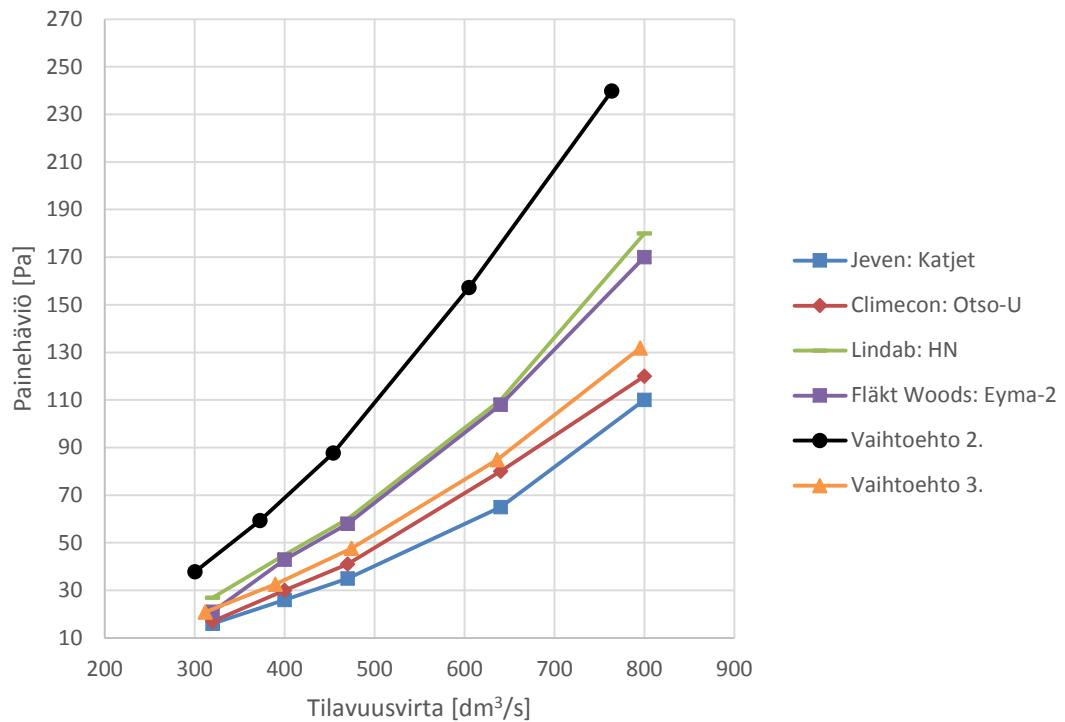
KUVA 41. Vesi pisaroina keräysastiassa, kun pohja on ylhäällä

Vedenerotustestin perusteella voidaan todeta, ettei katon korkeusasemalla ole vaikutusta prototyypin vedenerotukseen. Vaihtoehtojen 1 ja 3 vedenerotustestin perusteella nähdään, ettei vaihtoehto, jossa pohja on alhaalla, voi toimia ulospuhalluslaitteena sellaisenaan. Vaihtoehdot 2 ja 4 voisivat vedenerotuksen perusteella toimia ulospuhalluslaitteena. Vaihtoehdossa 5 muuttui vain katon korkeusasema, joten sen vedenerotuksen voidaan olettaa toimivan samoin kuin vaihtoehtojen 2 ja 4.

Mittausten tulosten perusteella voidaan todeta, että vedenerotuskyvyllä ja painehäviöllä on selkeä yhteys. Painehäviö saadaan todella pieneksi, jos vedenerotuksesta ei välitetä. Ulospuhallushajottajan tarkoitus on kuitenkin estää veden pääsemisen kanavaan, joten vedenerotukseen tulee kiinnittää huomiota laitetta suunniteltaessa. Jatkettaessa kehitystyötä vedenerotus tulee pitää tärkeimpänä asiana laitteen toimivuuden kannalta.

Kun otetaan huomioon vedenerotustesti ja painehäviömittaus, saadaan valittua parhaaksi vaihtoehdoksi numero 2, jossa katto ja pohja ovat ylhäällä. Valinta tehtiin karsimalla pois vaihtoehdot, joissa vedenerotus ei toimi. Karsinnassa poistui vaihtoehdot 1 ja 3, joissa pohja on alhaalla. Kolmesta jäljelle jääneestä vaihtoehdosta parhaaksi valittiin se, jonka painehäviö on pienin. Vaihtoehtojen 2 ja 3 painehäviötä verrataan muihin

vastaaviin tuotteisiin kuvassa 42. Vaihtoehto 3 valittiin vertailuun, koska sillä on kokonaisuudessaan mittausten pienin painehäviö, vaikka ei läpäissytkään vedenerotustestiä.



KUVA 42. eri laitevalmistajien ulospuhalluslaitteiden painehäviön vertailu [9; 11; 12; 14.]

Vertailuun valittiin neljä eri valmistajien ulospuhalluslaitetta: Jeven Oy:n Katjet [9.], Climecon Oy:n Otso-U [11.], Lindab Oy:n HN [14.] ja Fläkt Woods Oy:n Eyma-2 [12]. Vertailuun valitut laitteet on esitelty aikaisemmin luvussa 2. Painehäviötiedot on saatu laitevalmistajien teknisistä esitteistä.

Kuvasta 42 nähdään, kuinka vaihtoehdon 2 painehäviö on huomattavasti suurempi kuin muiden vastaavien laitteiden painehäviö. Vaihtoehdon 3 painehäviö on hyvin lähellä muiden vertailuun otettujen ulospuhallushajottajien painehäviötä. Vaihtoehdon 3 ongelmana on kuitenkin riittämätön vedenerotus. Tämä tarkoittaa sitä, että laitteen tuotekehitystä on jatkettava, ennen kuin se on valmis markkinoille.

5.2 Virheentarkastelu

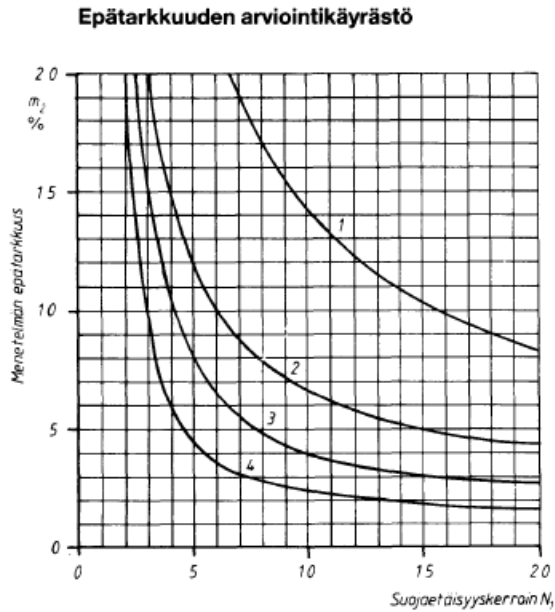
SFS-5512 standardi sanoo, että luotettavan virhearvioinnin edellytyksenä on suurten systemaattisten virheiden eliminointi. Suuria systemaattisia virheitä on esimerkiksi mittalaitteen ja mittausmenetelmän käyttö väärin sekä vanhentunut mittarin kalibrointi. Kun suuret systemaattiset virheet on eliminoitu, jäljelle jäävät ainoastaan satunnaisvirheet ja pienet systemaattiset virheet. Näiden jäljelle jäävien virheiden suuruutta arvioidaan suhteellisen epätarkkuuden kaavan 5 avulla. [16, s. 9.]

$$m = \pm \sqrt{a_1 \cdot m^2 + a_2 \cdot m_2^2 \dots + a_n m_n^2}, \quad (5)$$

,jossa m = mittauksen suhteellinen epätarkkuus
 m_1, m_2, \dots, m_n = tekijöiden suhteelliset epätarkkuudet
 a_1, a_2, \dots, a_n = tekijän vaikutuskerroin

Painehäviömittauksissa suuret systemaattiset virheet eliminointiin mittaamalla dynaamista ja staattista painetta statiiviin kiinnitetyn pitot-putken ja tallentavan mikromanometrin avulla. Mikromanometri tallensi jokaisesta mittauspisteestä paine-eron sekunnin välein minuutin ajalta, jonka jälkeen pitot-putkea siirrettiin seuraavaan pisteeseen. Jokaisen painemittauksen arvo saatiin laskemalla 300 mittauksen keskiarvo. Käytetyn mikromanometrin kalibrointitodistus on vanhentunut noin puolivuotta ennen mittauksia, mutta lukemia verrattiin kahden muun mikromanometrin antamiin arvoihin ja kaikkien tulokset olivat hyvin lähellä toisiaan. Virheen tarkastelussa voidaan todeta, että suuret systemaattiset virheet on eliminoitu.

Painehäviömittauksissa menetelmän epätarkkuus saadaan lukemalla SFS-5512 standardista löytyvältä epätarkkuuden arviointikäyrästä. Epätarkkuuden arviointikäyrästä on kuvassa 43. Suojaetäisyyskerron tässä tapauksessa oli $N=8$ ja menetelmänä käytettiin viiden pisteen menetelmää, joka luetaan käyrältä 2. Tietojen perusteella saadaan luettua käyrältä menetelmän epätarkkuudeksi 8 %. Virheentarkastelussa menetelmän epätarkkuuden vaikutuskerroin on 1. [16.]



KUVA 43. Epätarkkuuden arviointikäyrästä [16. s. 6.]

Mitattaessa paine-eroa mikromanometrillä ja pitot-putkella mittausepätarkkuus tulee manometrin epätarkkuudesta [16, s. 13]. Manometrin epätarkkuus on ilmoitettu valmistajan tekemässä esitteessä. TSI TA-465 ilman virtausnopeuden mittarille painemittaus-tarkkuus on $\pm 1\%$ [21, s. 40]. Mittausepätarkkuuden vaikutuskerroin on 1.

Tietojen perusteella saadaan laskettua mittausten suhteellinen epätarkkuus kaavan 5 avulla. Mittausten suhteelliseksi epätarkkuudeksi saadaan tällöin $\pm 8,06\%$. Tämän tiedon avulla voidaan laskea jokaiselle painemittaukselle todelliset virheet. Painehäviömittausten tulokset virherajoihin on esitetty taulukoissa 6, 7, 8, 9 ja 10. Virheen voidaan todeta olevan tarpeeksi pieni prototyypin painehäviön tarkastelemiseksi.

Painehäviön mittauspiste sijaitsi 520mm ennen prototyypin liitosta, joten suora kanava osuus aiheuttaa hieman painehäviötä. Kitkavastuksen aiheuttama painehäviö on huomioitu jo mittausmenetelmissä, jolloin sen todettiin olevan maksimissaan 1,5 Pa mittauksissa käytettävillä ilmavirroilla. Kitkavastuksen aiheuttaman painehäviön voidaan todeta olevan niin pieni, ettei sillä ole vaikutusta tuloksiin.

TAULUKKO 6. Painehäviömittausten 1-5 tulokset virherajoineen

Kokonaisvirhe		Vaihtoehto 1.	
Mittaus nro.	Dynaaminen paine [Pa]	Tilavuusvirta [dm ³ /s]	Painehäviö [Pa]
1	62,3 ± 5,0	786,0 ± 32	144,6 ± 12,0
2	36,9 ± 3,0	604,9 ± 24	94,7 ± 8,0
3	20,3 ± 2,0	448,6 ± 18	53,2 ± 5,0
4	13,8 ± 1,2	369,9 ± 15	37,1 ± 3,0
5	8,1 ± 0,7	283,4 ± 12	24,7 ± 2,0
	Kanavanopeus [m/s]	Ulospuhallusnopeus [m/s]	
1	10,1 ± 0,4	8,4 ± 0,3	
2	7,8 ± 0,3	6,5 ± 0,3	
3	5,8 ± 0,2	4,8 ± 0,2	
4	4,7 ± 0,2	4,0 ± 0,2	
5	3,6 ± 0,1	3,0 ± 0,1	

TAULUKKO 7. Painehäviömittausten 6-10 tulokset virherajoineen

Kokonaisvirhe		Vaihtoehto 2.	
Mittaus nro.	Dynaaminen paine [Pa]	Tilavuusvirta [dm ³ /s]	Painehäviö [Pa]
6	58,8 ± 5,0	763,6 ± 31	239,8 ± 20
7	36,9 ± 3,0	604,9 ± 24	157,2 ± 13
8	20,8 ± 2,0	454,1 ± 18	87,7 ± 8
9	14 ± 1,2	372,6 ± 15	59,4 ± 5
10	9,1 ± 0,8	300,4 ± 12	37,8 ± 4
	Kanavanopeus [m/s]	Ulospuhallusnopeus [m/s]	
6	9,8 ± 0,4	8,2 ± 0,3	
7	7,8 ± 0,3	6,5 ± 0,3	
8	5,8 ± 0,2	4,9 ± 0,2	
9	4,8 ± 0,2	4,0 ± 0,2	
10	3,9 ± 0,2	3,2 ± 0,1	

TAULUKKO 8. Painehäviömittausten 11–15 tulokset virherajoiheen

Kokonaisvirhe		Vaihtoehto 3.	
Mittaus nro.	Dynaaminen paine [Pa]	Tilavuusvirta [dm ³ /s]	Painehäviö [Pa]
11	63,8 ± 6,0	795,4 ± 32	131,9 ± 11,0
12	40,8 ± 4,0	636 ± 26	84,9 ± 7,0
13	22,7 ± 2,0	474,4 ± 19	47,7 ± 4,0
14	15,3 ± 1,3	389,5 ± 16	32,6 ± 3,0
15	9,8 ± 0,8	311,7 ± 13	20,9 ± 2,0
	Kanavanopeus [m/s]	Ulospuhallusnopeus [m/s]	
11	10,2 ± 0,4	8,5 ± 0,3	
12	8,2 ± 0,3	6,8 ± 0,3	
13	6,1 ± 0,2	5,1 ± 0,2	
14	5,0 ± 0,2	4,2 ± 0,2	
15	4,0 ± 0,2	3,3 ± 0,1	

TAULUKKO 9. Painehäviömittausten 16–20 tulokset virherajoiheen

Kokonaisvirhe		Vaihtoehto 4.	
Mittaus nro.	Dynaaminen paine [Pa]	Tilavuusvirta [dm ³ /s]	Painehäviö [Pa]
16	57,6 ± 5,0	755,7 ± 30	265,4 ± 22,0
17	36,7 ± 3,0	603,2 ± 24	171 ± 14,0
18	20,4 ± 2,0	449,8 ± 18	95,6 ± 8,0
19	13,9 ± 1,2	371,2 ± 15	65,3 ± 6,0
20	8,8 ± 0,8	295,4 ± 12	41,7 ± 4,0
	Kanavanopeus [m/s]	Ulospuhallusnopeus [m/s]	
16	9,7 ± 0,4	8,1 ± 0,3	
17	7,7 ± 0,3	6,5 ± 0,3	
18	5,8 ± 0,2	4,8 ± 0,2	
19	4,8 ± 0,2	4,0 ± 0,2	
20	3,8 ± 0,1	3,2 ± 0,1	

TAULUKKO 10. Painehäviömittausten 21–25 tulokset virherajoiheen

Kokonaisvirhe		Vaihtoehto 5.	
Mittaus nro.	Dynaaminen paine [Pa]	Tilavuusvirta [dm ³ /s]	Painehäviö [Pa]
21	58 ± 5,0	758,4 ± 30,0	238,7 ± 20,0
22	36,7 ± 3,0	603,2 ± 24,0	153,5 ± 13,0
23	20,8 ± 2,0	454,1 ± 18,0	86,2 ± 7,0
24	14,1 ± 1,2	373,9 ± 15,0	58,4 ± 5,0
25	8,9 ± 0,8	297,1 ± 12,0	37,3 ± 4,0
	Kanavanopeus [m/s]	Ulospuhallusnopeus [m/s]	
21	9,7 ± 0,4	8,1 ± 0,3	
22	7,7 ± 0,3	6,5 ± 0,3	
23	5,8 ± 0,2	4,9 ± 0,2	
24	4,8 ± 0,2	4,0 ± 0,2	
25	3,8 ± 0,2	3,2 ± 0,1	

Vedenerotustestissä voidaan todeta, että kaikkia suurta systemaattista virhettä aiheuttavia tekijöitä ei ole poistettu. Vaa'an kalibrointi on 8 vuotta vanha, ja vaa'an tarkkuus on $\pm 10g$. Vedenerotustestin pääasiallisena tarkoituksena oli kuitenkin saada tietoa, meneekö kanavaan lainkaan vettä ja miten eri säätöasennot vaikuttavat asiaan. Suihkusuuttimien virtaama mitattiin mitta-astian ja sekuntikellon avulla, jolloin virhe muodostuu ajanottajan reaktiokyvystä ja mitta-astian tilavuuden virheestä. Mittauksessa reaktion voidaan arvioida olevan $\pm 0,5$ sekuntia ja mitta-astian tilavuuden virheen $\pm 0,1 \text{ dm}^3$. Vinosti suihkuttavan suuttimen virtaama on tällöin virherajoiheen $0,171 \pm 0,004 \text{ dm}^3/\text{s}$ ja suoraan suihkuttavan suuttimen virtaama virherajoiheen on $0,195 \pm 0,004 \text{ dm}^3/\text{s}$.

6 POHDINTA

Painehäviöiden suuruus tuli yllätyksenä, varsinkin vaihtoehdoissa, joissa pohja oli ylhäällä. Tulosten perusteella voidaan sanoa, että ulospuhalluslaitteen painehäviö pienee, kun ulospuhallusaukot sijoitetaan laitteen yläreunaan. Alareunaan sijoitetut ulospuhallusaukot kasvattavat painehäviöitä, koska laitteen yläosaan ei muodostu tässä tapauksessa ilmapatjaa, joka ohjaisi ilmaa laitteen sisällä. Ulospuhallusaukkojen sijoittaminen alareunaan kuitenkin parantaa laitteen vedenerotuskykyä huomattavasti, kuten oli suunniteltu.

Vedenerotustestien tulokset kertoivat sen, että laitteen kanavaliitokseen ei voi olla suoraa näköyhteyttä, koska silloin vedellä on mahdollisuus päästä kanavaan. Todella rankan sateen aikana on myös mahdollista, että vesi kerääntyy yhteen jo ulospuhalluskaarteissa ja roiskuu liike-energiansa ansiosta keskemälle, eikä valu alas seiniä pitkin. Roiskuminen tulee estää käyrien alaosaan sijoitetuilla seinämillä tai liitoskauluksen ympärille rakennetulla seinällä.

Prototyypin avulla saatiin tietoa kuinka ulospuhalluskäyrien liitospaikka laitteen sisällä vaikuttaa painehäviöön. Nyt on mahdollista jatkaa laitteen kehitystä joko vedenerotusta parantamalla tai painehäviöitä pienentämällä. Jos lähdetään parantamaan vedenerotusta, ulospuhalluskäyrät kiinnitetään laitteen yläosaan. Siinä tapauksessa tulee keksiä keinot estää veden roiskuminen ulospuhalluskäyristä laitteen keskelle ja estää veden sataminen suoraan kanavaliitokseen. Jos lähdetään pienentämään painehäviöitä, ulospuhalluskäyrät kiinnitetään laitteen alaosaan. Tällöin laitteeseen tulee keksiä ohjaussii- vet, jotka ohjaavat ulospuhallettavan ilman suoraan ulospuhalluskäyriin.

Opinnäytetyön aikana heränneitä jatkotutkimustarpeita ovat ulospuhalluslaitteiden jää- tymiseen liittyvät ongelmat ja ratkaisut. Esimerkiksi ulospuhallusnopeuden ja valmis- tusmateriaalien vaikutus jään kerääntymiseen. Toinen jatkotutkimustarve olisi kerätä yhteen matemaattiset mallit, joiden avulla voidaan arvioida jäteilman liikkumista ja se- koittumista rakennuksen katolla.

7 JÄTEILMAN ULOSPUHALLUKSEN SUUNNITTELU

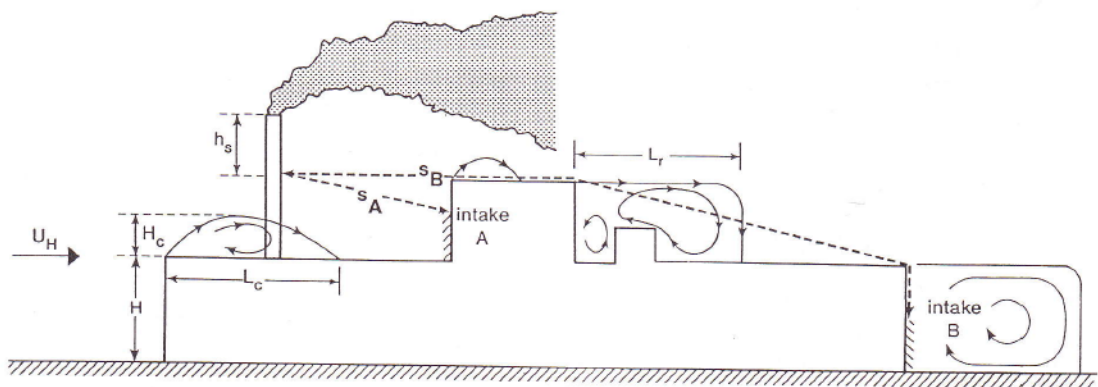
Suomen rakennusmääräyskokoelman osasta D2 löytyvät määräykset ja ohjeet jäteilman ulospuhallukseen rakennuksesta [1]. Määräykset ovat aina minimivaatimuksia, mutta minimivaatimuksilla ei kaikissa kohteissa saavuteta haluttua lopputulosta. Jos halutaan tehdä mahdollisimman toimiva ratkaisu kohteeseen, tulisi kaikkiin ulospuhallukseen ja ilman sisäänottoon vaikuttaviin asioihin kiinnittää huomiota. Suunnittelijan tulisi kiin- nittää huomiota jäteilmaluokkaan, ulospuhalluslaitteen korkeuteen, ulospuhallusnopeu- teen, rakennuksen tuuliesteisiin, tuulensuuntaan ja -nopeuteen, ulospuhalluslaitteen ma- teriaaliin ja painehäviöön sekä laitteen aiheuttamaan ääneen.

7.1 Jäteilmaluokka

Jäteilmaluokka tulee selvittää ensimmäisenä, kun lähdetään suunnittelemaan ulospuhalluslaitteen sijoitusta katolle. Jäteilman luokitus vaikuttaa minimivaatimukseen ulospuhalluslaitteen sijoituksessa. Jäteilma tulisi kuitenkin mahdollisuuksien mukaan puhaltaa ulos yhdestä kohdasta rakennuksen katolla. Jos rakennuksessa on useita ilmanvaihtojärjestelmiä, tulisivat ulospuhalluslaitteet sijoittaa tiiviiseen ryppääseen. Kun ulospuhalluslaitteet ovat tiiviissä ryppäässä, ilmasuihkut yhdistyvät ja liike-energia kuljettaa jäteilmaa pidemmälle. Ryppääseen sijoitettujen jäteilmalaitteiden takia ilman sisäänotto voidaan sijoittaa mahdollisimman kauas ulospuhalluslaitteista. [15]

7.2 Ulospuhalluslaitteen korkeus

Ulospuhallushajottajan korkeuteen tulee myös kiinnittää huomiota. Suomen rakennusmääräyskokoelmien osa D2 määrää, että ulospuhalluslaite on sijoitettava 900 mm tasaisen kattopinnan yläpuolelle. Jyrkällä harjakatolla etäisyys voi olla pienempi, jos lumen kertyminen estetään lumiestein. [1, s. 13.] Ulospuhalluslaite tulisi kuitenkin sijoittaa rakennuksen katon korkeimmalle osalle tai nostaa korkeimman osan yli, jotta vältettäisiin katolla syntyvät pyörteet ja jäteilman ajautuminen takaisin katolle. Kuvassa 44 on nähtävissä katolle syntyvät pyörrealueet. Tuuli pääsee vaikuttamaan jäteilmaan heti, kun se lähtee jäteilma-aukosta, joten ulospuhallushajottaja kannattaa nostaa mahdollisimman korkealle. [15.]



KUVA 44. Jäteilmalaitteen korkeus [15.]

Kuvassa 44, U_H = tuulen nopeus ja suunta

H_c = katon reunalle syntyvän pyörrealueen korkeus

h_s = ulospuhallushajottajan korkeus rakennuksen korkeimman osan yläpuolella

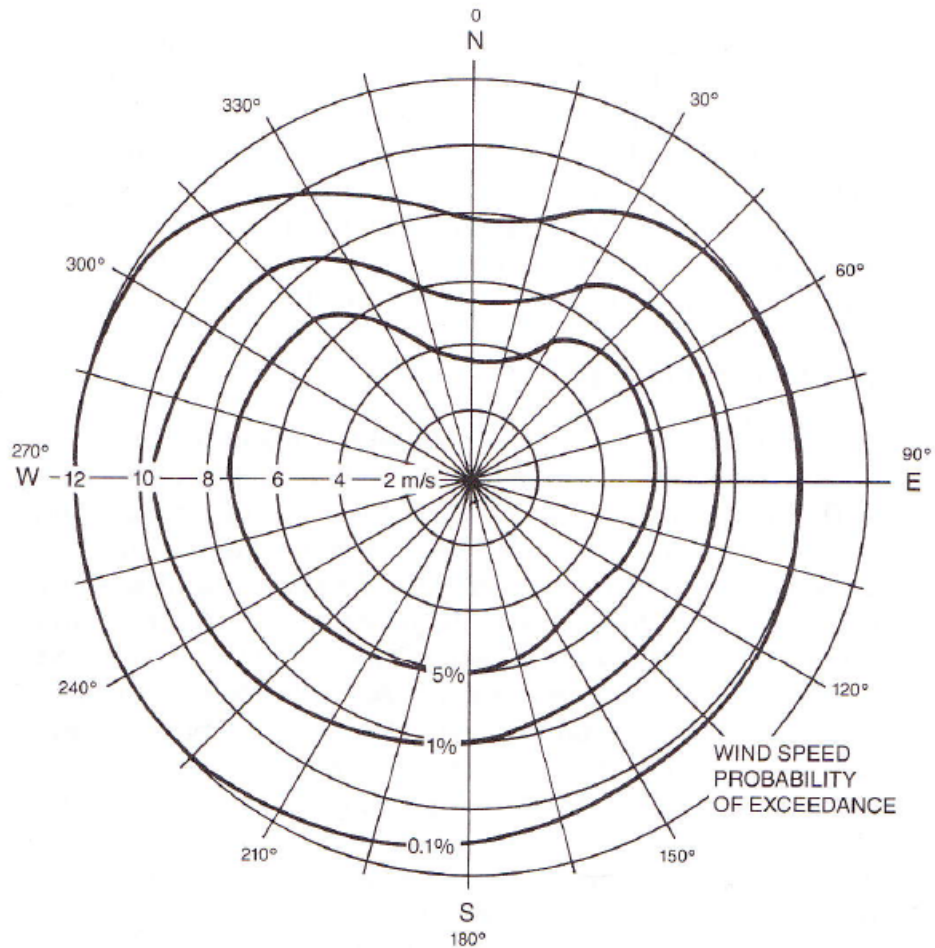
s_A ja s_B = matkoja ulospuhallushajottajasta ilman sisäänottoihin

7.3 Ulospuhallusnopeus

Ulospuhallusnopeudella voidaan vaikuttaa ulospuhalluslaitteen sijoitukseen. Suomen rakennusmääräyskokoelmien osassa D2 on mainittu, että ylöspäin suunnatun ulospuhalluslaitteen korkeuden voi laskea pisteestä, joka on $1/3$ ulospuhallusnopeuden numeroarvosta m/s [1, s. 13]. Korkea ulospuhallusnopeus ja jäteilmän lämpötila kasvattavat jäteilmasuihkun nousua korkeammalle ja vähentävät jäteilmän ajautumista raitisilman sisäänottoihin. Ulospuhallusnopeuden kasvattaminen ei ole kuitenkaan niin hyvä vaihtoehto kuin ulospuhallushajottajan nostaminen mahdollisimman korkealle [15]. Ulospuhalluslaitteena suositellaan käytettäväksi malleja joissa vedenerotuksesta on huolehdittu. Jos käytetään malleja joissa vedenerotusta ei ole huomioitu, tulee ulospuhallusnopeuden olla vähintään 15 m/s, joten nämä eivät sovi järjestelmiin joissa on muuttuva ilmavirta tai ilmanvaihtokoneet ovat osan ajasta pysäytettyinä [15]. Kun ulospuhalluslaitteen vedenerotuksesta on huolehdittu, suositeltava ulospuhallusnopeus on 8-10 m/s.

7.4 Tuulen vaikutus

Tuulen suunnasta ja nopeuksista on usein kerätty tilastotietoa rakennuksen lähialueilta, varsinkin jos rakennus sijaitsee kaupungissa, jossa on lentokenttä tai ilmastontarkkailuasema [15]. Vaativissa kohteissa olisi hyvä tehdä kuvan 45 mukainen tuulen suunnan ja nopeuden arviointikäyrästä. Kuvaajasta käy ilmi tuulen nopeuden ja suunnan esiintymismahdollisuudet, jolloin voidaan sijoittaa ulospuhallushajottaja parhaaseen paikkaan suhteessa raitisilman sisäänottoon. Suuret tuuliesteet ja rakennuksen korkeus tulee huomioida arviointia tehdessä. Todella vaativissa kohteissa, joissa terveys ja turvallisuus riippuvat ulospuhalluksen toimivuudesta, olisi syytä tehdä tuulitunnelitesteit pienoismallien avulla [15].



KUVA 45. Esimerkki tuulennopeuden ja -suunnan arviointikäyrästä [15.]

Rakennuksen katon mallista ja ympäröivistä tuuliesteistä riippuu, mihin ulospuhallushajottaja kannattaa sijoittaa katolla. Jos rakennuksella ei ole ympärillä tuuliesteitä, kuten suuria rakennuksia, katon reunoille saattaa tuulen vaikutuksesta syntyä pyörrealueita, kuten kuvassa 44 on esitetty. Tällöin ulospuhallushajottajat kannattaa sijoittaa mahdollisimman keskelle rakennusta, jotta vältetään pyörrealueet ja jäteilman takaisin virtaaminen. Jos rakennuksen vierellä on suurempia rakennuksia tuulensuojana, voi olla parempi sijoittaa ulospuhallushajottajat rakennuksen reunalle. Pyörrealueita ei pääse tällöin syntymään sille reunalle, joka on tuulensuojassa. [8.] Jos ulospuhalluslaitteet sijoitetaan rakennuksen reunalle, on varmistettava että rakennusmääräysten minimietäisyydet naapurirakennuksiin ja -tonttiin täyttyvät.

7.5 Laitteen aiheuttama ääni

Laitteen aiheuttama ääni ympäristöön kasvaa, kun lisätään ulospuhallusnopeutta. Laittevalmistajat ilmoittavat äänenpainetason oktaavikaistoittain tai A-painotettuna äänitasona tietyllä etäisyydellä. Erittäin vaativissa kohteissa voi joutua miettimään lisävaimennusta. Kun selvitetään vaimennustarvetta, käytetään valmistajan esitteistä löytyviä äänenpainetasoja. Kun tiedetään äänenpainetaso äänilähteen keskipisteessä, selvitetään etäisyys tarkastelupisteeseen. Kaavojen 6 ja 7 avulla voidaan laskea tarkastelupisteeseen tuleva äänenpainetaso. Seuraavaksi selvitetään mahdolliset heijastavat pinnat ja yhdistetään äänenpainetasot, jotka tulevat eri heijastuspintojen kautta tarkastelukohtaan. Sallittava äänenpainetaso on tavallisesti 45 dB(A). Jos sallittu äänenpainetaso tarkastelu pisteessä ylittyy, voidaan asettaa suojaesteitä tai pienentää ulospuhallusnopeutta. Yleisesti kannattaa kuitenkin välttää ulospuhallushajottajien sijoittamista oleskelu ja kulkutilojen läheisyyteen, jotta meluhaitat saataisiin minimoitua. [4]

$$L_p = 10 \log \frac{I}{I_0} \text{ dB} \quad (6)$$

,jossa L_p = äänenpainetaso [dB]

I = äänen intensiteetti tarkastelukohdassa [W/m^2]

I_0 = äänen intensiteetti referenssitasolla eli kuulokynnyksellä ($10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$)

$$I = \frac{W}{4\pi r^2} \quad (7)$$

,jossa W = äänilähteen teho [W]

r = etäisyys tarkasteltavaan pisteeseen [m]

7.6 Ulospuhalluslaitteen valinta

Oikean ulospuhallushajottajan valitseminen kohteeseen on tärkeää, jotta välttyään ongelmilta. Jos rakennuskohde ei aiheuta erityisvaatimuksia kestävyiden ja jäätymiseneston kanssa, tulisi ulospuhallushajottaja valita kohteeseen pienen painehäviön tai rakennukseen sopivan ulkonäön perusteella. Ulospuhallushajottajan materiaalin valinta vaikuttaa laitteen kestävyteen ja mahdolliseen jäätymiseen. Kokemusten perusteella paremmin lämpöä johtavasta materiaalista valmistetut ulospuhalluslaitteet eivät jäädy niin

herkästi kuin materiaalit, jotka johtavat lämpöä huonosti. Rakennuksiin, joista poistetaan jäteilman mukana hyvin kosteaa ilmaa, kannattaa valita ulospuhallushajottaja jonka lämmönjohtokyky on hyvä.

Jäteilman laatu, yhdessä ulkoisten tekijöiden kanssa vaikuttavat ulospuhalluslaitteen käyttöikään. Teollisuus- ja laboratoriokäytössä tulee valita oikea materiaali ulospuhalluslaitteelle, jos jäteilma sisältää mahdollisesti syövyttäviä yhdisteitä. Moni laitevalmistaja pystyy valmistamaan ulospuhalluslaitteen myös haponkestävästä teräksestä. Merenrantaan rakentaessa tulee huomioida suolaveden vaikutus ulospuhallushajottajan materiaaliin. Tällöin voidaan käyttää merialumiinista valmistettuja laitteita. Jos ulospuhallushajottajalta vaaditaan erityistä kestävyyttä tai jäätymisenestoa, kannattaa ottaa yhteyttä laitevalmistajiin, jolloin saa parhaan mahdollisen ratkaisun kohteeseen.

Alati tiukentuvat energiamääräykset ajavat käyttämään aina vain pienemmällä painehäviöllä toimivia päätelaitteita. Jos ulospuhalluslaitteeksi valitaan kuitenkin sellainen laite, joka ei estä kaikkea vettä pääsemästä kanavistoon, tulee kanavaan tehdä viemärointi Suomen rakennusmääräysten mukaan [1, s. 21]. Toimivin vaihtoehto on kuitenkin valita jäteilmakanavan päähän sellainen ulospuhallushajottaja, joka ei päästä vettä tai lunta kanavaan missään tilanteessa.

LÄHTEET

1. Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, määräykset ja ohjeet 2012.
2. Jeven Oy.Ufojet – Jäätymätön ulospuhallushajottaja. www-dokumentti, http://www.jeven.fi/mvhome/home-page_item_view.html?id=00001009&did=298&lang=fi&page_category_id=75350 [ei päivitystietoja. viitattu 18.02.2014].
3. Jeven Oy, Pyramid – Ulospuhallushajotin. www-dokumentti, http://www.jeven.fi/mvhome/home-page_item_view.html?id=0000583&did=298&lang=fi&selected_item_id=0&page_category_id=75350. [ei päivitystietoja. viitattu 18.02.2014].
4. Ilmastoinnin Suunnittelu, Suomen LVI-liitto, Olli Seppänen. Forssa 2004.
5. Taulukkokirja MAOL, Matematiikka, fysiikka, kemia. Uudistettu painos 1.-4. Keuruulla 1993.
6. Climecon Oy, UPA-esite. www-dokumentti, www.climecon.fi/download.php?liite_id=9602. [ei päivitystietoja. viitattu 19.02.2014]
7. VTT-tiedote, Jäteilman seinäpuhallus asuinkerrostaloissa. Veijo Siitonen, Jorma Heikkinen, Keijo Kovanen, Marianna Luoma ja Mikko Saari. Espoo 1994.
8. The effect of stack height, stack location and rooftop structures on air intake contamination. Ted Stathopoulos, Louis Lazure, Patrick Saathoff, Amit Gupta. www-dokumentti, <http://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-392-Abst-TbleCont.pdf>. [Julkaistu joulukuussa 2004. Viitattu 19.02.2014].
9. Katjet-esite, www-dokumentti, http://www.jeven.fi/mvhome/home-page_image.html?img_id=1283&did=298&lang=fi&selected_item_id=0&page_category_id=75350. [Ei päivitystietoja, viitattu 26.3.2014]
10. Katjet mittatiedot ja pikamitoitus. www-dokumentti, http://www.jeven.fi/mvhome/home-page_item_view.html?id=0000579&did=298&lang=fi&selected_item_id=0&page_category_id=75350. [Ei päivitystietoja, viitattu 26.03.2014]
11. Climecon Oy. Otso esite. www-dokumentti, http://www.climecon.fi/download.php?liite_id=9550. [Ei päivitystietoja, Viitattu 18.03.2014]

12. Fläkt Woods Oy. Ulospuhallushajotin Eyma-2 ja ilmanotto-laite Dyma-1 tekni-
nen esite. www-dokumentti, <http://www.flaktwoods.fi/28f827c7-962f-45b8-83f2-164986476089>. [muokattu 21.11.2012, Viitattu 18.03.2014]
13. Fläkt Woods Oy. Ulospuhallushajotin Eyma-2 ja ilmanotto-laite Dyma-1 asen-
nusohje. www-dokumentti, <http://www.flaktwoods.fi/b9a4663f-3eb2-4452-be96-6cd43d4d15a2>. [muokattu 6.3.2009, Viitattu 28.04.2014]
14. Lindab Oy. HN-ulospuhallushajottaja. www-dokumentti, <http://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/ads/fin/technical/hn.pdf>.
[muokattu 10.04.2012, Viitattu 18.03.2014]
15. ASHRAE handbook, Fundamentals, American Society of heating, Refrigerat-
ing and Air Conditioning Engineering, Inc. Toinen pianos, Mexico 1989.
16. Standardi SFS-5512, Ilmastointi. Ilmavirtojen ja painesuhteiden mittaus ilmas-
tointilaitoksissa. Vahvistettu 20.03.1989
17. Standardi SFS-5511, Ilmastointi. Rakennusten sisäilmasto. Lämpöolojen kent-
tämittaukset. Vahvistettu 20.03.1989
18. Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D1. Kiinteistöjen vesi- ja viemäri-
laitteistot, määräykset ja ohjeet 2007.
19. World Meteorological Organization. Global Weather and Climate Extremes,
www-dokumentti, <http://wmo.asu.edu/>. [Ei päivitystietoja, viitattu
12.03.2014].
20. Martin, Magnum 1200 user manual. www-dokumentti, [http://av-
deal.nl/productinfo/martin/magnum1800/magnum1800manual/](http://av-deal.nl/productinfo/martin/magnum1800/magnum1800manual/). [muokattu
20.04.2007, viitattu 12.03.2014]
21. TSI, Virtausnopeuden mittari TA-465. www-dokumentti,
[http://www.tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Manu-
als/AIRFLOW_TA465_FI_6005362.pdf](http://www.tsi.com/uploadedFiles/_Site_Root/Products/Literature/Manuals/AIRFLOW_TA465_FI_6005362.pdf). [2011. Viitattu 7.3.2014]

TSI-TA465 Kalibrointitodistus



CERTIFICATE OF CALIBRATION AND TESTING

TSI Instruments Ltd, Stirling Road, Cressex Business Park
High Wycombe Bucks HP12 3ST England

Tel: (Int +44) (UK 0) 1494 459200 Fax: (Int +44) (UK 0) 1494 459700 http://www.airflowinstruments.co.uk

ENVIRONMENT CONDITION			MODEL	TA465-P
TEMPERATURE	21.8	°C	SERIAL NUMBER	TA4651242009
RELATIVE HUMIDITY	44.58	%RH		
BAROMETRIC PRESSURE	990.5	hPa		

<input checked="" type="checkbox"/> AS LEFT	<input checked="" type="checkbox"/> IN TOLERANCE
<input type="checkbox"/> AS FOUND	<input type="checkbox"/> OUT OF TOLERANCE

- CALIBRATION VERIFICATION RESULTS -

THERMO COUPLE				SYSTEM PRESSURE02-01				Unit: °C
#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	
1	20.8	20.8	19.7-21.9					

DIFFERENTIAL PRESSURE				SYSTEM PRESSURE02-01				Unit: Pa
#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	
1	-996.5	-996.2	-1007.5--985.5	3	2018.9	2018.6	1997.7-2040.1	
2	544.1	543.6	537.6-550.5	4	3481.3	3480.0	3445.4-3517.1	

BAROMETRIC PRESSURE				SYSTEM PRESSURE02-01				Unit: hPa
#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	#	STANDARD	MEASURED	ALLOWABLE RANGE	
1	668.5	668.5	655.3-681.7	3	1181.8	1181.8	1158.1-1205.6	
2	995.3	995.3	975.3-1015.2					

TSI does hereby certify that the above described instrument conforms to the original manufacturer's specification (not applicable to As Found data) and has been calibrated using standards whose accuracies are traceable to members of the European co-operation for Accreditation (EA) (for example: UKAS, SWEDAC, DAkkS) or has been verified with respect to instrumentation whose accuracy is traceable to some member of EA, or is derived from accepted values of physical constants. TSI's calibration system is registered to ISO-9001:2008 and meets the requirements of ISO 10012:2003.

Measurement Variable	System ID
Pressure	E006004
Pressure	E006030

Measurement Variable	System ID
DC Voltage	E006008
Temperature	E006006

M. S. Sumner

30 OCT 2012

Mittauspöytäkirjat

Mittauspöytäkirja	28.2.2014 Ville Lehmusvuori		
UlospuhallusPrototyyppi	Kanavaliitos Ø315		
Proto7	400x400x950 laatikko		
Vaihtoehto 1.	Pohja alhaalla, Katto ylhäällä		
Lämpötila [°C]	26		
Ilmanpaine [kPa]	101,1		
Ilman tiheys [kg/m ³]	1,225		
Puhaltimen asetus	Dynaaminenpaine [Pa]	Tilavuusvirta [dm ³ /s]	Painehäviö [Pa]
100 %	62,3	786,0	144,6
80 %	36,9	604,9	94,7
60 %	20,3	448,6	53,2
50 %	13,8	369,9	37,1
40 %	8,1	283,4	24,7
	Kanavanopeus [m/s]	Ulospuhallusnopeus [m/s]	
100 %	10,1	8,4	
80 %	7,8	6,5	
60 %	5,8	4,8	
50 %	4,7	4,0	
40 %	3,6	3,0	
Veden erotus	6.3.2014		
Kertyneen veden paino [g]	kommentit		
8000	Vettä alkoi tulvimaan kauluksen yli 2,5 min kohdalla.		
Savukoe	7.3.2014		
Suihku lähtee hyvin eteenpäin ja yhdistyy nopeasti keskellä,			
Vedenpoistoaukoista ei tule juurikaan savua.			

Mittauspöytäkirjat

Mittauspöytäkirja	4.3.2014 Ville Lehmusvuori		
UlospuhallusPrototyyppi	Kanavaliitos Ø315		
Proto7	400x400x950 laatikko		
Vaihtoehto 2.	Pohja ylhäällä, Katto ylhäällä		
Lämpötila [°C]	26		
Ilmanpaine [kPa]	101,1		
Ilman tiheys [kg/m ³]	1,225		
Puhaltimen asetus	Dynaaminenpaine [Pa]	Tilavuusvirta [dm ³ /s]	Painehäviö [Pa]
100 %	58,8	763,6	239,8
80 %	36,9	604,9	157,2
60 %	20,8	454,1	87,7
50 %	14	372,6	59,4
40 %	9,1	300,4	37,8
	Kanavanopeus [m/s]	Ulospuhallusnopeus [m/s]	
100 %	9,8	8,2	
80 %	7,8	6,5	
60 %	5,8	4,9	
50 %	4,8	4,0	
40 %	3,9	3,2	
Vedenerotus	6.3.2014		
Kertyneen veden paino [g]	kommentit		
10	Pohjassa olevat vedenpoistot ovat riittävät,		
	Kanavaan päässyt vesi on roiskevettä ulospuhalluskäyristä		
Savukoe	7.3.2014		
Suihku lähtee hyvin eteenpäin ja yhdistyy nopeasti keskellä,			
Savua tulee ulos vedenpoistoaukosta			

Mittauspöytäkirjat

Mittauspöytäkirja		5.3.2014 Ville Lehmusvuori	
UlospuhallusPrototyyppe		Kanavaliitos Ø315	
Proto7		400x400x950 laatikko	
Vaihtoehto 3.		Pohja alhaalla, Katto alhaalla	
Lämpötila	26		
Ilmanpaine	101,1		
Ilman tiheys	1,225		
Puhaltimen asetus	Dynaaminenpaine [Pa]	Tilavuusvirta [dm ³ /s]	Painehäviö [Pa]
100 %	63,8	795,4	131,9
80 %	40,8	636,0	84,9
60 %	22,7	474,4	47,7
50 %	15,3	389,5	32,6
40 %	9,8	311,7	20,9
		Kanavanopeus [m/s]	Ulospuhallusnopeus [m/s]
100 %	10,2	8,5	
80 %	8,2	6,8	
60 %	6,1	5,1	
50 %	5,0	4,2	
40 %	4,0	3,3	
Veden erotus	6.3.2014		
Kertyneen veden paino [g]	kommentit		
8000	Vettä alkoi tulvimaan kauluksen yli 2,5 min kohdalla.		
Savu			
Suihku lähtee hyvin eteenpäin ja yhdistyy nopeasti keskellä,			
Vedenpoistoaukoista ei tule juurikaan savua.			

Mittauspöytäkirjat

Mittauspöytäkirja	5.3.2014 Ville Lehmusvuori		
UlospuhallusPrototyyppi	Kanavaliitos Ø315		
Proto7	400x400x950 laatikko		
Vaihtoehto 4.	Pohja ylhäällä, Katto alhaalla		
Lämpötila [°C]	26		
Ilmanpaine [kPa]	101,1		
Ilman tiheys [kg/m ³]	1,225		
Puhaltimen asetus	Dynaaminenpaine [Pa]	Tilavuusvirta [dm³/s]	Painehäviö [Pa]
100 %	57,6	755,7	265,4
80 %	36,7	603,2	171
60 %	20,4	449,8	95,6
50 %	13,9	371,2	65,3
40 %	8,8	295,4	41,7
	Kanavanopeus [m/s]	Ulospuhallusnopeus [m/s]	
100 %	9,7	8,1	
80 %	7,7	6,5	
60 %	5,8	4,8	
50 %	4,8	4,0	
40 %	3,8	3,2	
Vedenerotus	6.3.2014		
Kertyneen veden paino [g]	kommentit		
10	Pohjassa olevat vedenpoistot ovat riittävät,		
	Kanavaan päässyt vesi on roiskevettä ulospuhalluskäyristä		
Savukoe	7.3.2014		
Suihku lähtee hyvin eteenpäin ja yhdistyy nopeasti keskellä,			
Savua tulee ulos vedenpoistoaukosta reilusti			

Mittauspöytäkirjat

Mittauspöytäkirja		10.3.2014 Ville Lehmusvuori	
UlospuhallusPrototyypin		Kanavaliitos Ø315	
Proto7		400x400x950 laatikko	
Vaihtoehto 5.		Pohja ylhäällä, Katto keskellä (100mm ylhäältä)	
Lämpötila [°C]	26		
Ilmanpaine [kPa]	101,1		
Ilman tiheys [kg/m ³]	1,225		
Puhaltimen asetus	Dynaaminenpaine [Pa]	Tilavuusvirta [dm³/s]	Painehäviö [Pa]
100 %	58	758,4	238,7
80 %	36,7	603,2	153,5
60 %	20,8	454,1	86,2
50 %	14,1	373,9	58,4
40 %	8,9	297,1	37,3
	Kanavanopeus [m/s]	Ulospuhallusnopeus [m/s]	
100 %	9,7	8,1	
80 %	7,7	6,5	
60 %	5,8	4,9	
50 %	4,8	4,0	
40 %	3,8	3,2	