

TUTKIMUSRAPORTTI

VTT-R-04957-15



Kuljetuskonttien tuulettumisaikojen mittaukset

Kirjoittajat: Tuula Kajolinna, Johannes Roine

Luottamuksellisuus: Julkinen

Raportin nimi Kuljetuskonttien tuulettumisaikojen mittaukset	
Asiakkaan nimi, yhteystiedot Työsuojelurahasto, Anne-Marie Kurka Annankatu 34 - 36 B 00100 Helsinki	Asiakkaan viite Hankennumero 114106
Projektin nimi TSR_Konttikaasu	Projektin numero/lyhytnimi 101498/TSR_Konttikaasu
Raportin laatija(t) Tuula Kajolinna, Johannes Roine	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 40/16
Avainsanat Kuljetuskontti, tuulettuminen, tuulettumisaika, merkkiaine	Raportin numero VTT-R-04957-15
Tiivistelmä <p>Projektin ”Työturvallisuutta vaarantavien kaasujen riskienhallintakeinojen tunnistaminen tavarankuljetuskonteissa” tavoitteena on parantaa viranomaisten ja muiden kuljetuskonttien parissa työskentelevien ammattiryhmien, jotka voivat altistua työssään konteissa esiintyvälle kaasumaisille kemikaaleille, työturvallisuutta. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli määrittää konttien tuulettumisaikoja eri tavoin pakatuille kuljetuskonteille eri lämpötiloissa ilman koneellista ilmanvaihtoa ja painovoimaisen tuuletuksen kanssa. Kontit oli testeissä pakattu kahdella tavalla; tiiviisti ja harvasti. Testeissä käytettiin kahta lämpötilasäädeltävää konttia, jotka oli pakattu uusilla tyhjillä pahvilaatikoilla. Tuulettumistapoina käytettiin painovoimaista tuuletusta, keskipakopuhallinta ja kahdessa testissä sivukanavapuhaltimia. Merkkiaineina käytettiin ilokaasua ja butaania. Tuloksista tarkasteltiin seuraavia asioita: merkkiaineiden käyttäytyminen testeissä, lastin tiiveyden vaikutus, kontin alkulämpötilan vaikutus, kontin ja ulkoilman välisen lämpötilaeron vaikutus, koneellisen ilmanvaihdon vaikutus ja pahvilaatikon tuulettuminen harvasti lastatussa kontissa.</p> <p>Merkkiaineiden käyttäytymisestä butaani tuulettui tiiviisti lastatussa kontista selvästi hitaammin kuin ilokaasu. Tiivis lasti hidasti tuulettumista jopa 60-kertaisesti verrattuna harvasti lastattuun konttiin. Kontin alkulämpötilan vaikutuksesta tuulettumiseen havaittiin, että kylmät kontit tuulettuivat hitaammin kuin lämpimät kontit. Keskipakopuhallin nopeutti selvästi konttien etuosan tuulettumista. Tutkimuksessa havaittiin myös, että verrattaessa keskipakopuhaltimella tuuletettuja ja painovoimaisesti tuuletettuja kontteja, keskipakopuhaltimella konttien keski- ja peräosien tuulettuminen ei juurikaan nopeutunut vaan se jopa hidastui. Imu- ja puhallustuuletuksista havaittiin, että puhaltamalla kontin peräosaan saavutettiin tehokkaampi tuulettuminen. Tyhjän pahvilaatikon sisäisen kaasupitoisuuden havaittiin tuulettuvan harvasti lastatussa kontissa kahden tunnin viiveellä kontin ilmatilaan verrattuna.</p>	
Luottamuksellisuus	Julkinen
Espoo 26.10.2015 Laatija	Hyväksyjä
Tuula Kajolinna, Tutkija	Jukka Lehtomäki, Tutkimustiimin päällikkö
VTT:n yhteystiedot PL 1000, 02044 VTT. Puh. vaihde 020 722 111. etunimi.sukunimi@vtt.fi	
Jakelu (asiakkaat ja VTT)	
<p>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</p>	

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo.....	2
1. Johdanto.....	3
2. Tavoite.....	3
3. Rajaukset.....	3
4. Mittausjärjestely.....	3
4.1 Kontit ja lastit.....	3
4.2 Merkkiaineet.....	6
4.3 Pitoisuusmittausmenetelmät.....	6
4.4 Koneellisen ilmanvaihdon testit.....	7
4.5 Testimatriisi.....	10
4.6 Konttien lämpötilat ja lämpötilaerot.....	11
4.7 Tulosten käsittelytapa.....	12
5. Tulokset.....	13
6. Tulosten tarkastelu.....	14
6.1 Lastin tiiveyden vaikutus.....	14
6.2 Merkkiaineiden käyttäytyminen testeissä.....	18
6.3 Kontin alkulämpötilan vaikutus.....	23
6.4 Kontin ja ulkolämpötilaeron vaikutus.....	25
6.5 Koneellisen ilmanvaihdon vaikutus.....	26
6.6 Pahvilaatikon tuulettuminen harvasti lastatun kontin etuosassa.....	34
7. Koontitaulukko eri tuulettumisajoista.....	35
8. Tulosten hyödyntäminen tuontikonttien lastin purkamisessa.....	36
9. Testausjärjestelmien mahdollinen vaikutus tuloksiin.....	37
10. Johtopäätökset ja jatkosuositukset.....	38
11. Yhteenveto.....	39
Lähdeviitteet.....	40
Liite 1	Tuulettumiskertoimet kuvina testeittäin tuulettumisajan funktiona
Liite 2	Tuulettumisajat taulukoina testeittäin tuulettumiskertoimen funktiona
Liite 3	Tuulettumiskertoimet merkkiainekohtaisesti konttien eri osissa

1. Johdanto

Kuljetuskonteissa esiintyviä kaasuja ei useinkaan voi havaita aistinvaraisesti. Nykyisin työntekijöiden altistumista yritetään välttää antamalla kontin tuulettaa ennen lastin purkamista tai tarkastamista. Tuulettamisella pyritään pienentämään haitallisten kaasujen pitoisuudet ihmisille turvalliselle tasolle. Nykykäytännön heikkoutena on, että riittäviä ohjeistuksia tuuletusajoista eri olosuhteissa (esim. kontin täyttöaste, lämpötila, tuulettimien käyttö, jne.) ei ole määritetty. Tähän on syynä tutkimustiedon puute. Riittämätön tuuletusaika tai -tapa voi johtaa kuljetuskonttien kanssa työskentelevien henkilöiden työturvallisuuden vaarantumiseen, mikäli toimenpiteet eivät pienennä kaasupitoisuuksia terveydelle vaarattomalle tasolle.

Työsuojelurahaston ja VTT:n rahoittaman projektin ”Työturvallisuutta vaarantavien kaasujen riskienhallintakeinojen tunnistaminen tavarankuljetuskonteissa” tavoitteena on parantaa kuljetuskonttien parissa työskentelevien ammattiryhmien, jotka voivat altistua työssään konteissa esiintyville kaasumaisille kemikaaleille, työturvallisuutta. Tässä raportissa esitetään tulokset, jotka saatiin osatutkimuksessa ” Kuljetuskonttien tuulettumisaikojen mittaukset”, jossa testattiin merkkiaineiden avulla kuljetuskonttien tuulettumista.

2. Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää kuljetuskonttien tuulettumisajat eri tavoin pakatuille (tiivisti ja harvasti lastattu) konteille eri lämpötiloissa ilman koneellista tuuletusta ja koneellisen tuuletuksen kanssa. Tuulettumiseen eri olosuhteissa kuluva aika tutkittiin seuraamalla konteissa esiintyvien tai vastaavasti käyttäytyvien kaasumaisten kemiallisten aineiden pitoisuuksien pienenemistä ajan funktiona. Tulosten perusteella pystytään luomaan helppolukuinen minimituuletusaikataulukko kontin tuuletustavan ja lämpötilan mukaan.

3. Rajaukset

Tutkimus tehtiin käyttäen valittuja merkkiaineita ja tyhjiä pahvilaatikoita. Erilaisten pakkausmateriaalien vaikutusta tuulettumiseen ei selvitetty, myöskään kuljetuskontin tilavuuden vaikutusta tuulettumisaikoihin ei selvitetty. Testauspaikka oli ulkoilmassa sijaitseva lastauslaituri, joten tuuletusolosuhteisiin ei pystytty vaikuttamaan ja tuuletusilman lämpötila oli ulkoilman lämpötila. Testien lukumäärän rajallisuudesta johtuen tuulettumisaikojen toistettavuutta ei voitu selvittää.

Tuulettumisaikatestejä tehtiin yhteensä 16 kappaletta, joista harvasti lastatussa kontissa 7 kpl ja tiiviisti lastatussa kontissa 9 kpl. Näiden mittausten perusteella tuloksia ei voida täysin yleistää, vaan niihin tulee suhtautua yksittäisinä mittaustuloksina.

4. Mittausjärjestely

Konttien tuulettumisaikoja tutkittiin tehtiin Keslog Oyj:n päivittäistavaravarastolla Vantaan Hakkilassa 27.2.-8.5.2015. Tutkimuksessa käytetyt kaksi konttia oli sijoitettu vierekkäisille lastauslaituripaikoille. Mittalaitteet ja tarvikkeet olivat varaston sisäpuolella.

4.1 Kontit ja lastit

Tutkimuksessa käytettiin kahta lämpötilasäädeltävää konttia, jotka oli pakattu uusilla tyhjiillä pahvilaatikoilla. Konttien lämpötilaa pystyi säätämään välillä -30°C – +25°C. Vastaavia

pakastekontteja ei tavanomaisesti käytetä päivittäistavaroiden kuljetuksissa, vaan yleensä käytetään metallivuorattuja lämpötilasäätelämiä kontteja.

Konttien ja näytteenottovarustelujen tiedot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Konttien ja näytteenottovarustelujen tiedot.

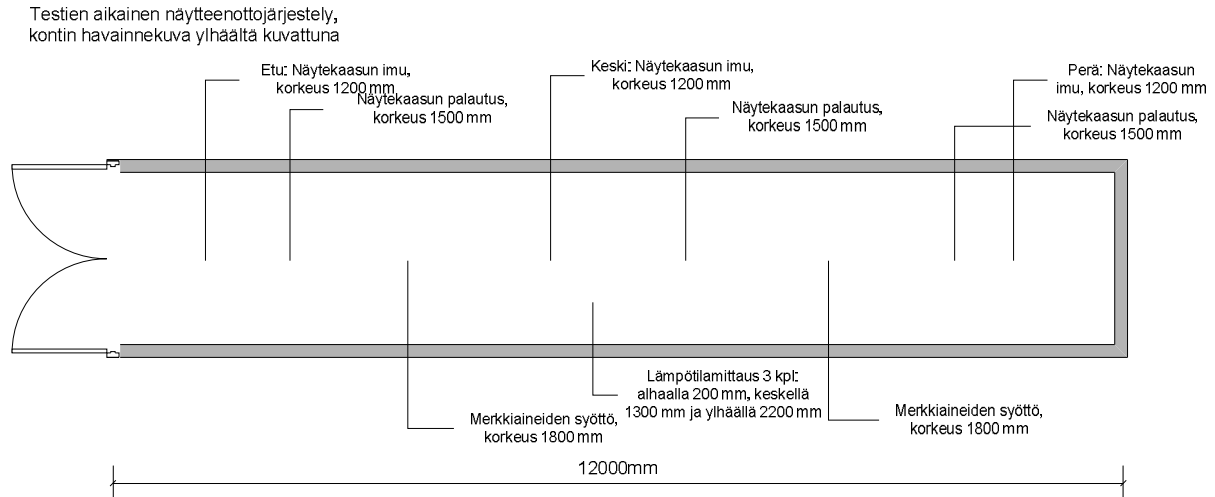
Konttien tiedot	Merkki ja malli: ISO 40' RC Daikin Viileä/pakaste-kontti, 2 kpl
	Sisävuoraus ruostumatonta terästä ja lattia oli T-alumiinikiskoa
	Eristys: polyuretaania. Katto 80 mm, seinät 60 mm ja lattia 140 mm
	Sisämitat: pituus 11588 mm, leveys 2294 mm ja korkeus 2557 mm
	Konttien ilmatilavuus: 67,97 m ³
	Ilmanvaihtoluukut: noin 100*100 mm. Testien aikana kiinni, ei ilmanvaihtoa kontissa
Pahvilaatikot	Isot pahvilaatikot: Mitat: 1185*785*1025 mm, tilavuus 0,953 m ³
	Pienet pahvilaatikot: Mitat: 590*390*450 mm, tilavuus 0,104 m ³
	Pakkausteippi: liuotinvapaa pakkausteippi
Kaasun syöttö	2 kohtaa; pituussuunnassa 1/3 ja 2/3 kontin pituudesta, leveyssuunnassa keskeltä ja korkeudella 180 cm
	Polyamidiletkaa, 6 mm ulkohalkaisija
Kaasunäytteiden otto	3 kohtaa; pituussuunnassa noin 1 m peräseinästä, keskeltä ja noin 1 m ovista. Leveyssuunnassa keskeltä ja korkeudella 120 cm
	Teflonletkaa, 6 mm ulkohalkaisija. Hiukkassuodattimena oli keraaminen suodatin
Näytekaasun palautus	3 kohtaa; noin metrin päässä kyseisen kontin osan kaasunäytteenottopisteestä. Leveyssuunnassa keskellä ja korkeudella 150 cm
	Teflonletkaa ja polyamidiletkaa, 8 mm ulkohalkaisija
Lämpötilamittaus	3 korkeudelta; korkeudet 20 cm, 130 cm ja 220 cm. Pituussuunnassa ja leveyssuunnassa keskellä
	Termoelementit K-tyyppin NICR-NI 2*0.51-johtoa

Konttien ilmatilavuus oli 67,97 m³. Toisessa kontissa lattia oli peitetty 12 mm:n filmivanerilla, paitsi ovien edestä oli jätetty lattiaa peittämättä noin 300 mm. Vanerien tilavuus oli 0,31 m³, joten toisen kontin ilmatilavuus oli 67,66 m³. Konttien ilmatilavuuksilla oli siten eroa alle 0,5%.

Konteissa oli ilmanvaihtoluukut kompressorikoneiston vieressä. Pinta-alaltaan noin 100*100 mm olleet luukut olivat suljettuna koko testijakson ajan. Konttitoimittajan mukaan koneteissa ilma ei vaihdu, kun luukut ovat kiinni.

Lastaus tehtiin uusilla tyhjillä pahvilaatikoilla 26.2.2015 VTT:n, Tullin ja Keslog Oyj:n edustajien avustuksella. Pahvilaatikoita oli kahta kokoa.

Konteihin asennettiin lastausvaiheessa kaasusyötön linja, kaasunäytteenottoletkut, näytekaasun palautusletkut ja lämpötilamittauksen termoelementit. Kaasulinjat ja johdot saatettiin ovien välistä kontin ulkopuolelle ja siitä edelleen lastausalueen sisäpuolelle. Kaasulinjojen ja lämpötilamittausten paikat on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Kaaviokuva konttien kaasulinjojen ja lämpötilamittausten paikoista.

Toinen kontti lastattiin harvasti ja toinen tiiviisti. Kuvassa 2 näkyy vasemmalla puolella harvasti täytetty kontti ja oikealla puolella tiiviisti täytetty kontti.



Kuva 2. Harvasti ja tiiviisti täytetyt tutkimuskontit Hakkilassa 27.2.-8.5.2015.

4.1.1 Harvasti täytetty kontti

Harvasti täytetty kontti edusti lavoille pakattua tavaraa sisältävää kuljetuskonttia. Tällaisia tavaroita ovat tyypillisesti painavat kappaleet, kuten moottorien osat ja työkalut.

Lastina oli 18 kpl isoa pahvilaatikkoa ja 56 kpl pientä pahvilaatikkoa. Yhteensä täytetty tilavuus oli 22,96 m³. Vapaata ilmatilaa konttiin jäi 45 m³. Kontin täyttöaste oli 34 %.

4.1.2 Tiiviisti täytetty kontti

Tiiviisti täytetty kontti edusti täyteen pakattua kuljetuskonttia, joissa erisuuruisia pahvilaatikoita on mahdollisimman paljon, jolloin vapaata ilmatilaa voi jäädä katon reunaan noin viidestä kymmeneen senttimetriin.

Tutkimuskontti pyrittiin lastaamaan vastaavalla tavalla, ja katon rajaan jäi 10 cm vapaata tilaa. Seinien ja pahvilaatikoiden väliin ei jäänyt vapaata tilaa. Lastina oli 58 isoa pahvilaatikkoa ja 18 pientä pahvilaatikkoa. Yhteensä pahvilaatikoilla täytetty tilavuus oli 57,17

m³. Kontin pohjalla olevan vanerin tilavuus oli 0,31 m³. Vapaata ilmatilaa konttiin jäi 10,5 m³. Kontin täyttöaste oli 85 %. Testien aikana kontin lattiassa olevat t-palkit peitettiin pahveilla ja muovilla, jotta tuulettumista ei pääsisi tapahtumaan lattian kautta. Tiivistysjärjestely on näkyvissä kuvassa 6.

4.2 Merkkiaineet

Terveydelle haitallisten kaasutusaineiden ja muiden konteissa esiintyvien teollisuuskaasujen sijaan tutkimuksessa päätettiin käyttää terveydelle vähemmän haitallisia malliaineita. Malliaineet valittiin siten, että niiden fysikaaliset ominaisuudet vastasivat hyvin tyypillisiä kaasutusaineita ja lastista haihtuvia teollisuuskaasuja ja että niiden pitoisuudet pystyttiin mittaamaan käytettävissä olevilla kolmella analysaattorilla.

Merkkiaineiksi testeihin valittiin ilokaasu (N₂O), butaani (C₄H₁₀) ja ammoniakki (NH₃), joita kaikkia johdettiin tutkittaviin kontteihin ennen tuulettumismittausten alkua.

Ilokaasu on kemiallisesti melko inertti kaasu, kiehumispiste -88°C ja tiheys ilmaan verrattuna 1,6, joten ilokaasun voidaan olettaa käyttäytyvän testeissä kuten esimerkiksi hiilidioksidi. Syötetyn ilokaasun pitoisuus oli 20 til-%. Ilokaasun käyttö konttikaasujen tuulettumisen merkkiaineena oli havaittu vastaavan haihtuvien orgaanisten komponenttien tuulettumista ruotsalaisessa tutkimuksessa (Svedberg&Johanson 2013), jossa ilokaasun ja haihtuvien orgaanisten hiilivetyjen tuulettumisen suhdetta oli tutkittu.

Butaani on myös melko inertti kaasu, kiehumispiste -1°C ja tiheys ilmaan verrattuna 2. Butaanin voidaan olettaa käyttäytyvän testeissä kuten esimerkiksi metyylibromidin, jonka kiehumispiste on 3,5°C ja tiheys ilmaan verrattuna 1,4. Syötetyn butaanikaasun pitoisuus oli 1 til-%.

Ammoniakki on kemiallisesti melko reaktiivista, kiehumispiste -33°C ja tiheys ilmaan verrattuna 0,6. Ammoniakin voidaan olettaa käyttäytyvän testeissä kuten esimerkiksi fosfiinikaasun. Syötetyn ammoniakkin pitoisuus oli 1 til-%.

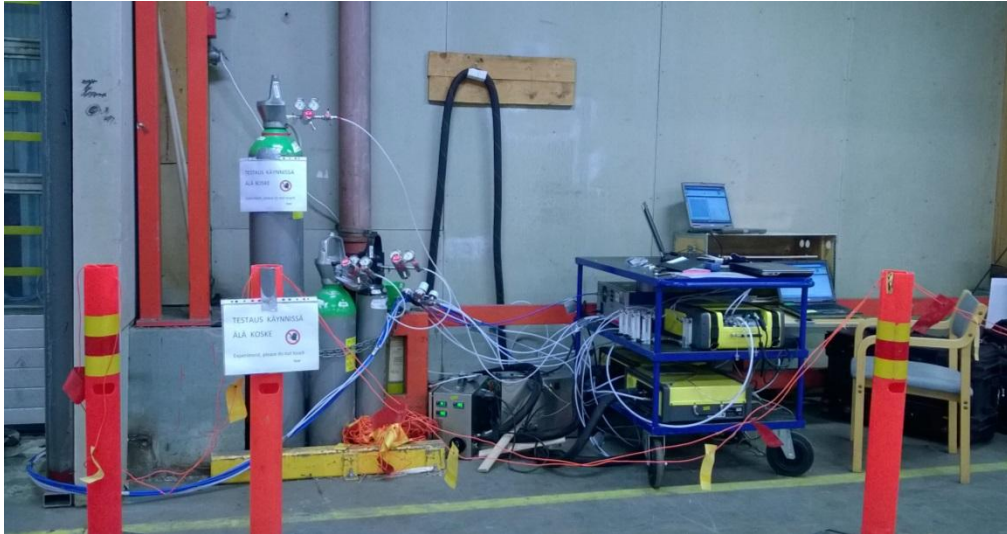
Merkkikaasut syötettiin kontteihin monikanavaisella massavirtasäätimellä Environics Series 2000. Kontin sisäilman tavoitepitoisuus oli ilokaasulle vähintään 100 ppm (tilavuuden miljoonasosaa, parts per million), butaanille vähintään 50 ppm ja ammoniakille noin 50 ppm.

4.3 Pitoisuusmittausmenetelmät

Konttien etummaisten ja keskimmäisten mittauspisteiden mittauksissa käytettiin Gasmät Dx4000-analysaattoreita. Näytekaasut pumpattiin noin 4 l/min virtauksella käyttäen lämmitettyjä Gasmät -näytteenottoyksiköitä. Analysaattoreiden absorptiomatka oli 5,0 metriä ja kyvetin lämpötila 180 °C. Laitteiden määrittäysraja näissä mittauksissa ilokaasulle oli noin 0,05 ppm ja butaanille noin 0,3 ppm.

Konttien peräosan mittauspisteen mittauksessa käytettiin Gasmät Dx4040-analysaattoria. Analysaattorin absorptiomatka oli 9,8 metriä ja kyvetin lämpötila huoneenlämpöinen. Näytekaasu pumpattiin noin 3 l/min virtauksella käyttäen analysaattoriin sisäänrakennettua näytteenottoyksikköä. Laitteen määrittäysraja näissä mittauksissa ilokaasulle oli noin 0,04 ppm ja butaanille noin 0,2 ppm.

Mittalaitteet ja tarvikkeet eristettiin lippusiimalla ja varoitusmerkinnöin varastotilasta (kuva 3). Kaasulinjat konttien ja analysaattoreiden välillä ovat kuvassa vasemmalla näkyvissä kaasulinjoissa. Gasmät Dx4000-analysaattorit ovat kolmitasoisen karryn alatasolla ja keskitasolla sijaitsee Gasmät Dx4040-analysaattori sekä kaasun syötöissä käytetty Environics.



Kuva 3. Mittauspaikka mittaustarvikkeineen Hakkilassa 27.2.-8.5.2015.

4.4 Koneellisen ilmanvaihdon testit

Koneellisella ilmanvaihdolla on monesti arvioitu olevan nopeuttava vaikutus konttien tuulettumisaikoihin. Esimerkiksi Australiassa ohjeistetaan tuulettamaan kontteja vähintään 30 minuuttia koneellisesti tai 12 tuntia painovoimaisesti (WorkSafe Victoria, HSS0116/01/10.09, 2009). Uudessa-Seelannissa ohjeistetaan tuulettamaan kontteja vähintään 2 tuntia koneellisesti (Erma New Zealand 2005).

Muutamien tutkimusten johtopäätöksissä on myös esitetty kontin peräosasta tapahtuvan imun olevan tehokkaampi kuin peräosaan puhaltamisen:

- Tuuletusaikoja tutkineet Johanson&Svedberg (2013 ja 2015) testasivat tiiviisti lastattujen tavaralaatikoilla täytettyjen konttien tuulettamista kolmella tavalla; painovoimaisesti tuulettamalla, pitkävartisella huonetuulettimella puhaltamalla etuosaa ja puhaltimella imemällä kontin peräosan ilmaa. Tutkittaviin kontteihin oli merkkiaineena syötetty ennen avaamista ilokaasua (N_2O). Johtopäätöksenä oli, että puhaltaminen ei nopeuttanut tuulettamista, kun taas peräosasta imeminen nopeutti noin kymmenkertaisesti tuulettamista. Tarkastelemalla Johanson & Svedbergin vuoden 2015 esityksen valokuvia tuulettumistestien järjestelyistä, voidaan todeta käytetyn puhaltimen olevan suunnattu suoraan tavaralaatikoita kohti jakaen ilmvirtauksen kontin etuosaan, joka ei välttämättä nopeuta kaasujen vaihtumista lastissa. Imutuuletuksen testauksessa pitoisuusmittaus oli esitetty vain peräosasta, joten imutuuletuksen tehokas kaasupitoisuuden aleneminen voinee johtua myös laimenemisestä. Toisaalta testi osoitti, että imemällä oli ilma saatu liikkumaan myös kontin peräosassa.

- Ranskalaisessa tutkimuksessa (Braconnier&Keller 2015) tutkittiin merkkiaineiden ja virtaussimuloinnin avulla konttien tuulettamista. Tutkittuja tuuletusmenetelmiä olivat painovoimaisesti tuulettaminen, perältä imeminen ja perälle puhallus. Konttien pituuksina oli 6 ja 12 metriä. Konttien täyttöasteita oli kolme; täysi, osittain täytetty ja tyhjä. Täyteen lastatussa kontissa lastitavaroiden väliin oli jätetty leveyssuunnassa 30 cm:n väli. Osittain täytetyssä lastitavaroiden väli oli joka suunnassa 10-13 cm:n. Merkkiaineena oli käytetty rikkiheksafluoridia ja pitoisuusmittaus tehtiin yhdestä mittauspisteestä kerrallaan. Tuulettumisaika oli määritetty merkkiaineen pitoisuuden saavutettua 10% pitoisuuden lähtöpitoisuustasosta. Mittausten tuloksena 12- metrisessä kontissa oli saatu seuraavia tuulettumisaikoja: tyhjä kontti painovoimaisesti tuuletuksella peräosasta mitattuna 4-10 min, täysi kontti painovoimaisesti tuuletuksella peräosasta mitattuna 33-60 min, täysi kontti peräosasta imien painovoimaisesti 4-6 min ja täysi kontti peräosasta puhaltuen painovoimaisesti 6-13 min. Sivuilta tai peräosasta puhaltamalla ovien ollessa kiinni,

tuulettumisajat olivat 8-22 minuuttia. Virtaussimuloinnissa havaittiin, että tyhjän 12- metrisen kontin peräosa tuulettui hitaimmin. Kontin sivuista tuuletetuissa simuloinneissa kontin keskiosa tuulettui hitaimmin 62%:ssa simuloinneissa. Johtopäätöksenä tutkimuksessa oli, että painovoimaisesti tuuletettaessa tuulettumisaika riippuu voimakkaasti ympäristön olosuhteista, eritoten tuulennopeudesta ja -sunnasta. Peräosasta imeminen ovet auki osoittautui erilaisista puhallintesteistä nopeimmaksi. Kontin sivuista tuulettaminen oli riippuvainen puhallusvirtauksen määrästä ja puhalluskohdasta. Puhalluskohtana lastin yläpuolelle sijoitetulla puhalluksella tuulettumisaika oli nopeampi kuin lastin väliin sijoitetulla puhalluksella, tämän esitettiin johtuvan suuremmasta virtausnopeudesta ja paremmasta ilman sekoittumisesta.

Jotta voitaisiin ilmiötasolla todentaa erilaisten koneellisten tuulettamisten vaikutukset tuulettumisaikoihin, koneellista tuulettamista selvitettiin tässä tutkimuksessa kolmella eri tavalla:

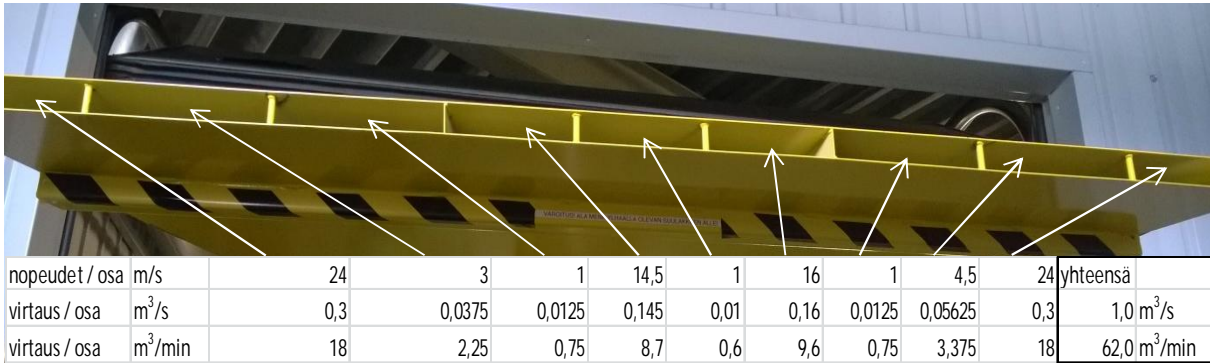
- puhaltamalla ilmaa konttien yläreunaan suurella keskipakopuhaltimella
- puhaltamalla ilmaa tiiviin kontin peräosaan pienillä sivukanavapuhaltimilla (2 kpl)
- imemällä kaasua tiiviin kontin peräosasta pienillä sivukanavapuhaltimilla (2 kpl)

4.4.1 Keskipakopuhallin

Keslog Oyj:llä on konttien tuulettamiseen laitteisto, jossa on 4 kW tehoinen keskipakopuhallin, ilmanjakosuulake ja käsikäyttöinen korkeuden säätö (kuva 4). Keskipakopuhallin on Coral PRVM450/N-puhallin, jossa oli 200 mm imu- ja poistoletkut. Puhallinyksikön virtaus laitemanuaalin mukaan on noin 1,1 m³/s, eli 66 m³/min. VTT:n tekemän virtausnopeusmittauksen mukaan virtaus puhaltimen imuletkussa oli 56 m³/min ja poistosuulakkeesta mitattuna 62 m³/min (kuva 5). Sulakkeen ulostulo oli jaettu kolmeen osioon, jotka oli metallituilla jaettu vielä kolmeen osaan. Suurimmat virtaukset olivat suulakkeen ulkoreunoilla. Virtausnopeusmittauksen aikana konttien ovet olivat täysin auki ja puhaltimelle otettiin imuilma ulkoilmasta.



Kuva 4. Konttien tuulettamiseen suunniteltu ja testeissä käytetty keskipakopuhallin.



Kuva 5. Keskipakopuhaltimen virtausnopeudet ja ilmavirtaukset puhaltimen suulakkeesta VTT:n mittaamina.

Puhaltimen virtausprofiilin vuoksi konttiin puhallettava ilma todennäköisesti rupesi pyörimään osuessaan ensin kontin reunoihin.

4.4.2 Sivukanavapuhaltimet

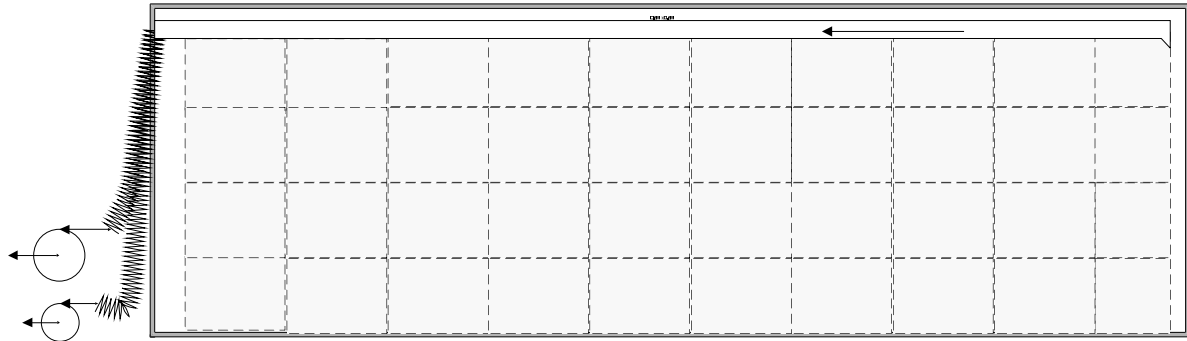
Tiiviin kontin peräosasta tapahtuvan imun ja peräosaan menevän puhalluksen vaikutusta tutkittiin ilmiötasolla käyttäen kahta VTT:n sivukanavapuhallinta (kuva 6), joiden tehot ovat 0,55 kW ja 1,1 kW. Ne asennettiin kontin ovien viereen ja letkut asennettiin kontin peräosaan lastin päälle (kuva 6). Molemmissa puhaltimissa oli halkaisijaltaan 50 mm imu- ja poistoletkut. VTT:n tekemän virtausnopeusmittauksen mukaan virtaus 0,55 kW puhaltimen imuletkussa oli 2,5 m³/min ja 1,1 kW puhaltimen 3,7 m³/min. Tutkimuksen aikana molemmat puhaltimet olivat rinnakkain, joten virtaus oli yhteensä 6,2 m³/min. Kuvassa näkyy myös tiiviisti lastatun kontin lattian tiivistystapa, joka oli tehty sellaiseksi, että estettäisiin ilman vaihtuminen lattiarakenteen kautta.



Kuva 6. Sivukanavapuhaltimet ja tiiviisti lastatun kontin lattian tiivistystapa taustalla.

Imutestissä kontin peräosasta imettiin molemmilla puhaltimilla, toisen oven ollessa täysin kiinni ja toisen ollessa raollaan, jotta ovien aukiolosta johtuvaa painovoimainen tuulettuminen ei olisi vaikuttanut testiin suuresti, lisäksi tavoitteena oli saada kontin peräosaan pieni alipaine. Menettely erosi sivukanavapuhaltimilla tehdystä puhallustestin koejärjestelystä, jossa tiiviin kontin peräosaan puhallettiin molemmilla puhaltimilla ilmaa, molempien ovien ollessa täysin auki. Peräosaan puhaltamisen ja sieltä tapahtuvan imun periaate on estetty kuvassa 7.

Periaatekuva VTT:n sivukanavapuhaltimien kanssa tehdystä imusta perältä ja puhalluksesta perälle. Kuva esittää imutestiä, puhallustestissä ilmavirtauksen suunta on päinvastainen



Kuva 7. Periaatekuva peräosasta tuulettumisesta sivukanavapuhaltimilla imutuulettamalla. Kontti kuvattu sivusta, tuuletuslinjat (2 kpl) lastin yläpuolella. Puhallustestissä ilmavirtauksen suunta oli päinvastainen.

4.5 Testimatriisi

Konttien tuulettumista testattiin eri olosuhteissa (yhteensä 16 eri koepistettä). Muuttuvia parametreja olivat lämpötila, ilmanvaihto- ja lastaustapa. Testiparametrit ja oleellimmat huomiot on esitetty taulukossa 1. Painovoimaisesta tuulettuksesta on käytetty myös termiä ”ovet auki”, useimmiten kuvien ja taulukoiden yhteydessä tilansäästön vuoksi.

Taulukko 1. Tuulettustestien testiparametrit ja huomiot.

Testi	Ilmanvaihto		Lämpötila		Lastaustapa		Huomiot
	Puhallin	Painovoimainen	+20 °C	-20 °C	Harva	Tiivis	
1	x			x		x	N ₂ O, Alhaiset lähtöpitoisuudet, Keskipakopuhallin
2		x			x		+2 °C
3		x		x		x	Alhaiset lähtöpitoisuudet
4		x		x		x	
5	x			x		x	Keskipakopuhallin
6	x			x	x		Keskipakopuhallin
7		x		x	x		
8		x	x		x		
9	x		x			x	Keskipakopuhallin
10	x		x		x		Keskipakopuhallin
11		x	x			x	
12		x		x		x	
13		x	x		x		Yksi näytteenotto pahvilaatikon sisällä
14	x					x	N ₂ O, sivukanavapuhallin, -5 °C, imu peräosasta
15		x			x		N ₂ O, -11°C
16	x			x		x	N ₂ O, sivukanavapuhallin, puhallus peräosaan

4.6 Konttien lämpötilat ja lämpötilaerot

Konttien lämpötilat muuttuivat testien aikana. Tutkimuskonttien lämpötilat rekisteröitiin mittausten alussa ja lopussa, samoin kuin ulkoilman lämpötilat. Nämä tulokset on esitetty taulukossa 2. Konttien loppulämpötilat on esitetty kolmelta korkeudelta mitattuina; yläosasta, keskiosasta ja alaosasta. Myös ulkoilman ja konttien lämpötilojen lämpötilaerot on esitetty taulukossa. Testien aloitushetken lämpötilaeroja on käytetty myös yhtenä tulosten tarkastelutapana, koska lämpötila vaikuttaa ilman tiheyteen ja siten myös ilman liikkumiseen tuulettumistapahtumassa. Testien lopetusajankohdan lämpötiloja ja lämpötilaeroja ei ole käytetty tulosten tarkasteluissa.

Taulukko 2. Tuulettumistestien ajankohdat, konttien lämpötilat, ulkoilman lämpötilat ja ulkolämpötilan lämpötilaero kontin lämpötilaan verrattuna.

Testi	Testin aika		Kontin lämpötila		Ulkoilman lämpötila		Lämpötilaero ulko T vs. kontti T	
	Alussa, pvm, klo	Lopussa, pvm, klo	Alussa, °C	Lopussa, °C	Alussa, °C	Lopussa, °C	Alussa, °C	Lopussa, °C
1	4.3., 13:07	4.3.;14:30	-20	ylä 4,2 keski -3,1 ala -13,2	1	1	21	ylä 3 keski 4 ala 14
2	4.3., 14:45	5.3., 8:00	2	-2,6 -2,5 -2,5	1	1	-1	3
3	5.3., 12:10	6.3., 12:15	-20		1	1	21	
4	18.3., 14:40	19.3., 8:04	-20	0,2 0,5 1,7	6	-2	26	-3
5	19.3., 11:35	20.3., 7:20	-20	8,0 8,1 7,5	4	1	24	-7
6	24.3., 9:35	24.3., 12:50	-20	10,7 10,3 8,4	1	3	21	-7
7	24.3., 15:00	25.3., 7:35	-20	0,9 0,9 0,8	5	-2	25	-1
8	14.4., 10:20	15.4.,7:30	20		2	5	-18	
9	15.4., 13:00	16.4., 7:25	20		6	-1	-14	
10	16.4., 8:50	16.4., 10:55	20	ylä 11 ala 10	2	2	-18	-8
11	16.4., 12:20	17.4., 7:35	20		4	2	-16	
12	27.4., 15:05	28.4.,7:45	-20	ylä 5,4 keski 4,8 ala 1,8	7	5	27	2
13	28.4., 9:20	28.4., 13:40	20		5	9	-15	
14	28.4., 13:55	29.4., 7:55	-5	7,4 7,3 6,5	11	6	16	-1
15	29.4., 10:00	29.4., 13:10	-11	8 8 4	6	7	17	-1
16	29.4., 13:30	30.4., 7:50	-20	6	7	4	27	-2

4.7 Tulosten käsittelytapa

Merkkiaineiden pitoisuusmittauksista laskettiin suhteelliset pitoisuusosuudet ja laimennuskertoimet testiajalta. Tulosten tarkasteluissa on käytetty laimennuskertoimia testiajan funktiona.

Suhteellinen pitoisuusosuus kuvaa merkkiaineen pitoisuutta aloituspitoisuuteen verrattuna. Suhteellisen pitoisuusosuuden laskennassa käytetty laskutapa on esitetty kaavassa 1.

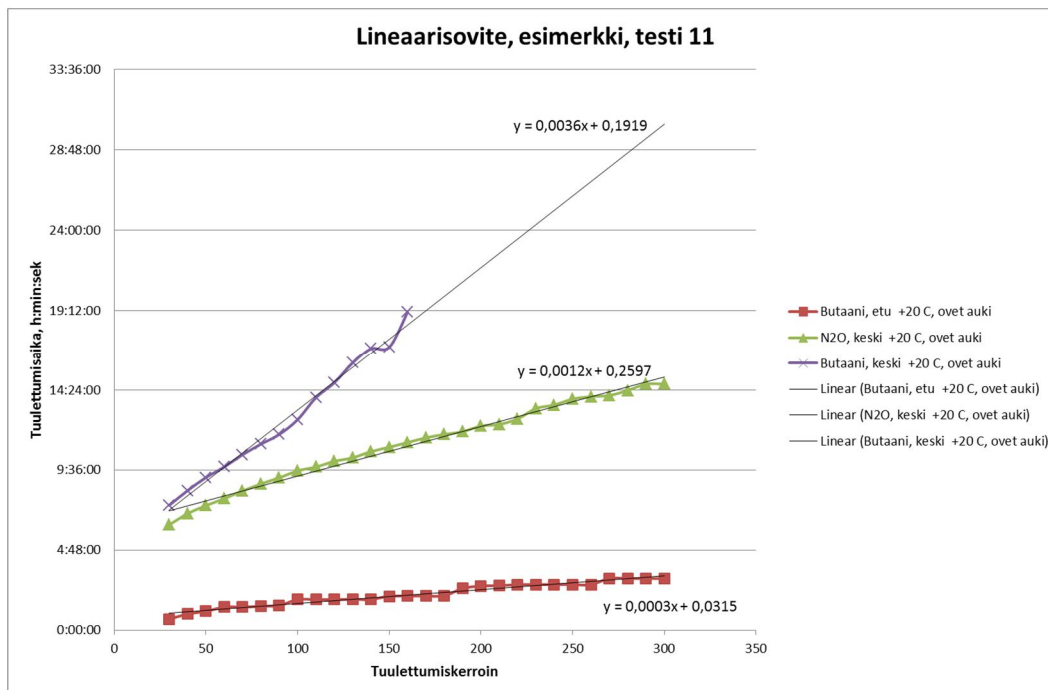
$$\text{Suhteellinen pitoisuusosuus} = \frac{c_{\text{loppu}}}{c_{\text{alku}}} \quad (1)$$

jossa c_{alku} = merkkiaineen pitoisuus testin alussa, ppm
 c_{loppu} = merkkiaineen mitattu pitoisuus kyseisellä ajanhetkellä, ppm

Tuulettumiskerroin eli laimennuskerroin kuvaa, kuinka monta kertaa merkkiaineen pitoisuus on laimentunut aloituspitoisuuteen verrattuna. Laimennuskerroin lasketaan kaavan 2 avulla:

$$\text{Laimennuskerroin} = \frac{c_{\text{alku}}}{c_{\text{loppu}}} \quad (2)$$

Tuulettumisaikatuloksiin sovitettiin lineaarisuorat ($y=ax+b$), jotka auttavat tuulettumisnopeuksien vertailussa. Tuulettumisajan kulmakerroin on saatu sovittamalla lineaarinen suora silloin, kun tuulettumisajat on esitetty tuulettumiskertoimien funktiona. Sovitteeseen on otettu huomioon vain tuulettumiskertoimet, joiden arvo on yli 20, jolloin tuulettuminen alkoi käyttäytyä enemmän lineaarisesti. Kuvassa 8 on esimerkki lineaarisista soviteista.



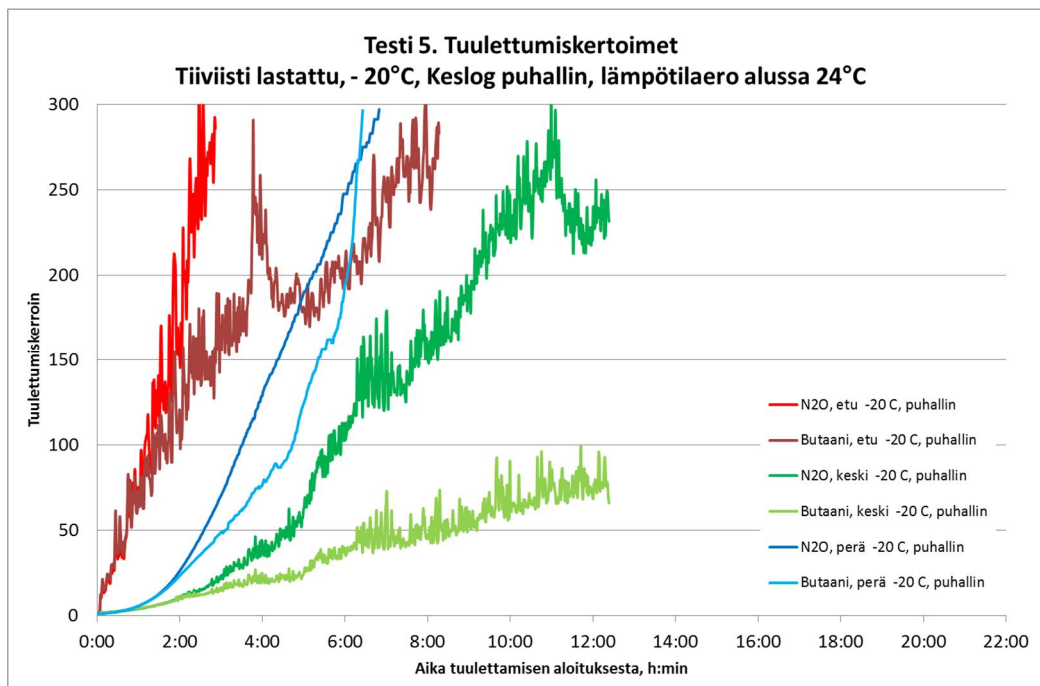
Kuva 8. Esimerkki lineaarisuoran sovittamisesta tuulettumisaikatuloksiin.

Alussa tuulettuminen noudatti laimenemisteorian mukaisesti logaritmista laimenemista, jota ei ole kuvassa 8 esitetty. Kulmakertoimen a yksikkö on h:min:sek/tuulettumiskerroin. Kertoimen x yksikkö on tuulettumiskerroin. Vakio-osan b yksikkö on h:min:sek. Mitä suurempi a on, sitä enemmän tuulettumiseen kuluu aikaa, jotta saavutetaan sama tuulettumiskerroin.

5. Tulokset

Tässä kappaleessa esitetään tulosten esittelytavat ja testien tekemisessä havaitut poikkeamat, kuten tekniset häiriöt. Varsinainen tulosten tarkastelu eri muuttujien mukaisesti on tehty kappaleessa 6.

Mitatut tuulettumiskertoimet ajan funktiona testeittäin on esitetty graafisesti liitteen 1 kuvissa 1-16. Kuvassa 9 on esimerkkinä testin 5 tulokset. Kuvissa tuulettumiskerroin on esitetty tuulettumisajan funktiona ja testien tulokset on esitetty testausjärjestyksessä. Kontin lastaustapa, testausolosuhteet sekä kontin ja ulkoilman lämpötilaero ovat esitetty kuvien yhteydessä. Kuvien skaalaus on kaikissa kuvissa sama, myös merkkiaineiden ja mittauspisteiden väritykset on pidetty samoina.



Kuva 9. Esimerkki testikohtaisten tuulettumistulosten esittämisestä.

Liitteessä 2 on taulukoituna tuulettumisajat tuulettumiskertoimien funktiona testeittäin. Taulukossa 1 on esitetty tiiviisti lastatun kontin tuulettumisajat ja taulukossa 2 harvasti lastatun kontin. Tuulettumisajat kuvaavat, missä ajassa kyseinen tuulettumiskerroin on saavutettu testin aikana. Tuulettumisajat on esitetty 20:n tuulettumiskertoimen välein. Taulukoiden oikeassa reunassa on esitetty tuulettumisen kulmakerroin a , joka kuvaa tuulettumiseen kuluvaan aikaan tuulettumiskerrointa kohden. Kulmakertoimia vertailemalla voidaan tarkastella suhteellisesti tuulettumisnopeuksia ja vertailla niitä keskenään.

Liitteessä 3 on esitetty tuulettumiskertoimet konttien eri osissa tuulettumisajan funktiona eri merkkiaineille. Tiiviisti lastatun kontin tulokset on esitetty kuvissa 1-6 ja harvasti täytetyn kontin tulokset kuvissa 7-12. Kontin lastaustapa, testausolosuhteet sekä kontin ja ulkoilman lämpötilaero on esitetty kuvien yhteydessä. Kuvien mittakaava on kaikissa kuvissa samat, ja mittauspisteiden väritykset on pidetty samoina.

Testien tekemisestä oli muutamia poikkeavuuksia;

- Tiiviisti lastatulla kontilla tehdyissä testeissä 1 ja 3 olivat merkkiaineiden lähtöpitoisuudet alhaisia, noin 10 ppm. Alhaisista lähtöpitoisuuksista johtuen laimennetun pitoisuuden mittauserävarmuus kohosi suhteellisesti liian suureksi. Siten tuulettumiskertoimia arvoltaan yli 50 ei voida pitää luotettavina. Esitetyistä kyseisten

testien tuloksista on poistettu arvot, jotka selvästi ylittävät tuulettumiskertoimen 50. Testien tuloksia ei hyödynnetä johtopäätöksiä teossa.

- FTIR-analysointilaitteita tai kaasupitoisuuksia mittaava mittalaite lakkasi toimimasta kesken testin neljässä testissä, yksi keskiosan mittauksessa ja kolme takaosan mittauksessa.
 - o Testissä nro 4 keskiosan mittalaite lakkasi toimimasta noin 5,5 tunnin jälkeen testin aloituksesta.
 - o Testissä nro 12 peräosan mittalaite lakkasi toimimasta noin 5,5 tunnin mittauksen jälkeen
 - o Testissä nro 14 peräosan mittalaite lakkasi toimimasta noin 9 tunnin jälkeen
 - o Testissä nro 16 peräosan mittalaite lakkasi toimimasta noin 14 tunnin jälkeen
- Joitakin testejä tehtiin useamman kerran. Tällaisia toistotestejä olivat
 - o testit 8 ja 13, joissa harvasti lastattu kontti oli lämpötilassa + 20 °C ja tuuletuksena painovoimainen.
 - o testit 3, 4 ja 12, joissa tiiviisti lastattu kontti oli lämpötilassa – 20 °C painovoimainen tuuletus. Koska testissä 3 oli alhaiset merkkiaineiden lähtöpitoisuudet, ei kyseisen testin tuloksia hyödynnetä johtopäätöksiä teossa.
- Merkkiaineena oli vain ilokaasu testeissä 13-16.

6. Tulosten tarkastelu

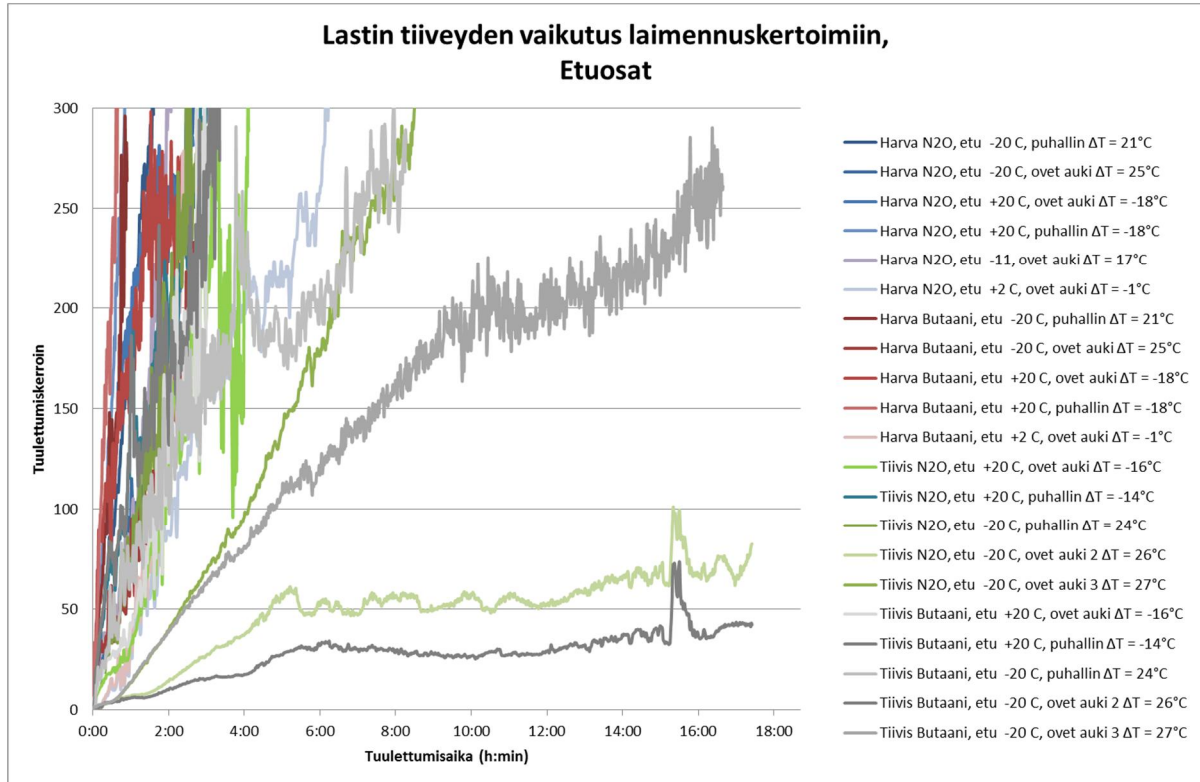
Tuloksia tarkastellaan monista eri näkökulmista, koska testeissä muuttuvia tekijöitä oli monia. Tuloksista tarkasteltiin erikseen seuraavia asioita:

1. Lastin tiiveyden vaikutus
2. Merkkiaineiden käyttäytyminen testeissä
3. Kontin alkulämpötilan vaikutus
4. Kontin ja ulkoilman välisen lämpötilaeron vaikutus
5. Koneellisen ilmanvaihdon vaikutus
6. Pahvilaatikon tuulettuminen harvasti lastatussa kontissa

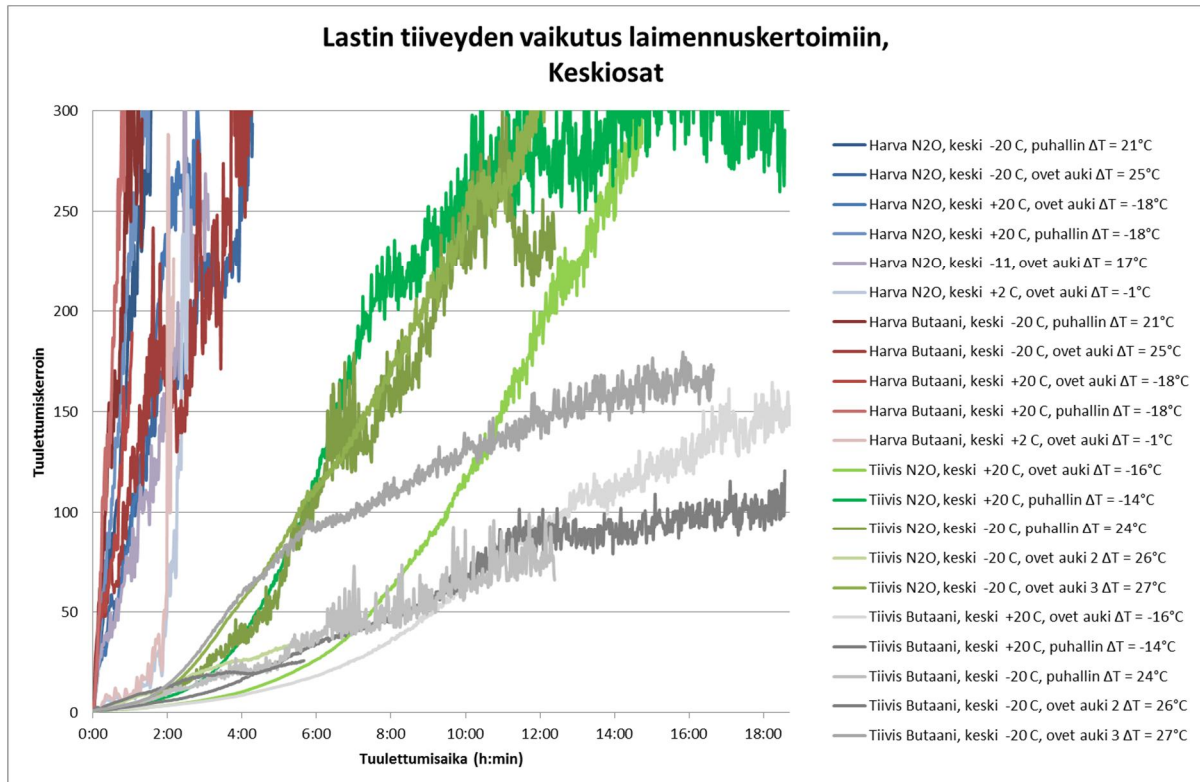
6.1 Lastin tiiveyden vaikutus

Lastin tiiveyden vaikutusta voidaan arvioida monella tavalla tuloksia tarkastellessa. Tässä tarkastellaan lastin tiiveyden vaikutusta sekä graafisesti että taulukoituna. Graafisesti lastin tiiveyden vaikutusta on esitetty kuvissa 10-12 ja taulukossa 3 on esitetty tuulettumisaikojen avulla eri lastaustavan vaikutuksia tuulettumisen eroja.

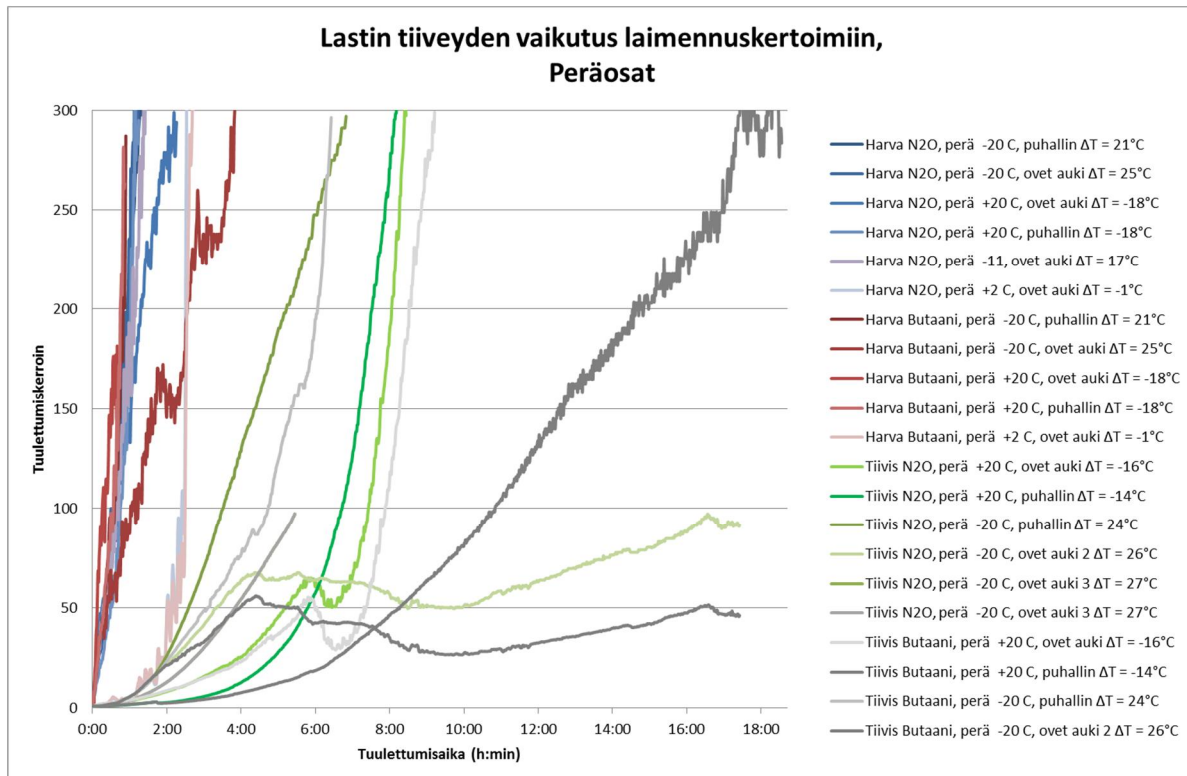
Kuvissa 10-12 on esitetty etuosan, keskiosan ja peräosan tuulettumiskertoimet tuulettumisaajan funktiona. Kaikissa kuvissa harvasti lastatun kontin ilokaasun tulokset ovat väritykseltään sinisiä ja butaanin punaisia. Tiiviisti lastatun kontin ilokaasun tulokset ovat väritykseltään vihreitä ja butaanin harmaita.



Kuva 10. Harvasti ja tiiviisti lastattujen konttien etuosien tuulettumiskertoimet tuulettumisaajan funktiona.



Kuva 11. Harvasti ja tiiviisti lastattujen konttien keskiosien tuulettumiskertoimet tuulettumisaajan funktiona.



Kuva 12. Harvasti ja tiiviisti lastattujen konttien peräosien tuulettumiskertoimet tuulettumisaajan funktiona.

Kuvista 10-12 havaitaan, että harvasti lastattu kontti tuulettui kaikissa kontin osissa nopeammin kuin tiiviisti lastattu kontti. Lisäksi kuvista havaitaan, että varsinkin keski- ja peräosissa tiiviisti lastatun kontin tuulettumisaajat ovat monikertaisia verrattuna harvan kontin tuulettumisaikoihin. Esimerkiksi harvan kontin peräosissa tuulettumiskerroin 100 oli saavutettu aina noin kahdessa tunnissa, kun taas tiiviissä kontissa nopeimmillaan saavutettiin sama tuulettumiskerroin noin neljässä tunnissa ja hitaimmillaan ei edes saavutettu kyseistä tuulettumiskerrointa testin aikana.

Taulukossa 3 on esitetty tiiviisti ja harvasti lastatun kontin tuulettumisien ero käyttäen apuna sovitettuja tuulettumisaikoja näytteenottopisteittäin ja olosuhteittain. Tarkasteltaessa lineaarisovituksien avulla arvioituja tuulettumisaikoja, voidaan verrata lastin tiiveyden vaikutusta tuulettumisaikoihin eri tuulettumiskertoimilla. Lineaarisovitteiden kriteerit ja laadintatapa on esitetty kappaleessa 'Tulosten käsittelytapa'. Taulukossa on esitetty tuulettumisaajat tuulettumiskertoimilla 70, 100, 150 ja 200. Sovitettuja tuulettumisaikoja on verrattu keskenään ja taulukon oikeanpuoleisilla sarakkeilla on esitetty, kuinka moninkertainen tiiviisti lastatun kontin tuulettumisaika on harvasti lastatun tuulettumisaikaan verrattuna.

Taulukko 3. Tiiviisti ja harvasti lastatun kontin tuulettumisajat ja niiden vertailua.

Sovitettu tuulettumisaika (t:min:sek)	Näytepiste	Olosuhde	Tiiviit				Harvat				Tiivis - Harva (h:min:sek)				Tiivis/Harva (suhde)			
			70	100	150	200	70	100	150	200	70	100	150	200	70	100	150	200
N2O, etu	-20C, puhallin		0:57:10	1:14:27	1:43:15	2:12:03	0:20:53	0:29:31	0:43:55	0:58:19	0:36:17	0:44:56	0:59:20	1:13:44	2,7	2,5	2,4	2,3
N2O, keski	+20C, puhallin		4:53:02	5:53:31	7:34:19	9:15:07	0:22:54	0:31:32	0:45:56	1:00:20	4:30:09	5:21:59	6:48:23	8:14:47	12,8	11,2	9,9	9,2
N2O, perä	-20C, puhallin		2:55:15	3:25:29	4:15:53	5:06:17	0:24:55	0:29:14	0:36:26	0:43:38	2:30:20	2:56:15	3:39:27	4:22:39	7,0	7,0	7,0	7,0
Butaani, etu	-20C, puhallin		0:47:57	1:48:26	3:29:14	5:10:02	0:16:25	0:20:44	0:27:56	0:35:08	0:31:32	1:27:42	3:01:18	4:34:54	2,9	5,2	7,5	8,8
Butaani, keski	-20C, puhallin		10:34:02	14:31:38	21:07:38	27:43:38	0:13:15	0:21:53	0:36:17	0:50:41	10:20:47	14:09:45	20:31:21	26:52:57	47,9	39,8	34,9	32,8
Butaani, perä	-20C, puhallin		3:55:09	4:21:04	5:04:16	5:47:28	0:35:43	0:38:18	0:42:37	0:46:57	3:19:26	3:42:46	4:21:39	5:00:32	6,6	6,8	7,1	7,4
N2O, etu	+20C, puhallin		0:28:57	0:50:33	1:26:33	2:02:33	0:12:14	0:16:34	0:23:46	0:30:58	0:16:42	0:33:59	1:02:47	1:31:35	2,4	3,1	3,6	4,0
N2O, keski	+20C, puhallin		4:30:00	5:26:10	6:59:46	8:33:22	0:23:11	0:31:49	0:46:13	1:00:37	4:06:49	4:54:20	6:13:32	7:32:44	11,6	10,2	9,1	8,5
N2O, perä	+20C, puhallin		6:12:23	6:29:40	6:58:28	7:27:16	0:36:00	0:40:19	0:47:31	0:54:43	5:36:23	5:49:21	6:10:57	6:32:33	10,3	9,7	8,8	8,2
Butaani, etu	+20C, puhallin		0:24:55	0:50:50	1:34:02	2:17:14	0:08:47	0:12:40	0:19:09	0:25:38	0:16:08	0:38:10	1:14:53	1:51:36	2,8	4,0	4,9	5,4
Butaani, keski	+20C, puhallin		10:51:45	15:19:35	22:45:59	30:12:23	0:11:48	0:16:08	0:23:20	0:30:32	10:39:56	15:03:27	22:22:39	29:41:51	55,2	57,0	58,6	59,4
Butaani, perä	+20C, puhallin		9:10:48	10:32:53	12:49:41	15:06:29	0:25:47	0:30:06	0:37:18	0:44:30	8:45:01	10:02:47	12:12:23	14:21:59	21,4	21,0	20,6	20,4
N2O, etu	+20C, ovet auki		1:19:55	1:41:31	2:17:31	2:53:31	0:11:14	0:28:31	0:57:19	1:26:07	1:08:41	1:13:00	1:20:12	1:27:24	7,1	3,6	2,4	2,0
N2O, keski	+20C, ovet auki		8:14:56	9:06:46	10:33:10	11:59:34	0:47:23	1:04:39	1:33:27	2:02:15	7:27:33	8:02:07	8:59:43	9:57:19	10,4	8,5	6,8	5,9
N2O, perä	+20C, ovet auki		6:43:21	6:43:38	7:12:26	7:41:14	0:21:19	0:34:16	0:55:52	1:17:28	6:05:02	6:09:22	6:16:34	6:23:46	18,1	11,8	7,7	6,0
Butaani, etu	+20C, ovet auki		1:15:36	1:28:34	1:50:10	2:11:46	0:08:30	0:25:47	0:54:35	1:23:23	1:07:06	1:02:47	0:55:35	0:48:23	8,9	3,4	2,0	1,6
Butaani, keski	+20C, ovet auki		10:39:13	13:14:44	17:33:56	21:53:08	0:25:21	0:29:40	0:36:52	0:44:04	10:13:52	12:45:04	16:57:04	21:09:04	25,2	26,8	28,6	29,8
Butaani, perä	+20C, ovet auki		7:18:37	7:35:54	8:04:42	8:33:30	0:13:06	0:17:25	0:24:37	0:31:49	7:05:31	7:18:29	7:40:05	8:01:41	33,5	26,2	19,7	16,1
N2O, etu	-20C, ovet auki (3)		3:03:27	3:46:39	4:58:39	6:10:39	0:38:44	0:51:42	1:13:18	1:34:54	2:24:43	2:54:58	3:45:22	4:35:46	4,7	4,4	4,1	3,9
N2O, keski	-20C, ovet auki (3)		4:35:02	5:35:31	7:16:19	8:57:07	0:37:44	1:07:58	1:58:22	2:48:46	3:57:19	4:27:33	5:17:57	6:08:21	7,3	4,9	3,7	3,2
N2O, perä	-20C, ovet auki (3)		4:27:24	5:32:12	7:20:12	9:08:12	0:24:20	0:28:39	0:35:51	0:43:03	4:03:04	5:03:33	6:44:21	8:25:09	11,0	11,6	12,3	12,7
Butaani, etu	-20C, ovet auki (3)		3:01:26	4:58:05	8:12:29	11:26:53	1:15:27	1:32:44	2:01:32	2:30:20	1:45:59	3:25:21	6:10:57	8:56:33	2,4	3,2	4,1	4,6
Butaani, keski	-20C, ovet auki (3)		5:01:32	7:41:23	12:07:47	16:34:11	0:33:07	1:03:22	1:53:46	2:44:10	4:28:25	6:38:01	10:14:01	13:50:01	9,1	7,3	6,4	6,1
Butaani, perä	-20C, ovet auki (3)		9:12:58	15:24:29	25:43:41	36:02:53	0:40:02	1:05:57	1:49:09	2:32:21	8:32:56	14:18:32	23:54:32	33:30:32	13,8	14,0	14,1	14,2
N2O, etu	-20C, ovet auki (2)		15:17:17	25:13:26	41:47:02	58:20:38					14:38:33	24:21:45	40:33:45	56:45:45	23,7	29,3	34,2	36,9
N2O, keski	-20C, ovet auki (2)		8:35:14	11:28:02	16:16:02	21:04:02					7:57:30	10:20:04	14:17:40	18:15:16	13,7	10,1	8,2	7,5
N2O, perä	-20C, ovet auki (2)		4:17:28	5:39:33	7:56:21	10:13:09					3:53:08	5:10:54	7:20:30	9:30:06	10,6	11,8	13,3	14,2
Butaani, etu	-20C, ovet auki (2)		22:36:12	30:18:26	43:08:50	55:59:14					21:20:44	28:45:42	41:07:18	53:28:54	18,0	19,6	21,3	22,3
Butaani, keski	-20C, ovet auki (2)																	
Butaani, perä	-20C, ovet auki (2)																	

Tarkasteltaessa taulukon 3 tuulettumisaikoja ja niiden suhteista eri olosuhteissa, voidaan tehdä seuraavissa kappaleissa esitettyjä havaintoja;

6.1.1 Lastin tiiviiden vaikutus – Painovoimainen tuuletus

Lämpimät kontit: Lämpimissä konteissa painovoimaisesti tuulettaessa tiiviin kontin etuosan tuulettumisaikat olivat keskimäärin 5-kertaiset verrattuna harvasti lastattuun konttiin.

Keskiosassa tiiviin kontin tuulettumisaika oli keskimäärin ilokaasulla 8-kertainen ja butaanilla 28-kertainen. Peräosassa tuulettumisaika oli keskimäärin ilokaasulla välillä 6-18-kertainen ja butaanilla 16-34-kertainen harvasti lastattuun konttiin verrattuna. Ajallisesti pisin tuulettumisaikaero tiiviin ja harvan kontin välillä oli noin 22 tuntia.

Kylmät kontit: Kylmissä konteissa painovoimaisesti tuulettaessa (verrattuna harvan kontin tuulettumista tiiviin kontin testiin 12 'overt auki 3') tiiviin kontin etuosan tuulettumisaikat olivat molemmilla merkkiaineilla keskimäärin noin 4-kertaiset verrattuna harvasti lastatun kontin tuulettumisaikoihin. Keskiosassa tuulettumisaikat olivat keskimäärin ilokaasulla 5-kertaiset ja butaanilla 7-kertaiset. Peräosassa tuulettumisaikat olivat molemmilla merkkiaineilla noin 13-kertaiset harvasti lastattuun konttiin verrattuna. Ajallisesti pisin tuulettumisaikaero tiiviin ja harvan kontin välillä oli noin 34 tuntia.

Kylmässä kontissa painovoimaisesti tuulettaessa (verrattuna harvan kontin tuulettumista tiiviin kontin testiin 4 'overt auki 2') tiiviisti lastattu kontti tuulettui yleisesti ottaen selvästi hitaammin kuin testi 12, eikä butaani tuulettumiselle keski- ja peräosasta pystytty määrittämään sovitetta, joten taulukossa ei ole esitetty 'overt auki 2' testille tuulettumisaikoja keski- ja peräosasta. Tiiviin kontin etuosassa tuulettumisaikat olivat ilokaasulla 24-37-kertaiset ja butaanilla noin 20-kertaiset verrattuna harvasti lastatun kontin tuulettumisaikoihin. Keskiosan tuulettuminen ilokaasulla oli keskimäärin 10-kertainen verrattuna harvasti lastatun kontin tuulettumisaikoihin. Peräosan tuulettuminen ilokaasulla oli hidastuvasti keskimäärin 12-kertainen verrattuna harvasti lastatun kontin tuulettumisaikoihin. Ajallisesti pisin tuulettumisaikaero tiiviin ja harvan kontin välillä oli noin 57 tuntia.

6.1.2 Lastin tiiviyden vaikutus - Koneellinen tuuletus

Lämpimät kontit: Lämpimissä konteissa keskipakopuhaltimen kanssa tehdyissä testeissä tiiviin kontin etuosan tuulettumisajat olivat noin 3-5-kertaisia harvasti lastattuun konttiin verrattuna. Keski- ja peräosan tuulettumisajat ilokaasulla olivat noin 10-kertaiset verrattuna harvasti lastatun kontin tuulettumisaikoihin. Butaanilla keskiosa tuulettui keskimäärin 57-kertaisella ajalla ja peräosa noin 20-kertaisella ajalla verrattuna harvasti lastatun kontin tuulettumiseen. Ajallisesti pisin tuulettumisaikaero tiiviin ja harvan kontin välillä oli noin 30 tuntia.

Kylmät kontit: Kylmissä konteissa keskipakopuhaltimen kanssa tehdyissä testeissä tiiviin kontin etuosan tuulettuminen oli 2,5-kertainen ilokaasulla ja hitainta butaanilla, jonka tuulettumisaika oli 3-9-kertainen verrattuna harvasti lastatun kontin tuulettumisaikoihin. Tiiviisti lastatun kontin keskiosassa tuulettumisaika oli koko kontista mitattu pisin tuulettumisaika, ollen ilokaasulla noin 11-kertainen ja butaanilla noin 40-kertainen verrattuna harvasti lastatun kontin tuulettumisaikoihin. Peräosan tuulettumisaika oli molemmilla merkkiaineilla keskimäärin 7-kertainen verrattuna harvasti lastattuun konttiin. Ajallisesti pisin tuulettumisaikaero tiiviin ja harvan kontin välillä oli noin 27 tuntia.

6.1.3 Lastin tiiveyden vaikutus - Yhteenveto

Tarkasteltaessa tuulettumisaikojen eroja tiiviisti ja harvasti lastattujen konttien välillä, havaitaan, että konttien etuosat tuulettuivat nopeimmin lämpötilasta ja tuuletusmenetelmästä riippumatta. Tiiviisti lastatussa kontissa hitaimmin tuulettuivat yleensä keskiosat. Harvasti lastatussa kontissa tuulettuminen tapahtui hitaimmin peräosassa. Lisäksi havaittiin, että lastin tiiveydestä riippumatta kylmät kontit tuulettuivat hitaammin kuin lämpimät.

Johtopäätöksenä lastin tiiveyden vaikutuksesta tuulettumiseen voidaan todeta tiiviisti pakatun lastin hidastavan tuulettumista jopa 60-kertaisesti. Harvasti lastattu kontti tuulettui puhaltimen kanssa lämpötilasta riippumatta noin tunnissa ja painovoimaisesti tuuletettaessa lämpimässä noin kahdessa tunnissa, kylmässä noin kolmessa tunnissa. Tiiviisti pakattu kontti tuulettui vastaavasti puhaltimen kanssa lämpötilasta riippumatta noin 30 tunnissa ja painovoimaisesti tuulettaessa lämpimässä noin 22 tunnissa, kylmässä noin 60 tunnissa.

6.2 Merkkiaineiden käyttäytyminen testeissä

Testeissä käytetyt merkkiaineet on esitetty luvussa 4.2. Merkkiaineiden käytöstä yleisenä havaintona oli, että ilokaasu ja butaani toimivat merkkiaineina testeissä hyvin, mutta ammoniakki ei. Ammoniakkia ei havaittu konteista lainkaan ja syy tähän ei selvinnyt jatkoselvityksistä huolimatta. Testitulokset on esitetty vain ilokaasun ja butaanin mittauksille.

6.2.1 Merkkiaineiden käyttäytyminen – Harvasti lastattu kontti

Taulukossa 4 on esitetty lineaarisesti sovitettua tuulettumisajaa harvasti lastatun kontin testeissä tuulettumiskertoimille 70, 100, 150 ja 200. Taulukossa 4 on esitetty myös butaanin tuulettumisaikojen suhde tuulettumiskertoimittain ilokaasun tuulettumisaikaan verrattuna niissä testeissä, joissa merkkiaineina olivat sekä ilokaasu että butaani. Taulukossa 4 on myös vertailtu kontin lämpötilan vaikutusta tuulettumiseen ja vertailukohtana on pidetty lämpimintä konttia. Käytetyt lineaarisuorat on esitetty liitteen 2 taulukossa 2.

Butaanin ja ilokaasun käyttäytymistä konttien eri osissa voidaan tarkastella liitteen 2 taulukoiden lisäksi havainnollisesti liitteen 3 kuvien avulla. Esimerkkinä liitteen 3 kuvista on kuvassa 13 esitetty harvasti lastatun kontin etuosan tuulettumiskertoimet butaanilla.

Tuuletustavan vaikutus: Kun kylmän kontin annettiin tuulettua painovoimaisesti (testit 7 ja 8), etuosan tuulettuminen alkoi noin puoli tuntia hitaammin kuin lämpimässä kontissa. Kylmän kontin keskiosa tuulettui aluksi melkein samalla nopeudella kuin lämpimän kontinkin, mutta tuulettumisen edetessä kylmän kontin tuuletusajat kasvoivat tasaisesti nousten ilokaasulla 1,4-kertaiseksi ja butaanilla jopa 3,7-kertaiseksi. Kylmän kontin peräosa tuulettui ilokaasusta nopeammin kuin lämpimässä kontissa. Butaanista kylmän kontin takaosa tuulettui 3-5 kertaa hitaammin kuin lämmin kontti. Painovoimaisesti tuuletettaessa pisin tuulettumisaika oli noin neljä tuntia (+2°C kontti).

Keskipakopuhaltimella tuuletettaessa kylmässä kontissa butaanin tuulettuminen oli keskimäärin 1,5-kertaa (ajallisesti noin 10 minuuttia) hitaampaa kuin lämpimässä kontissa, kokonaistuulettumisaajan ollessa pisimmillään yhden tunnin. Keskipakopuhaltimen käyttö nopeutti siten harvasti lastatun kontin ilokaasun ja butaanin tuulettumista noin kolmella tunnilla.

Kontin lämpötilan vaikutus: Taulukosta 4 havaitaan, että butaani, joka oli valittu tutkimukseen kuvaamaan metyylibromidin käyttäytymistä, tuulettui ilokaasua (käyttäytyy kuten hiilidioksidi) nopeammin tai samassa ajassa lähes kaikissa koepisteissä. Suurimmassa osassa mittauspisteissä butaanin suhteelliset tuulettumiset ilokaasuun verrattuna olivat välillä 0,4-1, mikä tarkoittaa, että butaanin pitoisuus aleni noin puolessa ajassa verrattuna ilokaasun pitoisuuteen. Useimmiten kontin etu- ja keskiosasta butaani tuulettui ilokaasua nopeammin, poikkeuksena oli testi 10, jossa kontin takaosa tuulettui samanaikaisesti kontin etuosan kanssa. Butaanin tuulettuminen oli hitaampaa kahden testin aikana; testissä 7 (kylmä, painovoimainen tuuletus) tuulettumisaika oli kontin etuosassa keskimäärin 1,8-kertainen ja peräosassa 3,5-kertainen ilokaasun tuulettumisaikaan verrattuna. Myös testissä 6 (kylmä, keskipakopuhallin) kontin takaosan butaani tuulettui keskimäärin 1,2-kertaa hitaammin kuin ilokaasu.

Tarkasteltaessa taulukon 4 tuloksia eri lämpötilojen suhteen, voidaan havaita kylmän harvasti lastatun kontin etuosan tuulettuvan hitaammin kuin lämpimän kontin. Keskipakopuhallinta käytettäessä (testit 6 ja 10) ilokaasun ja butaanin tuulettumisaika kylmästä kontista oli noin kaksinkertainen verrattuna lämpimään konttiin. Keskiosan tuulettumisessa ei ollut havaittavissa selvää eroa, suurimman eron ollessa butaanilla noin 1,5-kertainen. Takaosassa ilokaasu tuulettui kylmässä kontissa 20 - 30 % nopeammin kuin lämpimässä kontissa. Takaosassa butaani tuulettui kylmässä kontissa noin neljä kertaa hitaammin kuin lämpimässä kontissa. Lämpimässä kontista butaani tuulettui selvästi nopeammin kuin ilokaasu.

6.2.2 Merkkiaineiden käyttäytyminen – Tiiviisti lastattu kontti

Taulukossa 5 on esitetty lineaarisesti sovitetut tuulettumisaajat tiiviisti lastatun kontin testeissä tuulettumiskertoimille 70, 100, 150 ja 200. Käytetyt lineaarisuorat on esitetty liitteen 2 taulukossa 1. Testin 1 tuulettumisajoista ei voitu tuottaa lineaarisovitetta vähäisten tuulettumistulosten vuoksi. Samoin testin 4 keski- ja peräosan butaanin tuulettumiselle ei tehty sovitetta. Taulukossa on esitetty myös butaanin tuulettumisaikojen suhde tuulettumiskertoimittain ilokaasun tuulettumisaikaan verrattuna niissä testeissä, joissa merkkiaineina olivat sekä ilokaasu että butaani. Taulukossa 5 on myös vertailtu kontin lämpötilan vaikutusta tuulettumiseen ja vertailukohtana on pidetty lämpimintä konttia. Testin 4 kohdalla esitetyt arvot on laskettu vertaamalla testin 4 sovitettuja tuulettumisaikoja testin 11 vastaaviin tuulettumisaikoihin.

Taulukko 5. Tiiviisti lastatun kontin sovitetut tuulettumisajat ja merkkiaineiden vertailua.

Tuulettumisajat (t:min)			Sovitetut tuulettumisajat (h:min:sek)				Tuulettumisaikojen suhde (butaani/ilokaasu)				Tuulettumisaikojen suhde (lämpötila -20°C/ lämpötila +20°C)			
Testi nro	Näytestiste	Olosuhde	70	100	150	200	70	100	150	200	70	100	150	200
1	N2O, etu	-20, puhallin 1, alh. pitoisuudet												
	N2O, keski	-20, puhallin 1, alh. pitoisuudet												
	N2O, perä	-20, puhallin 1, alh. pitoisuudet												
	Butaani, etu	-20, puhallin 1, alh. pitoisuudet												
	Butaani, keski	-20, puhallin 1, alh. pitoisuudet												
	Butaani, perä	-20, puhallin 1, alh. pitoisuudet												
3	N2O, etu	-20C, ovet auki 1, alh. pitoisuudet	7:04:57	10:36:37	16:29:25	22:22:13								
	N2O, keski	-20C, ovet auki 1, alh. pitoisuudet	3:38:36	4:30:26	5:56:50	7:23:14								
	N2O, perä	-20C, ovet auki 1, alh. pitoisuudet	4:48:00	6:14:24	8:38:24	11:02:24								
	Butaani, etu	-20C, ovet auki 1, alh. pitoisuudet	4:45:24	6:37:44	9:44:56	12:52:08	0,7	0,6	0,6	0,6				
	Butaani, keski	-20C, ovet auki 1, alh. pitoisuudet	6:33:59	8:21:59	11:21:59	14:21:59	1,8	1,9	1,9	1,9				
	Butaani, perä	-20C, ovet auki 1, alh. pitoisuudet	34:16:19	56:31:12	93:36:00	130:40:48	7,1	9,1	10,8	11,8				
4	N2O, etu	-20C, ovet auki 2	15:17:17	25:13:26	41:47:02	58:20:38					11,5	14,9	18,2	20,2
	N2O, keski	-20C, ovet auki 2	8:35:14	11:28:02	16:16:02	21:04:02					1,0	1,3	1,5	1,8
	N2O, perä	-20C, ovet auki 2	4:17:28	5:39:33	7:56:21	10:13:09					0,7	0,8	1,1	1,3
	Butaani, etu	-20C, ovet auki 2	22:36:12	30:18:26	43:08:50	55:59:14	1,5	1,2	1,0	1,0	17,9	20,5	23,5	25,5
	Butaani, keski	-20C, ovet auki 2												
	Butaani, perä	-20C, ovet auki 2												
5	N2O, etu	-20C, puhallin	0:57:10	1:14:27	1:43:15	2:12:03					2,0	1,5	1,2	1,1
	N2O, keski	-20C, puhallin	4:53:02	5:53:31	7:34:19	9:15:07					1,1	1,1	1,1	1,1
	N2O, perä	-20C, puhallin	2:55:15	3:25:29	4:15:53	5:06:17					0,5	0,5	0,6	0,7
	Butaani, etu	-20C, puhallin	0:47:57	1:48:26	3:29:14	5:10:02	0,8	1,5	2,0	2,3	1,9	2,1	2,2	2,3
	Butaani, keski	-20C, puhallin	10:34:02	14:31:38	21:07:38	27:43:38	2,2	2,5	2,8	3,0	1,0	0,9	0,9	0,9
	Butaani, perä	-20C, puhallin	3:55:09	4:21:04	5:04:16	5:47:28	1,3	1,3	1,2	1,1	0,4	0,4	0,4	0,4
9	N2O, etu	+20C, puhallin	0:28:57	0:50:33	1:26:33	2:02:33								
	N2O, keski	+20C, puhallin	4:30:00	5:26:10	6:59:46	8:33:22								
	N2O, perä	+20C, puhallin	6:12:23	6:29:40	6:58:28	7:27:16								
	Butaani, etu	+20C, puhallin	0:24:55	0:50:50	1:34:02	2:17:14	0,9	1,0	1,1	1,1				
	Butaani, keski	+20C, puhallin	10:51:45	15:19:35	22:45:59	30:12:23	2,4	2,8	3,3	3,5				
	Butaani, perä	+20C, puhallin	9:10:48	10:32:53	12:49:41	15:06:29	1,5	1,6	1,8	2,0				
11	N2O, etu	+20C, ovet auki	1:19:55	1:41:31	2:17:31	2:53:31								
	N2O, keski	+20C, ovet auki	8:14:56	9:06:46	10:33:10	11:59:34								
	N2O, perä	+20C, ovet auki	6:26:21	6:43:38	7:12:26	7:41:14								
	Butaani, etu	+20C, ovet auki	1:15:36	1:28:34	1:50:10	2:11:46	0,9	0,9	0,8	0,8				
	Butaani, keski	+20C, ovet auki	10:39:13	13:14:44	17:33:56	21:53:08	1,3	1,5	1,7	1,8				
	Butaani, perä	+20C, ovet auki	7:18:37	7:35:54	8:04:42	8:33:30	1,1	1,1	1,1	1,1				
12	N2O, etu	-20C, ovet auki 3	3:03:27	3:46:39	4:58:39	6:10:39					2,3	2,2	2,2	2,1
	N2O, keski	-20C, ovet auki 3	4:35:02	5:35:31	7:16:19	8:57:07					0,6	0,6	0,7	0,7
	N2O, perä	-20C, ovet auki 3	4:27:24	5:32:12	7:20:12	9:08:12					0,7	0,8	1,0	1,2
	Butaani, etu	-20C, ovet auki 3	3:01:26	4:58:05	8:12:29	11:26:53	1,0	1,3	1,6	1,9	2,4	3,4	4,5	5,2
	Butaani, keski	-20C, ovet auki 3	5:01:32	7:41:23	12:07:47	16:34:11	1,1	1,4	1,7	1,9	0,5	0,6	0,7	0,8
	Butaani, perä	-20C, ovet auki 3	9:12:58	15:24:29	25:43:41	36:02:53	2,1	2,8	3,5	3,9	1,3	2,0	3,2	4,2
14	N2O, etu	-5C, sk.puhallin, imu	6:50:41	9:13:15	13:10:51	17:08:27								
	N2O, keski	-5C, sk.puhallin, imu	23:01:49	32:32:04	48:22:28	64:12:52								
	N2O, perä	-5C, sk.puhallin, imu	7:05:14	9:23:28	13:13:52	17:04:16								
16	N2O, etu	-18C, skpuhallin, puhallus	3:46:57	4:47:25	6:28:13	8:09:01								
	N2O, keski	-18C, skpuhallin, puhallus	9:36:26	11:50:21	15:33:33	19:16:45								
	N2O, perä	-18C, skpuhallin, puhallus	8:14:12	11:24:17	16:41:05	21:57:53								

Tuuletustavan vaikutus: Taulukosta 5 havaitaan, että useimmiten butaani tuulettui tiiviisti lastatun kontin etuosasta melko samanaikaisesti ilokaasun kanssa. Keskipakopuhallinta käytettäessä sekä kylmän että lämpimän kontin keskiosan butaani tuulettui tasaisesti 2-3 kertaa hitaammin kuin ilokaasu. Painovoimaisesti tuuletettaessa keskiosan butaani tuulettui lämpötilasta riippumatta kaksi kertaa hitaammin kuin ilokaasu. Kontin peräosassa butaani käyttäytyi vaihtelevasti ilokaasuun verrattaessa; butaani tuulettui painovoimaisesti hyvin vähän hitaammin kuin ilokaasu lämpötilasta riippumatta keskipakopuhaltimen kanssa. Sen sijaan lämpimässä kontissa keskipakopuhaltimella peräosan butaani tuulettui melkein kaksi kertaa hitaammin kuin ilokaasu ja kylmässä kontissa painovoimaisesti tuuletettaessa jopa 4 kertaa hitaammin.

Kylmää konttia keskipakopuhaltimella tuuletettaessa kylmän kontin (testi 5) etuosassa ilokaasun ja butaanin tuulettuminen hidastui noin kaksinkertaiseksi lämpimään konttiin verrattuna. Keskipakopuhaltimen kanssa kylmän kontin keskiosassa tuulettuminen tapahtui sekä ilokaasulla että butaanilla yhtä nopeasti lämpimän kontin kanssa. Samassa testissä kontin peräosan tuulettumisaika ilokaasulla ja butaanilla oli noin puolet lämpimän kontin tuulettumisajasta.

Keskipakopuhaltimen käyttö nopeutti kylmän tiiviisti lastatun kontin peräosan tuulettumista molemmilla merkkiaineilla, mutta samalla se hidasti etuosan tuulettumista.

Kontin lämpötilan vaikutus: Tarkasteltaessa taulukon 5 tuloksia kylmän ja lämpimän kontin välillä, voidaan havaita kylmän kontin etuosan tuulettuvan hitaammin kuin lämpimän kontin. Kylmää konttia painovoimaisesti tuulettaessa (testi 4) ilokaasu tuulettui jopa 20-kertaa hitaammin kuin lämpimässä kontissa. Vastaavasti butaani tuulettui painovoimaisesti kylmässä jopa 25-kertaa hitaammin kuin lämmin kontti. Saman testin kylmän kontin keskiosa tuulettui ilokaasulla melkein kaksinkertaisella tuulettumisajalla. Peräosan tuulettuminen oli keskimäärin yhtä nopeaa lämpimään konttiin verrattuna. Toisessa kylmän kontin painovoimaisessa tuuletuksessa (testi 12) etuosan tuulettumisaika oli ilokaasulla tasaisesti keskimäärin 2,2-kertainen ja butaanilla jopa 5-kertainen. Saman testin kylmän kontin keskiosa tuulettui keskimäärin 30 % nopeammin kuin lämmin kontti. Kontin peräosa tuulettui ilokaasulla keskimäärin samanaikaisesti kuin lämmin kontti, mutta butaani tuulettui 1,3-4-kertaisella tuulettumisajalla.

6.2.3 Merkkiaineiden käyttäytyminen – Yhteenveto

Verrattaessa butaanin tuulettumista ilokaasun tuulettumiseen, havaitaan, että butaani käyttäytyi harvasti lastatussa kontissa eri tavalla kuin tiiviisti lastatussa kontissa. Harvasti lastatusta kontista butaani tuulettui 80 %:ssa (12 kpl /15 kpl) tehdyistä mittauksista nopeammin tai yhtä nopeasti kuin ilokaasu. Hitaammin butaanista tuulettuivat vain kylmät kontit (20 % mittauksista; 3/15). Tiiviisti lastatussa kontissa butaani tuulettui 81 %:ssa (13 kpl/16 kpl) hitaammin kuin ilokaasu. Kolmesta mittauspisteestä, joissa butaanin pitoisuus pieneni nopeammin kuin ilokaasun, kaksi oli lämpimän kontin etuosia. Edellä mainittujen havaintojen perusteella voidaan todeta, että tiiviisti lastatussa kontissa butaanin tuulettuminen on keskimäärin hitaampaa kuin ilokaasun, johtaen tuulettumisajoissa monia tunteja pidempiin tuulettumisaikoihin (esim. 10-20 tuntia). Harvasti lastatussa kontissa tuulettumisajat ovat kokonaisuudessaan lyhyempiä kuin tiiviisti pakatuissa konteissa eikä merkkiaineiden käyttäytymisessä ollut havaittavissa suuria eroja.

Harvasti lastatussa kontissa puhaltimen kanssa tehdyissä testeissä kaikki butaanin tuulettumisajat olivat kylmässä kontissa 1-2-kertaiset, samoin kuin oli etuosan ilokaasunkin tuulettuminen. Ainoastaan ilokaasun keski- ja peräosan tuulettuminen oli lämmintä konttia jopa 30 % nopeampaa. Harvasti lastattua kylmää konttia painovoimaisesti tuulettaessa vain peräosan ilokaasu tuulettui lämmintä konttia 20-40 % nopeammin. Kaikissa muissa mittauspisteissä kylmä kontti tuulettui hitaammin kuin lämmin, eron ollessa suurimmillaan noin 5-kertainen. Tiiviisti lastatun kontin tuulettumisessa havaittiin, että puhaltimella tehdyissä testeissä kylmän kontin keski- ja peräosassa tuulettuminen oli nopeampaa tai yhtä nopeaa kuin lämpimässä kontissa. Samassa testissä kontin etuosan tuulettumisaika oli kylmässä kontissa keskimäärin 2-kertainen. Butaanin tuulettuminen oli keskimäärin nopeampaa ja ilokaasun hitaampaa kuin lämpimässä kontissa. Tiiviisti lastattua konttia painovoimaisesti tuulettaessa havaitaan, että kylmässä kontissa ilokaasu tuulettuu perä- ja keskiosissa nopeammin tai yhtä nopeasti kuin lämpimässä kontissa, kun taas etuosassa tuulettuminen oli hitaampaa. Butaanin käyttäytyminen kylmässä kontissa painovoimaisesti tuulettaessa oli vaihtelevampaa, keskimäärin kuitenkin ollen moninkertaisesti hitaampaa kuin lämpimässä kontissa.

Johtopäätöksenä merkkiaineiden käyttäytymisestä testeissä havaittiin, että merkkiaineiden tuulettuminen kylmistä konteista oli hitaampaa kuin lämpimistä konteista. Keskipakopuhaltimen käyttö nopeutti kylmän tiiviisti lastatun kontin peräosan tuulettumista molemmilla merkkiaineilla, mutta samalla se hidasti etuosan tuulettumista. Butaanin käyttäytymiseen lämpötilalla ei ollut yhtä suurta vaikutusta kuin lastaustavalla. Tiiviisti lastatussa kontissa butaani tuulettui selvästi hitaammin kuin ilokaasu. Ilokaasun tuulettumiseen ei lastaustavan havaittu vaikuttavan yhtä selkeästi kuin butaanilla. Lämpötilan vaikutus ilokaasun tuulettumiseen oli keskimäärin päinvastainen butaanin kanssa, eli ilokaasu tuulettui kylmästä kontista nopeammin kuin lämpimästä. Näiden tulosten perusteella korkeampi lämpötila näyttää nopeuttavan tuulettumista. Keskipakopuhaltimen käyttö nopeutti peräosien tuulettumista, joten puhallin nopeuttaa konttien ilmatilan vaihtuvuutta, kunhan kontista poistunutta ilmaa ei päästetä uudelleen sekoittumaan puhallusilman kanssa.

6.3 Kontin alkulämpötilan vaikutus

Kontin alkulämpötilan vaikutusta konttien tuulettumiseen on osittain käsitelty myös edellisissä tulosten tarkasteluissa. Jokaisen testin alussa konttien lämpötila mitattiin. Testien kuluessa konttien lämpötila tasoittui ulkoilman lämpötilan kanssa, koska testien aikana ei konttien lämpötilaohjausta voitu pitää päällä sen aiheuttaman ylimääräisen ilmanvaihdon vuoksi.

Taulukossa 6 on esitetty lineaarisesti sovitettujen tuulettumisaikojen eroja verrattuna eri lämpötiloissa tehtyjä testejä keskenään. Vertailun mahdollistamiseksi taulukon laskennassa käytettiin oletusta, että viileämmässä lämpötilassa tuuletettu kontti tuulettuu hitaammin kuin lämpimämpi kontti. Kyseisen oletuksen vuoksi taulukon tuulettumisaikojen erot on laskettu vähentämällä viileämmän kontin tuulettumisajasta lämpimämmän kontin vastaava tuulettumisaika. Puhaltimella tehtyjä testejä verrattiin keskenään, vastaavasti painovoimaisesti tuulettamalla tehtyjä testejä verrattiin toisiinsa. Negatiiviset tuulettumisaikaerot tarkoittavat, että lämpimämpi kontti on tuulettunut hitaammin kuin viileämpi kontti. Tuulettumisaikoja on verrattu keskenään ja taulukon oikeanpuoleisilla sarakkeilla on esitetty, kuinka moninkertainen kylmän kontin tuulettumisaika on lämpimän kontin tuulettumisaikaan verrattuna. Sovitetut tuulettumisaikat on esitetty taulukoissa 3 ja 4.

Taulukko 6. Tuulettumisaikaerot ja tuulettumisaikojen vertailua neljällä tuulettumiskertoimella esitettyinä. Lämpötilan vaikutus.

		Tiiviit				Tiiviit			
		Tuulettumisaajan ero, kylmä-lämmin (-20 °C - +20°C), (h:min:sek)				Kylmä/Lämmin (suhde)			
Näytepiste		70	100	150	200	70	100	150	200
N2O, etu	puhallin	0:28:13	0:23:54	0:16:42	0:09:30	2,0	1,5	1,2	1,1
N2O, keski	puhallin	0:23:02	0:27:22	0:34:34	0:41:46	1,1	1,1	1,1	1,1
N2O, perä	puhallin	-3:17:08	-3:04:11	-2:42:35	-2:20:59	0,5	0,5	0,6	0,7
Butaani, etu	puhallin	0:23:02	0:57:36	1:55:12	2:52:48	1,9	2,1	2,2	2,3
Butaani, keski	puhallin	-0:17:43	-0:47:57	-1:38:21	-2:28:45	1,0	0,9	0,9	0,9
Butaani, perä	puhallin	-5:15:39	-6:11:48	-7:45:24	-9:19:00	0,4	0,4	0,4	0,4
N2O, etu	ovet auki (3)	1:43:32	2:05:08	2:41:08	3:17:08	2,3	2,2	2,2	2,1
N2O, keski	ovet auki (3)	-3:39:53	-3:31:15	-3:16:51	-3:02:27	0,6	0,6	0,7	0,7
N2O, perä	ovet auki (3)	-1:58:57	-1:11:25	0:07:47	1:26:59	0,7	0,8	1,0	1,2
Butaani, etu	ovet auki (3)	1:45:50	3:29:31	6:22:19	9:15:07	2,4	3,4	4,5	5,2
Butaani, keski	ovet auki (3)	-5:37:41	-5:33:22	-5:26:10	-5:18:58	0,5	0,6	0,7	0,8
Butaani, perä	ovet auki (3)	1:54:20	7:48:35	17:38:59	27:29:23	1,3	2,0	3,2	4,2
N2O, etu	ovet auki (2)	13:57:22	23:31:55	39:29:31	55:27:07	11,5	14,9	18,2	20,2
N2O, keski	ovet auki (2)	0:20:18	2:21:16	5:42:52	9:04:28	1,0	1,3	1,5	1,8
N2O, perä	ovet auki (2)	-2:08:53	-1:04:05	0:43:55	2:31:55	0,7	0,8	1,1	1,3
Butaani, etu	ovet auki (2)	21:20:36	28:49:52	41:18:40	53:47:28	17,9	20,5	23,5	25,5
Butaani, keski	ovet auki (2)								
Butaani, perä	ovet auki (2)								
		Harvat				Harvat			
		Tuulettumisaajan ero, kylmä-lämmin (-20 °C - +20°C), (h:min:sek)				Kylmä/Lämmin (suhde)			
Näytepiste		70	100	150	200	70	100	150	200
N2O, etu	puhallin	0:08:38	0:12:58	0:20:10	0:27:22	1,7	1,8	1,8	1,9
N2O, keski	puhallin	-0:00:17	-0:00:17	-0:00:17	-0:00:17	1,0	1,0	1,0	1,0
N2O, perä	puhallin	-0:11:05	-0:11:05	-0:11:05	-0:11:05	0,7	0,7	0,8	0,8
Butaani, etu	puhallin	0:07:38	0:08:04	0:08:47	0:09:30	1,9	1,6	1,5	1,4
Butaani, keski	puhallin	0:01:26	0:05:46	0:12:58	0:20:10	1,1	1,4	1,6	1,7
Butaani, perä	puhallin	0:09:56	0:08:12	0:05:20	0:02:27	1,4	1,3	1,1	1,1
N2O, etu	ovet auki	0:27:30	0:23:11	0:15:59	0:08:47	3,4	1,8	1,3	1,1
N2O, keski	ovet auki	-0:09:39	0:03:19	0:24:55	0:46:31	0,8	1,1	1,3	1,4
N2O, perä	ovet auki	0:03:01	-0:05:37	-0:20:01	-0:34:25	1,1	0,8	0,6	0,6
Butaani, etu	ovet auki	1:06:58	1:06:58	1:06:58	1:06:58	8,9	3,6	2,2	1,8
Butaani, keski	ovet auki	0:07:47	0:33:42	1:16:54	2:00:06	1,3	2,1	3,1	3,7
Butaani, perä	ovet auki	0:26:56	0:48:32	1:24:32	2:00:32	3,1	3,8	4,4	4,8
		Tuulettumisaajan ero, kylmä-lämmin (+2 °C - +20°C), (h:min:sek)							
N2O, etu	ovet auki	1:19:26	1:41:02	2:17:02	2:53:02	8,1	4,5	3,4	3,0
N2O, keski	ovet auki	1:20:47	1:07:49	0:46:13	0:24:37	2,7	2,0	1,5	1,2
N2O, perä	ovet auki	1:57:13	1:46:51	1:29:34	1:12:17	6,5	4,1	2,6	1,9
Butaani, etu	ovet auki	1:11:34	1:07:15	1:00:03	0:52:51	9,4	3,6	2,1	1,6
Butaani, keski	ovet auki	1:33:19	1:31:35	1:28:42	1:25:49	4,7	4,1	3,4	2,9
Butaani, perä	ovet auki	2:07:09	2:05:25	2:02:33	1:59:40	10,7	8,2	6,0	4,8
		Tuulettumisaajan ero, kylmä-lämmin (-11 °C - +20°C), (h:min:sek)							
N2O, etu	ovet auki	0:44:12	0:35:34	0:21:10	0:06:46	4,9	2,2	1,4	1,1
N2O, keski	ovet auki	0:03:45	0:03:45	0:03:45	0:03:45	1,1	1,1	1,0	1,0
N2O, perä	ovet auki	0:06:29	0:02:10	-0:05:02	-0:12:14	1,3	1,1	0,9	0,8

Taulukon 6 tuloksista tehdyt havainnot esitetään seuraavissa kappaleissa 6.3.1 – 6.3.3.

6.3.1 Kontin alkulämpötilan vaikutus – Painovoimainen tuuletus

Harvasti lastatussa -20 °C kontissa painovoimaisesti tuulettaessa ilokaasun tuulettumisessa ei havaittu suuria eroja kylmän ja lämpimän kontin välillä. Hitaimmillaan ilokaasu tuulettui kylmän kontin keskiosasta, aikaeron ollessa noin 45 minuuttia. Toisaalta ilokaasu tuulettui kylmän kontin peräosasta puoli tuntia nopeammin kuin lämpimästä kontista. Butaanin tuulettuminen kylmästä kontista oli keskimäärin kolme kertaa hitaampaa kuin lämpimästä kontista. Suurin tuulettumisaikaero oli 2 tuntia, kylmän kontin ollessa hitaammin tuulettuva kontti. Hitain tuulettumisaika verratuissa testeissä oli 2 tuntia 50 minuuttia.

Harvasti lastatussa +2 °C kontissa painovoimaisesti tuulettaessa pitoisuuksien havaittiin alenevan noin tunti myöhemmin kuin lämpimässä kontissa. Suurin tuulettumisaikaero oli noin 3 tuntia, kylmän kontin ollessa hitaammin tuulettuva kontti. Pisin tuulettumisaika verratuissa testeissä oli 4 tuntia 20 minuuttia.

Harvasti lastatussa -11 °C kontissa painovoimaisesti tuulettaessa ilokaasun tuulettumisessa ei havaittu suuria eroja kylmän ja lämpimän kontin välillä. Suurin tuulettumisaikaero oli noin 45 minuuttia, kylmän kontin ollessa hitaammin tuulettuva kontti. Hitain tuulettumisaika verratuissa testeissä oli 2 tuntia.

Tiiviisti lastatussa -20 °C kontissa painovoimaisesti (toisto nro 3) tuulettaessa voidaan havaita, että kylmän kontin keskiosa tuulettui 30-40 % nopeammin kuin lämpimän kontin keskiosa, ajallisesti eron ollessa noin 5 tuntia. Suurin tuulettumisaikaero oli 27,5 tuntia, kylmän kontin ollessa hitaammin tuulettuva kontti. Hitain tuulettumisaika verratuissa testeissä oli 36 tuntia.

Tiiviisti lastatussa -20 °C kontissa painovoimaisesti (toisto nro 2) tuulettaessa havaitaan, että kylmän kontin etuosan tuulettuminen oli hyvin hidasta verrattuna +20 °C konttiin. Suurin tuulettumisaikaero oli 55,5 tuntia, kylmän kontin ollessa hitaammin tuulettuva kontti. Hitain tuulettumisaika verratuissa testeissä oli 58,5 tuntia.

6.3.2 Kontin alkulämpötilan vaikutus – Koneellinen ilmanvaihto

Harvasti lastatussa kontissa keskipakopuhaltimella tehdyissä testeissä kontin lämpötila vaikutti selvästi kontin etuosan tuulettumiseen. Kylmän kontin etuosan tuulettumisajat olivat melkein kaksinkertaisia verrattuna lämpimän kontin tuulettumiseen. Ilokaasulla kylmän kontin keskiosan tuulettumisessa ei ollut havaittavissa eroa kylmän ja lämpimän kontin välillä, sen sijaan ilokaasun tuulettuminen kylmän kontin peräosasta tapahtui noin 20-30 % nopeammin kuin lämpimästä kontista. Butaanilla kylmän kontin keski- ja peräosa tuulettumisajat olivat noin 1,5-kertaisia lämpimään verrattuna, tuulettumisaikerojen ollessa enimmillään 20 minuuttia. Suurin tuulettumisaikaero oli 27 minuuttia, kylmän kontin ollessa hitaammin tuulettuva kontti. Hitain tuulettumisaika verratuissa testeissä oli yksi tunti.

Tiiviisti lastatussa kontissa keskipakopuhaltimella tehdyissä testeissä kontin lämpötila vaikutti selvästi kontin etu- ja peräosan tuulettumiseen. Kylmän kontin etuosan tuulettumisajat olivat melkein kaksinkertaisia verrattuna lämpimän kontin tuulettumiseen, kun taas peräosan tuulettumisaika oli noin puolet lämpimän kontin tuulettumisajasta. Suurin tuulettumisaikaero oli 9,5 tuntia, lämpimän kontin ollessa hitaammin tuulettuva kontti. Hitain tuulettumisaika verratuissa testeissä oli 30 tuntia.

6.3.3 Kontin alkulämpötilan vaikutus – Yhteenveto

Johtopäätöksenä kontin alkulämpötilan vaikutuksesta tuulettumiseen, voidaan havaita kylmien konttien tuulettuvan tuuletustavasta riippumatta hitaammin kuin lämpimät kontit.

6.4 Kontin ja ulkolämpötilaeron vaikutus

Lämpötilaerolla on oletettavasti vaikutusta tuulettumiseen, koska kylmempi ilma on tiheämpää kuin lämmin ilma. Jos kylmempään konttiin menee lämpimämpää ilmaa, pyrkii kylmempi ilma poistumaan kontista lattiarajan kautta, lämpimän ilman korvatessa ylhäältäpäin ilmatilaa. Vastaavasti, jos lämpimään konttiin tuuletetaan kylmempää ilmaa, pyrkii lämmin ilma poistumaan kontin yläosan kautta. Testausten aikana ulkoilman lämpötila vaihteli pääosin välillä -2 °C - +9 °C. Alimmillaan ulkoilman lämpötila oli testien 4 ja 7 aikana, jolloin se oli -2 °C. Ylimmillään (+11 °C) ulkoilman lämpötila kävi testin 14 aikana.

Testit pyrittiin ajoittamaan siten, että lämpötilaero ulkoilman ja kontin välillä olisi mahdollisimman pieni. Lämpötilaeroiksi muodostui kuitenkin tyypillisesti noin ± 20 °C, joka oletettavasti nopeutti ilman vaihtumista konteissa.

Puhaltimien käyttö sekoittaa ilmaa ja lämpötiloja, jolloin ilman liikkuminen kontissa ei oletettavasti tapahdu täysin edellä mainitulla tavalla. Esimerkiksi jos lämpimään konttiin puhalletaan kontin yläosasta kylmempää ilmaa, pyrkii kontin lämmin ilma poistumaan yläosan kautta, jolloin tuulettuminen ei välttämättä ole yhtä tehokasta kuin lämpötilaeron ollessa toisinpäin.

Testissä numero 2 oli tuuletettu lämpötilaerotonta harvasti lastattua konttia painovoimaisesti. Verrattaessa kyseisen testin tuloksia muihin harvasti täytetyn kontin tuloksiin, havaitaan lämpötilaerotonta kontin tuulettuvan aluksi selvästi (noin 2 tuntia) hitaammin kuin muiden konttien.

Johtopäätöksenä näiden testien perusteella voidaan suunta-antavasti arvioida, että lämpötilaeroilla on tuulettumista nopeuttava vaikutus. Ajallisesta vaikutuksesta ei kuitenkaan arvioida, koska testien tuloksiin on todennäköisesti vaikuttanut enemmän kontin aloituslämpötila kuin kontin ja tuuletusilman lämpötilaero.

6.5 Koneellisen ilmanvaihdon vaikutus

Koneellisen ilmanvaihdon vaikutusta konttien tuulettumiseen testattiin kolmella eri tavalla; käyttämällä keskipakopuhallinta ja käyttämällä sivukanavapuhaltimia sekä imulla että puhaltamalla.

6.5.1 Koneellisen ilmanvaihdon vaikutus - Keskipakopuhallin

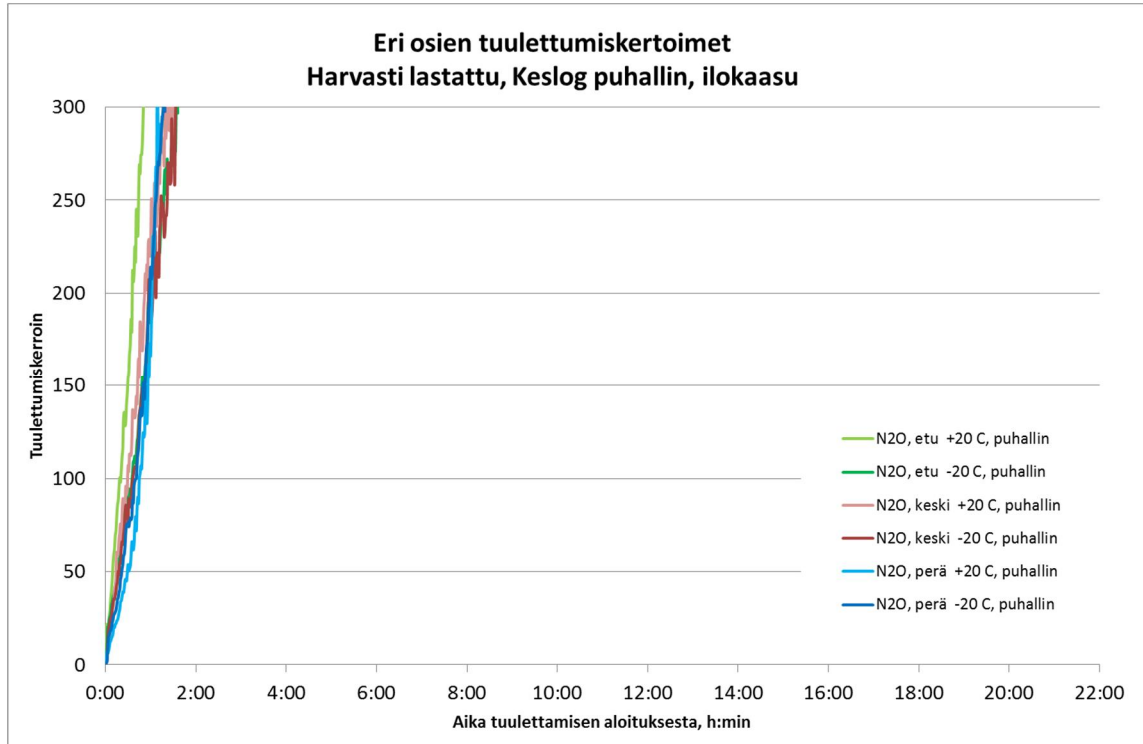
Puhaltimen kanssa tehtyjä tuulettumistestejä verrattiin taulukkomuodossa vastaavissa lämpötilaoloissa tehtyihin painovoimaisiin tuulettumistesteihin lineaarisesti sovitetuille tuulettumisaajoille. Lisäksi verrattiin puhaltimen kanssa mitattuja tuulettumisaikoja graafisesti toisiinsa, jotta voitaisiin havainnoida kontin lämpötilan vaikutusta puhaltimella tuulettumiseen.

Taulukossa 7 on esitetty sovitettujen tuulettumisaikojen eroja, kun verrataan verrattuna painovoimaista tuuletusta ja keskipakopuhaltimella tehtyjä testejä keskenään. Vertailun mahdollistamiseksi taulukon laskennassa käytettiin oletusta, että painovoimaisesti tuuletettu kontti tuulettuu hitaammin kuin koneellisesti tuuletettu kontti. Kyseisen oletuksen vuoksi taulukon tuulettumisaikojen erot on laskettu vähentämällä painovoimaisesti tuuletetun kontin tuulettumisajasta koneellisesti tuuletetun kontin vastaava tuulettumisaika. Kylmissä konteissa tehtyjä testejä verrattiin toisiinsa ja vastaavasti lämpimissä konteissa tehtyjä testejä verrattiin toisiinsa. Negatiiviset tuulettumisaikaerot tarkoittavat, että painovoimaisesti tuuletettu kontti on tuulettunut nopeammin kuin keskipakopuhaltimella tuuletettu kontti. Sovitettuja tuulettumisaikoja on verrattu keskenään ja taulukon oikeanpuoleisilla sarakkeilla on esitetty, kuinka moninkertainen painovoimaisesti tuuletetun kontin tuulettumisaika on puhaltimella tuuletetun kontin tuulettumisaikaan verrattuna. Sovitetut tuulettumisaajat on esitetty taulukoissa 3 ja 4.

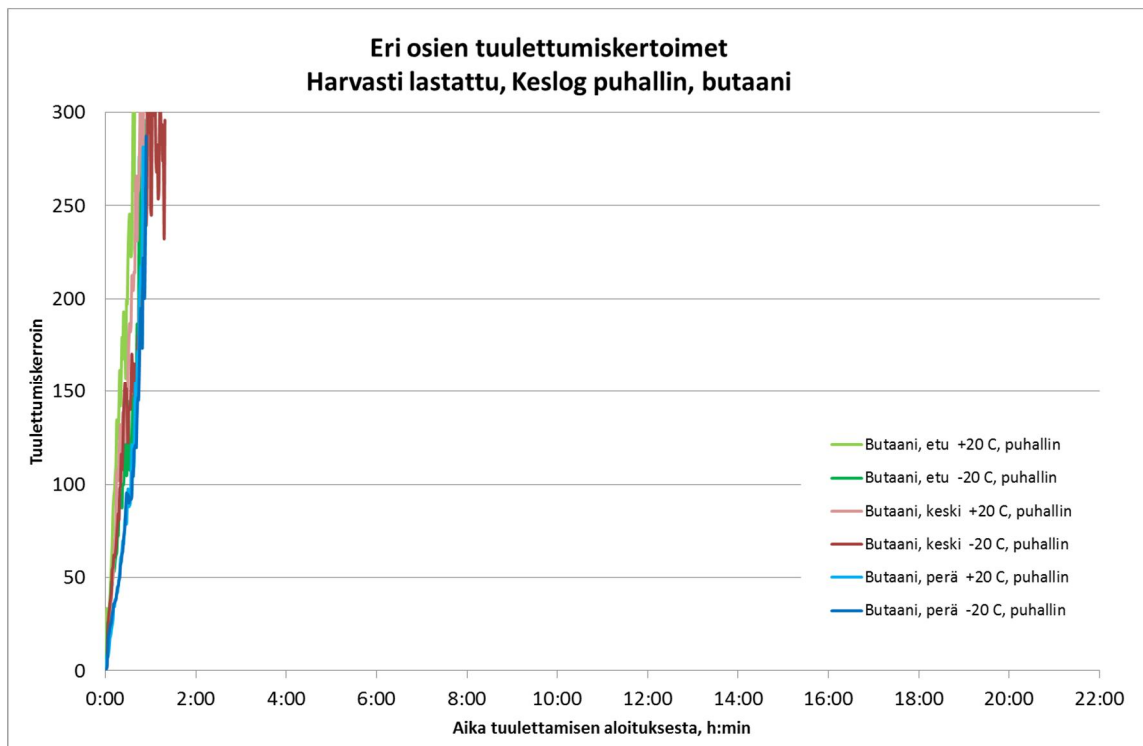
Taulukko 7. Tuulettumisaikaerot ja tuulettumisaikojen vertailua neljällä tuulettumiskertoimella esitettynä. Keskipakopuhaltimen vaikutus.

		Tiiviit				Tiiviit			
		Tuulettumisaajan ero, ovet auki-puhallin (h:min:sek)				Ovet auki tuuletus/puhallin (suhde)			
Näytepiste	Olosuhde	70	100	150	200	70	100	150	200
N2O, etu	-20°C	2:06:17	2:32:12	3:15:24	3:58:36	3,2	3,0	2,9	2,8
N2O, keski	-20°C	-0:18:00	-0:18:00	-0:18:00	-0:18:00	0,9	0,9	1,0	1,0
N2O, perä	-20°C	1:32:10	2:06:43	3:04:19	4:01:55	1,5	1,6	1,7	1,8
Butaani, etu	-20°C	2:13:29	3:09:39	4:43:15	6:16:51	3,8	2,7	2,4	2,2
Butaani, keski	-20°C	-5:32:30	-6:50:15	-8:59:51	-11:09:27	0,5	0,5	0,6	0,6
Butaani, perä	-20°C	5:17:48	11:03:24	20:39:24	30:15:24	2,4	3,5	5,1	6,2
N2O, etu	20°C	0:50:59	0:50:59	0:50:59	0:50:59	2,8	2,0	1,6	1,4
N2O, keski	20°C	3:44:56	3:40:36	3:33:24	3:26:12	1,8	1,7	1,5	1,4
N2O, perä	20°C	0:13:58	0:13:58	0:13:58	0:13:58	1,0	1,0	1,0	1,0
Butaani, etu	20°C	0:50:41	0:37:44	0:16:08	-0:05:28	3,0	1,7	1,2	1,0
Butaani, keski	20°C	-0:12:32	-2:04:51	-5:12:03	-8:19:15	1,0	0,9	0,8	0,7
Butaani, perä	20°C	-1:52:11	-2:56:59	-4:44:59	-6:32:59	0,8	0,7	0,6	0,6
		Harvat				Harvat			
		Tuulettumisaajan ero, ovet auki-puhallin (h:min:sek)				Ovet auki tuuletus/puhallin (suhde)			
		70	100	150	200	70	100	150	200
N2O, etu	-20°C	0:17:51	0:22:11	0:29:23	0:36:35	1,9	1,8	1,7	1,6
N2O, keski	-20°C	0:14:50	0:36:26	1:12:26	1:48:26	1,6	2,2	2,6	2,8
N2O, perä	-20°C	-0:00:35	-0:00:35	-0:00:35	-0:00:35	1,0	1,0	1,0	1,0
Butaani, etu	-20°C	0:59:02	1:12:00	1:33:36	1:55:12	4,6	4,5	4,4	4,3
Butaani, keski	-20°C	0:19:52	0:41:28	1:17:28	1:53:28	2,5	2,9	3,1	3,2
Butaani, perä	-20°C	0:04:19	0:27:39	1:06:32	1:45:24	1,1	1,7	2,6	3,2
N2O, etu	20°C	-0:01:00	0:11:57	0:33:33	0:55:09	0,9	1,7	2,4	2,8
N2O, keski	20°C	0:24:12	0:32:50	0:47:14	1:01:38	2,0	2,0	2,0	2,0
N2O, perä	20°C	-0:14:41	-0:06:03	0:08:21	0:22:45	0,6	0,9	1,2	1,4
Butaani, etu	20°C	-0:00:17	0:13:06	0:35:25	0:57:45	1,0	2,0	2,8	3,3
Butaani, keski	20°C	0:13:32	0:13:32	0:13:32	0:13:32	2,1	1,8	1,6	1,4
Butaani, perä	20°C	-0:12:40	-0:12:40	-0:12:40	-0:12:40	0,5	0,6	0,7	0,7

Harvasti lastatut kontit: Kuvissa 14-15 on esitetty harvasti lastatun kontin tuulettumiskertoimet ilokaasulle ja butaanille keskipakopuhallinta käytettäessä. Kyseisiä testejä tehtiin kaksi kappaletta tiiviisti sekä harvasti lastatulla kontilla. Konttien lämpötila oli ensimmäisissä testeissä +20 °C (testit 9 ja 10) ja toisissa -20 °C (testit 5 ja 6). Kuvissa tuulettumiskertoimet etuosan tuloksissa ovat vihreän sävyisiä, keskiosassa punasävyisiä ja peräosassa sinisävyisiä. Alhaisilla lähtöpitoisuuksilla tehtyjen testien tuloksia (testit 1 ja 3) ei ole otettu tässä tarkastelussa huomioon suuren mittausepävarmuuden vuoksi.



Kuva 14. Ilokaasun tuulettumiskertoimet harvasti lastatussa kontissa käytettäessä keskipakopuhallinta. Kylmä ja lämmin kontti.



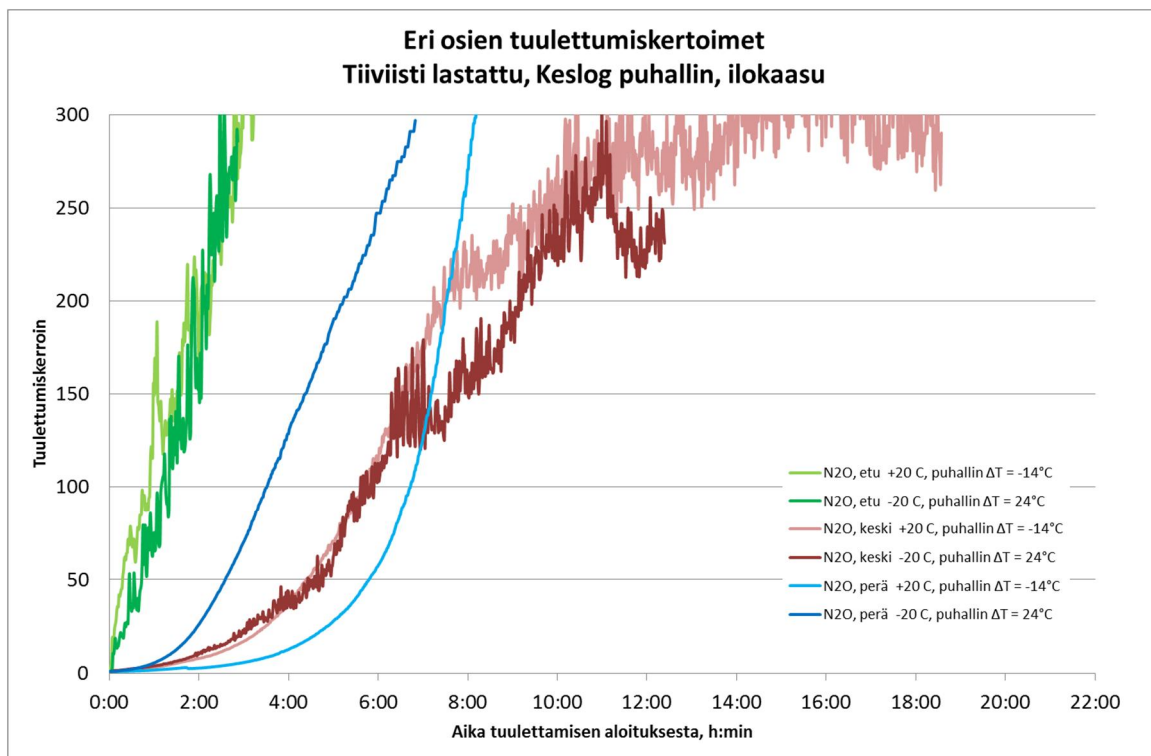
Kuva 15. Butaanin tuulettumiskertoimet harvasti lastatussa kontissa käytettäessä keskipakopuhallinta. Kylmä ja lämmin kontti.

Kuvista 14 ja 15 voidaan havaita, että harvasti lastattu kontti tuulettui alle kahdessa tunnissa jokaisessa mittauspisteessä. Suurimmillaan ajallinen ero eri osien välillä oli noin 30 minuuttia, jolloin etuosa tuulettui nopeimmin ja peräosa hitaimmin.

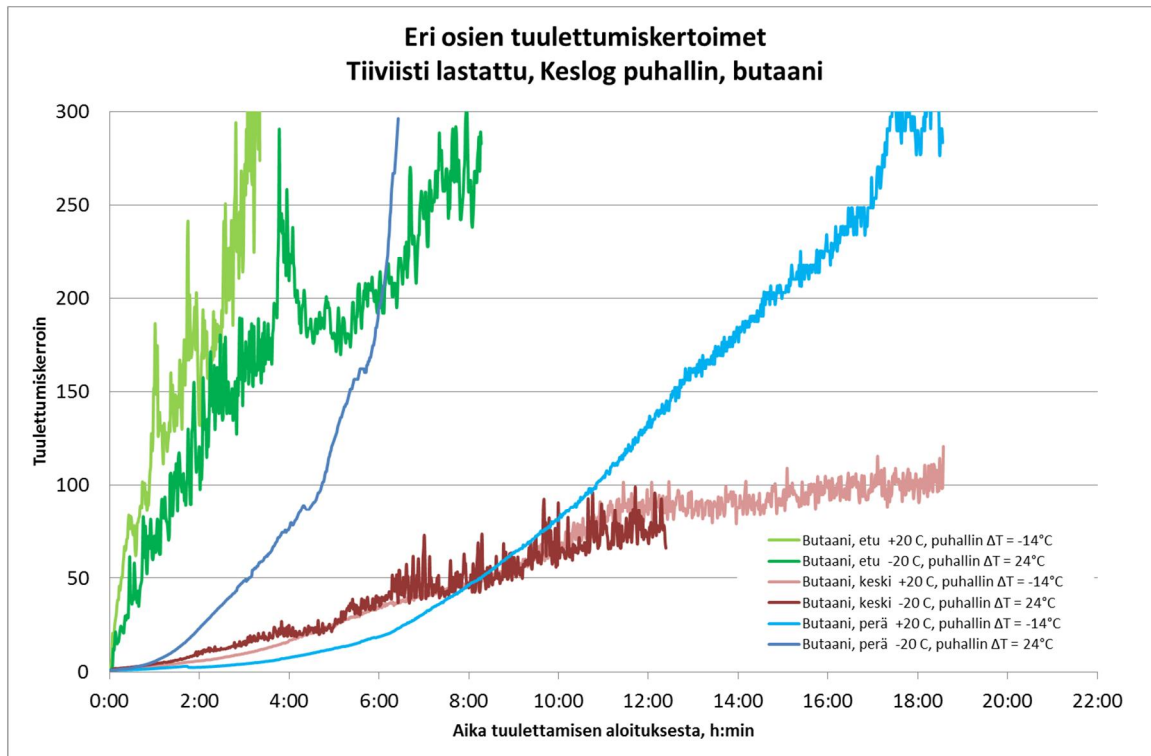
Taulukosta 7 voidaan havaita, että harvasti lastatussa, kylmässä kontissa tehdyissä testeissä havaittiin puhaltimen nopeuttavan koko kontin tuulettumista keskimäärin 2,5-kertaisesti. Puhaltimella tuulettun kontin peräosan ilokaasu tuulettui yhtä nopeasti kuin painovoimaisesti tuulettun kontin. Suurin tuulettumisaikaero oli noin 2 tuntia, painovoimaisesti tuulettun kontin ollessa hitaammin tuulettuva kontti. Pisin tuulettumisaika harvasti lastatuissa kylmissä konteissa oli noin 2,5 tuntia.

Harvasti lastatussa, lämpimässä kontissa tehdyissä testeissä havaittiin puhaltimen hidastavan aluksi kontin etuosan pitoisuuksien alenemista, kuitenkin sitten kun pitoisuudet alkoivat alentua, oli tuulettuminen puhaltimen kanssa etuosassa 2-3-kertaa nopeampaa kuin painovoimaisesti tuulettaessa. Kontin keskiosan tuulettumista puhallin nopeutti tuulettumista noin 2-kertaisesti verrattuna painovoimaisesti tuuletettuun konttiin. Peräosassa puhallin hidasti tuulettumista noin 30 % verrattuna painovoimaisesti tuuletettuun konttiin. Tulokset peräosan tuulettumisen hidastumisesta puhaltimella voivat johtua kontin etuosassa olleen merkkiaineen siirtymisestä kontin peräosaa kohti.

Tiiviisti lastatut kontit: Kuvissa 16-17 on esitetty tiiviisti lastatun kontin tuulettumiskertoimet ilokaasulle ja butaanille keskipakopuhallinta käytettäessä. Kyseisiä testejä tehtiin kaksi kappaletta sekä tiiviisti että harvasti lastatulla kontilla. Konttien lämpötila oli ensimmäisissä testeissä +20 °C (testit 9 ja 10) ja toisissa -20 °C (testit 5 ja 6). Kuvissa tuulettumiskertoimet kontin etuosasta mitattuina ovat vihreään sävyisiä, keskiosassa punasävyisiä ja peräosassa sinisävyisiä. Alhaisilla lähtöpitoisuuksilla tehtyjen testien tuloksia (testit 1 ja 3) ei ole otettu tässä tarkastelussa huomioon suuren mittausepävarmuuden vuoksi.



Kuva 16. Ilokaasun tuulettumiskertoimet tiiviisti lastatussa kontissa käytettäessä keskipakopuhallinta. Kylmä ja lämmin kontti.



Kuva 17. Butaanin tuulettumiskertoimet tiiviisti lastatussa kontissa käytettäessä keskipakopuhallinta. Kylmä ja lämmin kontti.

Kuvista 16 ja 17 havaitaan, että kontin etuosa tuulettui nopeammin kuin muut osat. Tämä havaittiin sekä butaanilla että ilokaasulla tehdyissä testeissä. Etuosasta butaanin tuulettuminen oli kuitenkin hitaampaa kontin lämpötilan ollessa $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ verrattuna siihen, kun lämpötila oli $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hitaimmin tuulettuminen tapahtui kontin keskiosassa, jossa esimerkiksi butaanilla päästiin 100-kertaiseen pitoisuuden laimenemiseen noin 15 tuntia myöhemmin kuin kontin etuosassa. Kontin peräosassa tuulettuminen tapahtui vaihtelevasti, esimerkiksi lämpimän kontin testissä peräosan tuulettuminen alkoi hitaammin kuin keskiosan tuulettuminen, mutta noin 7-8 tunnin kuluttua testin aloituksesta peräosa oli jo enemmän tuulettunut kuin keskiosa.

Taulukosta 7 havaitaan, että kylmässä kontissa tehdyssä testissä kontin peräosan nopeutunut tuulettuminen puhallinta käytettäessä johtunee osittain myös lämpötilaerosta, jolloin puhaltimen ylhäältä puhaltava ilma edesauttaa kylmän ilman siirtymistä alaosan kautta ulos. Lämpimissä konteissa puhaltimen käyttäminen hidasti peräosan tuulettumista.

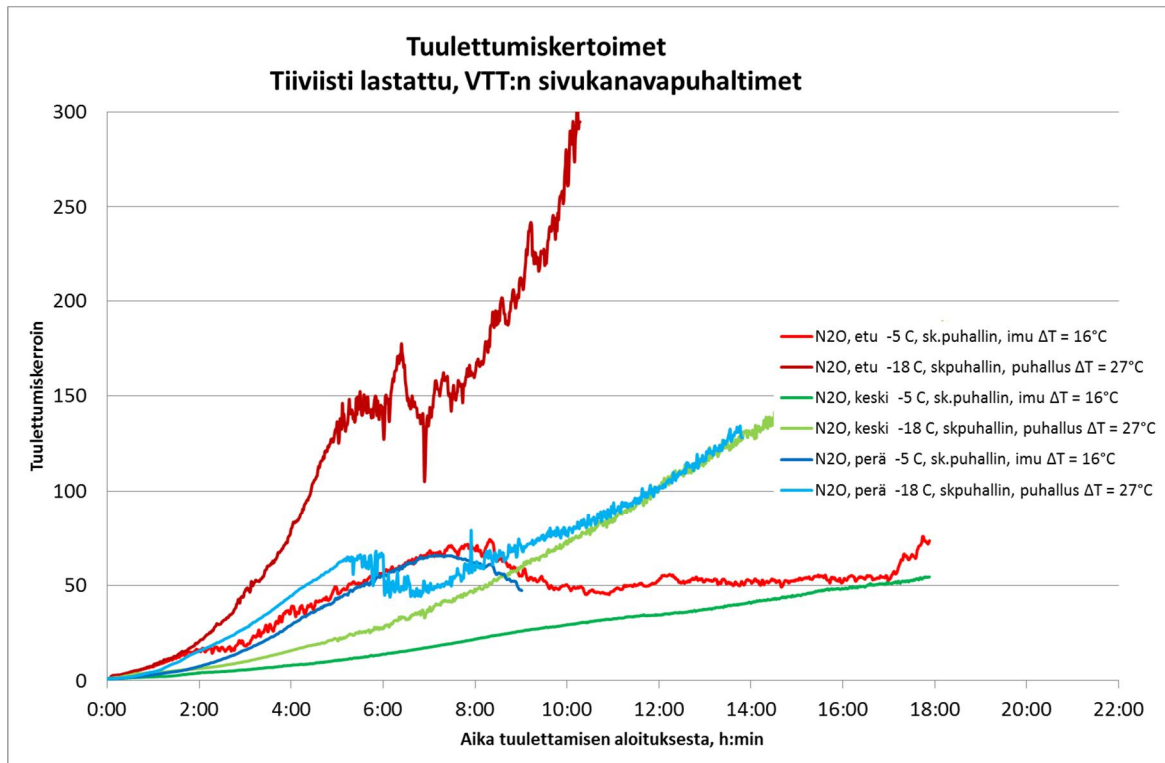
Tiiviisti lastatussa, kylmässä kontissa keskipakopuhallin nopeutti kontin etu- ja peräosan tuulettumista. Käyttämällä keskipakopuhallinta kontin etuosa tuulettui noin 2-3-kertaa nopeammin kuin painovoimaisella tuuletuksella, tämä havaittiin sekä ilokaasulla että butaanilla tehdyillä testeillä. Sen sijaan kylmän kontin keskiosasta ilokaasu tuulettui puhallinta käyttämällä yhtä nopeasti kuin painovoimaisesti tuulettamalla, kun taas butaani tuulettui kontin keskiosasta painovoimaisesti tuuletettaessa noin 50 % nopeammin kuin keskipakopuhallimella tuuletettaessa. Suurin tuulettumisaikaero oli 30 tuntia, painovoimaisesti tuulettunutta kontin ollessa hitaammin tuulettuva kontti. Hitain tuulettumisaika testeissä oli 36 tuntia. Tarkastelussa havaittiin myös, että painovoimaisesti tuuletettaessa peräosan butaani tuulettui hitaimmin, kun taas puhalltimella tuuletettaessa keskiosan butaani tuulettui hitaimmin. Lisäksi puhalltimella tuulettunutta kontin etuosa tuulettui selvästi nopeammin kuin painovoimaisesti tuuletettaessa. Osittain tulokset keskiosan tuulettumisen hidastumisesta puhalltimella voivat johtua kontin etu- ja peräosassa olleiden merkkiaineiden uudelleen siirtymisestä puhaltimen ilmavirran mukana kohti kontin peräosaa.

Tiiviisti lastatussa, lämpimässä kontissa tehdyissä testeissä puhallin nopeutti kontin etu- ja keskiosan tuulettumista 1,5-3-kertaisesti verrattuna painovoimaiseen tuuletukseen. Tämä havaittiin sekä ilokaasulla että butaanilla tehdyillä testeillä. Sen sijaan kylmän kontin keskiosassa ilokaasu tuulettui puhallinta käyttämällä yhtä nopeasti kuin painovoimaisesti tuulettamalla, kun taas butaani tuulettui kontin keskiosasta painovoimaisesti tuulettaessa noin 20 % nopeammin kuin keskipakopuhaltimella tuulettaessa. Peräosan tuulettumisaikaan puhaltimella ei ollut nopeuttavaa vaikutusta, vaan ilokaasulla tuulettumisaika oli sama kuin painovoimaisesti tuulettaessa ja butaanilla peräosa tuulettui noin 30 % nopeammin kuin puhaltimen kanssa. Suurin tuulettumisaikaero oli 9 tuntia, puhaltimella tuuletetun kontin ollessa hitaammin tuulettuva kontti. Pisin tuulettumisaika verratuissa testeissä oli 30 tuntia. Tarkastelussa havaittiin myös, että molemmilla tavoilla tuulettuna lämmin kontti tuulettui hitaimmin keskiosasta, mutta puhaltimella tuuletetun kontin etuosaa tuulettui selvästi nopeammin kuin painovoimaisesti tuulettaessa. Osittain tulokset keski- ja peräosien tuulettumisen hidastumisesta puhaltimella voivat johtua kontin etuosassa olleen merkkiaineen siirtymisestä kontin peräosaa kohti puhaltimen ilmavirran sekä testeissä olleiden lämpötilaerojen aiheuttamien tiheyserojen vuoksi.

6.5.2 Koneellisen ilmanvaihdon vaikutus - Sivukanavapuhaltimet

Kahdella sivukanavapuhaltimella tehtiin tiiviisti lastatussa kontissa kaksi testiä; testi, jossa kaasuja imettiin kontin peräosasta sekä testi, jossa kontin peräosaan puhallettiin tuuletusilmaa. Testeillä pyrittiin ymmärtämään ilmiönä imun ja puhalluksen välinen eroavaisuus, koska yhden tutkimuksen (Johanson&Svedberg 2015) mukaan imutuuletus olisi ollut puhallusta noin kymmenen kertaa tehokkaampi. Näissä testeissä käytetyt sivukanavapuhaltimet olivat kapasiteetiltaan pienempitehoisia kuin käytetty keskipakopuhallin, joten sivukanavapuhallintestien tuloksia on vertailtu sekä keskenään että myös painovoimaisesti tuulettuihin testeihin. Tuulettumisajat testeittäin ovat esitetty graafisesti liitteen 1 kuvissa 14 ja 16. Testit tehtiin vain ilokaasua merkkiaineena käyttäen.

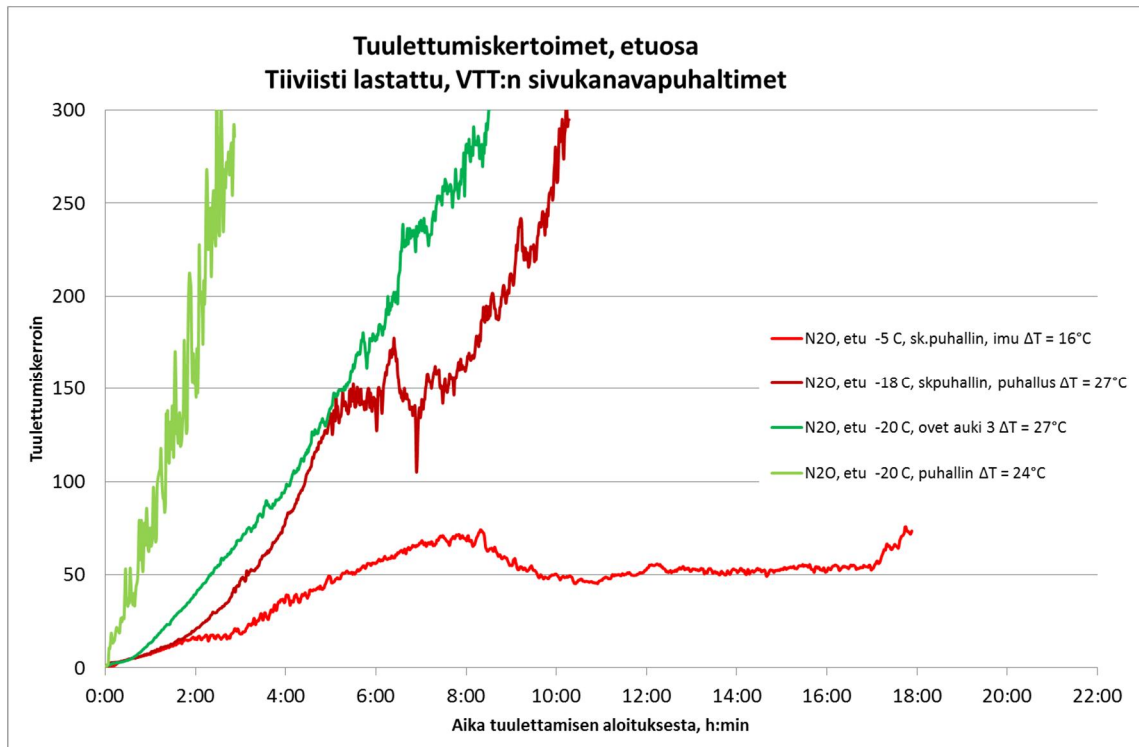
Kuvassa 18 on esitetty molempien testien tuulettumiskertoimet tuulettumisajan funktiona. Kuvassa tuulettumiskertoimet kontin etuosasta mitattuina tovat punasävyisiä, kontin keskiosassa vihersävyisiä ja kontin peräosassa sinisävyisiä.



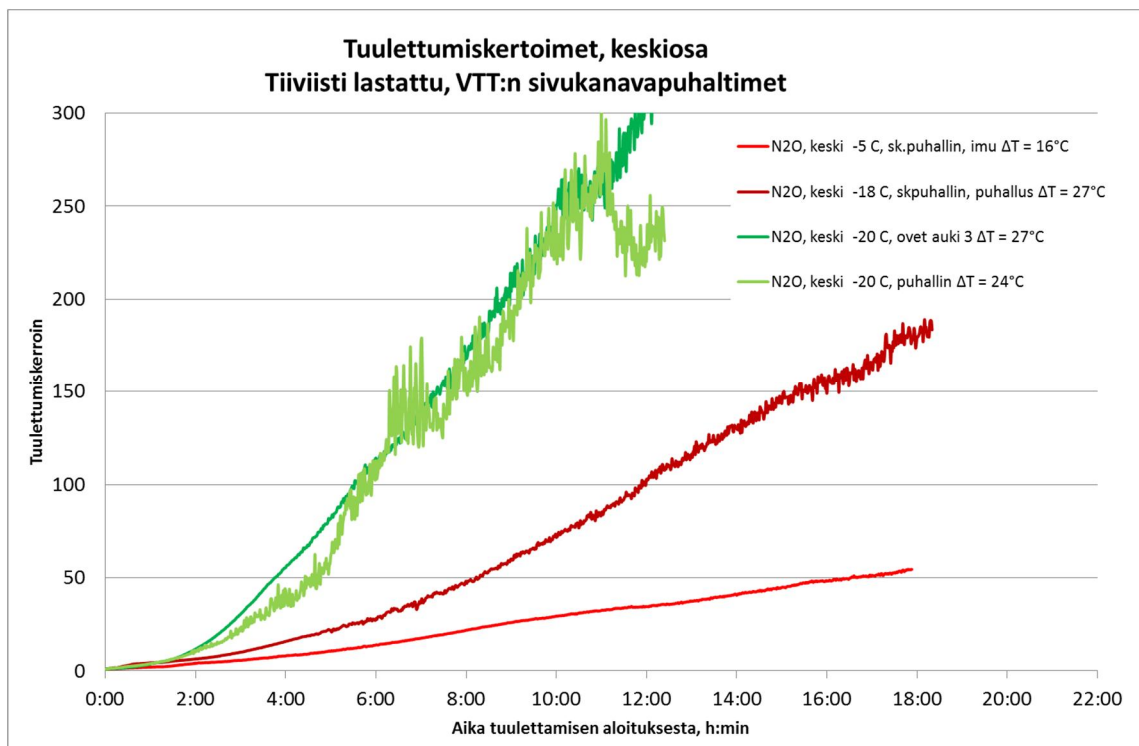
Kuva 18. Tiiviisti lastatussa kontissa sivukanavapuhaltimilla tehtyjen testien tuulettumiskertoimet tuulettumisajan funktiona.

Kuvasta 18 havaitaan kontin etuosan tuulettumisen alkavan aluksi samanaikaisesti, jonka jälkeen puhallustuuletusta käyttävässä testissä tuulettuminen nopeutui selvästi. Tuulettumiskertoimella 50 etuosan tuulettumisajoissa oli jo kahden tunnin aikaero. Keskiosassa puhallustuuletuksella saavutettiin kaksinkertainen tuulettumisnopeus imutuuletukseen verratessa. Peräosassa puhallustuuletuksella tuulettuminen alkoi huomattavasti aikaisemmin kuin imutuuletuksessa, mutta alun jälkeen tuulettuminen tasaantui vastaamaan keskiosan tuulettumista. Yhteenvetona testeistä voidaan todeta, että konttien tuuletus kaasuja peräosasta imemällä oli merkittävästi hitaampaa kuin peräosaan puhaltamalla tapahtunut tuuletus.

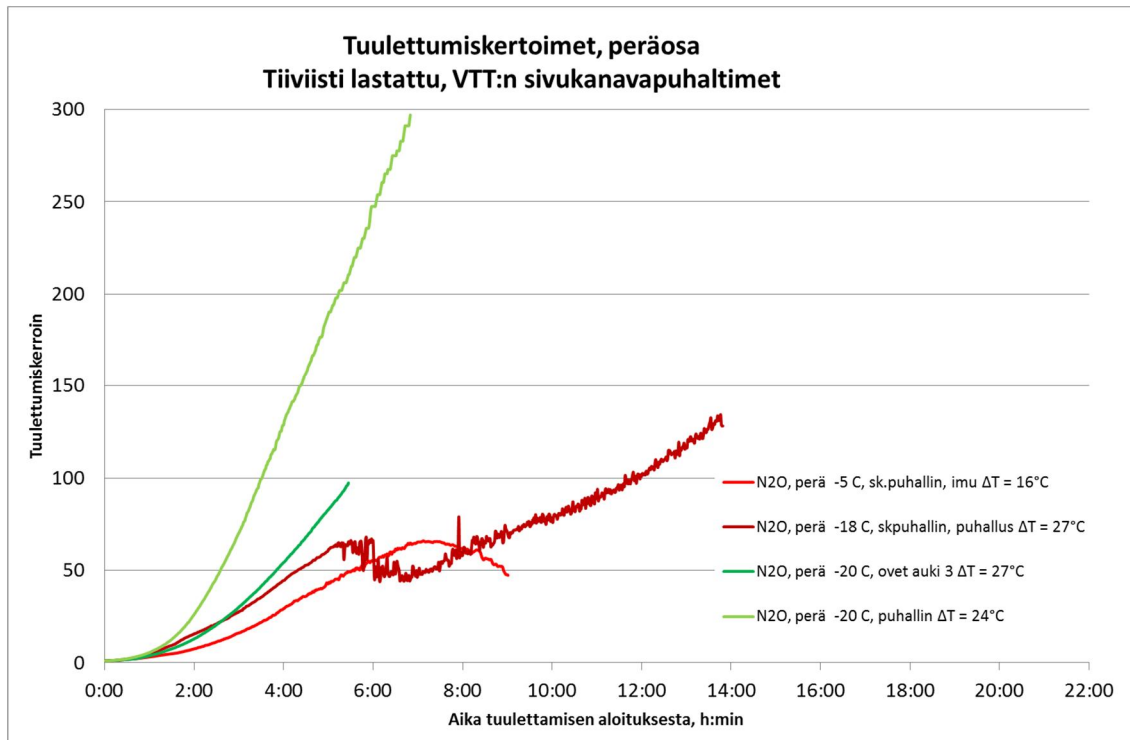
Kuvissa 19-21 on esitetty tulokset sivukanavapuhaltimilla, keskipakopuhaltimella ja painovoimaisesti tuuletetuissa tiiviisti lastatuissa konteissa tehdyissä testeissä. Kuvissa on erikseen esitetty etuosan, keskiosan ja peräosan tulokset. Sivukanavapuhaltimilla tehtyjen testien tulokset ovat punasävyisiä ja muilla vihersävyisiä.



Kuva 19. Kylmän, tiiviisti lastatun kontin etuosan tuulettumiskertoimet tuulettumisajan funktiona. Sivukanavapuhallin, keskipakopuhallin ja painovoimainen tuuletus.



Kuva 20. Kylmän, tiiviisti lastatun kontin keskiosan tuulettumiskertoimet tuulettumisajan funktiona. Sivukanavapuhallin, keskipakopuhallin ja painovoimainen tuuletus.



Kuva 21. Kylmän, tiiviisti lastatun kontin peräosan tuulettumiskertoimet tuulettumisajan funktiona. Sivukanavapuhallin, keskipakopuhallin ja painovoimainen tuuletus.

Kuvista 19-21 havaitaan sivukanavapuhaltimilla tuulettumisen tapahtuvan hitaammin kuin painovoimaisessa tuuletuksessa ja keskipakopuhaltimella tuulettaessa. Lisäksi havaitaan imutuuletuksen olevan hitain tuuletusmenetelmä. Hetkellisesti noin kaksi tuntia testin aloituksesta peräosassa sivukanavapuhaltimella tehdyssä puhallustuuletuksessa tuulettuminen oli lievästi tehokkaampaa kuin painovoimaisessa tuuletuksessa. Havainnosta voidaan päätellä, että peräosan tuulettamista voitaisiin parantaa viemällä suurempitehoinen puhallus kontin peräosaan.

6.5.3 Koneellisen ilmanvaihdon vaikutus - Yhteenveto

Johtopäätöksenä havaittiin keskipakopuhaltimen nopeuttavan selvästi konttien sisäilman liikkumista. Testeissä ilmiö havaittiin selvästi konttien etu- ja peräosien tuulettumisnopeuksissa. Vaikka tuloksista havaittiin, ettei keskipakopuhaltimella konttien keskiosan tuulettuminen juurikaan nopeutunut, on syytä epäillä tulosten johtuvan osittain testijärjestelyistä.

Johtopäätöksenä imu- ja puhallustuuletuksista voidaan näiden testien perusteella sanoa, että puhallustuuletuksella saavutettiin tehokkaampi tuulettuminen kuin imulla tapahtuvalla tuuletuksella. Puhallus- ja imutuuletuksen tulokset osoittavat, että peräosaan puhallettava tuuletusilma tuulettaa kontin tehokkaammin kuin vastaavalla teholla imettyinä peräosasta. Tulos on siten päinvastainen Johanson&Svedberg (2015) tuloksiin verrattuna.

6.6 Pahvilaatikon tuulettuminen harvasti lastatun kontin etuosassa

Harvasti lastatussa kontissa oli yhden testin (testi 13) aikana etuosan näytteenottopiste laitettu ovien vieressä olevan ison pahvilaatikon sisään, kontin lämpötilan ollessa 20 °C. Testi tehtiin käyttämällä vain ilokaasua merkkiaineena ja tuuletusmenetelmänä oli painovoimainen tuuletus. Kun tyhjä pahvilaatikko oli kontin etuosassa, oletettiin laatikon ulkopuolella olevan kontti-ilman vaihtuvan mahdollisimman nopeasti ja siten testin kuvastavan nopeinta mahdollista pahvilaatikon tuulettumisaikaa.

Kontin keski- ja peräosan tuulettumisnopeus noudatti vastaavan harvan, lämpimän kontin painovoimaisen tuuletuksen tuulettumisaikoja (testi 8), joten voidaan olettaa myös kontin etuosan tuulettuneen samalla tavalla. Verrattaessa etuosan tuulettumiskertoimia (liite 3, kuva 7) havaitaan pahvilaatikon sisällä olevan kaasun laimenevan kahden tunnin viiveellä kontin ilmatilaan verrattaessa. Kaasun vaihtumiseen laatikosta ulkopuolen ilmatilaan vaikuttaa muun muassa pahvilaadun paksuus, pahvikerrosten rakenne sekä pahvilaatikon sisältö.

Tyhjän pahvilaatikon sisällä olevat kaasut tuulettuivat laatikosta pois harvasti lastatussa kontissa kahden tunnin viiveellä kontin ilmatilaan verrattuna.

7. Koontitaulukko eri tuulettumisajoista

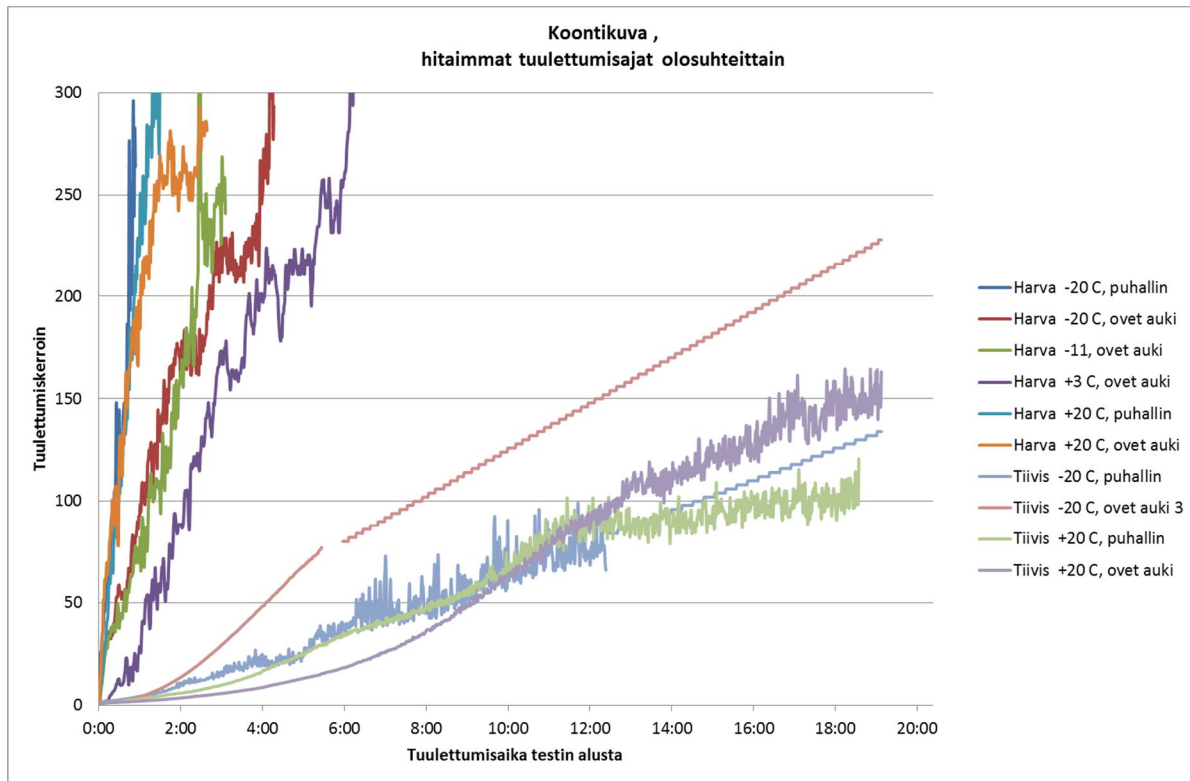
Koontitaulukkoon on koottu kaikista tehdyistä testeistä hitain tuulettumisaika, koska lastin purkamisen kannalta on oleellista, että koko purettavan lastin ilmatilavuudessa olevat kaasupitoisuudet ovat alentuneet turvalliselle tasolle. Testien hitaimmat tuulettumisajat on esitetty taulukossa 8, esitysväli on 20 tuulettumiskerrointa. Taulukkoon on järjestelty ensin harvasti lastatun kontin hitaimmat tuuletusajat kylmästä lämpimään ja viimeiseksi tiiviisti lastatun kontin vastaavat tulokset. Valkoisella taustalla on esitetty mitatut tuulettumisajat ja harmaalla lineaarisuoran avulla arvioidut tuulettumisajat. Taulukossa ei ole esitetty alhaisilla pitoisuuksilla tehtyjä testejä (testit 1 ja 3), toistotestejä (testit 2, 4 ja 13) tai sivukanavapuhaltimilla tehtyjä testejä (testit 14 ja 16), koska kyseisissä testeissä pyrittiin tarkastelemaan ilmiötasolla puhallusta ja imua. Testin 13 tuuletusajat olivat nopeampia kuin testin 8, joten taulukossa on esitetty vain hitaimman toistokokeen tulokset.

Taulukko 8. Pisimmät tuulettumisajat olosuhteittain esitettyinä.

Tuulettumisajat (t:min)				Tuulettumiskerroin														
Testi nro	Kontti	Lämpötila, °C	Tuulettustapa	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300
6	Harva	-20	puhallin	0:04	0:27	0:41	0:55	1:04	1:16	1:23	1:28	1:38	1:43	1:50	2:00	2:45	2:46	2:52
7	Harva	-20	ovet auki	0:07	0:11	0:17	0:22	0:29	0:34	0:40	0:45	0:50	0:52	0:56	1:00	1:10	1:14	1:16
15	Harva	-11	ovet auki	0:07	0:25	0:45	1:00	1:13	1:45	1:53	1:59	2:13	2:23	2:26	2:26	3:00	3:06	3:06
2	Harva	3	ovet auki	0:51	1:03	1:31	1:49	2:14	2:23	2:36	2:52	3:34	3:40	5:06	5:24	6:00	6:05	6:13
10	Harva	20	puhallin	0:06	0:11	0:17	0:22	0:29	0:34	0:40	0:45	0:50	0:52	0:56	1:00	1:10	1:14	1:16
8	Harva	20	ovet auki	0:03	1:58	2:11	2:20	2:24	2:38	2:46	2:53	3:01	3:05	3:10	3:25	3:34	3:41	3:47
5	Tiivis	-20	puhallin	3:38	6:08	9:37	12:24	14:31	17:10	19:48	22:26	25:05	27:43	30:22	33:00	35:38	38:17	40:55
12	Tiivis	-20	ovet auki 3	2:20	3:12	4:01	5:06	6:55	8:44	11:35	14:48	14:47	16:34	18:20	20:07	21:53	23:40	25:26
9	Tiivis	20	puhallin	4:23	6:44	9:25	10:46	15:05	18:34	21:16	24:15	27:13	30:12	33:10	36:09	39:08	42:06	45:05
11	Tiivis	20	ovet auki	6:14	8:22	9:47	11:09	12:34	14:50	16:54	18:25	20:09	21:53	23:36	25:20	27:04	28:47	30:31
valkoinen tausta = mitattu																		
harmaa tausta = arvioitu lineaarisuoritteiden avulla																		

Taulukosta 8 havaitaan, että tiiviisti lastattujen konttien tuulettumiseen kuluu moninkertaisesti aikaa verrattuna harvasti lastattuihin kontteihin, samoin kuin se, että alhaisimpienkin tuulettumiskertoimien saavuttaminen vaatii useita tunteja.

Pisimmät tuulettumiskertoimet eri olosuhteissa tuulettumisajan funktiona on esitetty kuvassa 22. Tiiviisti lastattujen konttien tulokset on esitetty noin 18 tunnin tuulettumisajalle asti. Kylmien tiiviisti lastattujen konttien tuulettumiskäyriä on jatkettu aiemmin esitettyjen lineaarisovitteiden avulla vertailtavuuden parantamiseksi.



Kuva 22. Olosuhteittain tuulettumistestien pisimmät mitatut ja arvioidut tuulettumisajat. Kylmien tiiviisti lastattujen arvioidut tuulettumisajat näyttävät kuvassa suorilta.

8. Tulosten hyödyntäminen tuontikonttien lastin purkamisessa

Vaikka tuulettumistestit tehtiin merkkiaineilla, voidaan tuloksia käyttää arvioitaessa oikeiden kaasutus- ja konttikaasujen tuulettamistarpeiden arviointiin. Tuulettumiskertoimia ja tuulettumisaikoja voi hyödyntää suhtautumalla niihin minimiarvoina, joiden avulla voi arvioida tarvittavaa vähittäistuuletusaikaa. Kuljetuskonttien tuulettamistarve riippuu kontin ilmatilan aineista ja pitoisuuksista, joten tarvittava tuulettumiskerroin ja -aika voidaan arvioida konttikohtaisesti arvioimalla ensin tarvittava tuulettumiskerroin. Tuulettumiskerroin kertoo, kuinka monta kertaa kaasupitoisuus on laimentunut.

Tarvittavan tuulettumiskertoimen voi arvioida esimerkiksi käyttämällä pitoisuusmittaustulosta ja lastikirjaan merkittyjä kaasutusainetietoja. Pitoisuusmittauksiin voi käyttää esimerkiksi käsimittareita, joissa on yleiskaasuilmaisin (PID, fotoionisaatiodetektor) ja fosfiinimittaus (esim. sähkökemiallinen kenno) Pitoisuusmittauksiin käytetyistä menetelmistä on kerrottu enemmän selvityksessä 'Konttikaasujen mittausmenetelmät' (Kajolinna&Pellikka 2015). Pitoisuus- ja ainetietoja vertailtaessa kontissa todennäköisesti esiintyvien aineiden HTP_{15} -pitoisuusarvoihin, voidaan arvioida tavoitepitoisuus, jonka avulla arvioidaan tarvittava tuulettumiskerroin. Koska HTP_{15} -pitoisuudet kuvastavat akuutteja oireita aiheuttavia pitoisuuksia, on altistumisen minimoimiseksi turvallisempi käyttää tavoitepitoisuutena HTP_{15} -arvoa alemmaa pitoisuutta.

Useimmiten turvallisuuksosovelluksissa käytetään pitoisuuden hälytysrajana 10 % pitoisuusosuutta haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta, esimerkiksi palavien aineiden mittauksissa hälytykset alkavat, kun pitoisuus on 10 % alimmasta räjähdyspitoisuudesta. Tässä tarkastelussa on käytetty samaa lähestymistapaa. Vähimmäistuuletusaika voidaan määrittellä tarkastelemalla tuuletusolosuhteittain pisimpiä tuulettumisaikoja, jotka on koottu raportin kappaleeseen 7. Tarvittavan tuulettumiskertoimen arvioinnista esitetään

seuraavassa kappaleessa kaksi esimerkkiarviota; metyylibromidille ja fosfiinille. Esimerkeissä oletetaan kontin olevan tiiviisti lastattu ja lämpötila on 20 °C.

Esimerkki 1. Kontti tiedetään metyylibromidilla kaasutetuksi ja käsimittari näyttää metyylibromidipitoisuudeksi 8 ppm. Metyylibromidin HTP₁₅-pitoisuus on 10 ppm. Jos voidaan olettaa, ettei kontin ilmatilassa esiinny alhaisempia HTP₁₅-pitoisuuden aineita, voidaan tavoitepitoisuutena arvioinnissa käyttää 1 ppm:ää (=10 ppm * 10 %). Tavoitettuulettumiskertoimeksi saadaan 8 (=mitattu 8 ppm / tavoitepitoisuudella 1 ppm). Vähimmäistuuletusajaksi voidaan arvioida taulukko 8:n avulla noin kuusi tuntia.

Esimerkki 2. Kontti tiedetään fosfiinilla kaasutetuksi ja PID-käsimittari näyttää pitoisuudeksi 5 ppm. Fosfiinin HTP₁₅-pitoisuus on 0,2 ppm. Koska PID-mittaus ei ole millekään aineelle spesifinen, niin kyseisen mittauksen perusteella ei voida tietää, kuvastaako mittaustulos fosfiinia vai muita vähemmän haitallisia aineita, joten tässä vaiheessa tulosta käsitellään mittaustulosta tässä vaiheessa fosfiinipitoisuutena. Fosfiinin tavoitepitoisuutena arvioinnissa käytetään 0,02 ppm:ää (=0,2 ppm * 10 %). Tavoitettuulettumiskertoimeksi saadaan 250 (=mitattu 5 ppm / tavoitepitoisuudella 0,02 ppm). Vähimmäistuuletusajaksi voidaan arvioida taulukko 8:n avulla noin 25 tuntia.

9. Testausjärjestelmien mahdollinen vaikutus tuloksiin

Tuuletustestit tehtiin lastauslaitureilla, joissa ulkoilma pääsi kiertämään kontin reunoilta lastauslaiturin puolelle. Lastauslaiturin ja varastoalueen välisen oven ollessa testien aikana suljettuna, jäi lastauslaiturille suljettu ilmatila, joka tuuletti vain kontin reunoilta, alhaalta ja ylhäältä vapaaksi jääneistä alueista. Ilmatilan vaihtumiseen vaikutti todennäköisesti ulkona ollut tuulennopeus, jolla on voinut olla vaikutusta painovoimaisen tuuletuksen tuloksiin. Tuulennopeuden kasvaessa on lastauslaiturin ilmatilan ilma todennäköisesti vaihtunut tyyntä säätä nopeammin, joten painovoimaisesti tuuletettaessa kontinkin ilmatila on voinut tuulettua nopeammin. Testien aikana tuulennopeutta ei seurattu. Lastauslaiturin rakenne on tyyppillinen Suomessa käytetty malli, joten tuulettusten tapahtuessa vastaavassa paikassa voivat sääolosuhteet vaikuttaa tuulettumisaikoihin hidastavasti tai nopeuttavasti. Ranskalaisessa tutkimuksessa (Braconnier & Xavier Keller 2015) on havaittu tuulennopeuden ja sopivan tuulensuunnan vaikuttavan nopeuttavasti tuulettumiseen. Tuulettamisolosuhteiden vakioimiseen ja siten tuuletusaikojen hallittavuuteen voi vaikuttaa tekemällä erillisen konttien tuulettamispaikan, jossa kaikki ilmavirtaukset ovat hallittavissa ja tarvittaessa puhdistettavissa haitallisista kemikaaleista ennen ulkoilmaan vapauttamista.

Keskipakopuhaltimella tehdyt testit, eritoten tiiviisti lastatun kontin kanssa, voivat poiketa tyyppillisistä kuljetuskonttien tuulettamisista korkeamman testauskontin vuoksi. Käytetyt lämpötilaohjatut kontit olivat 187 mm korkeampia kuin tavallisesti käytetyt kuljetuskontit. Puhaltimen korkeudensäätö ei riittänyt puhalluksen kohdistamiseen kokonaan pahvilaatikoiden yläpuolelle. Mataluuden vuoksi osa puhaltimen puhaltamasta ilmasta jäi todennäköisesti pyörimään laatikoiden eteen ja siten tuulettuminen puhaltimella tehdyissä testeissä saattoi olla hitaampaa, kuin se olisi ollut tavallisessa kontissa.

Keskipakopuhallin toimii siten, että se levittää puhallettavan ilmavirtauksen voimakkaasti sivusuuntaan, jolloin ilma ohjautuu seiniltä pyörteisesti kontin yläosan ilmatilaan. Tämä voi johtaa siihen, että ilmavirtaus on pitkän kontin peräosaan mennessä heikentynyt voimakkaasti. Lisäksi suuren turbulenssin vuoksi kontista yläkautta poistuvalla kaasulla ei ole selvää ulostuloreittiä, vaan ne voivat sekoittua puhallusvirtaukseen kontin yläosassa. Puhaltimia suunniteltaessa puhallus voisi olla kapeammin suunnattu kontin peräosaa kohti, jolloin ilmavirtaus ei heikkenisi yhtä voimakkaasti ja yläkautta poistuvat kaasut eivät sekoittuisi puhallusvirtaukseen.

Tyhjien, melko isojen pahvilaatikoiden käyttö testeissä on voinut vaikuttaa tuulettumisaikoihin nopeuttavasti, koska pahvin pinta-ala oli tyyppisiä tavaralasteja pienempi. Suuret ja paksut

pahvi- tai muovipakkaukset hidastavat kaasujen liikkumista pakkauksen ja kontin ilmatilan välillä. Esimerkiksi säkkeihin pakatut tavarat ja pahvilaatikot voivat olla kuljetuskontissa hyvin tiiviisti, jolloin kontin yläosaan jää vain muutamien senttimetrin ilmatila. Näiden tehtyjen tuuletustestien on edellä esitetyissä kappaleissa todettu kuvastavan konttien optimaalista tuulettumista. Kuten aiemmissa kappaleissa on kerrottu, nämä testit edustavat optimaalista tuulettumista, joten tulokset kuvaavat vähimmäistuuletusaikoja.

10. Johtopäätökset ja jatkosuositukset

Lastin tiiveyden vaikutuksesta tuulettumiseen voidaan todeta tiiviisti pakatun lastin hidastavan tuulettumista jopa 60-kertaisesti. Harvasti lastattu kontti tuulettui puhaltimen kanssa lämpötilasta riippumatta noin tunnissa ja painovoimaisesti tuulettaessa lämpimässä noin kahdessa tunnissa, kylmässä noin kolmessa tunnissa. Tiiviisti pakattu kontti tuulettui vastaavasti puhaltimen kanssa lämpötilasta riippumatta noin 30 tunnissa ja painovoimaisesti tuulettaessa lämpimässä noin 22 tunnissa, kylmässä noin 60 tunnissa.

Merkkiaineiden käyttäytymisestä testeissä havaittiin, että merkkiaineiden tuulettuminen kylmistä konteista oli hitaampaa kuin lämpimistä konteista. Näiden tulosten perusteella korkeampi lämpötila nopeuttaa tuulettumista. Keskipakopuhaltimen käyttö nopeutti peräosien tuulettumista, joten puhallin nopeuttaa konttien ilmatilan vaihtuvuutta, kunhan kontista poistunutta ilmaa ei päästetä uudelleen sekoittumaan puhallusilman kanssa.

Tutkittaessa kontin alkulämpötilan vaikutusta tuulettumiseen havaittiin, että kylmät kontit tuulettuivat yleensä hitaammin kuin lämpimät kontit. Keskipakopuhaltimen käyttö nopeutti peräosien tuulettumista, joten puhallin nopeuttaa konttien ilmatilan vaihtuvuutta, kunhan kontista poistunutta ilmaa ei päästetä uudelleen sekoittumaan puhallusilman kanssa.

Kontin ja tuuletusilman lämpötilaeron vaikutuksesta voidaan suuntaa-antavasti näiden testien perusteella arvioida, että lämpötilaeroilla on tuulettumista nopeuttava vaikutus.

Keskipakopuhallin nopeutti selvästi konttien sisäilman liikkumista.

Imu- ja puhallustuuletuksista voidaan näiden testien perusteella mainita, että puhaltamalla saavutettiin tehokkaampi tuulettuminen. Puhallus- ja imutuuletuksen tulokset osoittavat, että peräosaan puhallettava tuuletusilma tuulettaa kontin tehokkaammin kuin vastaavalla teholla imettynä peräosasta. Tulos on siten päinvastainen Johanson&Svedberg (2015) tuloksiin verrattuna.

Tyhjän pahvilaatikon sisällä olevat kaasut tuulettuivat laatikosta pois harvasti lastatussa kontissa kahden tunnin viiveellä kontin ilmatilaan verrattuna.

Tämän tutkimuksen perusteella saatiin määritettyä vähimmäistuuletusaikoja eri tavalla lastatuille 12- metrisille konteille. Konttien tuulettumisaikamittauksia olisi suositeltavaa jatkaa testaamalla erityyppisillä tavaroilla lastattujen tuontikonttien tuulettumista, jotta tuulettamisajoista saataisiin laajempi käsitys.

Jotta kontin ilma olisi vaihtunut noin 50-kertaisesti, tulisi tuulettumisaikojen näiden testien perusteella olla vähintään:

- harvasti lastatulle kontille painovoimaisesti tuulettaessa vähintään 2 tuntia
- harvasti lastatulle kontille keskipakopuhaltimella tuulettaessa vähintään puoli tuntia
- tiiviisti lastatulle kontille painovoimaisesti ja keskipakopuhaltimella tuulettaessa vähintään 10 tuntia. Ennen kontin purkua on kuitenkin suositeltavaa mitata kontin kaasupitoisuuksia, jotta voidaan todeta pitoisuuksien vähentyneen turvalliselle tasolle

Tuulettamisolosuhteiden vakioimiseen ja siten tuuletusaikojen hallittavuuteen voi vaikuttaa tekemällä erillisen konttien tuulettamispaikan, jossa tuuletusilman lämpötila olisi noin 20 °C, ilmavirtaukset olisivat hallittavissa ja tarvittaessa puhdistettavissa haitallisista kemikaaleista ennen ulkoilmaan vapauttamista.

Puhaltimia suunniteltaessa puhallus kannattaisi olla kapeammin suunnattu kontin peräosaa kohti, jolloin ilmavirtaus ei heikkenisi yhtä voimakkaasti ja yläkautta poistuvat kaasut eivät sekoittuisi puhallusvirtaukseen.

Konttien rakennetta voisi tulevaisuudessa muuttaa tuulettamista nopeuttavalla tavalla, esimerkiksi lisäämällä kontin etuosaan yhteen, josta voisi suuritehoisella puhaltimella puhaltaa ilmaa kontin peräosaan ja ovien ollessa auki tuuletusilma pääsisi poistumaan kontista siten, ettei se sekoittuisi uudelleen sisään menevään tuuletusilmaan.

11. Yhteenveto

Projektin "Työturvallisuutta vaarantavien kaasujen riskienhallintakeinojen tunnistaminen tavarankuljetuskonteissa" tavoitteena on parantaa viranomaisen ja muiden kuljetuskonttien parissa työskentelevien ammattiryhmien, jotka voivat altistua työssään konteissa esiintyvillä kaasumaisilla kemikaaleilla, työturvallisuutta. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli määrittää konttien tuulettumisaikoja eri tavoin pakatuille kuljetuskonteille eri lämpötiloissa ilman koneellista ilmanvaihtoa ja painovoimaisen tuuletuksen kanssa. Kontit oli testeissä pakattu kahdella tavalla; tiiviisti ja harvasti. Tuulettumisaikatestaukset tehtiin Keslog Oyj:n päivittäistavaravarastolla Vantaan Hakkilassa 27.2.-8.5.2015. Testeissä käytettiin kahta lämpötilasäädeltävää konttia, jotka oli pakattu uusilla tyhjiillä pahvilaatikoilla. Merkkiaineina käytettiin ilokaasua ja butaania. Ilokaasun oletettiin fysikaalisten parametriensa vuoksi käyttäytyvän testeissä kuten esimerkiksi hiilidioksidin, vastaavasti butaanin oletettiin käyttäytyvän kuten metyylibromidin. Tuulettumistapoina käytettiin painovoimaista tuuletusta, keskipakopuhallinta ja kahdessa testissä sivukanavapuhaltimia.

Merkkiaineiden pitoisuusmittauksista laskettiin suhteelliset pitoisuusosuudet ja laimennuskertoimet testiajalta. Tulosten tarkasteluissa on käytetty pääasiassa laimennuskertoimia testiajan funktiona. Tuloksia tarkastellaan monista eri näkökulmista, koska testeissä muuttuvia tekijöitä oli monia. Tuloksista tarkasteltiin erikseen seuraavia asioita: merkkiaineiden käyttäytyminen testeissä, lastin tiiveyden vaikutus, kontin alkulämpötilan vaikutus, kontin ja ulkoilman välisen lämpötilaeron vaikutus, koneellisen ilmanvaihdon vaikutus ja pahvilaatikon tuulettuminen harvasti lastatussa kontissa.

Johtopäätöksenä merkkiaineiden käyttäytymisestä oli, että butaani tuulettui tiiviisti lastatussa kontista selvästi hitaammin kuin ilokaasu, jolloin metyylibromidinkin oletetaan tuulettuvan hitaasti tiivistä lastauksesta. Tutkittaessa lastin tiiveyden vaikutusta tuulettumiseen havaittiin, että tiivis lasti hidasti tuulettumista jopa 60-kertaisesti verrattuna harvasti lastattuun konttiin. Tutkittaessa kontin alkulämpötilan vaikutusta tuulettumiseen havaittiin, että kylmät kontit tuulettuivat hitaammin kuin lämpimät kontit.

Konttien ja ulkoilman lämpötilaeron vaikutuksesta tuulettumisaikoihin ei voitu vetää selviä johtopäätöksiä näiden testien perusteella. Keskipakopuhallin nopeutti selvästi konttien etuosan tuulettumista. Tutkimuksessa havaittiin myös, että verrattaessa keskipakopuhaltimella tuulettuja ja painovoimaisesti tuulettuja kontteja, keskipakopuhaltimella konttien keski- ja peräosien tuulettuminen ei juurikaan nopeutunut vaan se jopa hidastui. Kun verrattiin imu- ja puhallustuuletuksien tehokkuutta toisiinsa, huomattiin, että puhaltamalla saavutettiin tehokkaampi tuulettuminen. Tyhjän pahvilaatikon sisäisen kaasupitoisuuden havaittiin tuulettuvan harvasti lastatussa kontissa kahden tunnin viiveellä kontin ilmatilaan verrattuna.

Lähdeviitteet

Braconnier, Robert; Keller, François-Xavier. Purging of Working Atmospheres Inside Freight Containers. *Ann. Occup. Hyg.* 1–14. doi:10.1093/annhyg/meu116. 2015.

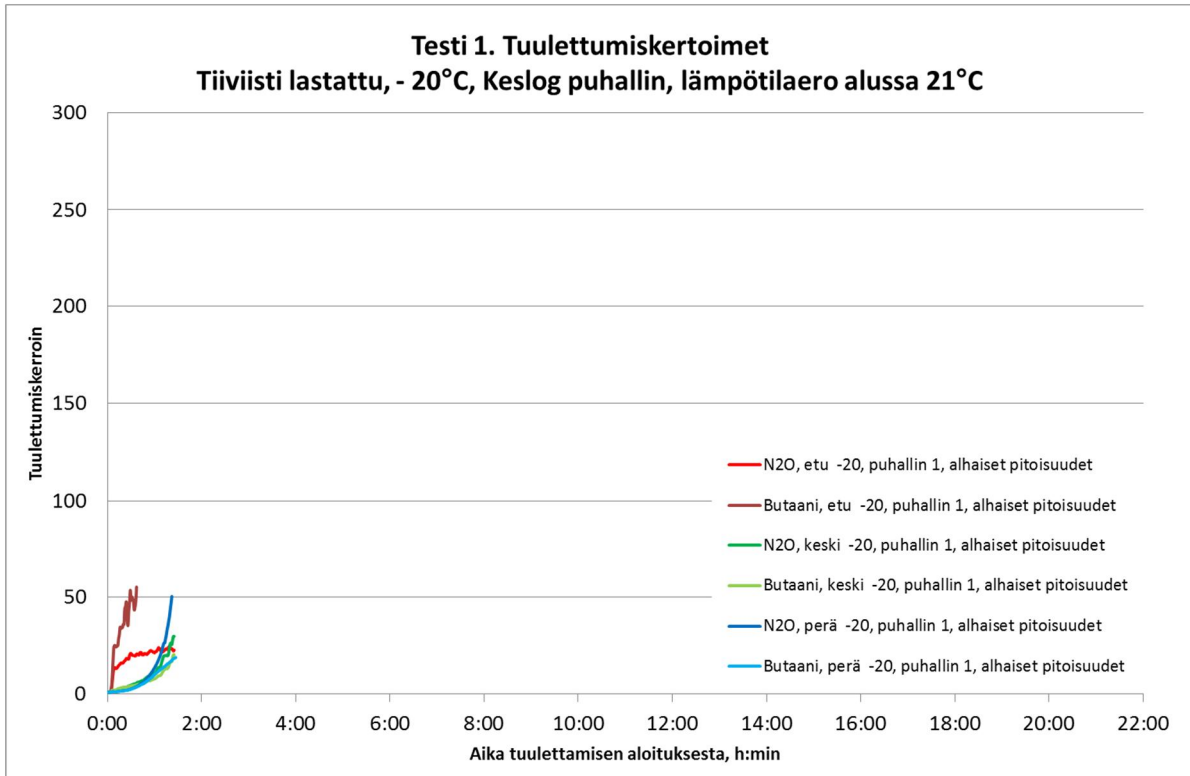
Erma New Zealand. Safety Precautions for Fumigated Freight Containers. Information Sheet. Number 27, Environmental Risk Management Authority of New Zealand. 2005.

Johanson, Gunnar & Svedberg, Urban. VOCs in containers arriving in Sweden Occurrence, personal exposure, and sampling and ventilation strategies. IOHA London 2015, 25-30 April 2015. Viitattu 11.9.2015.

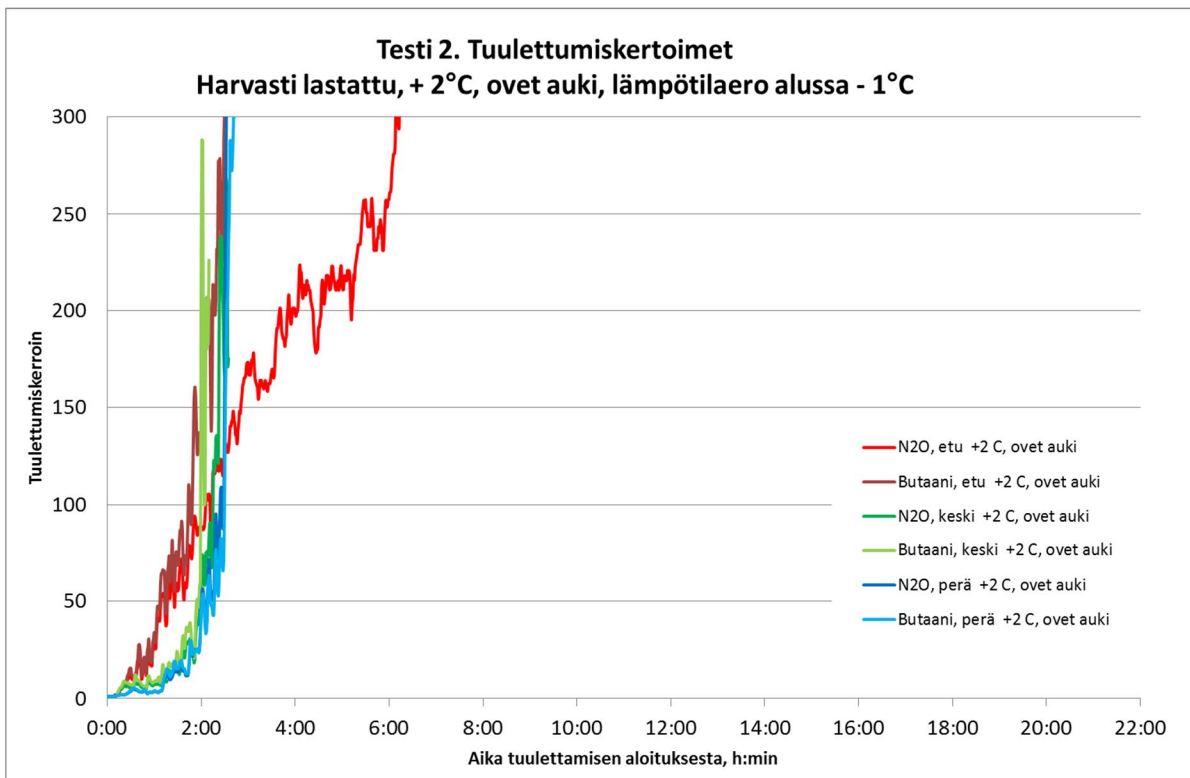
Svedberg, Urban; Johanson, Gunnar. Work Inside Ocean Freight Containers – Personal Exposure to Off-Gassing Chemicals. *Ann. Occup. Hyg.* Vol. 57, No. 9, pp. 1128-1137. 2013.

WorkSafe Victoria. Fumigated shipping containers - Venting prior to unpacking (by end user). HSS0116/01/10.09. Victorian WorkCover Authority. Australia. 2009.

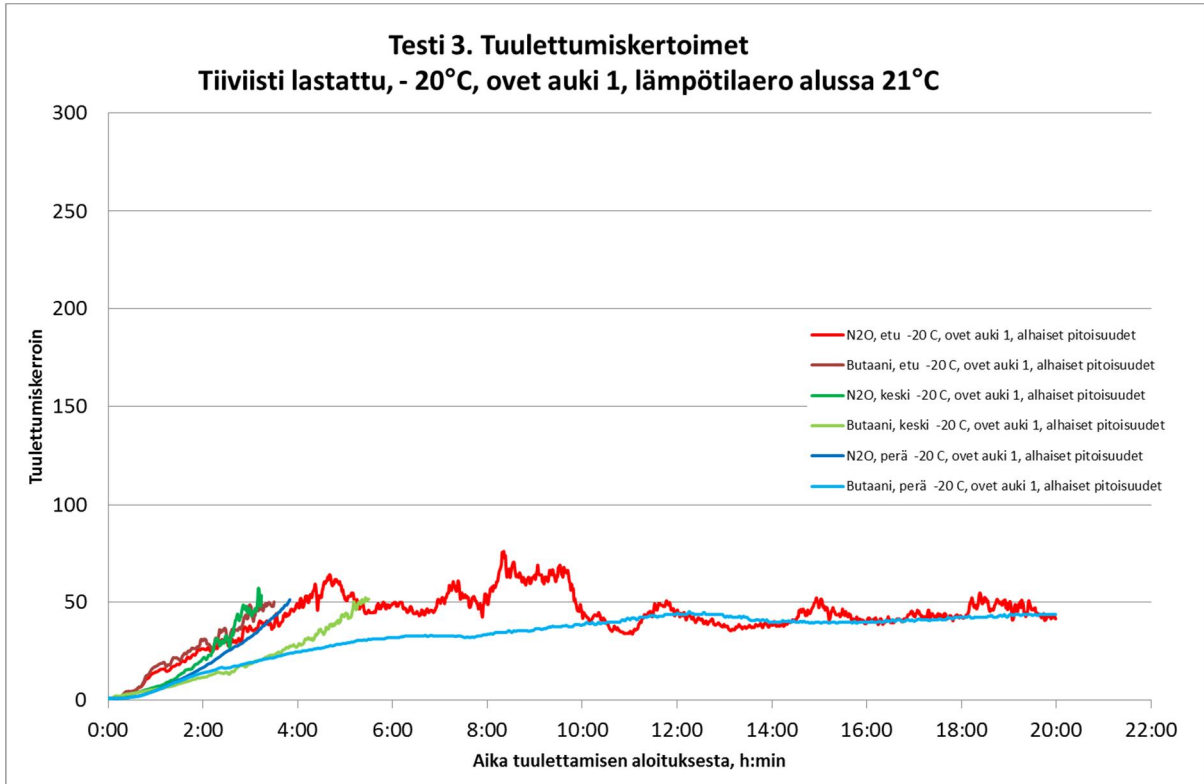
Liite 1: Tuulettumiskertoimet testeittäin tuulettumisajan funktiona.



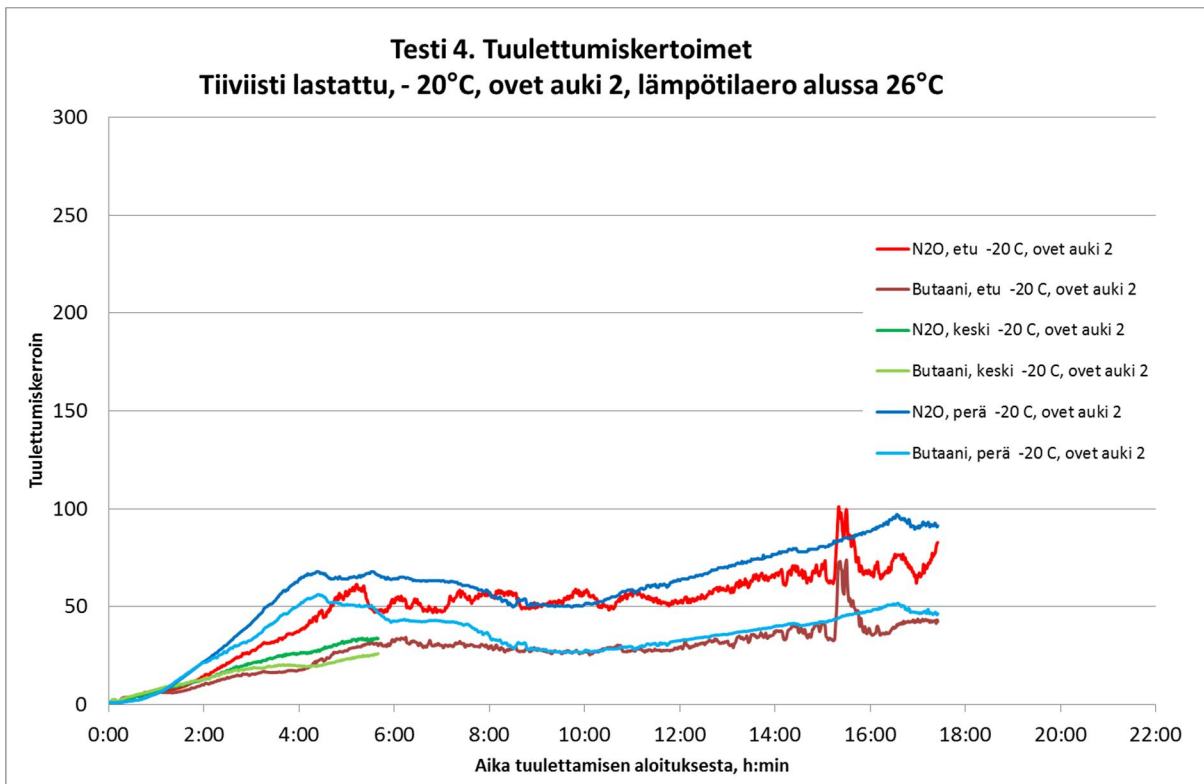
Kuva 1. Testi 1 on tehty ilokaasulla ja alhaisilla lähtöpitoisuuksilla tiiviisti täytetyssä kontissa. Keskipakopuhallin, kontin lämpötila -20 °C. Tuulettumiskertoimet yli 50 eivät ole luotettavia alhaisista lähtöpitoisuuksista johtuen.



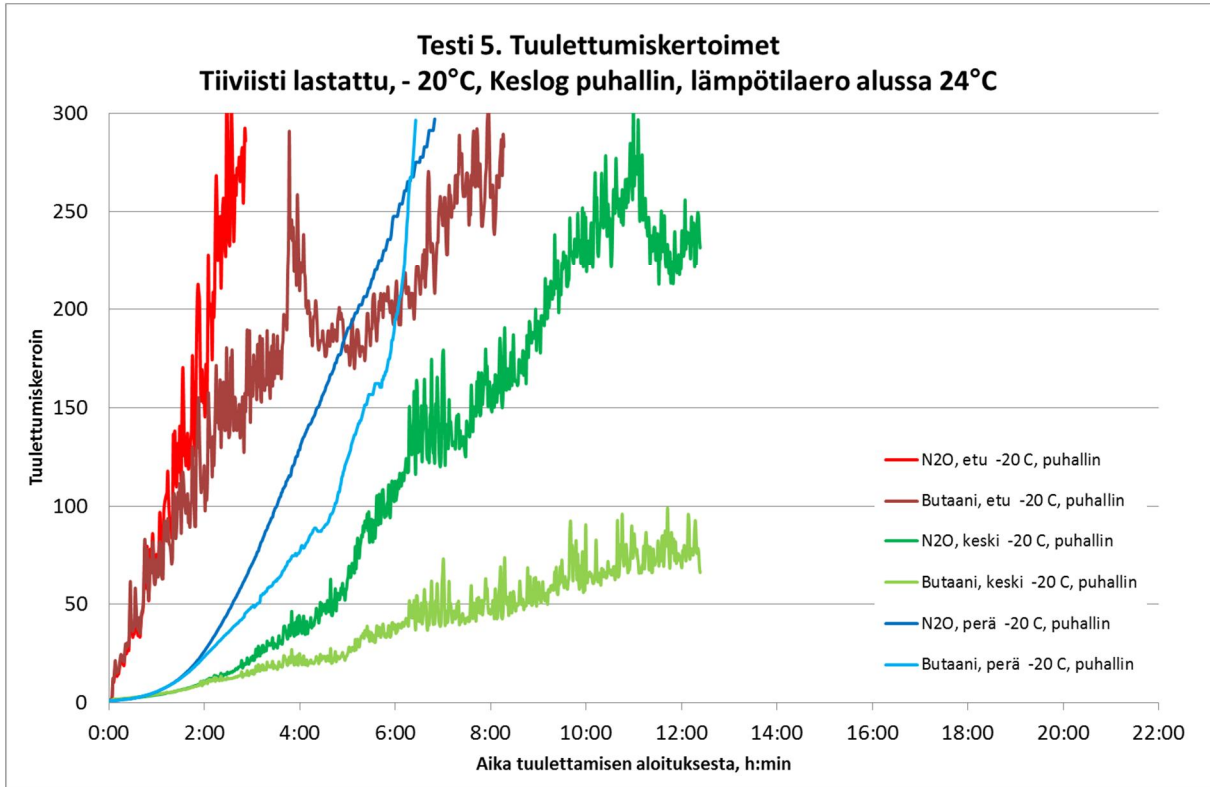
Kuva 2. Testi 2 on tehty harvasti täytetyssä kontissa. Tuuletustapa painovoimainen tuuletus, kontin lämpötila +2 °C.



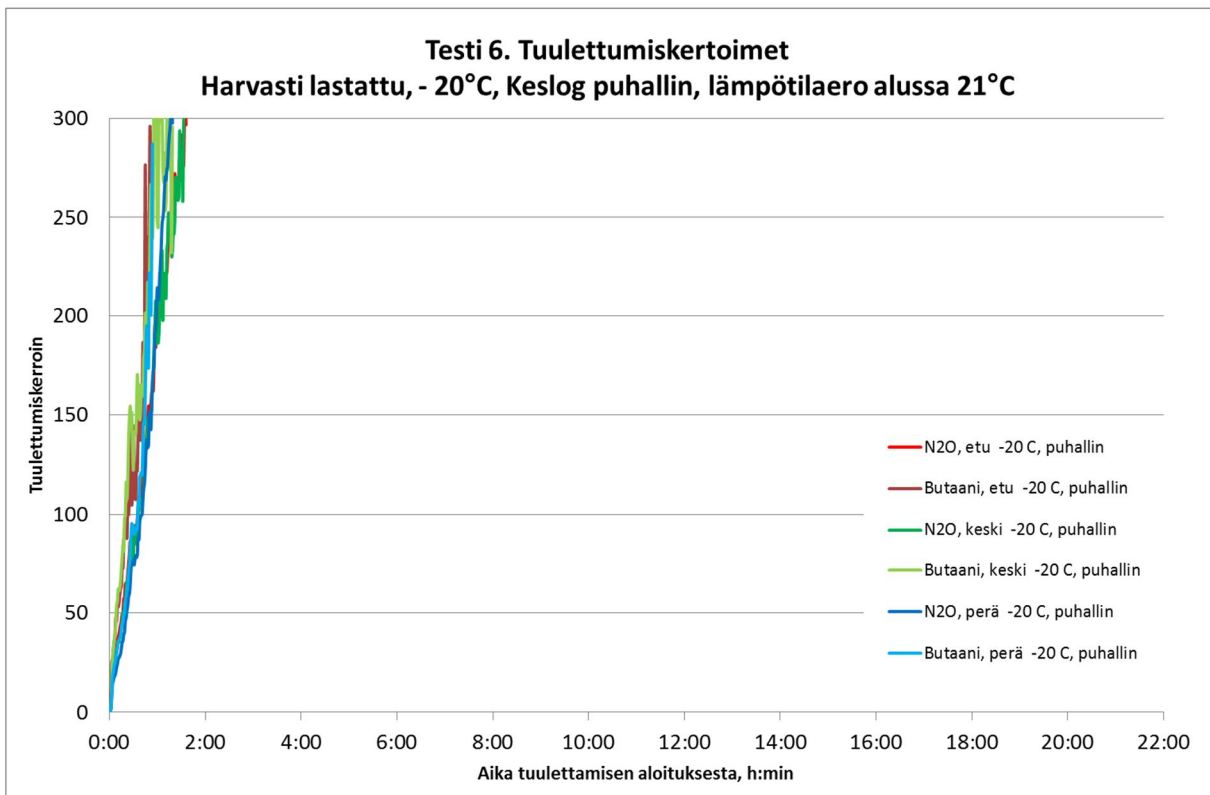
Kuva 3. Testi 3 on tehty alhaisilla lähtöpitoisuuksilla tiiviisti täytetyssä kontissa. Tuulettustapa painovoimainen tuuletus (kerta nro 1), kontin lämpötila -20 °C. Tuulettumiskertoimet yli 50 eivät ole luotettavia alhaisista lähtöpitoisuuksista johtuen.



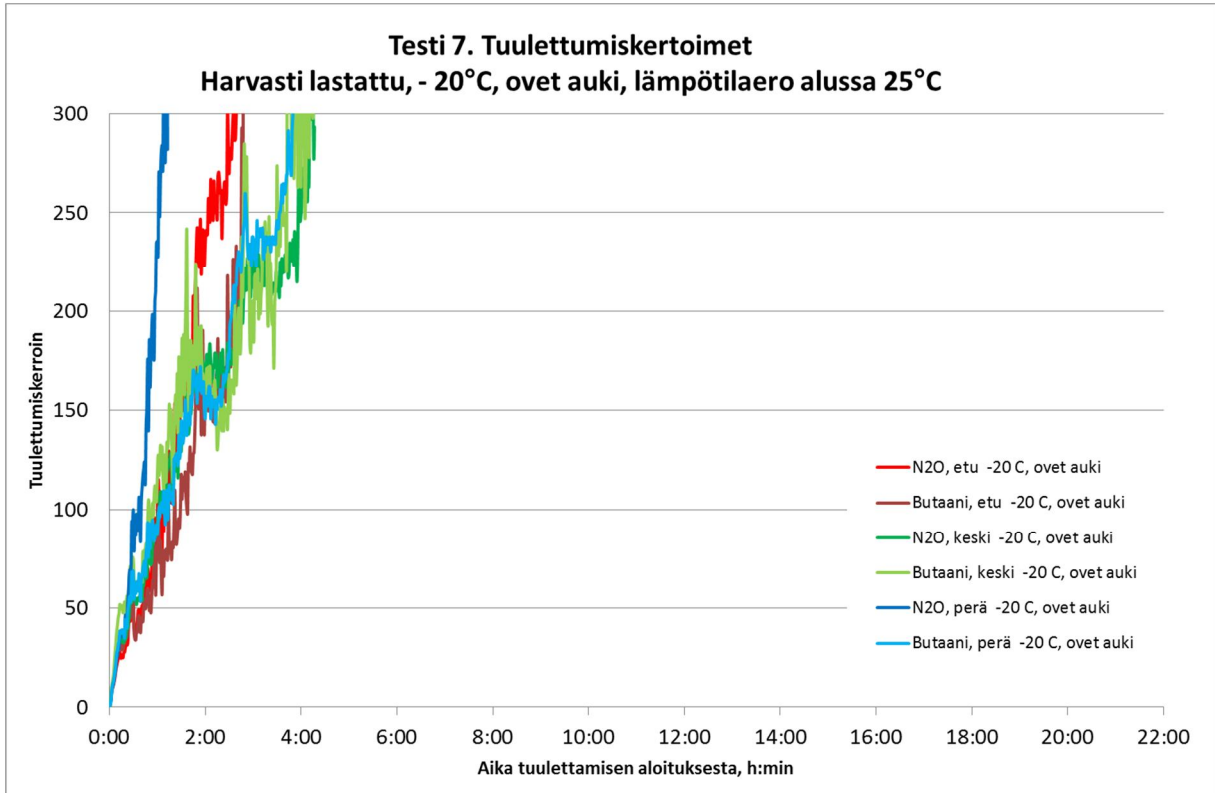
Kuva 4. Testi 4 on tehty tiiviisti täytetyssä kontissa. Tuulettustapa painovoimainen tuuletus (kerta nro 2), kontin lämpötila -20 °C.



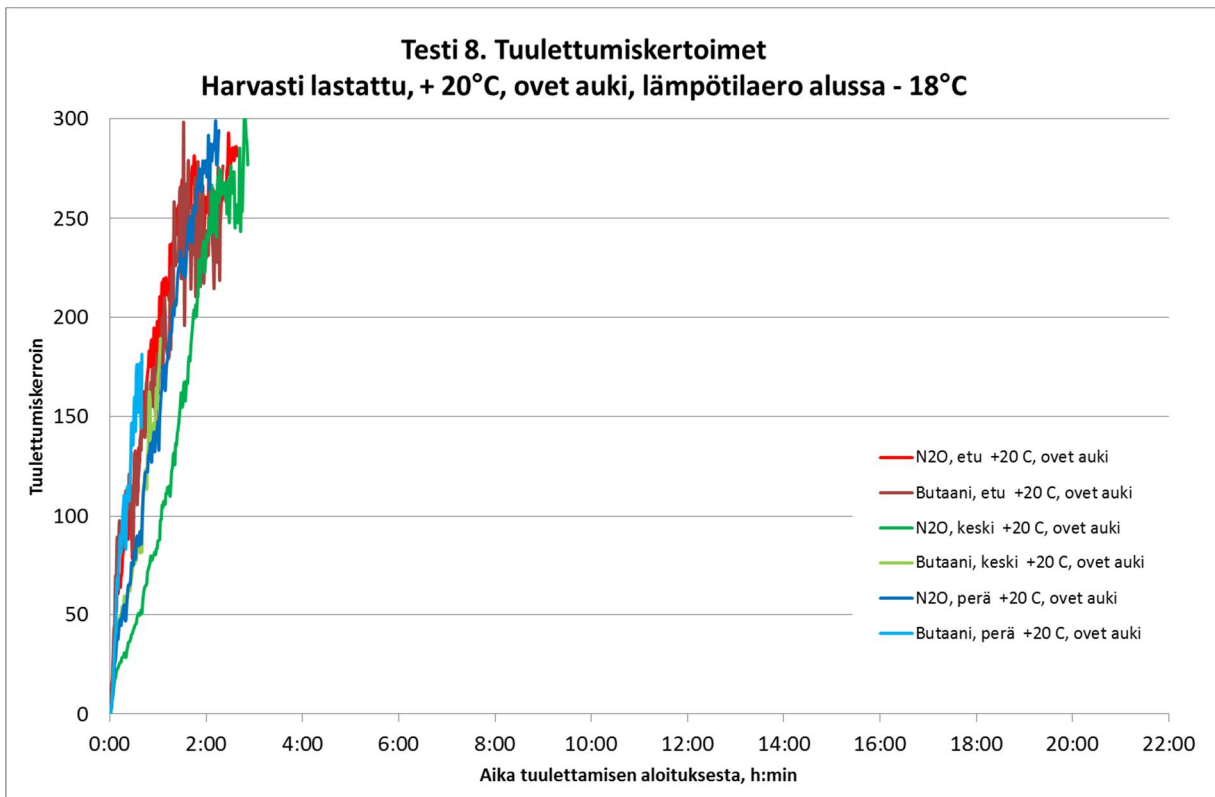
Kuva 5. Testi 5 on tehty tiiviisti täytetyssä kontissa. Keskipakopuhallin, kontin lämpötila -20 °C.



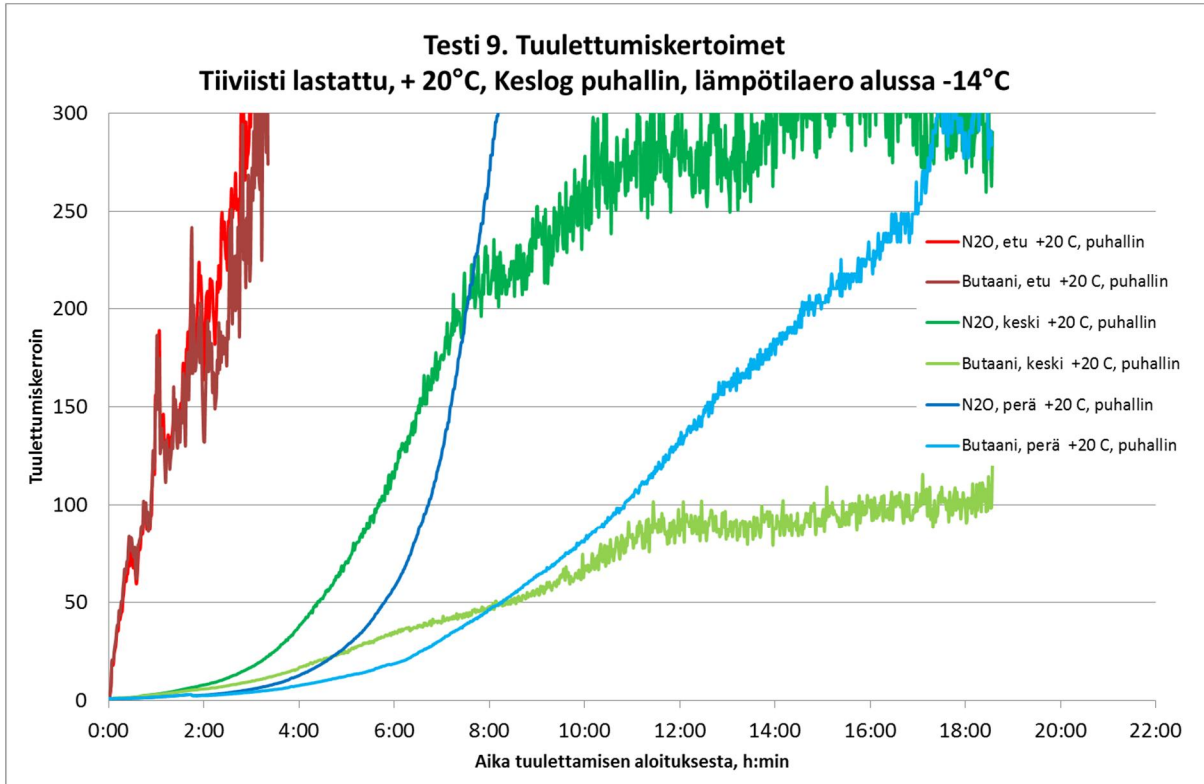
Kuva 6. Testi 6 on tehty harvasti täytetyssä kontissa. Keskipakopuhallin, kontin lämpötila -20 °C.



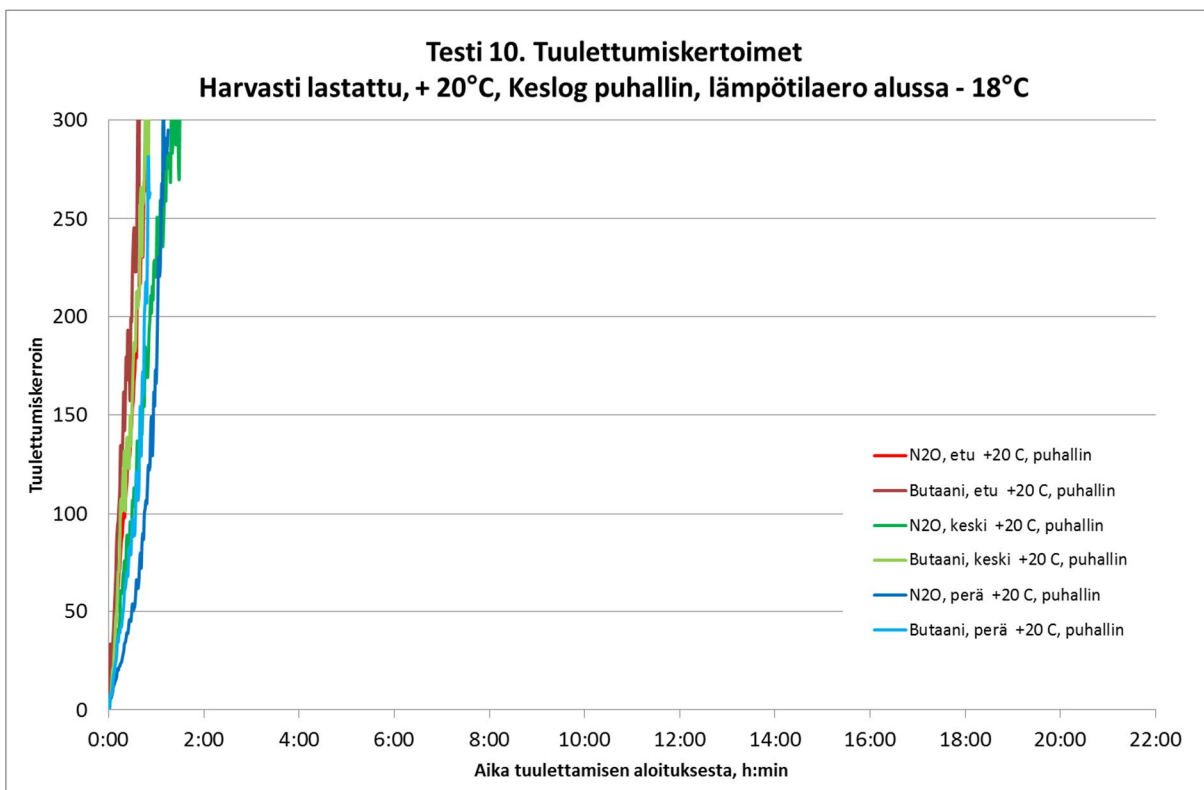
Kuva 7. Testi 7 on tehty harvasti täytetyssä kontissa. Tuulettustapa painovoimainen tuuletus, kontin lämpötila -20 °C.



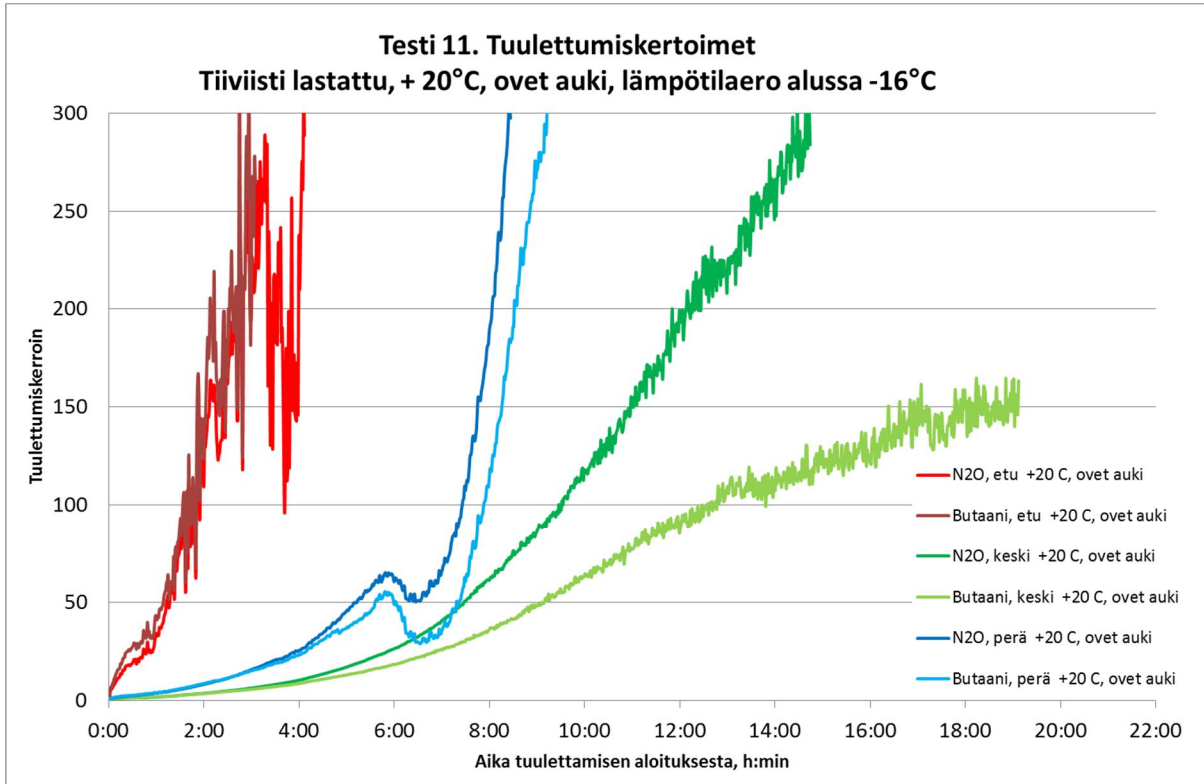
Kuva 8. Testi 8 on tehty harvasti täytetyssä kontissa. Tuulettustapa painovoimainen tuuletus, kontin lämpötila +20 °C.



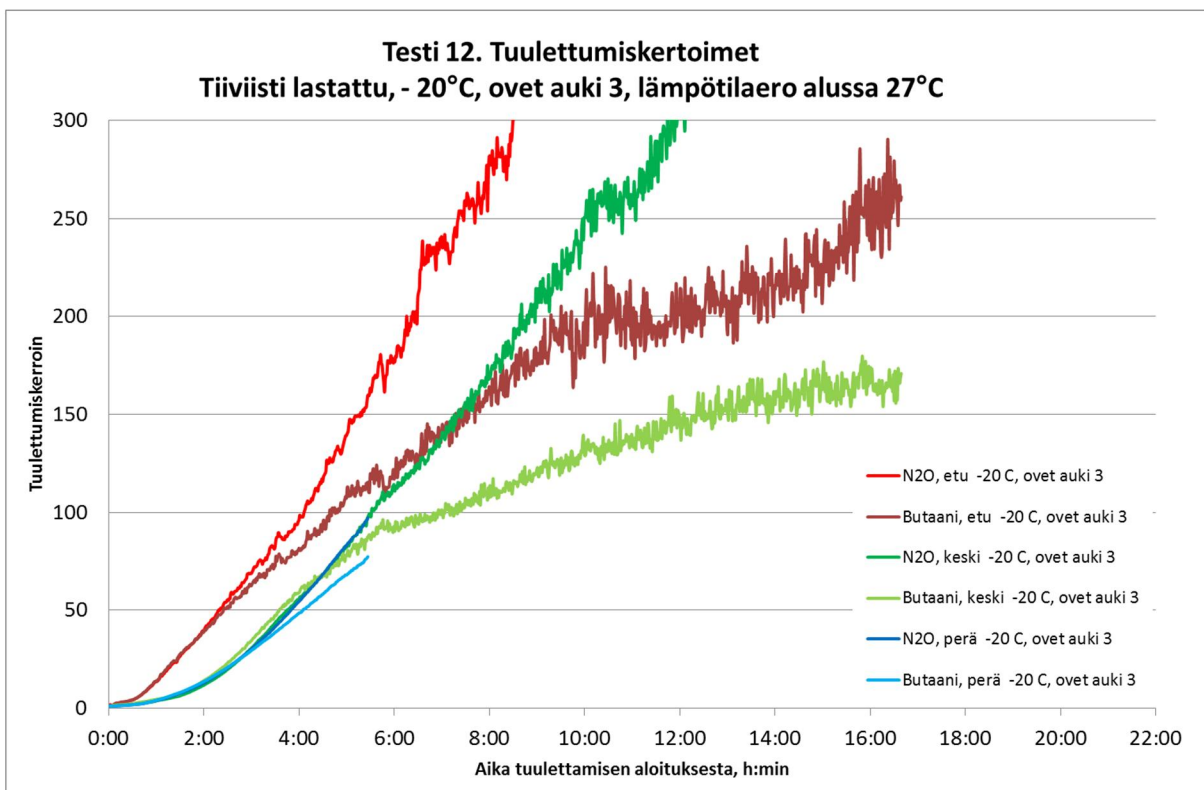
Kuva 9. Testi 9 on tehty tiiviisti täytetyssä kontissa. Keskipakopuhallin, kontin lämpötila +20 °C.



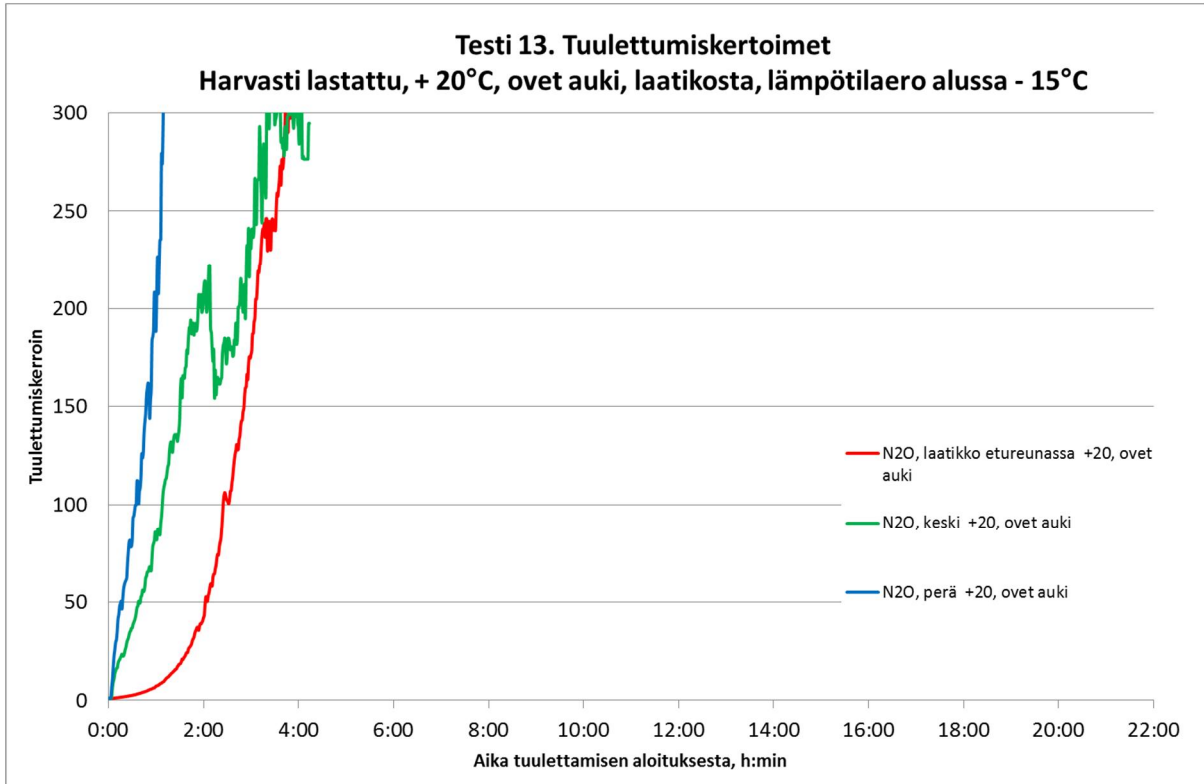
Kuva 10. Testi 10 on tehty harvasti täytetyssä kontissa. Keskipakopuhallin, kontin lämpötila +20 °C.



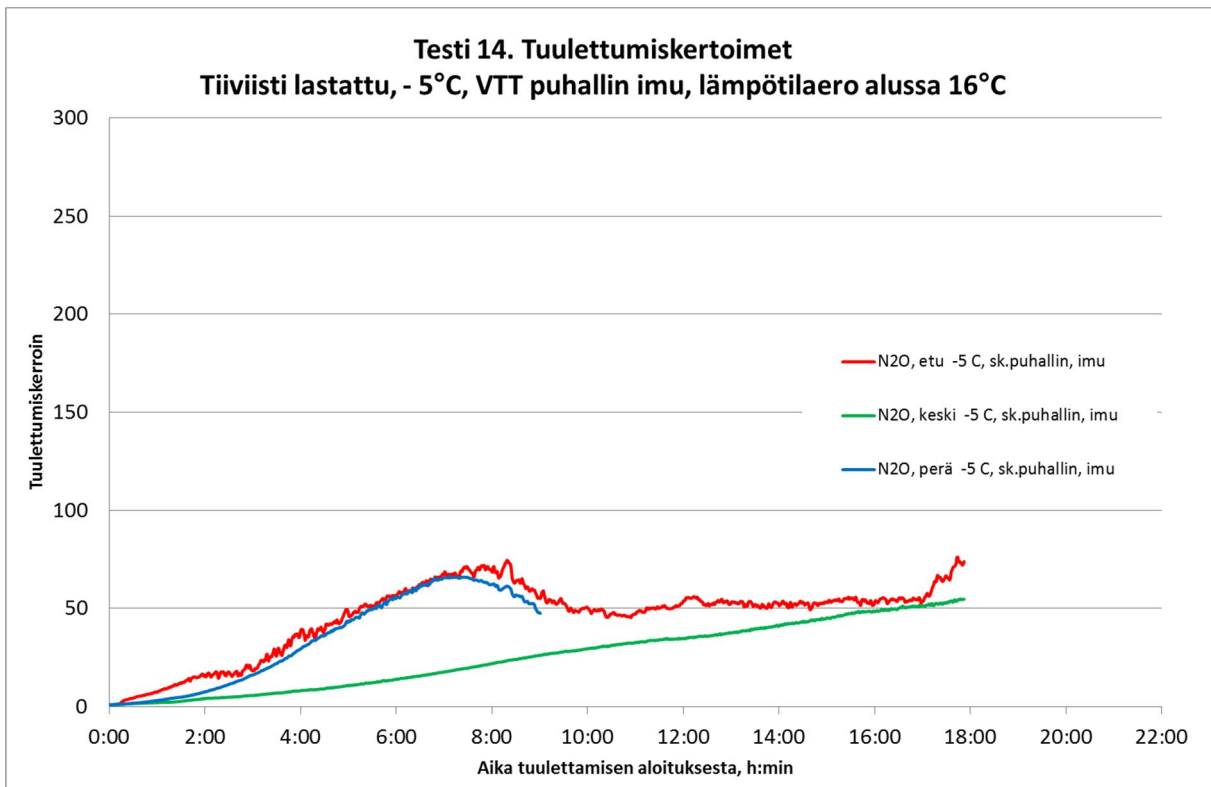
Kuva 11. Testi 11 on tehty tiiviisti täytetyssä kontissa. Tuuletustapa painovoimainen tuuletus, kontin lämpötila +20 °C.



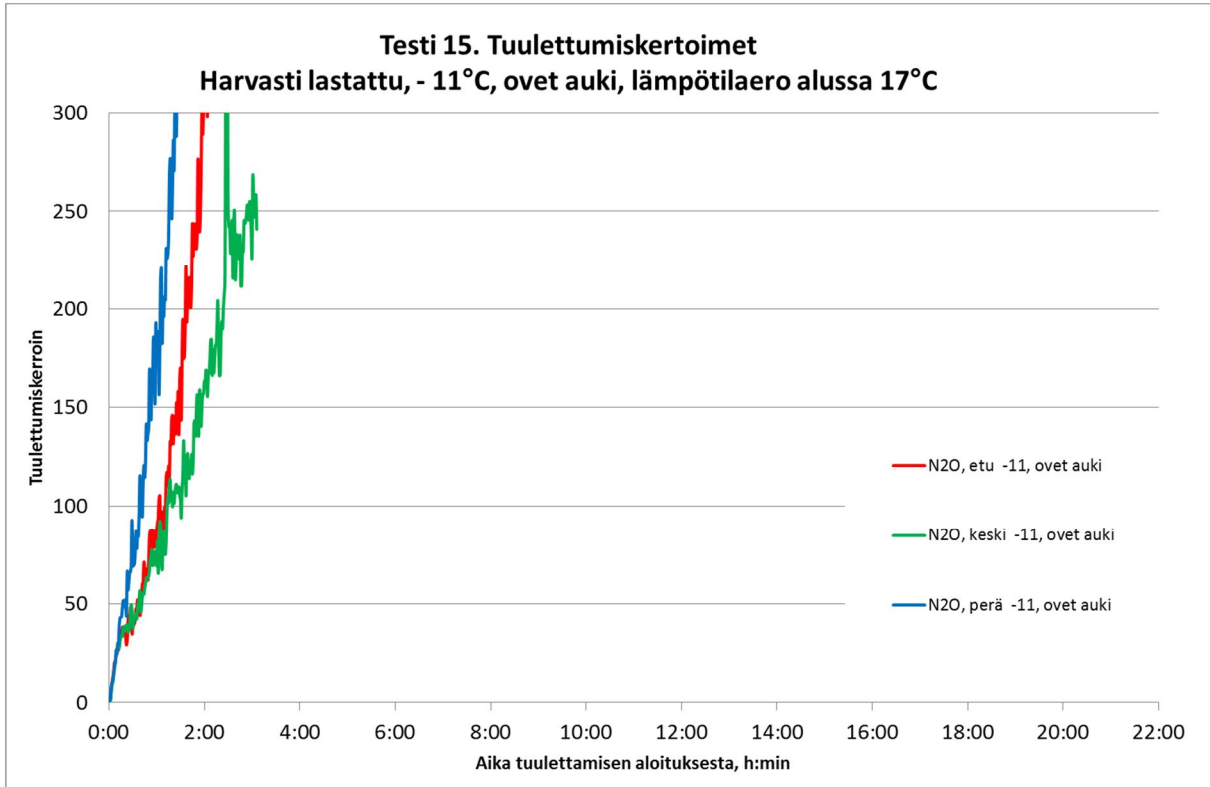
Kuva 12. Testi 12 on tehty tiiviisti täytetyssä kontissa. Tuuletustapa painovoimainen tuuletus (kerta nro 3), kontin lämpötila -20 °C.



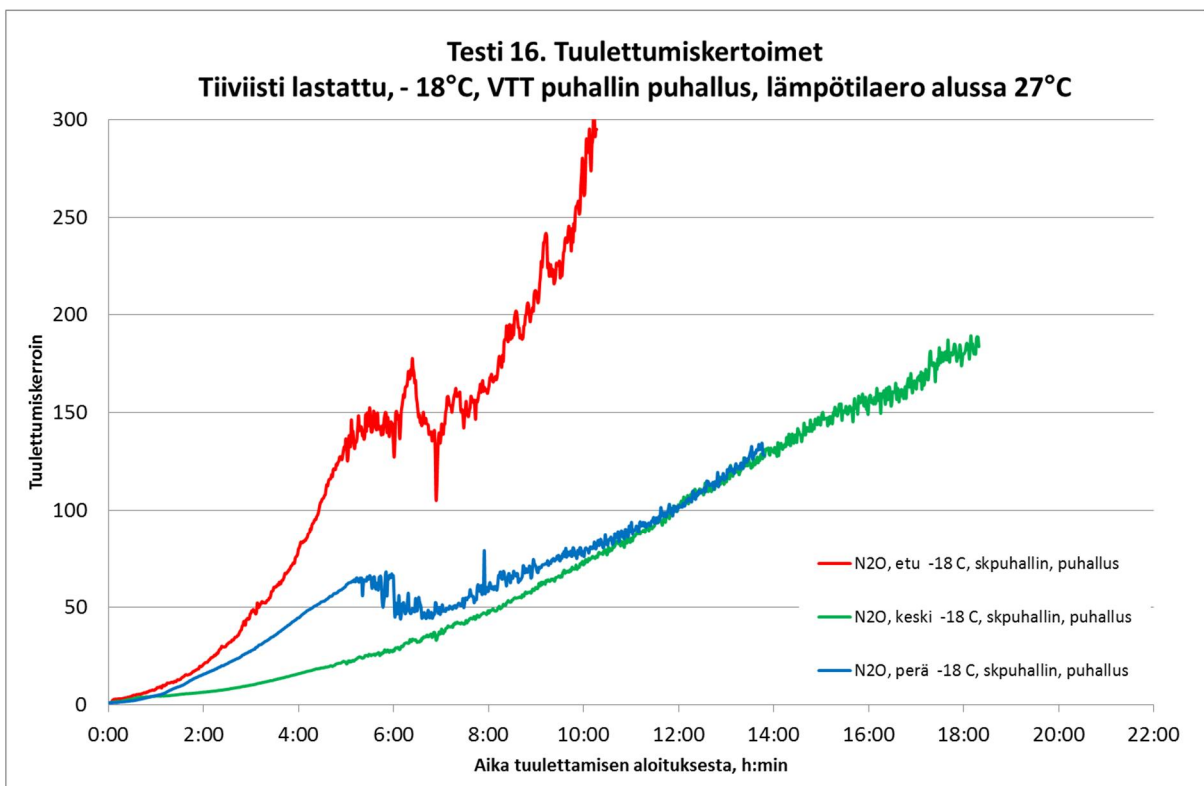
Kuva 13. Testi 13 on tehty harvasti täytetyssä kontissa. Tuuletustapa painovoimainen tuuletus, kontin lämpötila +20 °C. Etummainen näytteenottopiste oli laitettu ovien lähellä olevan pahvilaatikon sisään.



Kuva 14. Testi 14 on tehty ilokaasulla tiiviisti täytetyssä kontissa. VTT:n puhallin imulla peräosasta, kontin lämpötila -5 °C.



Kuva 15. Testi 15 on tehty ilokaasulla harvasti täytetyssä kontissa. Tuulettustapa painovoimainen tuuletus, kontin lämpötila -20 °C.



Kuva 16. Testi 16 on tehty ilokaasulla tiiviisti täytetyssä kontissa. VTT:n puhallin puhalluksella peräosaan, kontin lämpötila -11 °C.

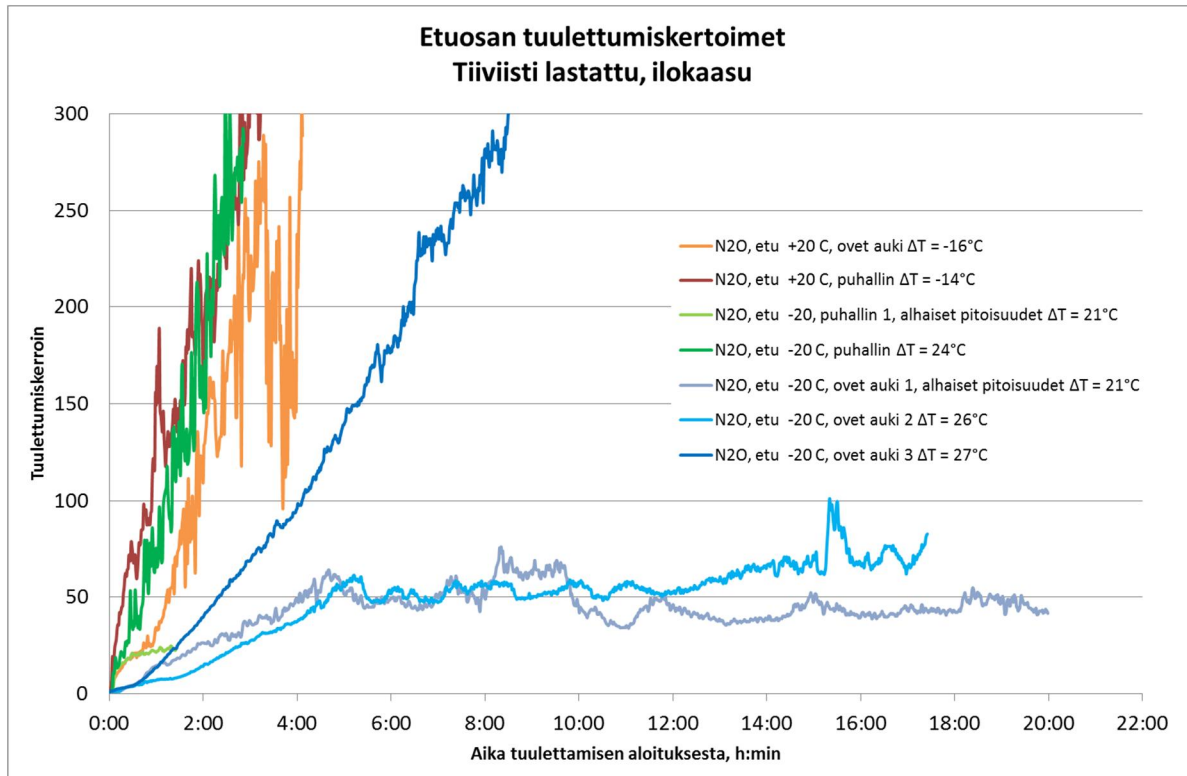
Taulukko 1. Tiiviisti lastatun kontin tuulettumisajat tuulettumiskertoimien funktiona testeittäin.

Tuulettumisajat (t:min)			Tuulettumiskerroin														Kulmakerroin a	Vakio-osa b	
Testi nro	Näytepiste	Olosuhde	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	aika/tuulettumiskerroin	aika
1	N2O, etu	-20, puhallin 1, alhaiset pitoisuudet	0:28																
	N2O, keski	-20, puhallin 1, alhaiset pitoisuudet	1:17																
	N2O, perä	-20, puhallin 1, alhaiset pitoisuudet	1:07	1:18															
	Butaani, etu	-20, puhallin 1, alhaiset pitoisuudet	0:07	0:26															
	Butaani, keski	-20, puhallin 1, alhaiset pitoisuudet	1:23																
	Butaani, perä	-20, puhallin 1, alhaiset pitoisuudet	1:27																
3	N2O, etu	-20 C, ovet auki 1, alhaiset pitoisuudet	1:37	3:31														0:07:03	-1:08:59
	N2O, keski	-20 C, ovet auki 1, alhaiset pitoisuudet	1:57	2:40														0:01:44	1:37:38
	N2O, perä	-20 C, ovet auki 1, alhaiset pitoisuudet	2:13	3:22														0:02:53	1:26:24
	Butaani, etu	-20 C, ovet auki 1, alhaiset pitoisuudet	1:20	2:50														0:03:45	0:23:20
	Butaani, keski	-20 C, ovet auki 1, alhaiset pitoisuudet	3:06	4:50														0:03:36	2:21:59
	Butaani, perä	-20 C, ovet auki 1, alhaiset pitoisuudet	3:09															0:44:30	-17:38:24
4	N2O, etu	-20 C, ovet auki 2	2:26	4:09	13:00	17:23												0:19:52	-7:53:46
	N2O, keski	-20 C, ovet auki 2	2:51															0:05:46	1:52:02
	N2O, perä	-20 C, ovet auki 2	1:54	2:56	4:00													0:02:44	1:05:57
	Butaani, etu	-20 C, ovet auki 2	4:16	14:50														0:15:24	4:37:38
	Butaani, keski	-20 C, ovet auki 2	4:28																
	Butaani, perä	-20 C, ovet auki 2	1:53	3:30															
5	N2O, etu	-20 C, puhallin	0:14	0:40	0:44	1:03	1:20	1:26	1:28	1:32	2:04	2:04	2:04	2:37	2:38	2:50	2:52	0:00:35	0:16:51
	N2O, keski	-20 C, puhallin	2:53	4:18	4:59	5:12	5:54	6:17	7:34	8:10	8:28	9:08	9:20	10:10	10:26	11:00		0:02:01	2:31:55
	N2O, perä	-20 C, puhallin	1:48	2:21	2:48	3:10	3:31	3:50	4:10	4:32	4:52	5:13	5:37	5:55	6:11	6:35	6:50	0:01:00	1:44:41
	Butaani, etu	-20 C, puhallin	0:13	0:40	0:43	1:20	1:30	2:00	2:15	3:00	3:35	6:00	6:30	6:45	7:10	7:55		0:02:01	-1:33:10
	Butaani, keski	-20 C, puhallin	3:38	6:08	9:37	12:24												0:07:55	1:19:38
	Butaani, perä	-20 C, puhallin	1:52	2:40	3:26	4:07	4:43	5:00	5:15	5:33	5:55	6:03	6:11	6:14	6:17	6:23	6:26	0:00:52	2:54:40
9	N2O, etu	+20 C, puhallin	0:06	0:12	0:19	0:40	0:54	0:55	0:58	1:00	1:50	1:51	2:21	2:30	2:46	2:46	2:59	0:00:43	-0:21:27
	N2O, keski	+20 C, puhallin	3:12	4:05	4:43	5:08	5:41	6:03	6:22	6:47	7:10	7:27	8:10	9:35	10:37	12:20	12:43	0:01:52	2:18:58
	N2O, perä	+20 C, puhallin	4:34	5:30	6:03	6:24	6:43	6:56	7:07	7:16	7:23	7:31	7:40	7:49	7:57	8:04	8:11	0:00:35	5:32:04
	Butaani, etu	+20 C, puhallin	0:05	0:12	0:18	0:27	0:53	0:57	0:58	1:00	1:00	2:31	2:53	2:55	3:00	3:14	3:21	0:00:52	-0:35:34
	Butaani, keski	+20 C, puhallin	4:23	6:44	9:25	10:46	15:05	18:34										0:08:56	0:26:47
	Butaani, perä	+20 C, puhallin	6:09	7:35	8:49	9:53	10:50	11:39	12:22	12:54	13:54	14:51	15:49	16:53	17:05	17:30	17:50	0:02:44	5:59:17
11	N2O, etu	+20 C, ovet auki	0:31	1:09	1:23	1:29	1:50	1:51	2:04	2:24	2:33	2:44	2:44	4:02	4:03	4:05	4:07	0:00:43	0:29:31
	N2O, keski	+20 C, ovet auki	5:21	6:59	7:53	8:46	9:33	10:07	10:42	11:15	11:44	12:14	12:40	13:30	14:00	14:22	14:45	0:01:44	6:13:58
	N2O, perä	+20 C, ovet auki	3:27	4:46	6:44	7:12	7:26	7:35	7:44	7:51	7:57	8:03	8:09	8:15	8:18	8:22	8:24	0:00:35	5:46:02
	Butaani, etu	+20 C, ovet auki	0:17	0:58	1:23	1:26	1:33	1:50	1:51	2:03	2:04	2:39	2:44	2:44	2:44	3:06	3:06	0:00:26	0:45:22
	Butaani, keski	+20 C, ovet auki	6:14	8:22	9:47	11:09	12:34	14:50	16:54									0:05:11	4:36:20
	Butaani, perä	+20 C, ovet auki	3:41	7:10	7:28	7:43	7:53	8:03	8:10	8:18	8:24	8:31	8:38	8:46	8:56	9:09	9:13	0:00:35	6:38:18
12	N2O, etu	-20 C, ovet auki 3	1:14	2:00	2:42	3:22	4:06	4:33	5:00	5:28	6:03	6:29	6:32	7:14	7:51	8:09	8:30	0:01:26	1:22:39
	N2O, keski	-20 C, ovet auki 3	2:31	3:22	4:11	4:56	5:31	6:20	7:00	7:42	8:17	8:47	9:20	9:56	10:44	11:33	11:57	0:02:01	2:13:55
	N2O, perä	-20 C, ovet auki 3	2:28	3:26	4:12	4:53	5:27											0:02:10	1:56:12
	Butaani, etu	-20 C, ovet auki 3	1:13	2:03	2:54	3:58	4:41	6:01	6:59	7:58	8:44	10:01	14:08	14:50	16:30			0:03:53	-1:30:43
	Butaani, keski	-20 C, ovet auki 3	2:20	3:12	4:01	5:06	6:55	8:44	11:35	14:48								0:05:20	-1:11:25
	Butaani, perä	-20 C, ovet auki 3	2:27	3:34	4:35	5:27												0:12:23	-5:13:55
14	N2O, etu	-5 C, sk.puhallin, imu	2:51	4:31	6:00													0:04:45	1:18:03
	N2O, keski	-5 C, sk.puhallin, imu	7:35	13:43														0:19:00	0:51:16
	N2O, perä	-5 C, sk.puhallin, imu	3:21	4:49	6:00													0:04:36	1:42:40
16	N2O, etu	-18 C, skpuhallin, puhallus	1:58	2:48	3:28	4:00	4:25	4:43	5:06	6:14	8:19	8:54	9:33	9:40	9:56	10:03	10:12	0:02:01	1:25:49
	N2O, keski	-18 C, skpuhallin, puhallus	4:44	7:08	9:03	10:36	11:55	13:18	14:41	16:45	17:32							0:04:28	4:23:57
	N2O, perä	-18 C, skpuhallin, puhallus	2:25	3:45	7:54	10:08	11:47	13:01										0:06:20	0:50:41

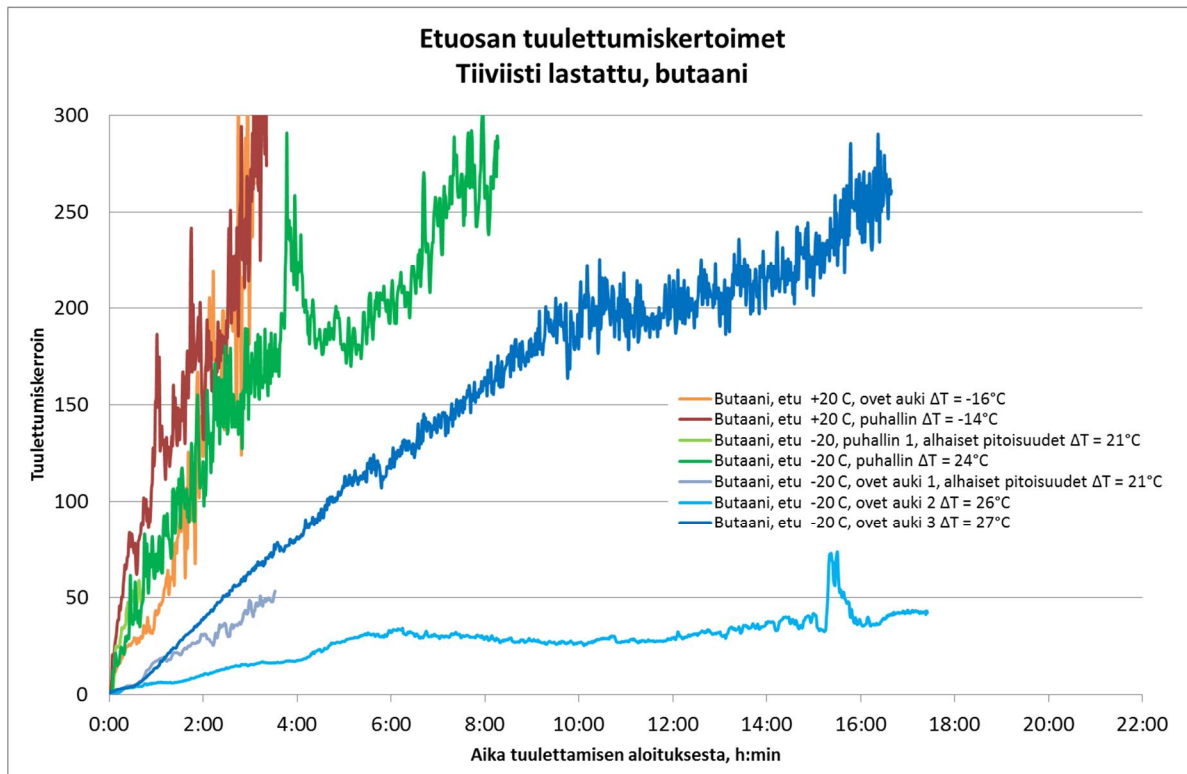
Taulukko 2. Harvasti lastatun kontin tuulettumisajat tuulettumiskertoimien funktiona testeittäin.

Tuulettumisajat (t:min)			Tuulettumiskerroin														Kulmakerroin a	Vakio-osa b	
Testi nro	Näytepiste	Olosuhde	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	aika/tuulettumiskerroin	aika
2	N20, etu	+2 C, ovet auki	0:51	1:03	1:31	1:49	2:14	2:23	2:36	2:52	3:34	3:40	5:06	5:24	6:00	6:05	6:13	0:01:18	-0:00:03
	N20, keski	+2 C, ovet auki	1:35	1:56	2:05	2:14	2:15	2:17	2:22	2:22	2:30	2:30	2:30	2:30	2:31	2:35	2:35	0:00:09	1:58:05
	N20, perä	+2 C, ovet auki	1:44	2:07	2:16	2:23	2:24	2:29	2:29	2:30	2:30	2:30	2:30	2:31	2:31	2:31	2:32	0:00:05	2:12:29
	Butaani, etu	+2 C, ovet auki	0:50	1:03	1:08	1:31	1:43	1:49	2:04	2:04	2:14	2:18	2:19	2:21	2:28	2:28	2:29	0:00:26	0:49:49
	Butaani, keski	+2 C, ovet auki	1:34	1:52	1:58	1:59	1:59	2:05	2:05	2:05	2:05	2:09	2:09	2:14	2:14	2:14	2:14	0:00:05	1:52:36
	Butaani, perä	+2 C, ovet auki	1:44	2:07	2:22	2:29	2:29	2:30	2:30	2:31	2:32	2:32	2:34	2:35	2:36	2:36	2:41	0:00:05	2:14:12
6	N20, etu	-20 C, puhallin	0:02	0:12	0:19	0:25	0:35	0:42	0:46	0:52	0:56	1:01	1:10	1:13	1:25	1:33	1:34	0:00:17	0:00:43
	N20, keski	-20 C, puhallin	0:04	0:14	0:20	0:25	0:36	0:43	0:47	0:53	0:55	1:02	1:11	1:13	1:22	1:32	1:33	0:00:17	0:02:44
	N20, perä	-20 C, puhallin	0:07	0:18	0:25	0:35	0:41	0:44	0:49	0:53	0:56	0:58	1:02	1:05	1:08	1:13	1:16	0:00:09	0:14:50
	Butaani, etu	-20 C, puhallin	0:02	0:07	0:13	0:17	0:22	0:33	0:36	0:41	0:43	0:44	0:44	0:44	0:44	0:50	0:54	0:00:09	0:06:20
	Butaani, keski	-20 C, puhallin	0:03	0:07	0:10	0:16	0:20	0:23	0:30	0:34	0:43	0:44	0:50	0:50	1:01	1:18	1:19	0:00:17	-0:06:55
	Butaani, perä	-20 C, puhallin	0:04	0:00	0:00	0:00	0:35	0:41	0:42	0:44	0:49	0:49	0:52	0:53	0:53	0:53	0:54	0:00:05	0:29:40
7	N20, etu	-20 C, ovet auki	0:08	0:23	0:28	0:55	1:00	1:20	1:25	1:31	1:42	1:44	1:48	1:56	2:23	2:27	2:39	0:00:26	0:08:30
	N20, keski	-20 C, ovet auki	0:07	0:23	0:41	0:53	1:02	1:12	1:30	1:43	2:36	2:47	3:39	3:56	3:56	4:10	4:17	0:01:00	-0:32:50
	N20, perä	-20 C, ovet auki	0:08	0:19	0:24	0:27	0:36	0:45	0:49	0:49	0:52	0:56	0:58	1:01	1:03	1:04	1:13	0:00:09	0:14:15
	Butaani, etu	-20 C, ovet auki	0:07	0:00	0:00	1:00	1:28	1:38	1:47	2:22	2:27	2:34	2:34	2:45	2:47	2:47	2:47	0:00:35	0:35:08
	Butaani, keski	-20 C, ovet auki	0:05	0:09	0:24	0:47	0:55	1:00	1:14	1:24	2:36	3:09	3:29	3:32	3:42	3:42	3:42	0:01:00	-0:37:26
	Butaani, perä	-20 C, ovet auki	0:07	0:19	0:27	0:49	1:03	1:20	1:37	1:44	2:30	2:33	2:45	3:04	3:40	3:48	3:50	0:00:52	-0:20:27
8	N20, etu	+20 C, ovet auki	0:03	0:06	0:08	0:29	0:29	0:30	0:38	0:42	0:48	1:01	1:14	1:19	2:02	2:31	2:39	0:00:35	-0:29:05
	N20, keski	+20 C, ovet auki	0:07	0:27	0:41	0:55	1:04	1:16	1:23	1:28	1:38	1:43	1:50	2:00	2:45	2:46	2:52	0:00:35	0:07:03
	N20, perä	+20 C, ovet auki	0:05	0:10	0:21	0:30	0:40	0:43	1:01	1:03	1:12	1:17	1:24	1:43	1:47	2:14	2:16	0:00:26	-0:08:56
	Butaani, etu	+20 C, ovet auki	0:03	0:04	0:06	0:08	0:29	0:30	0:39	0:48	1:03	1:33	1:41	2:03	2:03	2:21	2:21	0:00:35	-0:31:49
	Butaani, keski	+20 C, ovet auki	0:04	0:07	0:22	0:33	0:40	0:43	0:48	0:59	1:02	1:03	1:03	1:03	1:03	1:03	1:03	0:00:09	0:15:16
	Butaani, perä	+20 C, ovet auki	0:04	0:06	0:08	0:11	0:15	0:25	0:29	0:32	0:39	0:40	0:40	0:40	0:40	0:40	0:40	0:00:09	0:03:01
10	N20, etu	+20 C, puhallin	0:04	0:07	0:11	0:15	0:18	0:23	0:27	0:31	0:35	0:35	0:38	0:40	0:44	0:48	0:50	0:00:09	0:02:10
	N20, keski	+20 C, puhallin	0:06	0:11	0:17	0:22	0:29	0:34	0:40	0:45	0:50	0:52	0:56	1:00	1:10	1:14	1:16	0:00:17	0:03:01
	N20, perä	+20 C, puhallin	0:10	0:24	0:34	0:41	0:45	0:49	0:52	0:56	1:00	1:01	1:02	1:05	1:06	1:08	1:08	0:00:09	0:25:55
	Butaani, etu	+20 C, puhallin	0:03	0:06	0:08	0:09	0:12	0:14	0:17	0:21	0:23	0:29	0:29	0:31	0:35	0:36	0:36	0:00:08	-0:00:17
	Butaani, keski	+20 C, puhallin	0:04	0:08	0:11	0:13	0:14	0:21	0:26	0:29	0:31	0:34	0:39	0:39	0:40	0:45	0:50	0:00:09	0:01:44
	Butaani, perä	+20 C, puhallin	0:07	0:14	0:19	0:25	0:33	0:38	0:41	0:41	0:44	0:45	0:48	0:49	0:49	0:52	0:52	0:00:09	0:15:42
13	N20, laatikossa	laatikko, +20, ovet auki	1:32	1:58	2:11	2:20	2:24	2:38	2:46	2:53	3:01	3:05	3:10	3:25	3:34	3:41	3:47	0:00:26	1:44:33
	N20, keski	+20, ovet auki	0:12	0:32	0:46	0:57	1:08	1:15	1:29	1:33	1:40	1:53	2:54	2:56	3:04	3:19	3:19	0:00:43	-0:03:27
	N20, perä	+20, ovet auki	0:06	0:11	0:20	0:29	0:35	0:41	0:45	0:54	0:54	0:57	1:03	1:06	1:06	1:08	1:09	0:00:17	0:10:13
15	N20, etu	-11, ovet auki	0:06	0:00	0:41	0:56	1:11	1:14	1:21	1:28	1:32	1:36	1:44	1:51	1:55	1:56	1:56	0:00:17	0:35:17
	N20, keski	-11, ovet auki	0:07	0:25	0:45	1:00	1:13	1:45	1:53	1:59	2:13	2:23	2:26	2:26	3:00	3:06	3:06	0:00:35	0:10:48
	N20, perä	-11, ovet auki	0:07	0:13	0:22	0:28	0:38	0:45	0:50	0:53	0:58	1:09	1:11	1:15	1:15	1:20	1:25	0:00:17	0:07:38

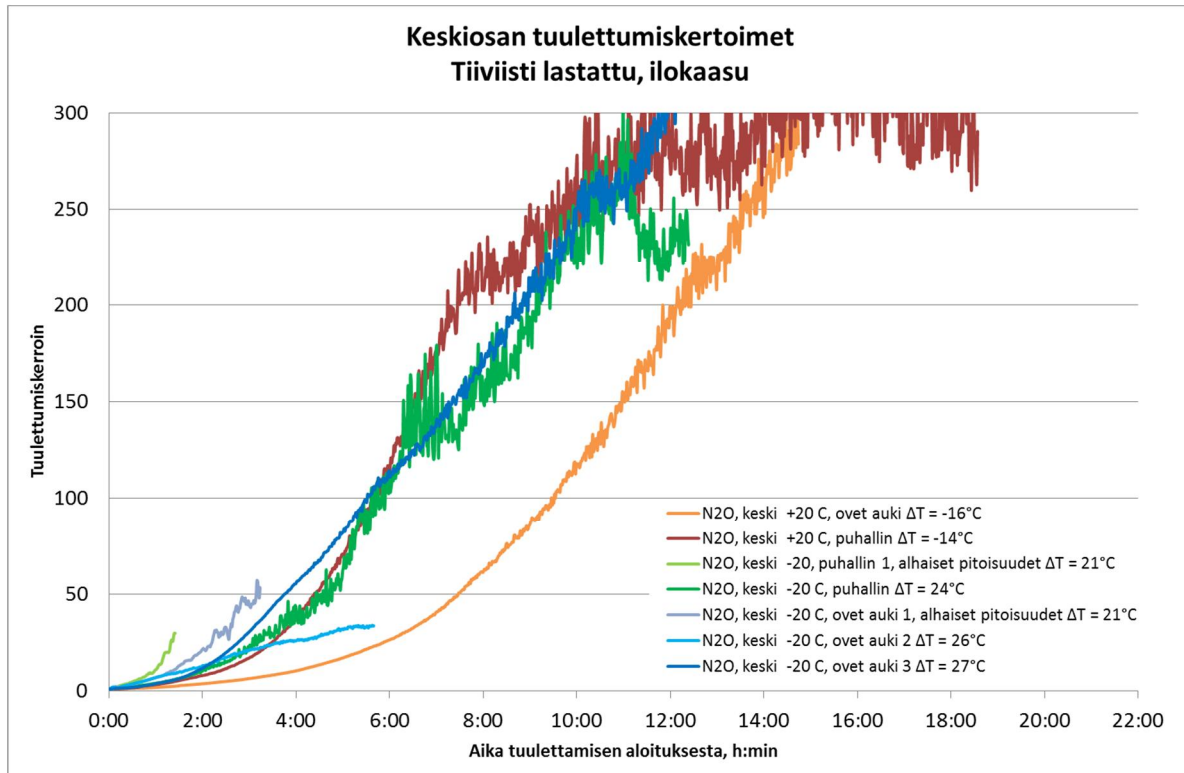
Liite 3. Tuulettumiskertoimet konttien eri osittain merkkiainekohtaisesti



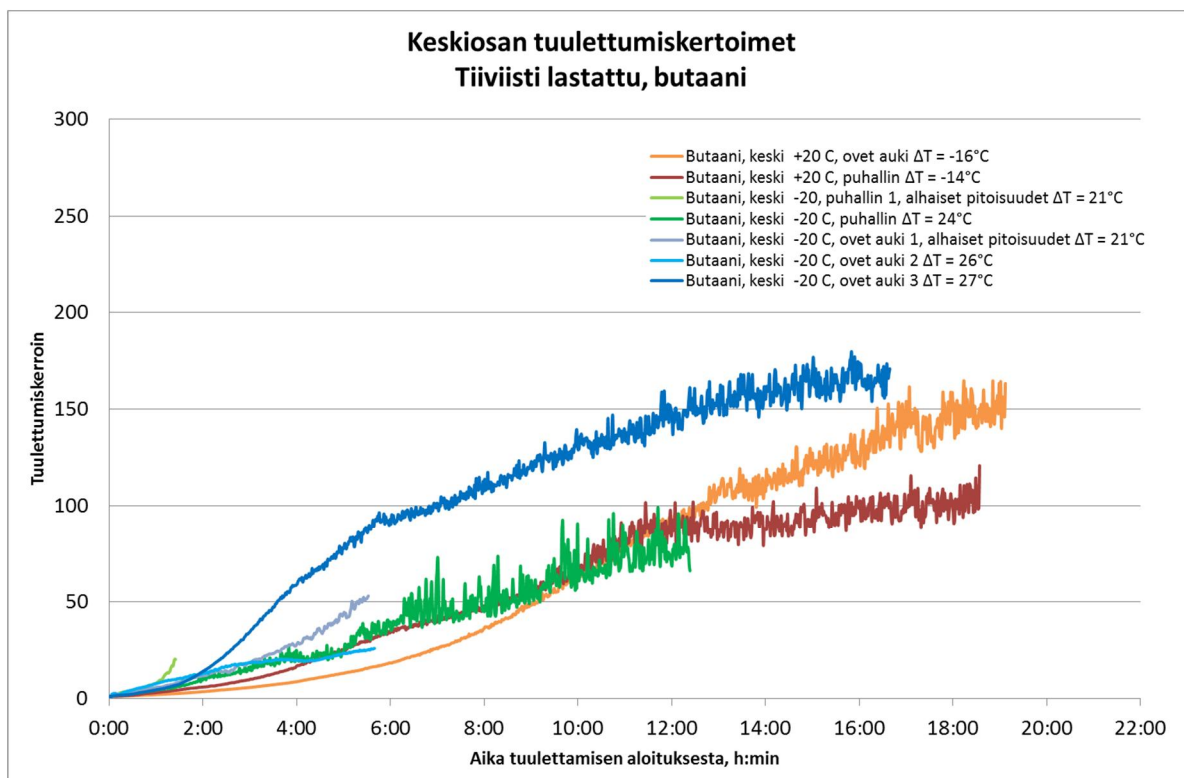
Kuva 1. Tiiviisti lastatun kontin etuosan tuulettumiskertoimet ilokaasulla. Tuulettustapoina painovoimainen tuuletus ja keskipakopuhallin.



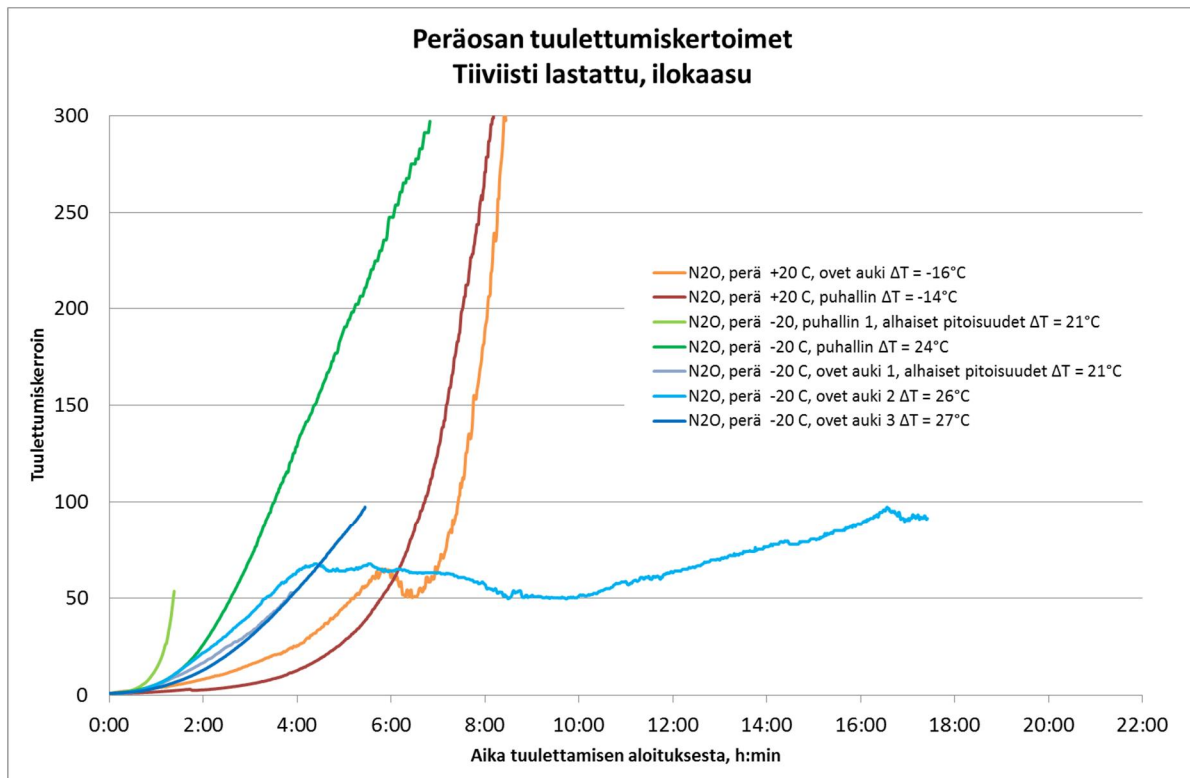
Kuva 2. Tiiviisti lastatun kontin etuosan tuulettumiskertoimet butaanilla. Tuulettustapoina painovoimainen tuuletus ja keskipakopuhallin.



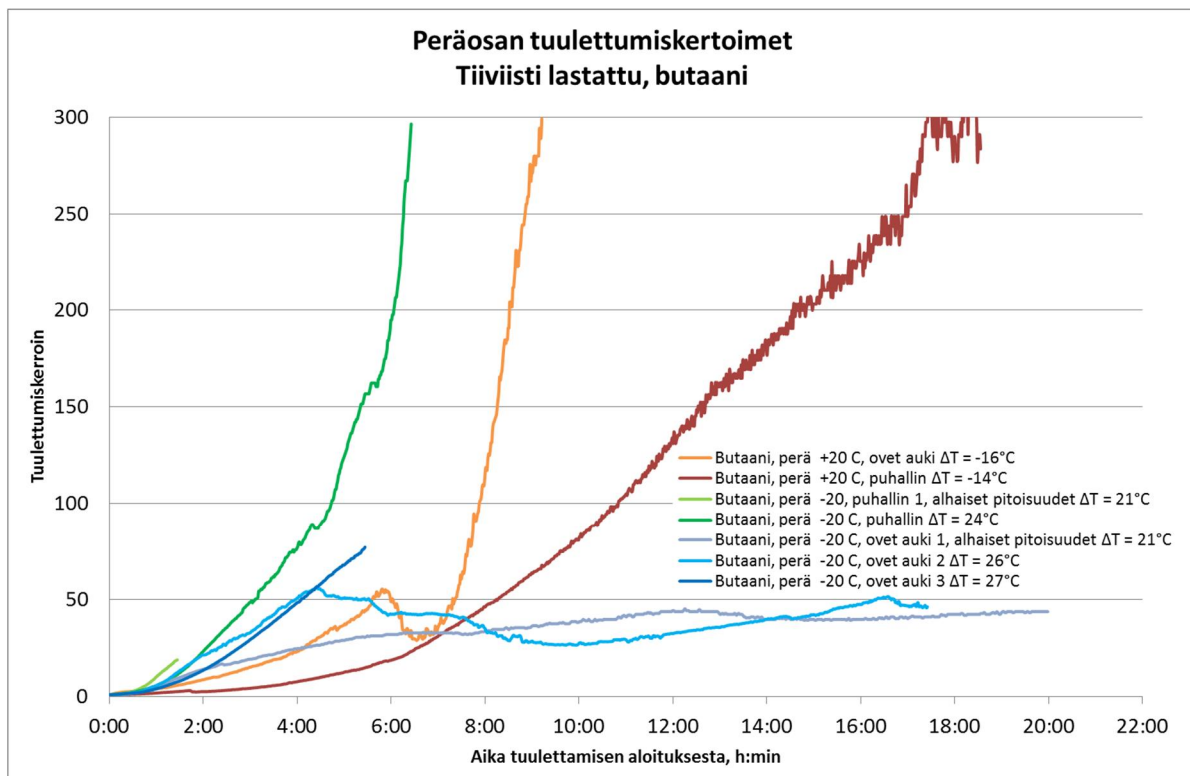
Kuva 3. Tiiviisti lastatun kontin keskiosan tuulettumiskertoimet ilokaasulla. Tuuletustapoina painovoimainen tuuletus ja keskipakopuhallin.



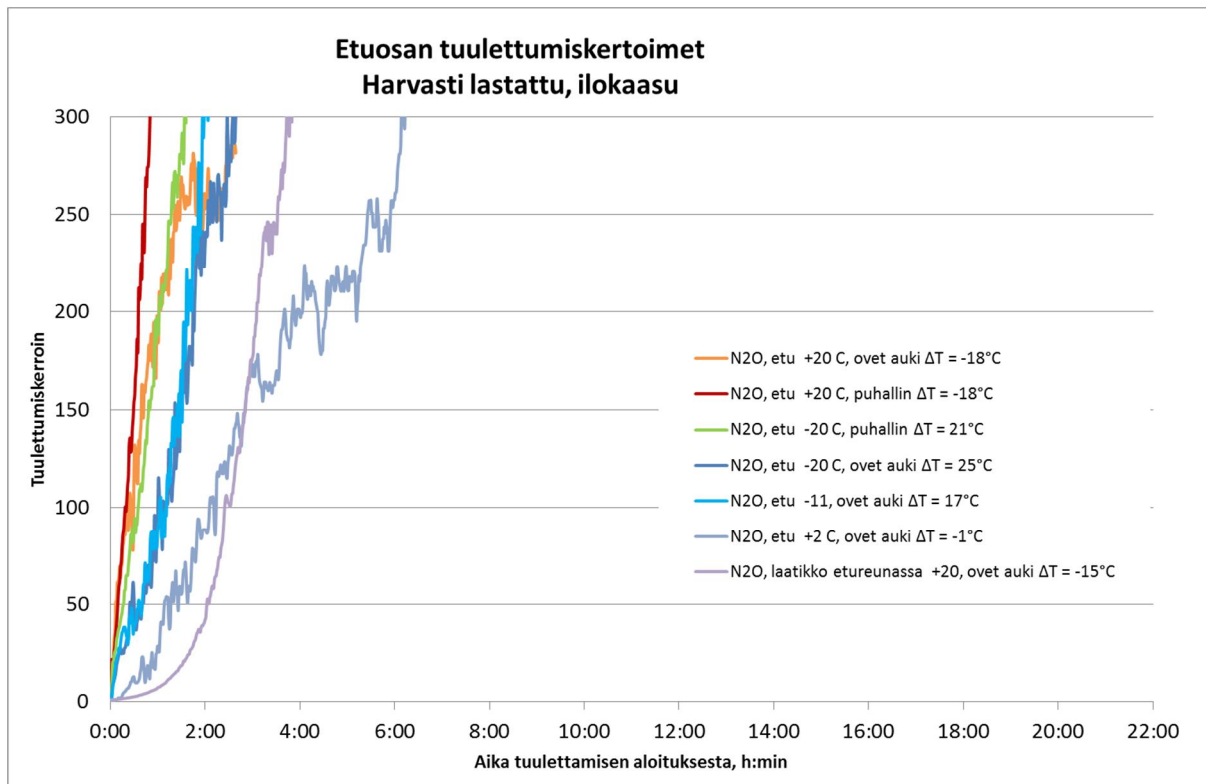
Kuva 4. Tiiviisti lastatun kontin keskiosan tuulettumiskertoimet butaanilla. Tuuletustapoina painovoimainen tuuletus ja keskipakopuhallin.



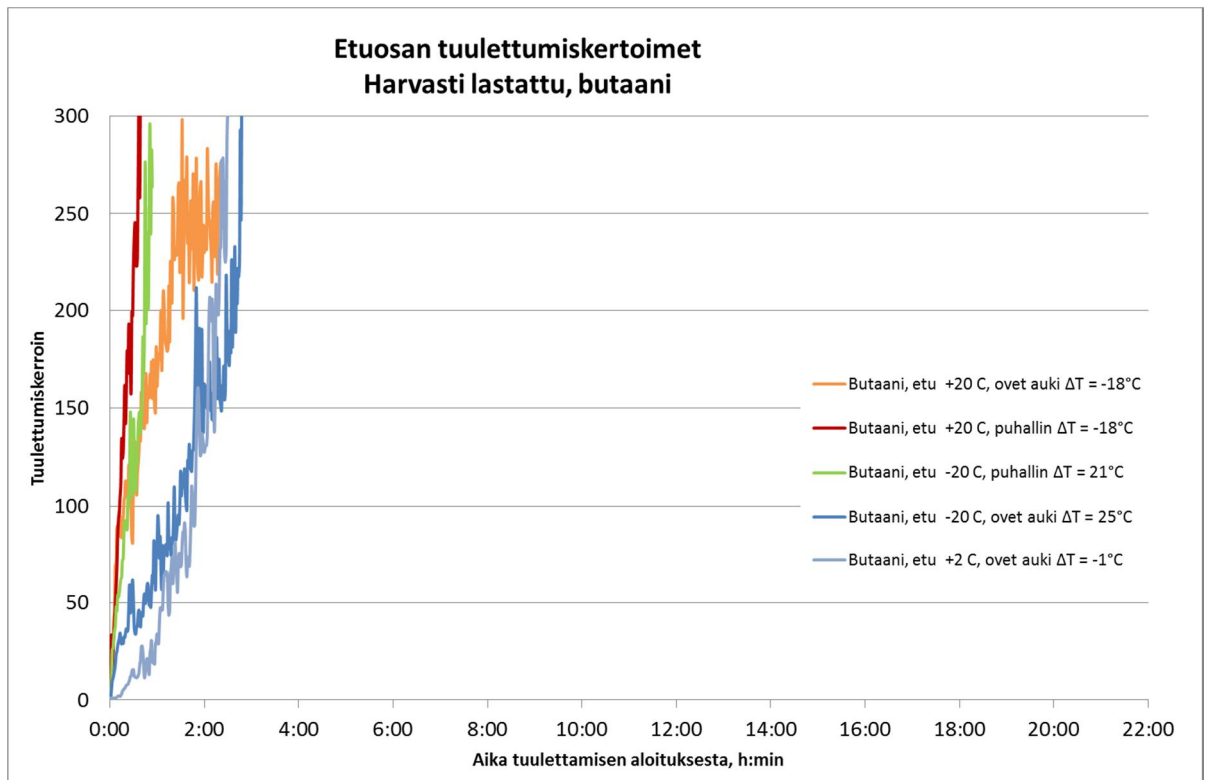
Kuva 5. Tiiviisti lastatun kontin peräosan tuulettumiskertoimet ilokaasulla. Tuuletustapoina painovoimainen tuuletus ja keskipakopuhallin.



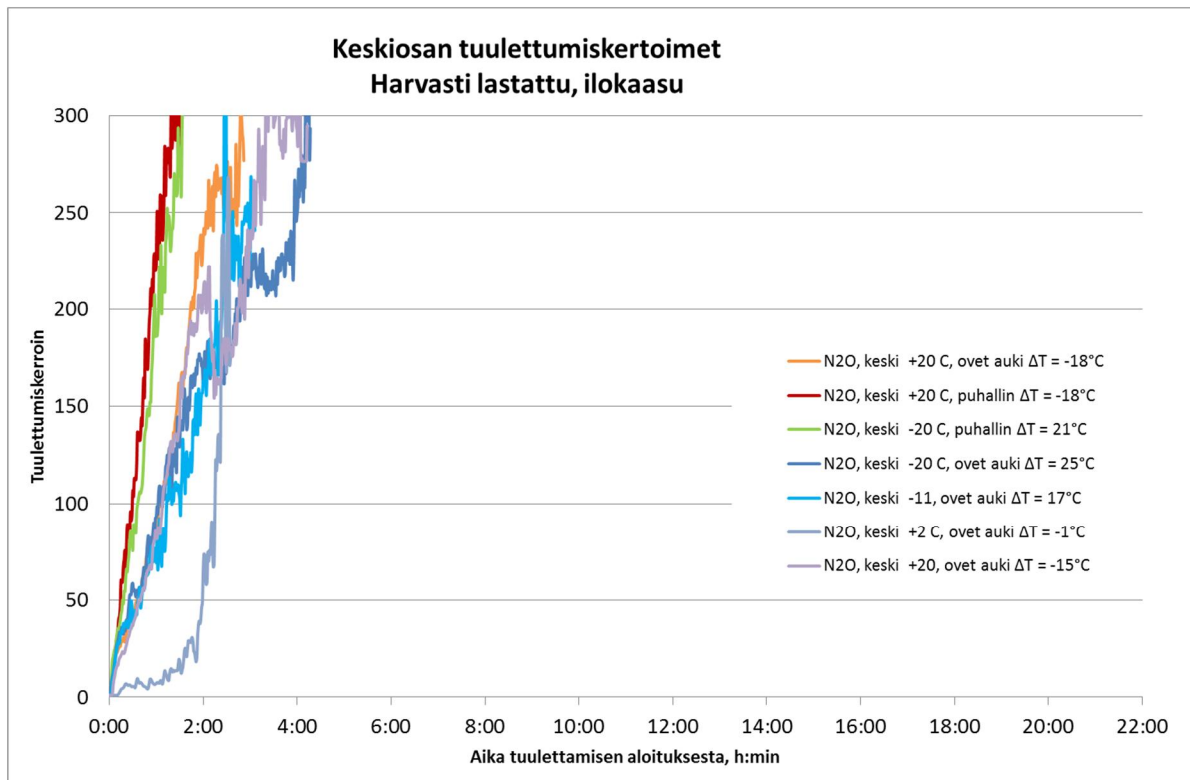
Kuva 6. Tiiviisti lastatun kontin peräosan tuulettumiskertoimet butaanilla. Tuuletustapoina painovoimainen tuuletus ja keskipakopuhallin.



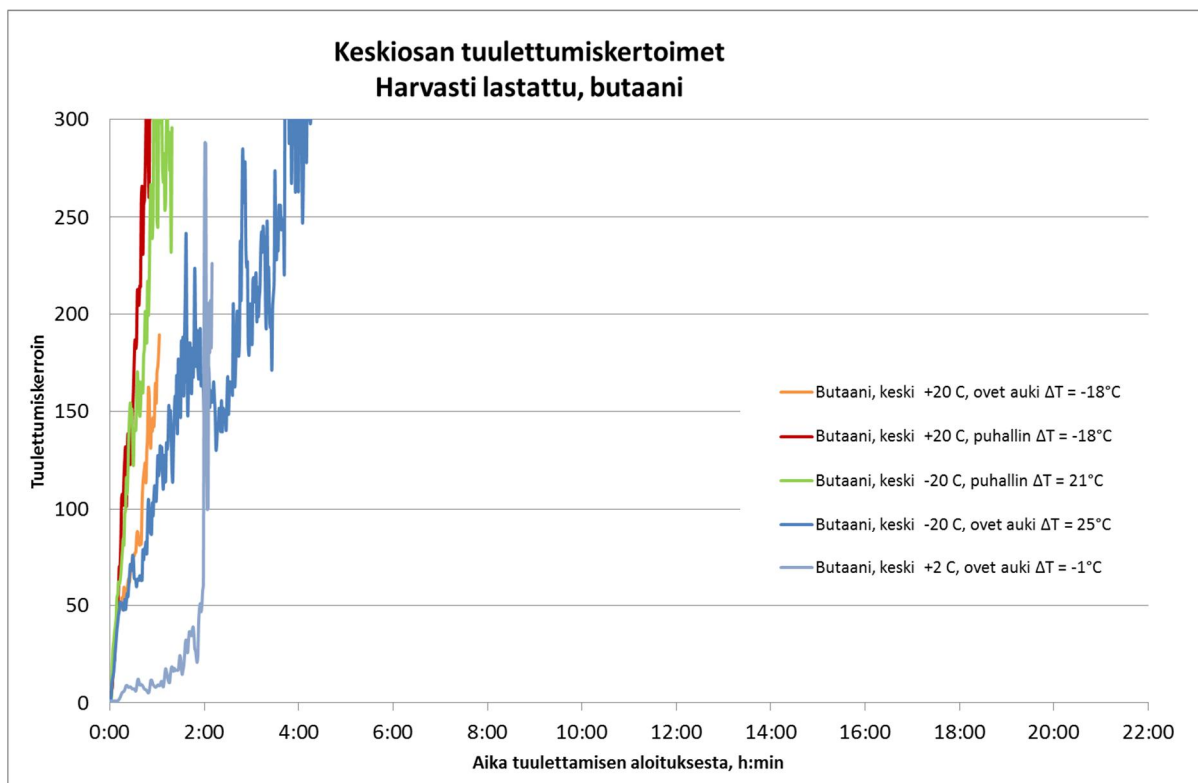
Kuva 7. Harvasti lastatun kontin etuosan tuulettumiskertoimet ilokaasulla. Tuuletustapoina painovoimainen tuuletus ja keskipakopuhallin.



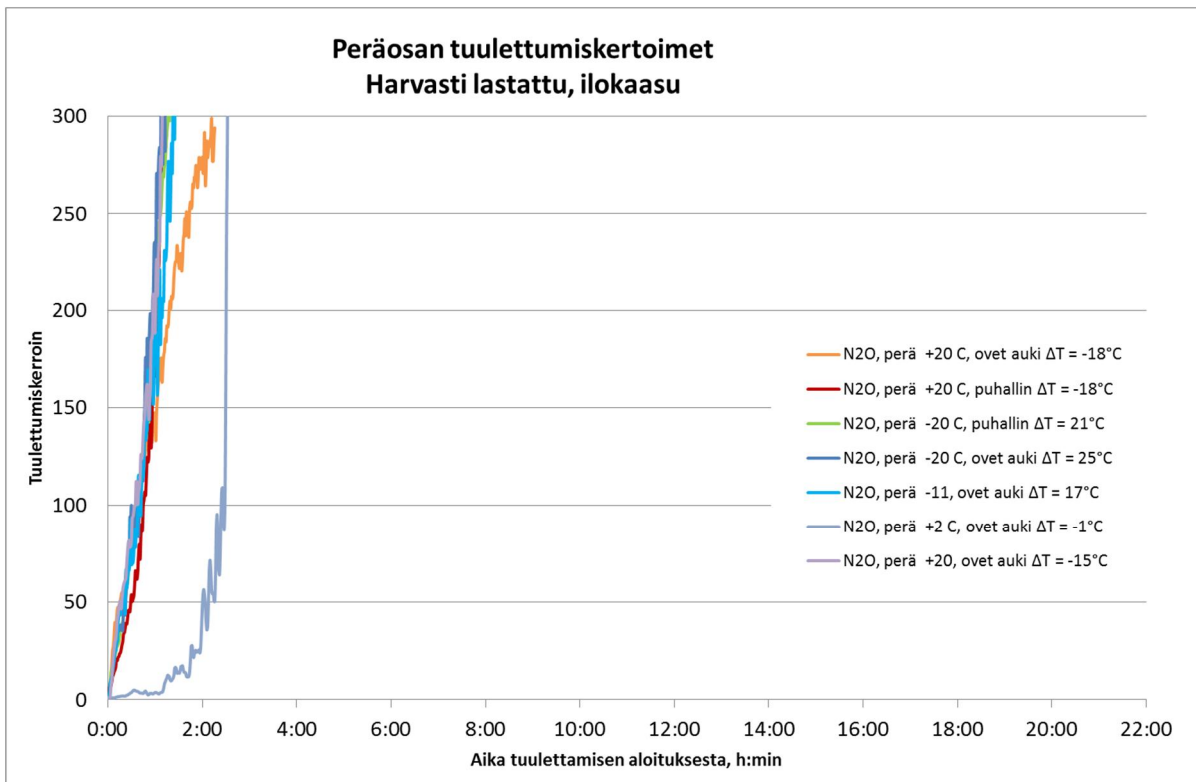
Kuva 8. Harvasti lastatun kontin etuosan tuulettumiskertoimet butaanilla. Tuuletustapoina painovoimainen tuuletus ja keskipakopuhallin.



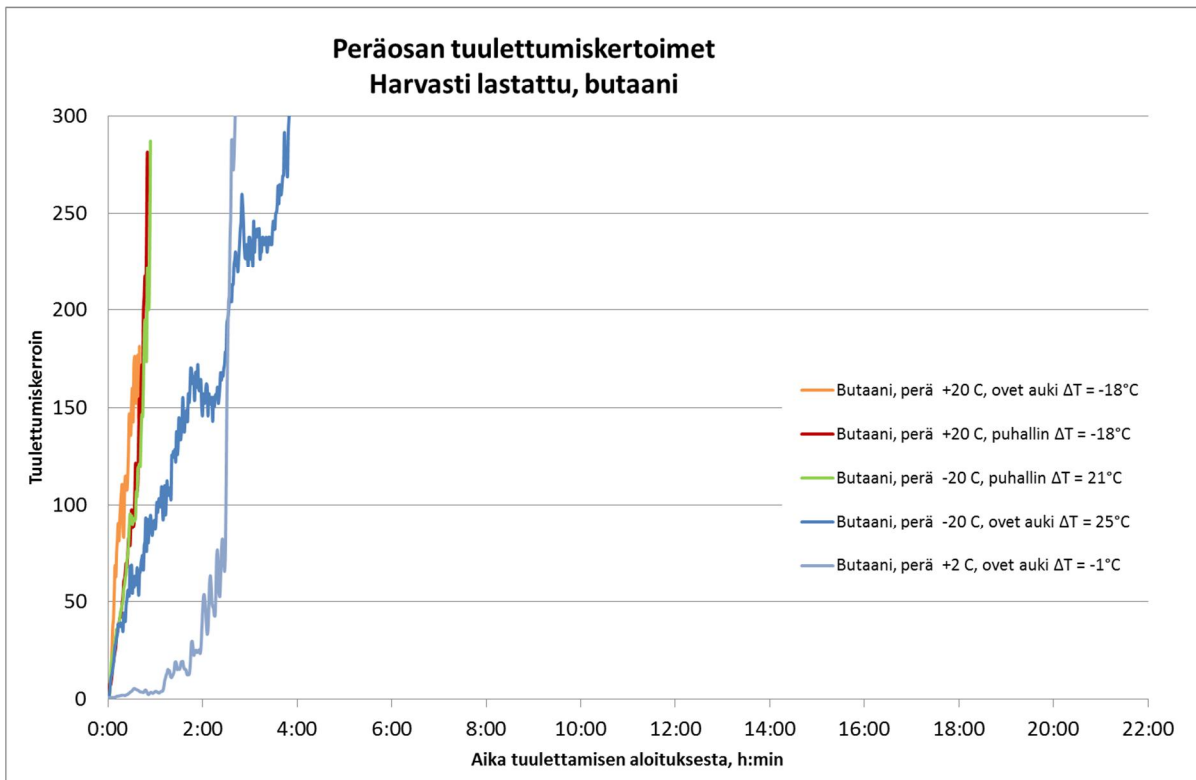
Kuva 9. Harvasti lastatun kontin keskiosan tuulettumiskertoimet ilokaasulla. Tuuletustapoina painovoimainen tuuletus ja keskipakopuhallin.



Kuva 10. Harvasti lastatun kontin keskiosan tuulettumiskertoimet butaanilla. Tuuletustapoina painovoimainen tuuletus ja keskipakopuhallin.



Kuva 11. Harvasti lastatun kontin peräosan tuulettumiskertoimet ilokaasulla. Tuuletustapoina painovoimainen tuuletus ja keskipakopuhallin.



Kuva 12. Harvasti lastatun kontin peräosan tuulettumiskertoimet butaanilla. Tuuletustapoina painovoimainen tuuletus ja keskipakopuhallin.