



Karelia-ammattikorkeakoulu  
Insinööri (YAMK)  
Kestävä energiatalous

# Synteettisten ja lasikuituisten il- manvaihtosuodattimien vertailu

Juha Rätty

Opinnäytetyö, kesäkuu 2024

[www.karelia.fi](http://www.karelia.fi)



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Kesäkuu 2024**  
**Kestävän energiatalouden koulutus**  
**Ylempi ammattikorkeakoulututkinto**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

Tekijä(t)  
Juha Rätty

Nimeke  
Synteettisten ja lasikuituisten ilmanvaihtosuodattimien vertailu

Toimeksiantaja  
Joensuun kaupunki, tilakeskus

**Tiivistelmä**

Joensuun kaupungin ilmasto-ohjelma ohjaa kaupungin toimintoja kohti energiatehokkaampaa toimintatapaa. Kiinteistöjen ilmanvaihtokoneiden energian kulutuksissa on käyttämätön energiansäästöpotentiaali, joka voidaan valjastaa käyttöön energiatehokkailla suodatinmateriaaleilla. Oikein valituilla suodattimilla voidaan saada puhdas ja turvallinen sisäilma ja samalla saavuttaa suuria energiasäästöjä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää synteettisten ja lasikuituisten ilmanvaihtosuodattimien eroavaisuudet. Nepenmäen koululle suunniteltiin ja rakennettiin testausympäristö. Mittauksia toteutettiin kahdessa yhdeksän kuukauden mittausjaksoissa neljässä eri ilmanvaihtokoneessa. Testattavana oli yhteensä 96 kappaletta synteettisiä ja 96 kappaletta lasikuituisia suodattimia.

Mittaustulosten ja käyttökokemusten perusteella lasikuituiset suodattimet ovat energiatehokkaampia ja vaihtoväliltään kestävämpiä synteettiseen materiaaliin verrattuna. Opinnäytetyön perusteella seuraavaksi suodatusmateriaaliksi Joensuun kaupungille valitaan lasikuitumateriaali.

Kieli  
suomi

Sivuja 51  
Liitteet 12  
Liitesivumäärä 12

Asiasanat  
ilmanvaihto, suodattimet, synteettinen, lasikuitu



**THESIS**  
**June 2024**  
**Degree Programme in Sustainable Energy**  
**Economy**  
**Master's degree**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+ 358 13 260 600

Author (s)  
Juha Rätty

Title  
Comparison of Synthetic and Fiberglass Ventilation Filters

Commissioned by  
City of Joensuu, tilakeskus

Abstract

The climate program of the city of Joensuu directs the city's operations towards a more energy-efficient way of operating. There is an unused energy saving potential in the energy consumption of ventilation machines in buildings, which can be harnessed with energy efficient filter materials. With the right filters it is possible to have clean and safe indoor air and at the same time achieve great energy savings.

The aim of the thesis was to find out the differences between synthetic and fiberglass ventilation filters. A testing environment was designed and built in Nepenmäki school. Measurements were carried out in two nine-month measurement periods in four different ventilation machines. A total of 96 synthetic and 96 fiberglass filters were tested.

Measurement results and user experiences indicated that fiberglass filters are more energy efficient and more durable in terms of replacement intervals compared to synthetic material. This lead to fiberglass material being selected as the next filtering material for the city of Joensuu.

Language  
Finnish

Pages 51  
Appendices 12  
Pages of Appendices 12

Keywords  
ventilation, filters, synthetic, fiberglass

# Sisältö

1	Johdanto .....	6
1.1	Tausta .....	6
1.2	Työn tavoitteet .....	7
1.3	Työn rajaaminen .....	7
2	Ilmanvaihtojärjestelmä suurkiinteistöissä .....	8
2.1	Ilmansuodatus .....	8
2.2	Suodattimien suodatusluokat .....	9
2.3	Ilmanvaihtojärjestelmän mitoitus .....	12
2.4	Suodatusmekanismit .....	13
2.5	Lasikuituiset pussisuodattimet .....	16
2.6	Synteettiset pussisuodattimet .....	16
2.7	Suodattimien energiatehokkuus .....	17
3	Mittausjärjestelyt .....	19
3.1	Mittauspisteet .....	19
3.2	Testausympäristö .....	20
3.3	Ilmamäärämittaus (dm <sup>3</sup> ) .....	26
3.4	Suodattimien paine-eromittaus (Pa) .....	27
3.5	Energiamittaus (kWh) .....	28
3.6	Tuloilman lämpötila- ja kosteusmittaus (°C, RH %) .....	29
4	Mittaustulosten käsittely .....	30
4.1	Ilmamäärämittaus (dm <sup>3</sup> /s) .....	30
4.2	Suodattimien paine-eromittaus (Pa) .....	31
4.3	Energiamittaus (kWh) .....	31
4.4	Tuloilman lämpötila- ja kosteusmittaus (°C, RH %) .....	31
5	Tulokset .....	32
5.1	Testausympäristön toiminta .....	32
5.2	Erottelukyky .....	32
5.3	Tuloilmakone TK302-TF01 .....	35
5.4	Poistoilmakone TK302-PF01 .....	37
5.5	Tuloilmakone TK303-TF01 .....	38
5.6	Poistoilmakone TK303-PF01 .....	41
5.7	Tuloilmakone TK306-TF01 .....	42
5.8	Poistoilmakone TK306-PF01 .....	44
5.9	Tuloilmakone TK311-TF01 .....	45
5.10	Poistoilmakone TK311-PF01 .....	46
5.11	Yhteenveto .....	47
6	Pohdinta .....	48
	Lähteet .....	51

## Liitteet

Liite 1	Ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueet
Liite 2	TK302-TF01 mittaustulokset
Liite 3	TK302-PF01 mittaustulokset

- Liite 4 TK303-TF01 mittaustulokset
- Liite 5 TK303-PF01 mittaustulokset
- Liite 6 TK306-TF01 mittaustulokset
- Liite 7 TK306-PF01 mittaustulokset
- Liite 8 TK311-TF01 mittaustulokset
- Liite 9 TK311-PF01 mittaustulokset
- Liite 10 Mittaustuloksien koontitaulukko
- Liite 11 Mittaustuloksien koontitaulukko suodatinmateriaaleittain
- Liite 12 Ilmanvaihtokoneiden suunnitellut- ja toteutuneet ilmamäärät

# 1 Johdanto

## 1.1 Tausta

Joensuun kaupungin kiinteistöissä on vuosittain käytössä ja vaihdettavana tuhansia suodattimia. Sisäilman laatu ja energiankulutus ovat kestäväen talouden tärkeimpiä yksittäisiä kohtia, ja suodattimien ominaisuudet ovat tärkeässä roolissa molempia kehitettäessä.

Suodatinmateriaalina on käytetty lasikuituisia suodattimia, koska vaihtoehtoisista materiaaleista ei ole ollut tarpeeksi käyttökokemuksia. Lasikuituisen suodattimen rinnalle on noussut pitkään kehityksessä ollut synteettinen materiaali, jonka etuna markkinoidaan energiatehokkuutta ja pidempää kestävyyttä. Tästä huolimatta valtakunnallisissa kilpailutuksissa ainoastaan muutamissa suodatinmateriaaliksi on valittu synteettinen materiaali.

Suodatintoimittajien kanssa aloitettiin vuoropuhelu helmikuussa 2021 tulevan suodatin kilpailutuksen puitteissa. Kuusi kuukautta kestäneiden vuoropuheluiden aikana tarkasteltiin suodatinmateriaalin valinnassa olevat mahdollisuudet elinkaarikustannussäästöihin, myös toimittajien erilaiset näkökulmat suodatinmateriaalien paremmuudesta nousivat esille. Toinen toimittaja oli vahvasti synteettisen materiaalin kannalla, kun taas toinen oli ehdottomasti lasikuitusuodattimien puolesta puhuja.

Joensuun kaupungilla on tavoitteena muuttaa suodatinmateriaalia elinkaarikustannuksiltaan tehokkaampaan suuntaan, kunhan tämä vain ensin todennetaan käytännön kokemuksella. Opinnäytetyötä edeltävät tutkimukset lasikuituisten ja synteettisten suodattimien välillä ovat tehty laboratorio-olosuhteissa kiinteällä ilmamäärällä ja lyhyellä aikavälillä, joten Joensuun kaupungin tahtotila oli selvittää suodattimien ominaisuudet nykyisten ilmanvaihtokoneiden ympärille rakennettavalla testausympäristöllä. Reaali-aikainen seuranta jatkuvasti elävässä ympäristössä antaisi paremman kuvan suodattimien toiminnasta ja eroavaisuuksista. Testausympäristöä voitaisiin myös tulevaisuudessa käyttää uusien

suodatininnovaatioiden testaukseen, sekä muihin ilmanvaihtoon liittyvien toimenpiteiden tutkimiseen.

## **1.2 Työn tavoitteet**

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia lasikuituisen ja synteettisen ilmanvaihtosuodattimien eroavaisuuksia pitkäaikaisessa käytössä sekä selvittää, kummalla materiaalilla on paremmat ominaisuudet energiankulutuksen, erotusasteen, elinkaarikustannusten sekä käyttöominaisuuksien osalta. Lopputavoitteena on määritellä kustannustehokas ja toimiva suodatusmateriaali Joensuun kaupungille seuraavaa hankintapäätöstä varten. Työssä käytetään hyväksi kirjallisuutta sekä kenttämittauksia. Pääpaino on kenttämittauksissa. Kenttämittaukset sisältävät kaksi yhdeksän kuukautta kestävästä mittausjaksoa. Mittausjaksojen aikana tulokset kootaan kuukausikohtaisiksi keskiarvoiksi ja mittausten päätyttyä tulokset analysoidaan.

Opinnäytetyön tulokset luovutetaan Joensuun kaupungin suodattimien hankintavastaavalle, joka käyttää työn tuloksia avukseen tulevan suodatinmateriaalin valinnassa. Tulokset raportoidaan myös kaupungin ilmasto-ohjelmavastaavalle, joka voi käyttää tuloksia päivittäessään ilmasto-ohjelman kehittymistä seuraavaan ilmasto-ohjelman raporttiin.

## **1.3 Työn rajaaminen**

Opinnäytetyö tehdään Joensuun kaupungin tiloja hallinnoivalle tilakeskukselle. Tilakeskus toimi myös työn rahoittajana. Tilakeskuksen henkilöstön kanssa käytöksen keskustelujen jälkeen vertailutyön kohteeksi valikoitui vuonna 2018 valmistunut Nepenmäen koulu. Kiinteistössä on 11 kappaletta ilmanvaihtokoneita, joista vertailuun valittiin neljä konetta. Valinnan perusteena olivat ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueet ja ilmamäärät. Jokaisesta koneesta mitataan tulo- ja poistoilmanvaihto, tämän mahdollistaessa tarkemman vertailun suodattimien välillä sähkönkulutuksen, olosuhteiden toimivuuden ja ilmamäärien kannalta.

Opinnäytetyössä ei oteta kantaa eri toimittajien suodattimien paremmuuteen vaan keskitytään lasikuituisen ja synteettisen materiaalin eroavaisuuksiin. Suodatinluokkana käytetään vertailuun mukaan otettujen ilmanvaihtokoneiden suunniteltuja suodatinluokkia. Samojen mittauspisteiden ollessa käytössä vertailun aikana, vertailussa ei oteta kantaa mittausantureiden tarkkuuteen.

## **2 Ilmanvaihtojärjestelmä suurkiinteistöissä**

### **2.1 Ilmansuodatus**

Nykyaikaiset rakennukset varustetaan ilmanvaihtokoneilla, joiden tarkoitus on poistaa ihmisten aiheuttamia epäpuhtauksia ja kosteutta sekä hallitusti pitää sisäilman laatu käyttäjille ja rakennukselle terveellisenä. Tyypillinen ihminen viettää suurimman osan ajastaan sisätiloissa, jolloin sisäilman laadulla on tärkeä merkitys väestön terveyteen. Terveellisen sisäilman edellytyksenä on laadukkaiden ja oikein mitoitettujen suodattimien käyttäminen ilmanvaihtokoneissa. Mitä puhtaampaa sisäilma on, sitä paremmin elimistö voi. (Sisäilmayhdistys 2022.)

Vaikka monella mittarilla mitattuna Suomessa on puhdas ulko- ja sisäilma, voi sisäilmaan kulkeutua ihmisille vaarallisia hiukkasia (Ilmatieteenlaitos 2024). Pienhiukkasten yleisimpiä ainesosia ovat nitraatit, palamishiukkaset, sulfaatit, ammoniakki, mineraalipöly, kalsiumkloridi, musta hiili ja vesi. Pienhiukkaset vaikuttavat ihmisten terveyteen ja voivat aiheuttaa tai edistää allergiaa ja astmaa, keuhkosityöpää, sydän- ja verisuonitauteja, kroonisia keuhkotauteja ja demensiaa. (Eurovent, 6.)

Kiinteistön ilmanvaihdon toimiessa pienhiukkasille altistuminen johtuu pääosin ulkoilman epäpuhtauksista. Saastuneen ulkoilman alueilla kuten teollisuusalueilla ja suurten kaupunkien keskusta-alueilla sisätilojen pienhiukkaspitoisuudet voivat ilman tuloilman suodattamista olla yli 90 prosenttia ulkoilman pitoisuuksista. Oikein valituilla suodattimilla voidaan merkittävästi vähentää

pienhiukkasista aiheutuvaa altistumista ympäristön sisältämille epäpuhtauksille ja pitää ilmanvaihtokoneet ja kanavistot puhtaina epäpuhtauksista. (Eurovent, 8.)

## 2.2 Suodattimien suodatusluokat

Suodattimien laatuvaatimukset ovat kiristyneet viimeisten 50 vuoden aikana karkeasuodattimista hienosuodattimiin. Karkeat suodattimet poistavat ilmasta vain suuria hiukkasia, kuten hiekkaa ja siitepölyä. Hienosuodattimet poistavat ilmasta myös bakteereja ja pienhiukkasia. Molempia suodatusluokkia voidaan käyttää samaan aikaan, jolloin karkeasuodatin toimii esisuodattimena hienosuodattimelle. Esimerkiksi omakotitalojen ilmanvaihtokoneissa suodatus on toteutettu esisuodattimella ja hienosuodattimella.

Sisäilman laadun tietoisuuden lisääntyessä suodattimien luokitukset ovat muuttuneet tarkemmaksi ja erotusasteita määritellään myös hiukkaskoon mukaan. Vanhassa ilmansuodattimia koskevassa testaus- ja luokitusstandardissa SFS-EN 779:2012 ilmansuodattimet luokiteltiin ainoastaan 0,4 µm kokoisten pienhiukkasten erotuskyvyn mukaan. Vanhan standardin mukaiset suodatinluokitukset tehokkuusjärjestyksessä olivat F9, F8, F7, M6 ja suodatusteholtaan heikoin M5.

2016 julkaistussa SFS-EN ISO 16890-1:2016 -standardissa hiukkaskokoaluetta tarkastellaan 0,3 - 10 µm välillä. ISO 16890 standardin mukaiset suodatinluokitukset tehokkuusjärjestyksessä ovat ePM<sub>1</sub> (0,3 - 1 µm), ePM<sub>2,5</sub> (0,3 - 2,5 µm), ePM<sub>10</sub> (0,3 - 10 µm), ja heikoin Coarse (0,3 - 10 µm). Suodatinluokkien ePM<sub>x</sub> jälkeisillä prosenttilukemilla kuvastetaan pienhiukkasten pidätysastetta kullakin tehokkuusluokalla.

Standardien suodatusluokkia ei voida eroavaisuuksien vuoksi suoraan verrata toisiinsa. Taulukossa 1 esitetään Eurovent Certita Certificationin -testausaineiston perusteella luodun suuntaa antavan vastaavuuden standardien

suodatinluokkien välillä ja taulukossa 2 esitetään uuden standardin mukaiset hiukkaskoon ja erotusasteen mukaiset luokitukset. (Eurovent, 5.)

Taulukko 1. Vanhan standardin EN 779:2012 suodatusluokkien vertailu erotusasteittain 2016 julkaistuun EN ISO 16890 -standardiin. (Eurovent, 10.)

Vanha EN 779: 2012	Nykyinen EN ISO 16890 - mitatut tehokkuudet (alue)		
	Suodatin- luokka	ePM <sub>1</sub>	ePM <sub>2,5</sub>
M5	5% - 35%	10% - 45%	40% - 70%
M6	10% - 40%	20% - 50%	60% - 80%
F7	40% - 65%	65% - 75%	80% - 90%
F8	65% - 90%	75% - 95%	90% - 100%
F9	80% - 90%	85% - 95%	90% - 100%

Taulukko 2. SFS-EN ISO 16890 -standardin mukaiset suodattimien pääluokat, mittausvälit ja erotusasteiden määrittely.

pääluokka	Mittausväli (µm ja luokitus)	määritelmä PM <sub>x</sub> -hiukkasille *
ePM <sub>1</sub>	0,3 ... 1 ja erotusaste ≥ 50 %	Hiukkaset, jotka läpäisevät halkaisijaltaan 1 µm aukon 50 prosenttisesti
ePM <sub>2,5</sub>	0,3 ... 2,5 ja erotusaste ≥ 50 %	Hiukkaset, jotka läpäisevät halkaisijaltaan 2,5 µm aukon 50 prosenttisesti
ePM <sub>10</sub>	0,3 ... 10 ja erotusaste ≥ 50 %	Hiukkaset, jotka läpäisevät halkaisijaltaan 10 µm aukon 50 prosenttisesti
Coarse	0,3 ... 10 ja erotusaste < 50 %	Hiukkaset, jotka läpäisevät halkaisijaltaan 10 µm aukon alle 50 prosenttisesti

Uudet suodatusluokat ovat laadittu WHO:n tutkimusten mukaisesti. Pienhiukkasten koko määrittää sen vaikutuksen terveyteemme. Halkaisijaltaan alle 10 mikrometrin (µm) hiukkasia kutsutaan hengitettäväksi hiukkasiksi. Tämän kokoiset hiukkaset kulkevat hengityksen mukana ihmisen keuhkoputkiin asti. Hiukkaset voivat olla vaaratonta pölyä, mutta mukana voi olla haitallisia raskasmetalleja tai hiilivetyjä. (WHO 2021, 2.)

Ihmisterveydelle haitallisimpia ovat erittäin pienet PM<sub>2.5</sub> (<2.5µm) hiukkaset, koska ne tunkeutuvat keuhkorakkuloiden kautta verenkiertoon ja aiheuttavat muun muassa sydän ja verisuonitauteja. WHO:n mukaan PM<sub>10</sub> (<10µm) luokan hiukkasilla on negatiivisia terveysvaikutuksia, mutta testauksen tulokset olivat epävarmempia pienempiin hiukkasiin verrattuna. (WHO 2021, 246.)

Ympäristöministeriön sisäilmastoa ja ilmanvaihtoa koskevan asetuksen 1009/2017 mukaan ilmansuodatuksen taso suunnitellaan ulkoilman laadun ja sisäilman laadulle asetettujen tavoitteiden perusteella. Ulkoilman laatutasona käytetään ODA-luokitusta. ODA 1-luokitus on laadukkain ja ODA 3-luokitus on huonoin ulkoilman laatutaso (ODA P, outdoor air, particulate matter). Suomessa voidaan yleensä olettaa luokituksen olevan ODA 1-tasolla, lukuun ottamatta kaikkein vilkkaimpia katualueita. (Talotekniikka info, 2020.)

Sisäilmaluokitus luokitellaan laatuluokittain S1, S2 ja S3. Sisäilmaluokituksessa S1 sisäilman laatu on todella hyvä, tiloissa ei ole havaittavia hajuja, lämpötilat ovat käyttäjien säädettävissä ja ääni- ja valaistusolosuhteet ovat erinomaiset. Sisäilmaluokituksessa S2 sisäilman laatu on hyvä, tiloissa ei ole häiritseviä hajuja, lämpötilat ovat hyvät, mutta kesäpäivinä yllälämpeneminen on mahdollista ja tiloissa on käyttötarkoitukseen soveltuvat ääni- ja valaistusolosuhteet. Sisäilmaluokitus S3 on heikoin luokitus ja täyttää terveydensuojelulain vähimmäisvaatimukset. (RT 07-11299, 2018, 5.)

Rakennusten tuloilman suodatus on suunniteltava niin, että sisäilman laadulle asetetut tavoitteet saavutetaan. Tuloilmasuodatuksen luokitusta kuvataan SUP-luokituksella. Tuloilmaluokkiin SUP 1 (sisäilmaluokitus S1) ja SUP 2 (sisäilmaluokitus S2) päästään yleensä suodatustasolla  $ePM_{10}$  50 - 60 %. Sisäilmaluokitus S1 suositellaan kaksiportaista suodatusta. (RT 07-11299, 2018, 17.) Puhtaassa ulkoilmassa ja tavanomaisessa kohteessa käytetään ulkoilmaluokituksena ODA (P) 1 ja tuloilmaluokituksena SUP 2. Taulukossa 3 esitetään suositeltavat minimisuodatusluokat.

Taulukko 3. Ulkoilmaluokkien ja tuloilmaluokkien suositeltavat minimisuodatusluokat standardin SFS-EN 16890-1:2016 mukaan.

	Tuloilmaluokka				
Ulkoilmaluokka	SUP 1	SUP 2	SUP 3	SUP 4	SUP 5
ODA (P) 1	ePM <sub>10</sub> 50% + ePM <sub>1</sub> 60% tai ePM <sub>1</sub> 70%	ePM <sub>1</sub> 50%	ePM <sub>2,5</sub> 50%	ePM <sub>10</sub> 50%	ePM <sub>10</sub> 50%
ODA (P) 2	ePM <sub>2,5</sub> 50% + ePM <sub>1</sub> 60% tai ePM <sub>1</sub> 80%	ePM <sub>10</sub> 50% + ePM <sub>1</sub> 60% tai ePM <sub>1</sub> 70%	ePM <sub>1</sub> 50% tai ePM <sub>2,5</sub> 70%	ePM <sub>2,5</sub> 50% tai ePM <sub>10</sub> 80%	ePM <sub>10</sub> 50%
ODA (P) 3	ePM <sub>2,5</sub> 50% + ePM <sub>1</sub> 80% tai ePM <sub>1</sub> 90%	ePM <sub>2,5</sub> 50% + ePM <sub>1</sub> 60% tai ePM <sub>1</sub> 80%	ePM <sub>10</sub> 50% + ePM <sub>1</sub> 60% tai ePM <sub>2,5</sub> 80%	ePM <sub>1</sub> 50% tai ePM <sub>10</sub> 90%	ePM <sub>2,5</sub> 50% tai ePM <sub>10</sub> 80%

\*) pyrittäessä ODA3 -ulkoilmaympäristössä parhaaseen tuloilmaluokkaan SUP1 suositellaan käytettäväksi hiukkassuodatuksen lisäksi myös kaasusuodatusta

### 2.3 Ilmanvaihtojärjestelmän mitoitus

Uudessa ympäristöministeriön asetuksessa rakennuksen käytönaikaiseksi minimi-ilmanvaihtuvuudeksi on säädetty 6 dm<sup>3</sup>/s henkilöä tai 0,35dm<sup>3</sup>/s lattia m<sup>2</sup> kohti. Ilmanvaihdon on oltava toiminnassa myös kiinteistön ollessa tyhjä. Normaalin käyttöajan ulkopuolella on minimi-ilmanvaihdon oltava rakennuksessa keskimäärin 0,15 - 0,2 dm<sup>3</sup>/s, m<sup>2</sup>. Minimii-ilmanvaihdolla poistetaan rakennuksesta peräisin olevia epäpuhtauksia ja sitä saa käyttää vain, kun tiloissa ei ole ihmisiä. Ilmanvaihto on palautettava normaaliteholle 2 tuntia ennen normaalin käytön alkamista. (RT 07-11299, 2018, 15-16.)

Ilmanvaihtokoneiden tulo- ja poistoilmavirrat tulevat palvelualueensa tilojen standardin SFS-EN 16798-3:2017 mukaan suunnitelluista arvoista. Taulukossa 4 esitetään ulkoilmavirtojen mitoitusarvot.

Taulukko 4. Ulkoilmavirtojen normaalin käyttötilanteen mitoitusarvot tiloissa, jotka täyttävät erittäin vähäpäästöisen rakennuksen kriteerit. Huonelämpötilan hallinta tai varautuminen muuntojoustoon saattavat edellyttää suurempia ilma-  
virtoja. (RT 07-11299, 2018, 16.)

Tila	Lattia-ala m <sup>2</sup> /hlö	S1-luokka		S2-luokka		S3-luokka	
		dm <sup>3</sup> /s,hlö	dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	dm <sup>3</sup> /s,hlö	dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>	dm <sup>3</sup> /s,hlö	dm <sup>3</sup> /s,m <sup>2</sup>
Toimitila, normaali tilatehokkuus	10-12	16	1,5	11	1	6	1
Toimitila, suuri tilatehokkuus	6-8	14	2	9	1,5	6	1,5
Neuvotteluhuone	3	12	4	8	3,5	6	3
Taukotila, kahvio	1,5	11	5	8	4	6	2
Hotellihuone		10		8		6	
Opetustila tai muu oleskelutila	2	11	5,5	8	4	6	3
Luentosali		10		8		6	
Päiväkodin ryhmätilat	3	12	4	8	3	6	3
Käytävä ja porrashuone			1		0,5		0,5
Käytävä, aula			1,5		1		1
Ruokala ja kahvila	2	11	5,5	8	4	6	3
Kuumennus- ja jakelukeittiö <sup>(1)</sup>			10		10		5-10
Valmistuskeittiö <sup>(1)</sup>			15-40		15-40		15-25
Astianpesuhuone <sup>(1)</sup>			12-20		10-15		10
Liiketila, myymälä <sup>(1)</sup>		10	1-3	8	1-3	6	1-3
Näyttelytila			3		3		2
Kirjasto			3		2		2
Salit (konsertti-, teatteri-, elokuva-, koulun sali)		10		8		6	
Lämpö			5		5		5
Kuntosali			6		6		6
Liikuntahalli, urheilijat			2,5		2		2
Liikuntahalli, katsojat		10		8		6	
Potilashuone <sup>(2)</sup>		15	3,5	12	3	10	2,5
Varasto, arkisto (poisto)			0,5		0,5		0,35

<sup>1)</sup> Prosessien aiheuttama ilmanvaihdon tarve tai yllämmön poistaminen tulee suunnitella tapauskohtaisesti

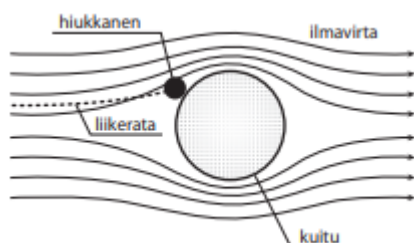
<sup>2)</sup> Sairaalatiilojen sisäilmaston suunnittelusta ja ilmajirroista on tietoja raportissa Sairaala-ilmanvaihdon suunnitteluohjeita (Ryynänen 2007).

## 2.4 Suodatusmekanismit

Kuitusuodattimien erotuskyky perustuu kuitujen määrään ja kokoon, virtausnopeuteen, hiukkaskokoon ja mahdolliseen sähkövaraukseen. Suodattimen toimintaa kuvaavia mekaanisia vaikutusmekanismeja ovat seula-, hitaus-, sieppaus- ja diffuusiomekanismit. Tämän lisäksi suodattimien erotuskykyyn voivat vaikuttaa hiukkasten ja suodatinkuitujen väliset sähköiset voimat. (LVI 31-10507, 2012, 4.)

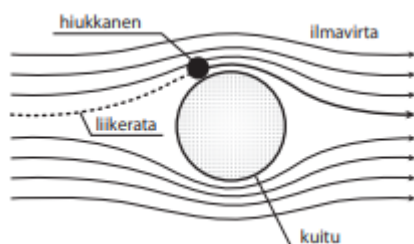
Seulavaikutuksessa hiukkaset, joiden halkaisijat ovat suurempia kuin kahden kuidun välillä oleva vapaa välimatka, kiinnittyvät. Seulavaikutuksella ei ole merkittävää vaikutusta ilmansuodattimien erotusmekanismina. (LVI 31-10507, 2012, 4.)

Törmäysvaikutuksessa isommat ja painavammat hiukkaset eivät seuraa ilmavirran mukana kuitujen ympäri, vaan törmäävät ja kiinnittyvät kuituun. Virtausnopeuden tai hiukkaskoon kasvaessa ja kuidun läpimitan pienentyessä törmäysvaikutus kasvaa (kuva 1). (LVI 31-10507, 2012, 4.)



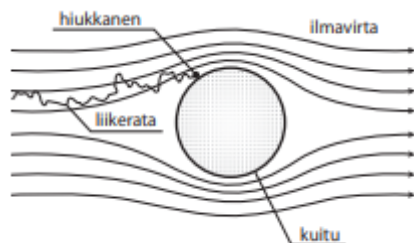
Kuva 1. Hiukkasen törmäysvaikutus. (RT 31-10507, 2012, 4.)

Kosketusvaikutuksessa pienemmät ja kevyemmät hiukkaset seuraavat ilmavirtoja kuidun ympäri. Jos hiukkanen koskettaa kuitua, voi se jäädä kiinni. Kosketusvaikutus ei ole riippuvainen virtausnopeudesta, jollei virtausnopeus kasva hiukkasen ja kuidun sidosvoimaa suuremmaksi. Kosketusvaikutus kasvaa kuitujen läpimitan pienentyessä, kuitujen pakkaus tiheyden kasvaessa ja hiukkaskoon kasvaessa (kuva 2). (LVI 31-10507, 2012, 4.)



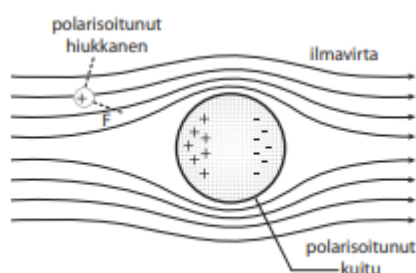
Kuva 2. Hiukkasen kosketusvaikutus. (RT 31-10507, 2012, 4.)

Diffuusiovaikutuksessa alle  $1\mu\text{m}$  hiukkaset kulkevat satunnaisesti Brownin liikkeessä ilmavirran mukana ja saattavat seurauksena koskettaa kuitua ja kiinnittyä. Vaikutus kasvaa virtausnopeuden pienentyessä, hiukkaskoon pienentyessä, kuitujen läpimitan pienentyessä ja kuitujen pakkaus tiheyden kasvaessa (kuva 3). (LVI 31-10507, 2012, 4.)



Kuva 3. Hiukkasen diffuusiovaikutus. (RT 31-10507, 2012, 4.)

Sähköisessä suodatusvaikutuksessa erotuskykyyn vaikuttavat hiukkasten ja suodatinkuitujen vastakkaismerkkiset varaustilat. Tämä sähköinen vetovoima tehostaa hiukkasten kiinnittymistä kuituun. Neutraalin kuidun ja sähköisesti latautuneen hiukkasen välillä esiintyy heikko vetovoimavaikutus, jolla ei ole merkittävää vaikutusta erotuskykyyn. Sähköisesti varautuneessa suodattimessa esiintyy sekä positiivisesti että negatiivisesti varautuneita vyöhykkeitä. Varautuneet kuidut tehostavat hiukkasten kiinnittymistä, jolloin erotuskyky suodattimella on parempi kuin se olisi ilman sähköisiä varauksia. Suodattimien sähköinen suodatusvaikutus voi heikentyä käytön aikana, tähän vaikuttaa oleellisesti kuormittavan pölyn laatu. Vaikutus kasvaa virtausnopeuden kasvaessa, hiukkaskoon kasvaessa, kuitujen läpimitan pienentyessä ja pakkaus tiheyden kasvaessa (kuva 4). (LVI 31-10507, 4.)



Kuva 4. Sähköisen suodatusvaikutuksen periaate. (RT 31-10507, 2012, 4.)

Erotusmekanismit ovat toisistaan riippuvaisia ja siksi mekanismien tarkka määrittely on vaikeaa. Suodattimessa olevien kuitujen epäsäännöllinen sijoittelu ja kuitujen läpimitan epähomogeenisuus vaikuttavat olennaisesti suodattimien toimintaan. Erotusmekanismien vaikutukset ja niihin vaikuttavat tekijät ovat esitettyinä taulukossa 5. (LVI 31-10507, 2012, 4.)

Taulukko 5. Erotusmekanismit ja niihin vaikuttavat tekijät. (LVI 31-10507, 2012, 4.)

Erotusmekanismi	Perussuure			
	Virtausnopeus	Hiukkas-koko	Kuidun läpimitta	Pakkaus-tiheys
Törmäys	+	+	-	+
Kosketus	0	+	-	+
Diffuusio	-	-	-	+
Sähköstaattinen	-	-	-	+

+ Erotusvaikutus kasvaa, kun jokin perussuureista kasvaa

- Erotusvaikutus kasvaa, kun jokin perussuureista pienenee

0 Erotusvaikutus on riippumaton perussuureista

## 2.5 Lasikuituiset pussisuodattimet

Lasikuitusuodattimia käytetään hienosuodattimissa ja korkean erotusasteen suodattimissa (LVI 31-10507, 2012, 7). Lasikuitu suodatinmateriaalina on kehittynyt paljon viimeisten vuosien aikana. Aikaisemmin materiaalin käsittelyssä oli oltava todella huolellinen, koska materiaalina käytetty ohut lasikuitu saattoi lävistää ihokerroksen aiheuttaen kipua ja ihottumaa. Uhkana oli myös suodattimen repeäminen ilmavirran vaikutuksesta, jolloin kanavistoon ja huoneilmaan kulkeutui epäpuhtauksia ja irti repeytyneitä suodattimen kuituja.

Nykyaikaisissa lasikuitusuodattimissa repeämisiin liittyvistä ongelmista on päästy eroon ja suodatinmateriaali on turvallista käsitellä ja käyttää. Lasikuituisia pussisuodattimia valmistetaan standardimitoilla sekä tilauksesta erikoisko-koisina. Lasikuituiset pussisuodattimet ovat yleisimmin käytettyjä suodattimia.

## 2.6 Synteettiset pussisuodattimet

Synteettisiä suodattimia käytetään karkea-, keskitason ja hienosuodattimissa. Synteettiset suodattimet voivat olla sähköisesti varattuja pienten hiukkasten erotuskyvyn parantamiseksi.

Teknisten tietojen perusteella synteettisellä suodattimella pitäisi saavuttaa huomattavia etuja lasikuituiseen verrattuna. Materiaalille luvataan alhaisempaa painehäviötä ja erotuskyvyn säilymistä pidemmällä ajanjaksolla tarkoittaen alhaisempia käyttökustannuksia lasikuituiseen verrattuna. Materiaalin käsiteltävyys on turvallista, eikä materiaalista irtoa haitallisia kuituja, joten tuote on vaihtotyötään ja käytöltään turvallinen vaihtoehto. Materiaalille luvataan myös parempaa kosteuskestävyyttä lasikuituiseen verrattuna.

Synteettisten suodattimien jätteiden käsittelykin on lasikuituista hyödyllisempää. Molemmat materiaalit toimitetaan sekajätteeseen, mutta vain synteettisellä materiaalilla on lämpöarvoa sekajätteen käsittelyssä. Kuvassa 5 esitetään esimerkikkuva pussisuodattimesta.



Kuva 5. Esimerkki pussisuodattimesta. (LVI 31-10507, 2012, 7.)

## 2.7 Suodattimien energiatehokkuus

Joensuun kaupungin ilmasto-ohjelma (2022, 2), ohjaa kaupunkia kohti ympäristöystävällisempää ja kestävämpää toimintatapaa. Opinnäytetyöhön liittyviä ilmasto-ohjelman tavoitteita ovat energiatehokkuuden parantaminen ja hiilidioksidipäästöjen vähentäminen.

Nepenmäen koulun sähkönkulutus vuonna 2021 oli noin 802 000 kWh ja laskennallinen ilmanvaihtokoneiden sähkönkulutus oli noin 607 000 kWh. Tämä on noin 75,7 prosenttia koko kiinteistön sähkönkulutuksesta. Joensuun kaupungilla

on yli 200 ilmanvaihtokoneilla varustettua kiinteistöä. Energiatehokkaalla ja erotuskykynsä säilyttävällä suodattimella voitaisiin saavuttaa suuria energiasäästöjä ja edesauttaa kaupungin ilmasto-ohjelman energia- ja päästötavoitteita.

Energiansäästö on vertailutyön keskiössä, pienikin prosentuaalinen säästö suodattimien välillä kertautuu kokonaiskuvassa mittavaksi säästöpotentiaaliksi. Suodatinvalmistajilla oli tarjolla useita synteettisellä materiaalilla olevia suodatinmalleja. Laadukkaimmissa energiantehokkuus oli määritelty yli 20 prosenttia lasikuituista materiaalia paremmaksi. Tämänkaltaisen suodatin oli tarkoitus saada vertailuun, mutta tämänkaltaista suodatinta ei vertailuun toimitettu. Toimitettujen suodattimien teknisten arvojen mukaan lasikuituisella suodattimella on vuositasolla 11,3 prosentin energiansäästöpotentiaali synteettiseen suodattimeen verrattuna. Taulukossa 6 esitetään vertailussa käytettyjen suodattimien tekniset arvot.

Taulukko 6. Vertailusuodattimien tekniset arvot ja vertailuparit.

Suodattimen mitat (mm)	Suodatusmateriaali	Kappalemäärä	ISO 16890 luokitus	Suodatus pinta-ala (m <sup>2</sup> )	Pussimäärä	Alkupainehäviö (Pa) @ 3400 m <sup>3</sup> /h	Sähkön kulutus (a)
<b>Vertailupari 1</b>							
592 x 592 x 525	Lasikuitu	56	ePM1 65 %	5,9	10	95	1150
592 x 592 x 525	Synteettinen	56	ePM1 60 %	5,9	10	90	1280
<b>Vertailupari 2</b>							
592 x 287 x 525	Lasikuitu	28	ePM1 65 %	3,0	10		
592 x 287 x 525	Synteettinen	28	ePM1 60 %	3,0	10		
<b>Vertailupari 3</b>							
287 x 592 x 635	Lasikuitu	4	ePM1 65 %	1,8	5		
287 x 592 x 635	Synteettinen	4	ePM1 60 %	1,8	5		
<b>Vertailupari 4</b>							
287 x 287 x 525	Lasikuitu	4	ePM1 65 %	1,8	5		
287 x 287 x 525	Synteettinen	4	ePM1 60 %	1,8	5		

Taulukossa 7 esitetään Nepenmäen koulun ilmanvaihtokoneiden laskennalliset sähkönkulutukset. Prosentin energiankulutuksen vähenemisellä saavutettaisiin yli 9 000 euron säästö sähkönkulutuksessa 10 vuoden aikana. Viidellä prosentilla saavutettaisiin yli 45 000 euron säästöt.

Taulukko 7. Nepenmäen koulun TK301-TK311 ilmanvaihtokoneiden laskennallinen sähkönkulutus ja säästöpotentiaalit.

NEPENMÄEN KOULU								
ILMAN-VAIHTO-KONEET	Sähköteho yhteensä kW	Sähkön ottoteho SFP-laskennan mukaan / kWh mittaukseen perustuva	Ilmanvaihtokoneiden kulutus / a (kWh)	Ilmanvaihtokoneiden kulutus / 10 a (kWh)	1 % säästö-potentiaali / a (kWh)	5 % säästö-potentiaali / a (kWh)	1 % säästö-potentiaali / 10a (€) <sup>(2)</sup>	5 % säästö-potentiaali / 10a (€) <sup>(2)</sup>
TK301-TK311	126	69,30 <sup>(1)</sup>	607 068	6 070 680	6 071	30353	9 306 €	46 531 €
<sup>1)</sup> laskennallinen sähköteho = 55 % sähkötehosta (SFP-laskennan mukaista arvoa ei saatavilla) <sup>2)</sup> 2/2022 sähkön hinta 0,14€/kWh (2,0 % vuosittainen korotus)								

Toiseksi tärkein tutkimuksen kohde oli suodattimien elinkaari, tarkoittaen vaihtoväliä. Kuuden kuukauden vaihtoväli suodattimella tarkoittaa 10 vuoden aikana 20 vaihto kertaa. Jos suodattimen vaihtoväliä saataisiin kasvatettua kahdella kuukaudella kahdeksaan kuukauteen, vähenisi 10 vuoden aikana viisi suodattimen vaihto kertaa. Yhden kiinteistön ilmanvaihtokoneiden suodattimien vaihdot tulevat kalliiksi suodattimien hankinnan ja vaihtotyön osalta. Suuren kiinteistön suodattimien vaihtoihin voi kulua jopa 40 tuntia työaika. Viiden suodattimien vaihdon väheneminen 10 vuoden ajalla voi olla jopa 30 000 euron arvoinen kustannussäästö yhden kiinteistön osalta.

### 3 Mittausjärjestelyt

#### 3.1 Mittauspisteet

Joensuun kaupungin tilakeskuksen ja suodatintoimittajien kanssa käytyjen keskustelujen perusteella määriteltiin tarpeelliset mittauspisteet vertailutyön toteuttamiseksi. Ilmamäärätiedoilla, suodattimien paine-erotiedoilla, energian kulutustiedoilla ja olosuhdemittaustiedoilla saataisiin kokoon tarvittava aineisto suodattimien eroavaisuuksien vertailuun.

Kenttämittauksia varten suunniteltiin ja rakennettiin testausympäristö vertailutyön ilmanvaihtokoneisiin. Samoja mittauspisteitä käytettiin koko vertailutyön ajan.

### 3.2 Testausympäristö

Testausympäristön kiinteistöksi valikoitui Joensuun kaupungilta Nepenmäen koulu. Valinta kohdistui Nepenmäen koulun kiinteistöön seuraavien asioiden perusteella

- suuri sähkönkulutus
- useita erikokoisia ilmanvaihtokoneita
- esiasennettu suodattimen paine-erolähetin
- esiasennettu ilmamäärälähetin
- mittauspisteiden lisäämiseen soveltuva kiinteistön automaatiojärjestelmä
- toteutettavissa olevat historiatrendit automaatiovalvomoon.

Kiinteistössä oli kaikista Joensuun kaupungin hallinnoimista kouluista suurin vuosittainen sähkönkulutus ja kaukolämmöllä toteutetussa kiinteistössä tämä tarkoittaa sähkönkulutuksen olevan suurimmaksi osaksi peräisin ilmanvaihtokoneiden käyttämästä sähköenergiasta. Ilmanvaihtokoneiden käyttämässä sähköenergiassa on Joensuun kaupungin suurin energiansäästöpotentialiaali.

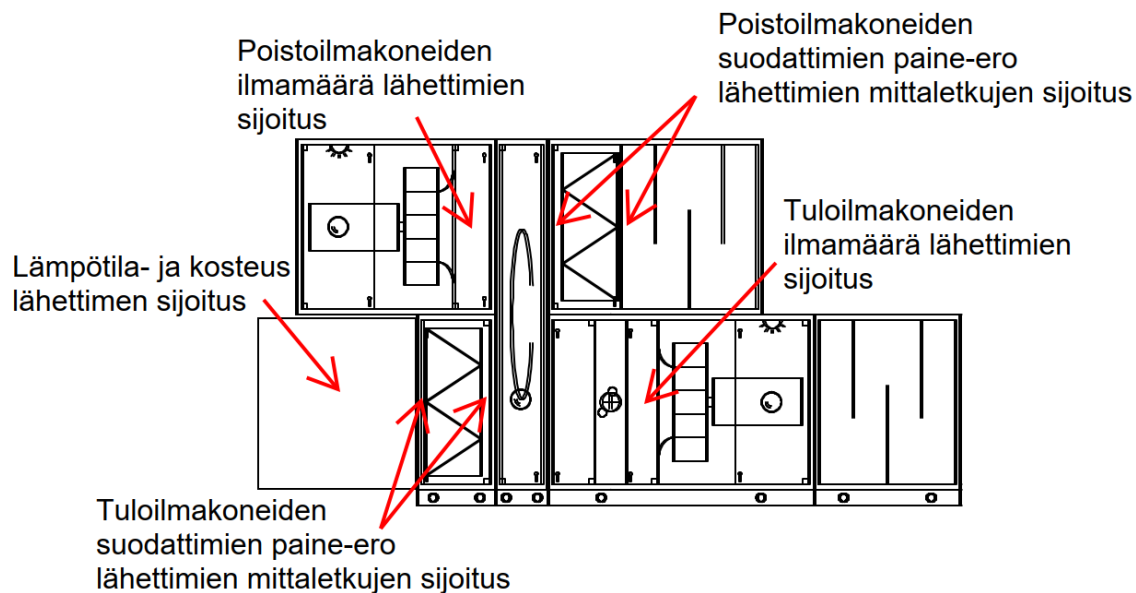
Ilmanvaihtokoneiksi testausympäristöön oli tavoitteena saada kaksi ilmamäärällisesti samankaltaista ilmanvaihtokone paria, joita voitaisiin vertailla keskenään mittaus tuloksien perusteella. Valinnan perusteena käytettiin ilmanvaihtokoneiden suunniteltuja ilmamääriä. Kaksi ilmanvaihtokonetta valittiin tarkoituksellisesti suurimpien ilmamäärien osalta ja kaksi mahdollisimman samankaltaisten ilmamäärien osalta. TK302 ja TK303 olivat suunniteltujen ilmamääriensä puolesta kiinteistön tehokkaimmat ilmanvaihtokoneet. TK306 ja TK311 olivat ilmamäärällisesti lähimpänä toisiaan. Jokaisella koneella oli oma vaikutusalueensa. Vaikutusalueet ovat esitetty liitteessä 1. Taulukossa 8 esitetään testausympäristöön valittujen ilmanvaihtokoneiden perustiedot.

Taulukko 8. Vertailuun valittujen ilmanvaihtokoneiden perustiedot.

NEPENMÄEN KOULU						
VAIKUTUS- ALUE	ILMAN- VAIHTO- KONE	KONE- MERKINTÄ	LAITENIMI	TEKNISET ARVOT		
				Puhaltimen mitoitettu ilmamäärä dm <sup>3</sup> /s	Sähköteho kW	Suunniteltu ilmamäärä dm <sup>3</sup> /s
Opetustilat	TK302	TK302-TF01	Tuloilmapuhallin	5 800	7,5	4 468
		TK302-PF01	Poistoilmapuhallin	-5 800	7,5	-4 468
Aula/ käytävä	TK303	TK303-TF01	Tuloilmapuhallin	5 380	7,5	5 177
		TK303-PF01	Poistoilmapuhallin	-5 640	7,5	-3 999
Ruokailu/ aula	TK306	TK306-TF01	Tuloilmapuhallin	3 160	5,5	2 705
		TK306-PF01	Poistoilmapuhallin	-3 740	5,5	-2 480
Käytävät/ wc-tilat	TK311	TK311-TF01	Tuloilmapuhallin	3 160	5,5	2 952
		TK311-PF01	Poistoilmapuhallin	-3 740	5,5	-2 955

Sähkönkulutus mittauksia varten testausympäristön jokaiselle tulo- ja poistopuhaltimille asennettiin omat energiamittarinsa puhaltimien ryhmäkeskuksissa oleviin sähkösyöttöihin. Energiamittarit kaapeloitiin ja yhdistettiin automaatiojärjestelmään RS-485 modbus-väylällä.

Olosuhdemittausta varten tuloilman lämpötila- ja kosteuslähetin asennettiin TK303 ilmanvaihtokoneen raitisilmakanavaan. Tuloilman lämpötila- ja kosteuslähetin kaapeloitiin ja yhdistettiin automaatiojärjestelmään RS-485 modbus-väylällä. Suodattimien ilmamäärälähettimet ja suodattimien paine-erolähettimet olivat ilmanvaihtokoneissa valmiiksi asennettuina. Kuvassa 6 esitetään testausympäristön käytössä olevien lähettimien asennuspaikat ilmanvaihtokoneissa ja kuvassa 7 ilmanvaihtokone TK303.



Kuva 6. Lähettimien sijoitukset testausympäristön ilmanvaihtokoneissa.



Kuva 7. Ilmanvaihtokone TK303.

Kiinteistöautomaatiojärjestelmänä toimi nykyaikainen ja päivitettävissä oleva Schneider Electric Struxure. Schneider Electricin asiantuntijat yhdistivät ja ohjelmoivat lisätyt mittauspisteet kiinteistöautomaatiojärjestelmään ja laativat testausympäristön mittauspisteille automaatiovalvomon kahden vuoden trendiseurannat. Mittaustulosten varmentamiseksi trendiseuranta dokumentoi

mittauspisteiden reaaliaikaiset arvot 10 minuutin välein energiankulutusta lukuun ottamatta. Energiankulutus arvot dokumentoitiin 24 tunnin välein kokonaiskulutuksena. Taulukoissa 9 ja 10 esitetään valvomosta tallennettuja esimerkkio-toksia mittaustuloksista.

Taulukko 9. Esimerkkiotos valvomosta tallennetuista ilmamäärämittaus tulok-sista. Tulokset ovat dm<sup>3</sup>/s muodossa.

Aikaleima	302-PDIE08_Logg	302-PDIE21_Logg
8.8.2022 23.51.03	1825	2328
8.8.2022 23.41.03	1838	2341
8.8.2022 23.31.03	1838	2349
8.8.2022 23.21.03	1825	2317
8.8.2022 23.11.03	1819	2365
8.8.2022 23.01.03	1830	2336
8.8.2022 22.51.03	1814	2365
8.8.2022 22.41.03	1846	2309
8.8.2022 22.31.03	1838	2352

Taulukko 10. Esimerkkiotos valvomosta tallennetuista energiamittaus tuloksista. Tulokset ovat kilowattitunteja päivässä.

Aikaleima	Arvo
8.8.2022 12.00.00	34
7.8.2022 12.00.00	25
6.8.2022 12.00.00	26
5.8.2022 12.00.00	37
4.8.2022 12.00.00	35
3.8.2022 12.00.00	35
2.8.2022 12.00.00	35
1.8.2022 12.00.00	35
31.7.2022 12.00.00	25

Joulukuussa 2021 alkaneet asennukset valmistuivat kokonaisuudessaan helmi-kuussa 2022. Mittauspisteiden asennukset ja ohjelmoinnit olivat valmiina 7.2.2022. Automaatiovalvomon trendiseuranta valmistui 15.2.2022. Vertailutyön ajankohdaksi valikoitui kaksi mittausjaksoa. Ensimmäinen mittausjakso toteutetiin 1.3.2022 - 30.11.2022 ja toinen mittausjakso 1.3.2023 - 30.11.2023.

Ensimmäisen mittausjakson valmistelut alkoivat maanantaina 28.2.2022. Testausympäristön ilmanvaihtokoneiden vanhat suodattimet poistettiin koneista ja suodattimien tulo- ja lähtöpuolella olevat kammiot puhdistettiin. Samassa

yhteydessä tarkastettiin ilmanvaihtokoneiden suodattimien kiinnityskiskojen kunto. Vertailua varten asennettavista suodattimista mitattiin alkupainot ja tulokset kirjattiin ylös. Alkupainot mitattiin yhdestä lasikuituisesta 592x592x525/10 suodattimesta ja yhdestä 592x592x525/10 synteettisestä suodattimesta. Tämän jälkeen ilmanvaihtokoneisiin asennettiin uudet taulukon 11 mukaiset suodattimet. Ensimmäisellä mittausjaksolla ilmanvaihtokoneeseen TK302 ja TK303 asennettiin 48 kappaletta synteettisiä suodattimia ja ilmanvaihtokoneisiin TK306 ja TK311 asennettiin 48 kappaletta lasikuituisia suodattimia.

Taulukko 11. Testausympäristön ilmanvaihtokoneiden suodattimet 1.3.2022 – 30.11.2022.

NEPENMÄEN KOULU MITTAUSJAKSO 1.3.2022 - 30.11.2022					
VAIKUTUS- ALUE	ILMAN- VAIHTO- KONE	KONE- MERKINTÄ	LAITENIMI	SUODATTIN- MATERIAALI	SUODATTIMIEN KAPPALE MÄÄRÄT JA MITAT
Opetustilat	TK302	TK302 - TF01	Tuloilmapuhallin	Synteettinen	8* 592x592x525/10, 4*592x287x525/10
		TK302 - PF01	Poistoilmapuhallin	Synteettinen	8* 592x592x525/10, 4*592x287x525/10
Aula/ käytävä	TK303	TK303 - TF01	Tuloilmapuhallin	Synteettinen	8* 592x592x525/10, 4*592x287x525/10
		TK303 - PF01	Poistoilmapuhallin	Synteettinen	8* 592x592x525/10, 4*592x287x525/10
Ruokailu/ aula	TK306	TK306 - TF01	Tuloilmapuhallin	Lasikuitu	6* 592x592x525/10, 3* 592x287x525/10, 2* 287x592x635/5, 1* 287x287x525/5
		TK306 - PF01	Poistoilmapuhallin	Lasikuitu	6* 592x592x525/10, 3* 592x287x525/10, 2* 287x592x635/5, 1* 287x287x525/5
Käytävät/ wc-tilat	TK311	TK311 - TF01	Tuloilmapuhallin	Lasikuitu	6* 592x592x525/10, 3* 592x287x525/10, 2* 287x592x635/5, 1* 287x287x525/5
		TK311 - PF01	Poistoilmapuhallin	Lasikuitu	6* 592x592x525/10, 3* 592x287x525/10, 2* 287x592x635/5, 1* 287x287x525/5

Ensimmäinen mittausjakso käynnistyi tiistaina 1.3.2022 kello 0:00. Mittausjakson kestoksi määriteltiin yhdeksän kuukautta, joten ensimmäinen mittausjakso toteutettiin 1.3.2022 – 30.11.2022. Mittausjakson kesto määriteltiin ilmanvaihtokoneiden aikaisempia suodatinvaihtovälejä kolme kuukautta pidemmäksi, jotta saataisiin suodattimien kestävyyttä testattua. Mittausjakson aikana automaatiovalvomosta tallennettiin mittauspisteiden arvot kuukauden välein Excel-pohjaisiksi tiedostoiksi. Ensimmäinen mittausjakso päättyi keskiviikkona 30.11.2022 kello 23:59.

Torstaina 1.12.2022 testausympäristön ilmanvaihtokoneiden suodattimet poistettiin koneista. Käytettyjen suodattimien painot punnittiin, suodattimien kunnot tarkastettiin ja tulokset dokumentoitiin. Suodattimien tulo- ja lähtöpuolella olevien kammioiden likaisuusaste tarkastettiin ja dokumentoitiin. Ensimmäisen mittausjakson päättymisen jälkeen ilmanvaihtokoneisiin asennettiin uudet

suodattimet. Uudet asennetut suodattimet olivat normaalissa käytössä toisen mittausjakson alkamiseen saakka.

Toisen mittausjakson valmistelut alkoivat tiistaina 28.2.2023. Testausympäristön ilmanvaihtokoneiden suodattimet poistettiin koneista ja suodattimien tulo- ja lähtöpuolella olevat kammiot puhdistettiin. Samassa yhteydessä tarkastettiin ilmanvaihtokoneiden suodattimien kiinnityskiskojen kunto. Tämän jälkeen ilmanvaihtokoneisiin asennettiin uudet taulukon 12 mukaiset suodattimet. Toisella mittausjaksolla ilmanvaihtokoneeseen TK302 ja TK303 asennettiin 48 kappaletta lasikuituisia suodattimia ja ilmanvaihtokoneisiin TK306 ja TK311 asennettiin 48 kappaletta synteettisiä suodattimia.

Taulukko 12. Testausympäristön ilmanvaihtokoneiden suodattimet 1.3.2023 – 30.11.2023.

NEPENMÄEN KOULU					
MITTAUSJAKSO 1.3.2023 - 30.11.2023					
VAIKUTUS-ALUE	ILMAN-VAIHTOKONE	KONE-MERKINTÄ	LAITENIMI	SUODATTIN-MATERIAALI	SUODATTIMIEN KAPPALE MÄÄRÄT JA MITAT
Opetustilat	TK302	TK302 - TF01	Tuloilmapuhallin	Lasikuitu	8* 592x592x525/10, 4*592x287x525/10
		TK302 - PF01	Poistoilmapuhallin	Lasikuitu	8* 592x592x525/10, 4*592x287x525/10
Aula/käytävä	TK303	TK303 - TF01	Tuloilmapuhallin	Lasikuitu	8* 592x592x525/10, 4*592x287x525/10
		TK303 - PF01	Poistoilmapuhallin	Lasikuitu	8* 592x592x525/10, 4*592x287x525/10
Ruokailu/aula	TK306	TK306 - TF01	Tuloilmapuhallin	Synteettinen	6* 592x592x525/10, 3* 592x287x525/10, 2* 287x592x635/5, 1* 287x287x525/5
		TK306 - PF01	Poistoilmapuhallin	Synteettinen	6* 592x592x525/10, 3* 592x287x525/10, 2* 287x592x635/5, 1* 287x287x525/5
Käytävät/wc-tilat	TK311	TK311 - TF01	Tuloilmapuhallin	Synteettinen	6* 592x592x525/10, 3* 592x287x525/10, 2* 287x592x635/5, 1* 287x287x525/5
		TK311 - PF01	Poistoilmapuhallin	Synteettinen	6* 592x592x525/10, 3* 592x287x525/10, 2* 287x592x635/5, 1* 287x287x525/5

Toinen mittausjakso käynnistyi keskiviikkona 1.3.2023 kello 0:00. Mittausjakson kestonä käytettiin vertailuun valittua yhdeksän kuukauden mittausjaksoa. Mittausjakso toteutettiin 1.3.2023 – 30.11.2023. Mittausjakson aikana automaatiovalvomosta tallennettiin mittauspisteiden arvot kuukauden välein Excel-pohjaisiksi tiedostoiksi. Toinen mittausjakso päättyi torstaina 30.11.2023 kello 23:59.

Perjantaina 1.12.2023 testausympäristön ilmanvaihtokoneiden suodattimet poistettiin koneista. Käytettyjen suodattimien painot punnittiin, suodattimien kunnot tarkastettiin ja tulokset dokumentoitiin. Suodattimien tulo- ja lähtöpuolella olevien kammioiden likaisuusaste tarkastettiin ja dokumentoitiin. Toisen mittausjakson päättymisen jälkeen koneeseen asennettiin uudet suodattimet ja testausympäristön ilmanvaihtokoneet palautuivat normaaliin käyttöön.

Mittausjaksojen jälkeen tallennetut mittaustulokset käsiteltiin. Neljän viikon välein tallennetut Excel-taulukot yhdistettiin tulo- ja poistokonekohtaisesti, jonka jälkeen saaduista arvoista laskettiin päiväkohtaiset keskiarvot. Päiväkohtaisten keskiarvojen kohdalla mittaustulokset tarkastettiin ja eroavaisuudet korjattiin vastaamaan vastaavan päivän mittaustuloksia. Tämän jälkeen päiväkohtaisista keskiarvoista laskettiin kuukausikohtaiset keskiarvot ja luotiin koontitaulukko. Koontitaulukkoon kirjattiin testausympäristössä käytetyt mittauspisteet konekohtaisesti ja mittausjaksoittain.

Korjattuja mittaustuloksia oli määrällisesti todella vähän ja yleensä puutteet olivat saman päivän kohdalla. Korjauksia vaativat tulokset johtuivat ilmanvaihtokoneisiin liittyvistä häiriöistä tai automaatioon vaikuttavista yhteysongelmista. Korjatuilla mittaustuloksilla oli kokonaisuuteen nähden olematon vaikutus ja näin ollen eivät vaikuttaneet mittaustulosten luotettavuuteen.

Opinnäytetyössä käsiteltiin yhteensä 2 200 energiamittaustulosta. Ilmamäärämittausten tuloksia, suodattimien paine-eromittauksien tuloksia ja tuloilman lämpötila- ja kosteusmittauksien tuloksia käsiteltiin yhteensä 1 262 912 kappaletta.

### **3.3 Ilmamäärämittaus (dm<sup>3</sup>)**

Ilmamäärämittauksella todettiin suodattimen läpi kulkeva ilmamäärä. Nepenmäen koululla käytettiin ilmanvaihdon aikataulujen lisäksi hiilidioksidimittaukseen perustuvaa ilmanvaihdon tehostamista. Tämä aiheutti ilmamäärä muutoksia tuntikohtaisella tasolla. Hiilidioksidipitoisuuden määrästä on annettu asetus enimmäisarvoksi 800 ppm yli ulkoilman pitoisuuden (ympäristöministeriön asetus 1009/ 2017). Nepenmäen koululla tehostusalueena käytettiin 700–1400 ppm yli ulkoilman pitoisuuden.

Ilmamäärämittareina toimivat koneisiin valmiiksi asennetut Fläktwoods DPT7000-D-F paine-erolähtimet. Ilmamäärälähtimet olivat asennettuna suodattimien ja lämmöntalteenottokeinojen jälkeiseen kammioon.

Automaatiojärjestelmä dokumentoi reaaliaikaiset mittaustulokset 10 minuutin välein. Tuloksista koostettiin kuukausikohtainen keskiarvo ja mittaustulokset liitettiin koontiraporttiin. Kuvassa 8 esitetään ilmamäärämittauksessa käytetty esiasennettu paine-erolähetin.



Kuva 8. Ilmamäärämittauksessa käytetty esiasennettu Fläktwoods DPT7000-D-F paine-erolähetin.

### 3.4 Suodattimien paine-eromittaus (Pa)

Suodattimien paine-eromittauksella todettiin suodattimien aiheuttama vastus eli painehäviö. Painehäviön kasvaessa tavoiteltuun ilmamäärään pääseminen kulluttaa enemmän energiaa. Paine-eromittauksella on mahdollista määrittellä suodattimelle loppu paine-ero, jolloin suodatin olisi hyvä vaihtaa taloudellisesta tai hyvän sisäilman näkökulmasta.

Suodattimien paine-eromittareina toimivat koneisiin valmiiksi asennetut Schneider Electric SPD360-300 lähettimet. Lähettimien mittausalueeksi oli valittuna  $\pm 300$  Pa. Automaatiojärjestelmä dokumentoi reaaliaikaiset mittaustulokset 10 minuutin välein. Tuloksista koostettiin kuukausikohtainen keskiarvo ja mittaustulokset lisättiin koontiraporttiin. Kuvassa 9 esitetään suodattimen paine-eromittauksessa käytetty esiasennettu paine-erolähetin.



Kuva 9. Suodattimen paine-eromittauksessa käytetty esiasennettu Schneider Electric SPD360-300 paine-erolähetin.

### 3.5 Energiamittaus (kWh)

Energiamittauksella todettiin ilmanvaihtokoneen tarvitsema sähkönkulutus sen hetkisillä suodattimilla, ilmamäärillä, suodattimien paine-eroilla ja olosuhteilla. Pienemmätkin muutokset energiankulutuksessa näkyivät suoraan energiamittarin näytössä ja pienellä viiveellä automaatiovalvomossa.

Energiamittareina käytettiin Carlo Gavazzi EM340 mallia. Väylää pitkin energiankulutustieto välittyi automaatiojärjestelmään jokaisen kulutetun 10 wattitunnin jälkeen. Automaatiovalvomo koosti energiamittauksista päiväkohtaiset kulutus-tiedot. Tuloksista koostettiin kuukausikohtainen keskiarvo ja mittaustulokset li-sättiin koontiraporttiin. Kuvassa 10 esitetään kaksi asennettua energiamittaria.



Kuva 10. Asennetut Carlo Gavazzi EM340 energiamittarit.

### 3.6 Tuloilman lämpötila- ja kosteusmittaus (°C, RH %)

Tuloilman lämpötila- ja kosteusmittauksilla kerättiin ulkoilmassa tapahtuvien olo-suhteiden muutokset. Mittauksella vertailtiin mittausjaksojen välillä tapahtuneita muutoksia olosuhteiden välillä. Samaa mittauspistettä käytettiin kaikkien vertai-lussa mukana olevien koneiden olosuhde vertailussa.

Tuloilman lämpötila- ja kosteusmittarina käytettiin Pro dual KLK-100N kanava-kosteus- ja lämpötilalähetintä. Automaatiojärjestelmä dokumentoi reaaliaikaiset mittaustulokset 10 minuutin välein. Tuloksista koostettiin kuukausikohtainen keskiarvo ja mittaustulokset lisättiin koontiraporttiin. Kuvassa 11 esitetään asen-nettu lämpötila- ja kosteuslähetin.



Kuva 11. Asennettu Produal KLK 100-N lämpötila- ja kosteuslähetin.

## 4 Mittaustulosten käsittely

### 4.1 Ilmamäärämittaus ( $\text{dm}^3/\text{s}$ )

Ilmamäärämittaukset saatiin perättäisten mittausjaksojen aikana tavoitteen mukaisesti pysymään pienien marginaalien sisällä. Viidessä mitattavassa koneessa muutos oli alle 1,5 prosenttia ja kolmessa alle 3,8 prosenttia. Pienin muutos mittausjaksojen välillä oli tuloilmakoneessa TK302-TF01 noin 0,3 prosenttia mitatusta kokonaisilmamäärästä. Suurin ero mittausjaksojen välillä oli poistoilmakoneessa TK303-PF01 noin 3,7 prosenttia mitatusta kokonaisilmamäärästä. Vertailuun saatiin ilmamäärien osalta dokumentoitua testausjärjestelyn aikana 939–4140  $\text{dm}^3/\text{s}$  välillä olevia päivän keskiarvolla laskettuja kuluksia. Ilmamäärät pysyivät todella pienien marginaalien sisällä perättäisten mittausjaksojen aikana ja näin ollen mittaustulokset voidaan määrittellä vertailukelpoisiksi.

## 4.2 Suodattimien paine-eromittaus (Pa)

Mittaustuloksissa oli nähtävissä selkeitä paine-eroja mittausjaksojen välillä. Synteettisellä materiaalilla oli alhaisempi suodatin paine-ero kolmessa koneessa ja lasikuituisella materiaalilla viidessä koneessa. Pienin muutos mittausjaksojen välillä oli noin 0,6 pascalia tuloilmakoneessa TK303-TF01. Suurin ero mittausjaksojen välillä oli noin 3,5 pascalia poistoilmakoneessa TK302-PF01. Selkeästi nouseva paine-ero trendi saatiin vain koneista TK302-TF01 ja TK303-TF01. Muiden koneiden mittaustulokset eivät antaneet mittaustulosten perusteella viitteitä suodattimien tukkeutumisesta mittausjaksojen aikana.

Paine-eron pitäisi suodattimien likaantuessa lisääntyä selkeästi. Suodattimen yli tapahtuva paine-eromittaus ei toimi oikein, jos ilmavirta ei kulkeudu tasaisesti kaikkien suodattimien läpi tai suodattimet eivät ole koneelle oikein mitoitettuja. Suodatinkiskojen välissä yksikin puhdas suodatin aiheuttaa suodattimen paine-eromittaukseen suuren vääristymän.

## 4.3 Energiamittaus (kWh)

Lasikuituisten ja synteettisten suodatinmateriaalien välillä oli ennakkoon odotetavissa selkeitä eroja. Energiamittauksen perusteella näin ei kuitenkaan tapahtunut. Mittausjaksojen väliset mittaustulokset olivat 4,3 prosentin sisällä kaikkien vertailu koneiden kohdalla. Erot vielä pienenivät, kun sähkönkulutusta verrattiin ilmamääriin. Suurimmillaan saavutettiin 2,1 prosentin ero tuloilmakoneessa TK302-TF01 ja pienimillään oltiin aivan samoissa kulutuslukemissa. Testausympäristön kaikkien koneiden sähkönkulutukset verrattuna ilmamääriin olivat lasikuitusuodattimilla noin 0,5 prosenttia pienemmät.

## 4.4 Tuloilman lämpötila- ja kosteusmittaus (°C, RH %)

Mittausjaksojen ollessa samalla ajanjaksolla eri vuosina saatiin vertailukelpoiset olosuhteet mittauksien läpiviemiseksi. Mittausjaksojen välillä lämpötiloissa ja

kosteuksissa ei ollut merkittäviä vaihteluita. Kosteuden osalta vaihtelua mittausjaksojen välillä oli 2,2 prosenttia ja lämpötilan osalta 0,3 astetta. Lämpötilat ja kosteudet eivät täysin vastaa ulkoilman vastaavia, koska mittaukset toteutettiin raitisilmakanavasta. Tämä oli tarkoituksellista saadaksemme tietoa tuloilmakoneille saapuvista olosuhteista.

Tuloilman lämpötilalla ja kosteudella ei mittausten perusteella vaikuttaisi olevan merkittävää vaikutusta suodattimen paine-eron tai sähkönkulutuksen suhteen. Mittaukselle olisi ollut paremmat perusteet heikommin toteutetuissa raitisilmakanavissa missä lunta ja kosteutta pääsisi suodattimille saakka, koska kosteudella tiedetään olevan suora negatiivinen vaikutus suodattimen toimintaan.

## **5 Tulokset**

### **5.1 Testausympäristön toiminta**

Testausympäristön kiinteistöön ei kohdistunut mittausjaksojen aikana normaaliin toimintaan poikkeavia tapahtumia. Mittausjaksojen aikana mittauspisteissä ei todettu ongelmia. Ilmanvaihtokoneiden häiriötilanteet ja automaatiovalvomon yhteyskatkokset aiheuttivat muutamille päiville puuttuvia mittaustietoja, mutta nämä eivät koituneet ongelmaksi.

Ilmanvaihtokoneiden suodattimina käytettiin koneille suunniteltuja suodatin kkoja ja erotusasteita. Mittausjaksot saatiin kokonaisuudessaan toteutettua suunnitellulla tavalla.

### **5.2 Erottelukyky**

Erottelukykyä havainnoitiin suodattimien painon lisääntymisellä. Suodattimien keräämä paino vaihteli todella paljon. Samassa koneessa olevissa suodattimissa oli painoltaan puhtaan kaltaisia suodattimia ja selkeästi painoa keränneitä

suodattimia. Tämä kertoo tulo- ja poistoilmakammioiden ilmavirtojen ohjauksessa olevan puutteita. Suodattimien painoa käsitellään epätasaisesti likaantuneiden ja suurien paino erojen seurauksena kaikkien vertailussa mukana olleiden suodattimien kokonaisuutena. Erottelukyky vertailua ei työssä saavutettu edellä mainittujen ongelmien takia. Kuvassa 12 esitetään likainen ja puhdas lasikuitusuodatin.



Kuva 12. Likainen ja puhdas lasikuitusuodatin.

Lasikuituisten 592x592x525/10 suodattimien paino puhtaana ennen koneeseen asentamista oli noin 2 500 grammaa. Mittausjaksojen jälkeen suodattimien painot vaihtelivat 2 500–2 950 gramman välillä. Suodattimien painot lisääntyivät 0–450 grammaa.

Lasikuituisten suodattimien kohdalla mittausjaksoa olisi voinut jatkaa vielä pidempäänkin, koska suodattimien paine-erojen nousut olivat hyvin maltillisia. Tuuloilmakoneessa TK302-TF01 paine-erossa tapahtui suurin 12 prosentin nousu lähtötilanteesta. Suodattimet vaikuttivat olevan silmämääräisestikin vielä ihan hyvässä kunnossa erottelukyvyn puolesta. Kuvassa 13 on esitetty lasikuitusuodatin mittausjakson jälkeen.



Kuva 13. TK302-TF01 käytetty lasikuituinen pussisuodatin vaihdon yhteydessä 1.12.2023.

Synteettisten 592x592x525/10 suodattimien paino puhtaana ennen koneeseen asentamista oli noin 2 750 grammaa. Mittausjakson jälkeen suodattimien painot vaihtelivat 2 750–3 300 gramman välillä. Suodattimien painot olivat lisääntyneet 0–550 grammaa. Suodattimien painojen noustessa 550 grammalla, epäiltiin suodattimien lähtöpainojen olevan suodattimien välillä muuttuva. Vaihdon yhteydessä suodattimien välillä ei huomattu selvää paino eron syytä. Puhtaiden suodattimien paino eroa ei päästy jälkikäteen todentamaan.

Synteettisten suodattimien kohdalla mittausjakso vastaa materiaalin äärimmäistä käyttöaikaa. Synteettisen suodattimen pussien paino puhtaana oli noin 250 grammaa lasikuitusuodatinta painavampi ja likaantuessaan paino alkoi haittaamaan pussien aukeamista haitaten suodattimien toimintaa ja energiatehokkuutta. Suodattimissa oli havaittavissa epätasaista likaantumista pussien sisällä. Ilma ei ollut kulkeutunut tasaisesti pussien läpi, todistaen synteettisten suodattimien pussien aukeamiseen liittyvän ongelman. Synteettisellä suodattimella todistettiin jopa 34 prosentin paine-eron nousu lähtötilanteesta. Kuvassa 14 esitetään synteettinen suodatin mittausjakson jälkeen.



Kuva 14. TK302-TF01 käytetty synteettinen pussisuodatin vaihdon yhteydessä 1.12.2022.

Nepenmäen koulun henkilöstöltä tiedusteltiin kuukauden välein sisäilmaan liittyviä havaintoja. Mittausjaksojen aikana henkilöstöltä ei tullut yhtään havaintoa sisäilmaan liittyen, joten voidaan todeta molempien suodatinmateriaalien toimineen asiallisesti koko vertailutyön ajan.

### **5.3 Tuloilmakone TK302-TF01**

Tuloilmakoneen TK302-TF01 aikatauluina olivat 66 prosentin normaaliteho maanantaista perjantaihin kello 8:00–16:00 ja muina aikoina 33 prosentin minimitiho. Ilmanvaihtoa tehostettiin tarvittaessa hiilidioksidimittauksien perusteella.

Mittaustulosten käsittelyn aikana huomattiin tuloilmakammion olevan suunnitelmien vastainen. Tuloilmakammion pitäisi sijoittua tuloilmakoneen keskelle ja kaen ilmavirtaa tasaisesti suodattimille. Ratkaisu todennäköisesti vääristää mitaustuloksia. Kuvassa 15 esitetään suunnitelmien vastaisesti toteutettu TK302-TF01 tuloilmakoneen raitisilmakanava ja tuloilmakammio.



Kuva 15. Suunnitelmien vastaisesti toteutettu TK302-TF01 tuloilmakoneen rai-  
tisilmakanava ja tuloilmakammio.

Mittausjaksojen välillä synteettisellä suodattimella saavutettiin mittaustulosten keskiarvolla laskettuna 2,6 prosenttia pienempi paine-ero lasikuituiseen nähden. Koneen 66 prosentin käyntiteholla verrattuna synteettisen suodattimen loppu paine-ero nousi huomattavasti lasikuituista enemmän. Loppu paine-erolla tarkoitetaan ennen mittausjakson päättymistä dokumentoitua suodattimen paine-ero lukemaa. Lasikuitumateriaalilla saavutettiin 1,8 prosenttia pienempi sähkönkulutus 0,3 prosenttia suuremmalla ilmamäärällä synteettiseen verrattuna. Ilmamäärään verrattuna sähkönkulutus oli lasikuitumateriaalilla 2,1 prosenttia pienempi. Molemmat suodatinmateriaalit toimivat mittausjaksojensa aikana hyvin eikä suodattimien jälkeisessä kammioissa ollut havaittavissa ohivuotoa. Taloudellista loppupaine-eroa ei voida tuloksista kummallekaan suodatinmateriaalille päätellä. Taulukossa 13 ja 14 esitetään alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot. Liitteessä 2 esitetään mittaustulokset kuukaussitasolla.

Taulukko 13. TK302-TF01 lasikuitusuodattimien mittausjakson 1.3.2023 – 30.11.2023 alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot.

TK302-TF01 lasikuitusuodattimet (1.3.2023 - 30.11.2023)			
	Päivämäärä	Suodattimen paine-ero (66 % koneteholla)	Ilmamäärä (vuorokauden keskiarvo)
Alku paine-ero	1.3.2023	30,4 Pa	
Pienin ilmamäärä	11.3.2023		1 638 dm <sup>3</sup> /s
Suurin ilmamäärä	19.7.2023		3 194 dm <sup>3</sup> /s
Loppu paine-ero	30.11.2023	34,0 Pa	

Taulukko 14. TK302-TF01 synteettisten suodattimien mittausjakson 1.3.2022 – 30.11.2022 alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot.

TK302-TF01 synteettiset suodattimet (1.3.2022 - 30.11.2022)			
	Päivämäärä	Suodattimen paine-ero (66 % koneteholla)	Ilmamäärä (vuorokauden keskiarvo)
Alku paine-ero	1.3.2022	23,1 Pa	
Pienin ilmamäärä	17.4.2022		1 597 dm <sup>3</sup> /s
Suurin ilmamäärä	17.5.2022		3 115 dm <sup>3</sup> /s
Loppu paine-ero	30.11.2022	29,1 Pa	

#### 5.4 Poistoilmakone TK302-PF01

Poistoilmakoneen TK302-PF01 aikatauluina olivat 66 prosentin normaali-teho maanantaista perjantaihin kello 8:00–16:00 ja muina aikoina 33 prosentin minimiteho. Ilmanvaihtoa tehostettiin tarvittaessa hiilidioksidimittauksien perusteella.

Mittausjaksojen välillä synteettisellä suodattimella saavutettiin mittaustulosten keskiarvolla laskettuna 18 prosenttia pienempi paine-ero lasikuituiseen nähden. Koneen 66 prosentin käyntiteholla verrattuna synteettisen suodattimen loppu paine-ero nousi jopa 34 prosenttia lähtötilanteesta. Lasikuitumateriaalilla saavutettiin 0,1 prosenttia pienempi sähkönkulutus 0,4 prosenttia suuremmalla ilmamäärällä synteettiseen verrattuna. Ilmamäärään verrattuna sähkönkulutus oli lasikuitumateriaalilla 0,5 prosenttia pienempi. Molemmat suodatinmateriaalit toimivat mittausjaksojensa aikana hyvin eikä suodattimien jälkeisessä kammioissa

ollut havaittavissa ohivuotoa. Taloudellista loppupaine-eroa ei voida tuloksista kummallekaan suodatinmateriaalille päätellä. Taulukossa 15 ja 16 esitetään alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot. Liitteessä 3 esitetään mitaustulokset kuukausitasolla.

Taulukko 15. TK302-PF01 lasikuitusuodattimien mittausjakson 1.3.2023 – 30.11.2023 alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot.

TK302-PF01 lasikuitusuodattimet (1.3.2023 - 30.11.2023)			
	Päivämäärä	Suodattimen paine-ero (66 % koneteholla)	Ilmamäärä (vuorokauden keskiarvo)
Alku paine-ero	1.3.2023	33,7 Pa	
Pienin ilmamäärä	5.3.2023		2 101 dm <sup>3</sup> /s
Suurin ilmamäärä	20.7.2023		3 668 dm <sup>3</sup> /s
Loppu paine-ero	30.11.2023	34,6 Pa	

Taulukko 16. TK302-PF01 synteettisten suodattimien mittausjakson 1.3.2022 – 30.11.2022 alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot.

TK302-PF01 synteettiset suodattimet (1.3.2022 - 30.11.2022)			
	Päivämäärä	Suodattimen paine-ero (66 % koneteholla)	Ilmamäärä (vuorokauden keskiarvo)
Alku paine-ero	1.3.2022	25,8 Pa	
Pienin ilmamäärä	10.4.2022		2 061 dm <sup>3</sup> /s
Suurin ilmamäärä	17.5.2022		3 473 dm <sup>3</sup> /s
Loppu paine-ero	30.11.2022	34,5 Pa	

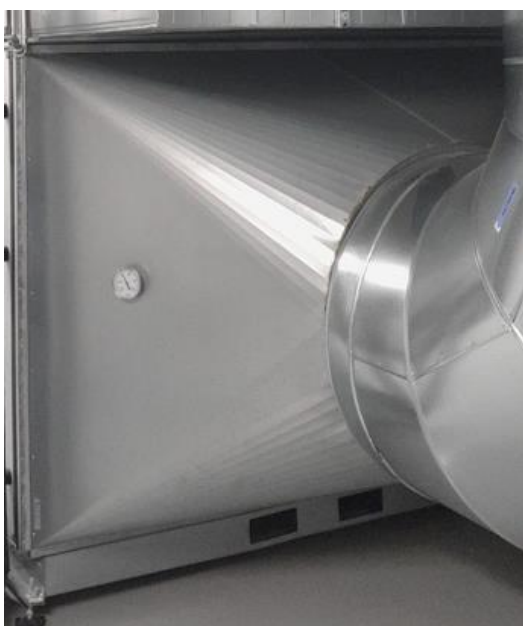
## 5.5 Tuloilmakone TK303-TF01

Tuloilmakoneen TK303-TF01 aikatauluina olivat 66 prosentin normaaliteho maanantaista perjantaihin kello 5:00–0:00 ja muina aikoina 33 prosentin minimiteho. Ilmanvaihtoa tehostettiin tarvittaessa hiilidioksidimittauksien perusteella. Mittaustulosten käsittelyn aikana todettiin raitisilmakanavan liitännän tuloilmakammioon olevan toteutettu suunnitelmien vastaisesti ja myös tuloilmakammion syvyyttä oli kavennettu. Tämän takia ilmavirta ei kulkeudu tasaisesti kaikkien suodattimien kautta vaan kulkeutuu enimmäkseen keskimmäisten suodattimien läpi. Tästä ongelmasta huolimatta TK303-TF01 tuloilmakoneessa suodattimien paine-ero muutokset olivat suurimpia lähtö tilanteesta. Ongelma varmasti

vääristää mittaustuloksia, mutta vaatii jatkoselvityksiä kumpaan suuntaan. Tämä ongelma toteutui molempien mittausjaksojen aikana ja näin ollen ei vaikuta mittausjaksojen vertailuun. Kuvassa 16 esitetään suunnitelmien vastaisesti toteutettu TK303-TF01 koneen raitisilmakanava liitännä ja kavennettu tuloilmakammio, ja kuvassa 17 esitetään koneen TK311-TF01 suunnitelmien mukaisesti toteutettu raitisilmakammio liitännä.



Kuva 16. TK303-TF01 raitisilmakanavan suunnitelmien vastaisesti toteutettu liitännä tuloilmakammioon ja kavennettu tuloilmakammio.



Kuva 17. TK311-TF01 raitisilmakanavan suunnitelmien mukainen liittäminen tuloilmakammioon.

Mittausjaksojen välillä lasikuituisella suodattimella saavutettiin mittaustulosten keskiarvolla laskettuna 0,4 prosenttia pienempi paine-ero synteettiseen nähden. Koneen 66 prosentin käyntiteholla verrattuna synteettisen suodattimen loppu paine-ero nousi huomattavasti lasikuituista enemmän. Synteettisellä materiaalilla saavutettiin 3,0 prosenttia pienempi sähkönkulutus 3,5 prosenttia pienemmillä ilmamäärillä lasikuituiseen verrattuna. Ilmamäärään verrattuna sähkönkulutus oli lasikuitumateriaalilla 0,6 prosenttia pienempi. Molemmat suodatinmateriaalit toimivat mittausjaksojensa aikana hyvin eikä suodattimien jälkeisessä kammioissa ollut havaittavissa ohivuotoa. Taloudellista loppupaine-eroa ei voida tuloksista kummallekaan suodatinmateriaalille päätellä. Taulukossa 17 ja 18 esitetään alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot. Liitteessä 4 esitetään mittaustulokset kuukausitasolla.

Taulukko 17. TK303-TF01 lasikuitusuodattimien mittausjakson 1.3.2023 – 30.11.2023 alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot.

TK303-TF01 lasikuitusuodattimet (1.3.2023 - 30.11.2023)			
	Päivämäärä	Suodattimen paine-ero (66 % koneteholla)	Ilmamäärä (vuorokauden keskiarvo)
Alku paine-ero	1.3.2023	50,8 Pa	
Pienin ilmamäärä	18.6.2023		2 899 dm <sup>3</sup> /s
Suurin ilmamäärä	21.7.2023		4 140 dm <sup>3</sup> /s
Loppu paine-ero	30.11.2023	53,5 Pa	

Taulukko 18. TK303-TF01 synteettisten suodattimien mittausjakson 1.3.2022 – 30.11.2022 alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot.

TK303-TF01 synteettiset suodattimet (1.3.2022 - 30.11.2022)			
	Päivämäärä	Suodattimen paine-ero (66 % koneteholla)	Ilmamäärä (vuorokauden keskiarvo)
Alku paine-ero	1.3.2022	49,8 Pa	
Pienin ilmamäärä	25.6.2022		2 324 dm <sup>3</sup> /s
Suurin ilmamäärä	4.10.2022		3 786 dm <sup>3</sup> /s
Loppu paine-ero	30.11.2022	60,0 Pa	

## 5.6 Poistoilmakone TK303-PF01

Poistoilmakoneen TK303-PF01 aikatauluina olivat 66 prosentin normaaliteho maanantaista perjantaihin kello 5:00–0:00 ja muina aikoina 33 prosentin minimiteho. Ilmanvaihtoa tehostettiin tarvittaessa hiilidioksidimittauksien perusteella.

Mittausjaksojen välillä synteettisellä suodattimella saavutettiin mittaustulosten keskiarvolla laskettuna 13 prosenttia pienempi paine-ero lasikuituiseen nähden. Koneen 66 prosentin käyntiteholla verrattuna synteettisen suodattimen loppu paine-ero nousi huomattavasti lasikuituista enemmän. Lasikuitumateriaalilla saavutettiin 2,4 prosenttia pienempi sähkönkulutus 3,7 prosenttia pienemmällä ilmamäärällä synteettiseen verrattuna. Ilmamäärään verrattuna sähkönkulutus oli synteettisellä materiaalilla 1,3 prosenttia pienempi. Molemmat suodatinmateriaalit toimivat mittausjaksojensa aikana hyvin eikä suodattimien jälkeisessä kammiassa ollut havaittavissa ohivuotoa. Taloudellista loppupaine-eroa ei voida tulosista kummallekaan suodatinmateriaalille päätellä. Taulukossa 19 ja 20 on esitetty alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot. Liitteessä 5 esitetään mittaustulokset kuukausitasolla.

Taulukko 19. TK303-PF01 lasikuitusuodattimien mittausjakson 1.3.2023 – 30.11.2023 alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot.

TK303-PF01 lasikuitusuodattimet (1.3.2023 - 30.11.2023)			
	Päivämäärä	Suodattimen paine-ero (66 % koneteholla)	Ilmamäärä (vuorokauden keskiarvo)
Alku paine-ero	1.3.2023	28,5 Pa	
Pienin ilmamäärä	25.6.2023		2 909 dm <sup>3</sup> /s
Suurin ilmamäärä	21.7.2023		4 146 dm <sup>3</sup> /s
Loppu paine-ero	30.11.2023	30,7 Pa	

Taulukko 20. TK303-PF01 synteettisten suodattimien mittausjakson 1.3.2022 – 30.11.2022 alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot.

TK303-PF01 synteettiset suodattimet (1.3.2022 - 30.11.2022)			
	Päivämäärä	Suodattimen paine-ero (66 % koneteholla)	Ilmamäärä (vuorokauden keskiarvo)
Alku paine-ero	1.3.2022	21,1 Pa	
Pienin ilmamäärä	21.8.2022		2 479 dm <sup>3</sup> /s
Suurin ilmamäärä	16.5.2022		4 048 dm <sup>3</sup> /s
Loppu paine-ero	30.11.2022	26,6 Pa	

## 5.7 Tuloilmakone TK306-TF01

Tuloilmakoneen TK306-TF01 aikatauluina olivat 66 prosentin normaaliteho maanantaista perjantaihin kello 5:00–16:00 ja muina aikoina 33 prosentin miniteho. Ilmanvaihtoa tehostettiin tarvittaessa hiilidioksidimittauksien perusteella.

Tuloilmakoneessa TK306-TF01 oli rakennettu erikoinen raitisilmakanavan liitännä tuloilmakammioon. Suunnitelmista ei saatu selville onko ratkaisu oikea optisesti toteutettu. Asiantuntijan lausunnon mukaan liitännätapa ei olisi oikea optisesti toteutettu ja aiheuttaa ilmavirroissa pyörteitä kammion sisälle. Tämä oli mahdollisesti aiheuttajana suodattimien epätasaiseen likaantumiseen. Kuvassa 18 esitetään raitisilmakanavan liittyminen tuloilmakammioon.



Kuva 18. TK306-TF01 tuloilmakoneen raitisilmakanava ja tuloilmakammio

Mittausjaksojen välillä lasikuituisella suodattimella saavutettiin mittaustulosten keskiarvolla laskettuna 13,4 prosenttia pienempi paine-ero synteettiseen nähden. Koneen 66 prosentin käytteholla verrattuna synteettisen suodattimen loppu paine-ero nousi huomattavasti lasikuituista enemmän. Lasikuitumateriaalilla saavutettiin 1,1 prosenttia pienempi sähkönkulutus 1,1 prosenttia pienemmillä ilmamäärillä synteettiseen verrattuna. Ilmamäärään verrattuna sähkönkulutukset olivat materiaaleilla aivan tasoissa. Molemmat suodatinmateriaalit toimivat mittausjaksojensa aikana hyvin eikä suodattimien jälkeisessä kammioissa ollut havaittavissa ohivuotoa. Taloudellista loppupaine-eroa ei voida tuloksista kummallekaan suodatinmateriaalille päätellä. Taulukossa 21 ja 22 esitetään alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot. Liitteessä 6 esitetään mittaustulokset kuukausitasolla.

Taulukko 21. TK306-TF01 synteettisten suodattimien mittausjakson 1.3.2023 – 30.11.2023 alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot.

TK306-TF01 synteettiset suodattimet (1.3.2023 - 30.11.2023)			
	Päivämäärä	Suodattimen paine-ero (66 % koneteholla)	Ilmamäärä (vuorokauden keskiarvo)
Alku paine-ero	1.3.2023	22,4 Pa	
Pienin ilmamäärä	19.8.2023		939 dm <sup>3</sup> /s
Suurin ilmamäärä	21.7.2023		2 221 dm <sup>3</sup> /s
Loppu paine-ero	30.11.2023	26,0 Pa	

Taulukko 22. TK306-TF01 lasikuitusuodattimien mittausjakson 1.3.2022 – 30.11.2022 alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot.

TK306-TF01 lasikuitusuodattimet (1.3.2022 - 30.11.2022)			
	Päivämäärä	Suodattimen paine-ero (66 % koneteholla)	Ilmamäärä (vuorokauden keskiarvo)
Alku paine-ero	1.3.2022	18,7 Pa	
Pienin ilmamäärä	30.7.2022		948 dm <sup>3</sup> /s
Suurin ilmamäärä	16.9.2022		2 009 dm <sup>3</sup> /s
Loppu paine-ero	30.11.2022	19,5 Pa	

## 5.8 Poistoilmakone TK306-PF01

Poistoilmakoneen TK306-PF01 aikatauluina olivat 66 prosentin normaaliteho maanantaista perjantaihin kello 5:00–0:00 ja muina aikoina 33 prosentin minimiteho. Ilmanvaihtoa tehostettiin tarvittaessa hiilidioksidimittauksien perusteella. Mittausjaksojen välillä lasikuituisella suodattimella saavutettiin mittaustulosten keskiarvolla laskettuna 30,3 prosenttia pienempi paine-ero synteettiseen nähdän. Koneen 66 prosentin käyntiteholla verrattuna molemmilla materiaaleilla paine-erot nousivat 1,2 pascalia. Lasikuitumateriaalilla saavutettiin 4,3 prosenttia pienempi sähkönkulutus 3,5 prosenttia pienemmällä ilmamäärällä synteettiseen verrattuna. Ilmamäärään verrattuna sähkönkulutus oli lasikuitumateriaalilla 0,8 prosenttia pienempi. Molemmat suodatinmateriaalit toimivat mittausjaksojensa aikana hyvin eikä suodattimien jälkeisessä kammioissa ollut havaittavissa ohivuotoa. Taloudellista loppupaine-eroa ei voida tuloksista kummallekaan suodatinmateriaalille päätellä. Taulukossa 23 ja 24 esitetään alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot. Liitteessä 7 esitetään mittaustulokset kuukausitasolla.

Taulukko 23. TK306-PF01 synteettisten suodattimien mittausjakson 1.3.2023 – 30.11.2023 alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot.

TK306-PF01 synteettiset suodattimet (1.3.2023 - 30.11.2023)			
	Päivämäärä	Suodattimen paine-ero (66 % koneteholla)	Ilmamäärä (vuorokauden keskiarvo)
Alku paine-ero	1.3.2023	15,0 Pa	
Pienin ilmamäärä	16.4.2023		1 130 dm <sup>3</sup> /s
Suurin ilmamäärä	21.7.2023		2 833 dm <sup>3</sup> /s
Loppu paine-ero	30.11.2023	16,2 Pa	

Taulukko 24. TK306-PF01 lasikuitusuodattimien mittausjakson 1.3.2022 – 30.11.2022 alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot.

TK306-PF01 lasikuitusuodattimet (1.3.2022 - 30.11.2022)			
	Päivämäärä	Suodattimen paine-ero (66 % koneteholla)	Ilmamäärä (vuorokauden keskiarvo)
Alku paine-ero	1.3.2022	12,2 Pa	
Pienin ilmamäärä	31.7.2022		1 163 dm <sup>3</sup> /s
Suurin ilmamäärä	16.9.2022		2 493 dm <sup>3</sup> /s
Loppu paine-ero	30.11.2022	13,4 Pa	

## 5.9 Tuloilmakone TK311-TF01

Tuloilmakoneen TK311-TF01 aikatauluina olivat 66 prosentin normaaliteho maanantaista perjantaihin kello 7:00–20:00 ja muina aikoina 33 prosentin minimitiho. Ilmanvaihtoa tehostettiin tarvittaessa hiilidioksidimittauksien perusteella.

Mittausjaksojen välillä lasikuituisella suodattimella saavutettiin mittaustulosten keskiarvolla laskettuna 12,1 prosenttia pienempi paine-ero synteettiseen nähdessä. Koneen 66 prosentin käyntiteholla verrattuna synteettisen suodattimen loppu paine-ero nousi huomattavasti lasikuituista enemmän. Lasikuitumateriaalilla saavutettiin 2,0 prosenttia pienempi sähkönkulutus 1,4 prosenttia pienemmillä ilmamäärillä synteettiseen verrattuna. Ilmamäärään verrattuna sähkönkulutus oli lasikuitumateriaalilla 0,6 prosenttia pienempi. Molemmat suodatinmateriaalit toimivat mittausjaksojensa aikana hyvin eikä suodattimien jälkeisessä kammioissa ollut havaittavissa ohivuotoa. Taloudellista loppupaine-eroa ei voida tuloksista kummallekaan suodatinmateriaalille päätellä. Taulukossa 25 ja 26 esitetään alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot. Liitteessä 8 esitetään mittaustulokset kuukausitasolla.

Taulukko 25. TK311-TF01 synteettisten suodattimien mittausjakson 1.3.2023 – 30.11.2023 alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot.

TK311-TF01 synteettiset suodattimet (1.3.2023 - 30.11.2023)			
	Päivämäärä	Suodattimen paine-ero (66 % koneteholla)	Ilmamäärä (vuorokauden keskiarvo)
Alku paine-ero	1.3.2023	19,4 Pa	
Pienin ilmamäärä	14.5.2023		1 374 dm <sup>3</sup> /s
Suurin ilmamäärä	19.7.2023		2 238 dm <sup>3</sup> /s
Loppu paine-ero	30.11.2023	20,7 Pa	

Taulukko 26. TK311-TF01 lasikuitusuodattimien mittausjakson 1.3.2022 – 30.11.2022 alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot.

TK311-TF01 lasikuitusuodattimet (1.3.2022 - 30.11.2022)			
	Päivämäärä	Suodattimen paine-ero (66 % koneteholla)	Ilmamäärä (vuorokauden keskiarvo)
Alku paine-ero	1.3.2022	18,9 Pa	
Pienin ilmamäärä	12.6.2022		1 366 dm <sup>3</sup> /s
Suurin ilmamäärä	4.7.2022		2 155 dm <sup>3</sup> /s
Loppu paine-ero	30.11.2022	19,2 Pa	

## 5.10 Poistoilmakone TK311-PF01

Poistoilmakoneen TK311-PF01 käyntiaikatauluina toimivat 66 prosentin normaaliteho maanantai – perjantai 5:00–20:00, muina aikoina 33 prosentin minimiteho ja tarvittavat tehostukset hiilidioksidimittauksien perusteella.

Mittausjaksojen välillä lasikuituisella suodattimella saavutettiin mittaustulosten keskiarvolla laskettuna 11,6 prosenttia pienempi paine-ero synteettiseen nähden. Koneen 66 prosentin käyntiteholla verrattuna synteettisen suodattimen loppu paine-ero nousi huomattavasti lasikuituista enemmän. Lasikuitumateriaalilla saavutettiin 1,5 prosenttia pienempi sähkönkulutus 1,4 prosenttia pienemmillä ilmamäärillä synteettiseen verrattuna. Ilmamäärään verrattuna sähkönkulutus oli lasikuitumateriaalilla 0,1 prosenttia pienempi. Molemmat suodatinmateriaalit toimivat mittausjaksojensa aikana hyvin eikä suodattimien jälkeisessä kammioissa ollut havaittavissa ohivuotoa. Taloudellista loppupaine-eroa ei voida tuloksista kummallekaan suodatinmateriaalille päätellä. Taulukossa 27 ja

28 esitetään alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot. Liitteessä 9 esitetään mittaustulokset kuukausitasolla.

Taulukko 27. TK311-PF01 synteettisten suodattimien mittausjakson 1.3.2023 – 30.11.2023 alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot.

TK311-PF01 synteettiset suodattimet (1.3.2023 - 30.11.2023)			
	Päivämäärä	Suodattimen paine-ero (66 % koneteholla)	Ilmamäärä (vuorokauden keskiarvo)
Alku paine-ero	1.3.2023	31,2 Pa	
Pienin ilmamäärä	12.3.2023		1 644 dm <sup>3</sup> /s
Suurin ilmamäärä	19.7.2023		2 668 dm <sup>3</sup> /s
Loppu paine-ero	30.11.2023	34,5 Pa	

Taulukko 28. TK311-PF01 lasikuitusuodattimien mittausjakson 1.3.2022 – 30.11.2022 alku- ja loppu paine-erot sekä ilmamäärien ääriarvot.

TK311-PF01 lasikuitusuodattimet (1.3.2022 - 30.11.2022)			
	Päivämäärä	Suodattimen paine-ero (66 % koneteholla)	Ilmamäärä (vuorokauden keskiarvo)
Alku paine-ero	1.3.2022	30,1 Pa	
Pienin ilmamäärä	28.5.2022		1 669 dm <sup>3</sup> /s
Suurin ilmamäärä	18.8.2022		2 529 dm <sup>3</sup> /s
Loppu paine-ero	30.11.2022	31,1 Pa	

## 5.11 Yhteenveto

Lasikuituisten ja synteettisten suodattimien vertailu toiminnassa olevassa kiinteistössä oli haastava toteuttaa. Mittausjaksojen välillä ilmamäärät muuttuivat käyttäjämäärien toimesta kuin myös kiinteistön ilmanvaihdon säätötoimenpiteistä. Kokonaisuutena mittaustulokset saatiin pidettyä luotettavina ja vertailukelpoisina.

Mittaustuloksia tarkasteltiin useassa eri välivaiheessa. Liitteeseen 10 on yhdistetty kaikki mittaustulokset samaan taulukkoon. Synteettinen materiaali hävisi suurimman osan mittauksista lasikuituiselle materiaalille, mutta kokonaisuutena erot olivat todella pieniä. Liitteessä 11 on yhdistettynä mittaustulokset suodatinmateriaaleittain. Varsinaisena vertailukohtana on pidettävä sähkönkulutusta

ilmamäärään verrattuna, tällä laskutavalla lasikuituinen materiaali oli 0,5 prosenttia synteettistä materiaalia tehokkaampi. Euromääräiseksi muutettuna 0,5 prosentin ero tarkoittaisi Nepenmäen koulun ilmanvaihtokoneiden osalta noin 1 000 euron säästöä vuodessa. Kokonaisuutena testausympäristön lasikuitu- materiaalien mittausjaksot kuluttivat 1,1 prosenttia vähemmän sähköä synteettisten materiaaleiden mittausjaksoihin verrattuna.

Lasikuituinen suodatinmateriaali nousi voittajaksi myös elinkaarikustannuksissa. Lasikuituiselle materiaalille voidaan mittaustulosten ja silmämääräisten tulkintojen perusteella määrittellä vähintään kaksi kuukautta pidempi vaihtoaika synteettiseen verrattuna. Lasikuituiset suodattimet todettiin olevan vielä täysin käyttökelpoisia 9 kuukauden mittausjakson jälkeen. Synteettiset suodattimet olivat mittausjakson jälkeen selkeästi huono kuntoisia silmämääräisesti kuin myös suodattimien paine-erojen suhteen.

Vertailu ilmanvaihtokoneiden välillä ei onnistunut. TK302 ja TK303 olivat tehokkaimmat koneet, joiden suunnitellut ilmamäärät olisivat pitäneet olla verrattavalla tasolla. Mittausten käsittelyn jälkeen todettiin, että tämä ei toteutunut. Ilmamäärät olivat TK303 koneessa huomattavasti suuremmat. Samoin kävi myös TK306:n ja TK311:sta välillä. Erot olivat liian suuret suoraan keskinäiseen vertailuun. Liitteessä 12 on esitettyä ilmanvaihtokoneiden suunnitellut- ja toteutuneet ilmamäärät.

## **6 Pohdinta**

Opinnäytetyön tavoitteena oli todentaa lasikuituisen ja synteettisen materiaalin eroavaisuudet. Keskeisimmäksi ongelmaksi muodostui epäsäännöllisyys, molemmilla materiaaleilla oli hyviä ja huonoja mittausjaksoja. Muutamaa konetta lukuun ottamatta paine-erot olivat todella alhaiset mittausjaksojen ajan. Paineerojen alhaisuus on annettu selvitettäväksi ulkopuoliselle toimijalle. Todennäköisiä aiheuttajia ovat kammioiden syvyydet ja muodot, kanavien liitännät kammioihin ja konetoimittajan aikaiset suodattimien mitoitus. Mitoitusten jälkeen

kiinteistön ilmanvaihdossa on voinut tapahtua muutoksia, jotka vaativat suodattimien uudelleen määrittelyn.

Lupauksia antaneet synteettisten suodattimien tekniset arvot ja lupaukset eivät vastanneet odotuksia. Ilmanvaihtokoneiden tuloilmakammioissa ja raitisilmakanavien toteutuksissa oli puutteita, mutta nämä puutteet olivat käytössä molemmilla suodatinmateriaaleilla ja ovat olleet suodattimien ongelmana kiinteistön valmistumisesta lähtien. Poistoilmakoneissa oli samoja ongelmia havaittavissa ja jokaisessa koneessa liittyminen on tehty vähintäänkin kyseenalaisin keinoin ja todennäköisesti vääristävät suodattimien paine-ero mittaustuloksia. Poistopuolen liitäntöjä ei tässä opinnäytetyössä käsitelty tarkemmin, koska suunnitelmista ei löytynyt tarkempaa selostusta oikeasta asennustavasta.

Synteettinen suodatin oli mittausten ja käytännön kokemuksilla pettymys. Myös muista kaupungin kiinteistöistä raportoitiin ongelmia synteettisiin suodattimiin nähden. Lasikuituisella suodattimella käytettyjä vaihtovälejä ei synteettisillä suodattimilla saavutettu ja erot aikaisempiin vaihto väleihin nähden olivat useita kuukausia.

Lasikuituinen materiaali vei voiton lähes joka osa-alueella. Mittausjaksojen välillä erot jäivät pieniksi, mutta selkeästi suuntaa antaviksi. Lasikuituinen materiaali ei yltänyt teknisten arvojen mukaiseen 11,7 prosentin paremmuuteen sähkönkulutuksen suhteen, mutta teknisten arvojen laskennat ovat vuosikulutuksia. Tämän eron toteutuminen olisi voinut olla mahdollista, jos vertailua olisi jatkettu molemmilla materiaaleilla vielä 3 kuukautta. Opinnäytetyön perusteella lasikuituinen materiaali on toimivampi ratkaisu ainakin testauksessa mukana olevilla suodattimilla.

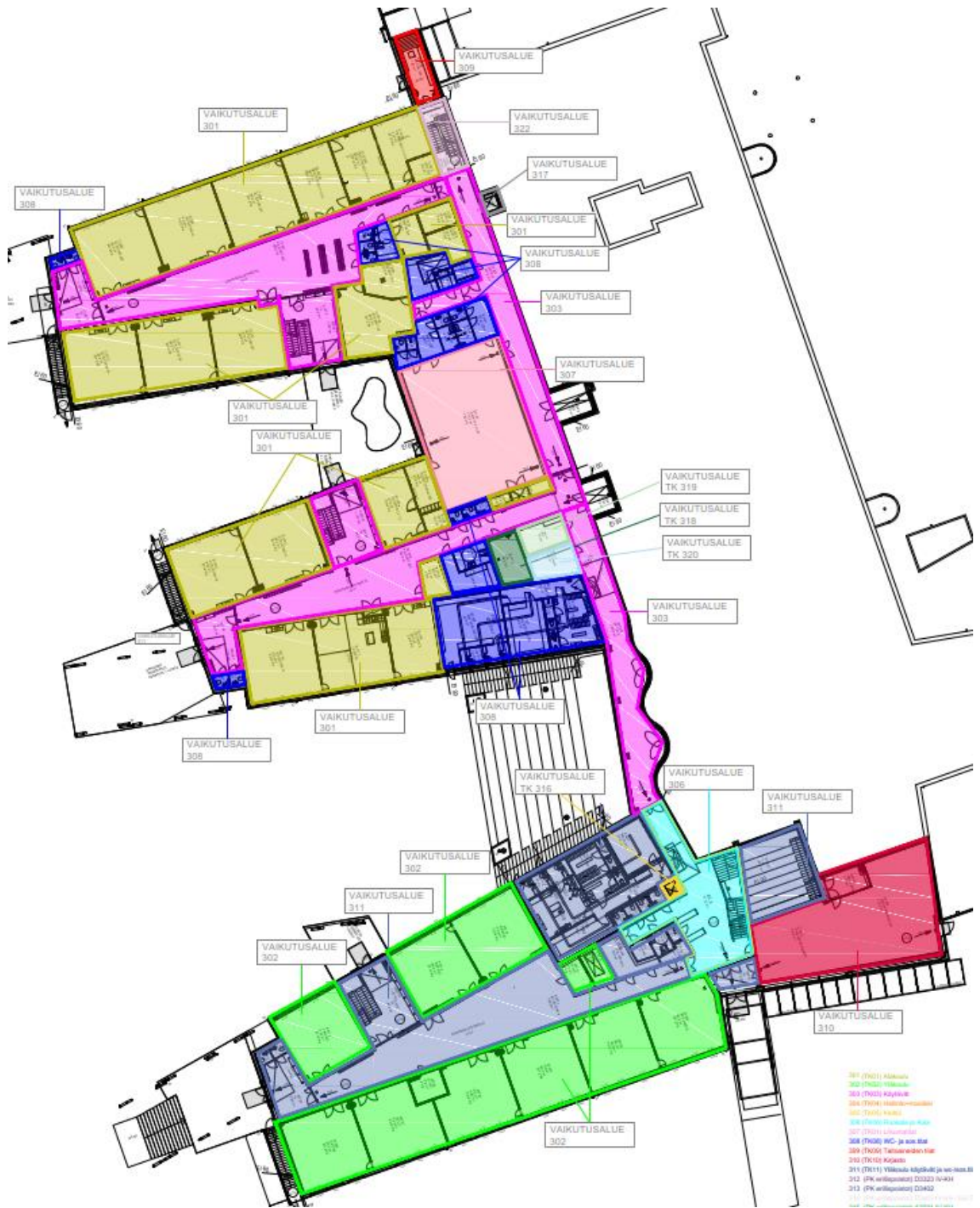
Opinnäytetyön tulokset luovutettiin Joensuun kaupungin suodattimien hankinta vastaavalle. Tuloksien käsittelyn jälkeen suodattimien puitesopimus kautta ei jatkettu vaan hankintatoimi järjestää uuden kilpailutuksen ja suodatinmateriaaliksi tullaan valitsemaan lasikuitu. Ilmasto-ohjelmavastaavalle raportoitiin työn tulokset ja luvattiin jatkaa työtä energiatehokkaamman suodattimen löytämiseksi.

Ilmanvaihdon suodattimilla ja kokonaisoptimoinnilla on mahdollista saada suuria säästöjä energiankulutuksessa, joten testausympäristön käyttöä tullaan jatkamaan ja tulevat kehitys toimenpiteet ovat jo suunnittelussa. Suodattimet tullaan mitoittamaan uudelleen, kanavien ja kammioiden toteutukset tarkastetaan ja tarvittavat toimenpiteet tullaan tekemään. Muutosten jälkeen testausympäristöllä jatketaan seuraavien suodatinmallien testaamista ja tiedon keräämistä.

## Lähteet

- Eurovent 4/23 – 2020. 1.11.2020. Ilmansuodattimien EN ISO 16890 – luokituksen mukaisen suodatinluokan valinta yleisilmanvaihdon sovelluksiin. <https://urly.fi/3vUH>. 18.4.2024.
- Ilmatieteenlaitos. 2024. Ilmanlaatu Suomessa. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmanlaatu>. 22.4.2024.
- Ilmasto-ohjelma. 2021. Joensuun kaupungin ilmasto-ohjelma 2022–2025. <https://urly.fi/3xTf>. 22.4.2024.
- LVI 31-10507. 2012. Hiukkassuodatuksen peruskäsitteet. Rakennustietosäätiö RTS 2012.
- RT 07-11299. 2018. Sisäilmastoluokitus 2018. Rakennustietosäätiö RTS sr 2018.
- SFS-EN 16798-3:2017. 2018. Rakennusten energiatehokkuus. Rakennusten ilmanvaihto. Osa 3: Muiden kuin asuinrakennusten ilmanvaihto- ja huoneilmastointijärjestelmien tehokkuusvaatimukset. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- SFS-EN 16890-1:2016. 2017. Yleisilmanvaihdon ilmansuodattimet. Osa 1: Tekniset määritelmät, vaatimukset ja hiukkaismaisen aineksen erotusteeseen perustuva luokitusjärjestelmä (ePM). Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- Sisäilmayhdistys. 2022. Ilmanvaihdon perusteet. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>. 22.1.2022.
- Talotekniikka info. 2020. Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas, päivitetty 10.6.2020. [https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/2020\\_paivitys\\_talotekniikkainfo\\_sisailmasto\\_ja\\_ilmanvaihto\\_-\\_opas\\_paivitetty\\_10.6.2020.pdf](https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/2020_paivitys_talotekniikkainfo_sisailmasto_ja_ilmanvaihto_-_opas_paivitetty_10.6.2020.pdf). 22.5.2024.
- Ympäristöministeriön asetus 1009/2017. 2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta.
- WHO 2021. Global air quality guidelines. 2021. World health organization. Google-kirjat. <https://urly.fi/3xIV>.

Ilmanvaihtokoneiden vaikutusalueet.



Tuloilmakone TK302-TF01 mittaustulokset.

TULOILMAKONE TK302-TF01												
	SÄHKÖNKULUTUS	ILMAMÄÄRÄT		SUODATTIMEN PAINE-ERO		KOSTEUS %		LÄMPÖTILA		Sähkönkulutus (kWh) / Ilmamäärä (m <sup>3</sup> /s)		
Aikaleima	Suodattimen materiaali	Päivän keskiarvo yhteensä (kWh)	Kuukauden keskiarvo (kWh)	Päivän keskiarvo yhteensä (dm <sup>3</sup> /s)	Kuukauden keskiarvo (dm <sup>3</sup> /s)	Päivän keskiarvo yhteensä (Pa)	Kuukauden keskiarvo (Pa)	Kuukauden keskiarvo (RH %)	Kuukauden keskiarvo (°C)			
2023 marraskuu	Lasikuitu	729	24,3	70 772	2 359	644	21,5	89,2	-3,0		10,3	
2023 lokakuu	Lasikuitu	750	24,2	72 986	2 354	665	21,4	84,6	2,8		10,3	
2023 syyskuu	Lasikuitu	737	24,6	71 660	2 389	662	22,1	84,8	14,7		10,3	
2023 elokuu	Lasikuitu	802	25,9	75 808	2 445	695	22,4	76,0	18,1		10,6	
2023 heinäkuu	Lasikuitu	781	25,2	75 050	2 421	690	22,2	74,8	16,9		10,4	
2023 kesäkuu	Lasikuitu	746	24,9	70 678	2 356	655	21,8	57,1	16,3		10,6	
2023 toukokuu	Lasikuitu	773	24,9	73 263	2 363	667	21,5	57,7	11,6		10,5	
2023 huhtikuu	Lasikuitu	702	23,4	67 046	2 235	612	20,4	55,0	4,7		10,5	
2023 maaliskuu	Lasikuitu	730	23,5	69 260	2 234	617	19,9	80,4	-3,1		10,5	
		<b>6 750</b>	<b>24,5</b>	<b>646 523</b>	<b>2 351</b>	<b>5 907</b>	<b>21,5</b>	<b>73,3</b>	<b>8,8</b>		<b>10,44</b>	
2022 marraskuu	Synteettinen	723	24,1	69 326	2 311	678	22,6	92,7	-0,5		10,4	
2022 lokakuu	Synteettinen	710	22,9	68 607	2 213	655	21,1	87,7	6,5		10,3	
2022 syyskuu	Synteettinen	717	23,9	68 908	2 297	636	21,2	81,7	9,5		10,4	
2022 elokuu	Synteettinen	788	25,4	73 951	2 386	667	21,5	72,1	18,7		10,7	
2022 heinäkuu	Synteettinen	745	24,0	70 499	2 274	632	20,4	71,4	19,5		10,6	
2022 kesäkuu	Synteettinen	727	24,2	68 797	2 293	613	20,4	66,7	17,0		10,6	
2022 toukokuu	Synteettinen	812	26,2	74 074	2 389	636	20,5	61,7	9,5		11,0	
2022 huhtikuu	Synteettinen	804	26,8	72 886	2 430	612	20,4	67,2	3,1		11,0	
2022 maaliskuu	Synteettinen	846	27,3	77 526	2 501	624	20,1	72,9	-1,0		10,9	
		6 872	25,0	644 574	2 344	5 753	20,9	74,9	9,1		10,66	
	SYNTEETTINEN / LASIKUITU	101,8 %	101,8 %	99,7 %	99,7 %	97,4 %	97,4 %	102,2 %	104,1 %		102,1 %	

## Poistoilmakone TK302-PF01 mittaustulokset.

POISTOILMAKONE TK302-PF01												
		SÄHKÖNKULUTUS	ILMAMÄÄRÄT		SUODATTIMEN PAINE-ERO		KOSTEUS %	LÄMPÖTILA				
Alkaleima	Suodattimen materiaali	Päivän keskiarvo yhteensä (kWh)	Kuukauden keskiarvo (kWh)	Päivän keskiarvo yhteensä (dm <sup>3</sup> /s)	Kuukauden keskiarvo (dm <sup>3</sup> /s)	Päivän keskiarvo yhteensä (Pa)	Kuukauden keskiarvo (Pa)	Kuukauden keskiarvo (RH%)	Kuukauden keskiarvo (°C)	Sähkönkulutus (kWh) / Ilmamäärä (m <sup>3</sup> /s)		
2023 marraskuu	Lasikuitu	953	31,8	81 962	2 732	600	20,0	89,2	-3,0	11,6		
2023 lokakuu	Lasikuitu	987	31,8	84 932	2 740	602	19,4	84,6	2,8	11,6		
2023 syyskuu	Lasikuitu	994	33,1	85 614	2 854	569	19,0	84,8	14,7	11,6		
2023 elokuu	Lasikuitu	1 076	34,7	90 888	2 932	602	19,4	76,0	18,1	11,8		
2023 heinäkuu	Lasikuitu	1 059	34,2	90 285	2 912	602	19,4	74,8	16,9	11,7		
2023 kesäkuu	Lasikuitu	1 016	33,9	85 421	2 847	586	19,5	57,1	16,3	11,9		
2023 toukokuu	Lasikuitu	1 043	33,6	88 126	2 843	631	20,4	57,7	11,6	11,8		
2023 huhtikuu	Lasikuitu	945	31,5	80 206	2 674	586	19,5	55,0	4,7	11,8		
2023 maaliskuu	Lasikuitu	968	31,2	81 746	2 637	609	19,7	80,4	-3,1	11,8		
		<b>9 041</b>	<b>32,9</b>	<b>769 180</b>	<b>2 797</b>	<b>5 388</b>	<b>19,6</b>	<b>73,3</b>	<b>8,8</b>	<b>11,75</b>		
2022 marraskuu	Synteettinen	933	31,1	80 653	2 688	494	16,5	92,7	-0,5	11,6		
2022 lokakuu	Synteettinen	944	30,5	81 289	2 622	474	15,3	87,7	6,5	11,6		
2022 syyskuu	Synteettinen	952	31,7	81 748	2 725	466	15,5	81,7	9,5	11,6		
2022 elokuu	Synteettinen	1 048	33,8	89 035	2 872	485	15,6	72,1	18,7	11,8		
2022 heinäkuu	Synteettinen	1 013	32,7	86 197	2 781	460	14,8	71,4	19,5	11,8		
2022 kesäkuu	Synteettinen	992	33,1	84 085	2 803	459	15,3	66,7	17,0	11,8		
2022 toukokuu	Synteettinen	1 065	34,4	88 385	2 851	524	16,9	61,7	9,5	12,0		
2022 huhtikuu	Synteettinen	1 033	34,4	85 176	2 839	517	17,2	67,2	3,1	12,1		
2022 maaliskuu	Synteettinen	1 069	34,5	89 170	2 876	538	17,4	72,9	-1,0	12,0		
		9 049	32,9	765 738	2 784	<b>4 417</b>	<b>16,1</b>	74,9	9,1	11,82		
	SYNTEETTINEN / LASIKUITTU	<b>100,1 %</b>	<b>100,1 %</b>	<b>99,6 %</b>	<b>99,6 %</b>	82,0 %	82,0 %	102,2 %	104,1 %	<b>100,5 %</b>		

Tuloilmakone TK303-TF01 mittaustulokset.

TULOILMAKONE TK303-TF01												
	SÄHKÖNKULUTUS	ILMAMÄÄRÄT	SUODATTIMEN PAINE-ERO	KOSTEUS %	LÄMPÖTILA	Sähkönkulutus (kWh) / ilmamäärä (m <sup>3</sup> /s)						
Aikaleima	Suodattimen materiaali	Päivän keskiarvo yhteensä (kWh)	Kuukauden keskiarvo (kWh)	Päivän keskiarvo yhteensä (dm <sup>3</sup> /s)	Kuukauden keskiarvo (dm <sup>3</sup> /s)	Päivän keskiarvo yhteensä (Pa)	Kuukauden keskiarvo (Pa)	Kuukauden keskiarvo (RH %)	Kuukauden keskiarvo (°C)			
2023 marraskuu	Lasikuitu	1 965	65,5	111 418	3 714	1 417	47,2	89,2	-3,0			17,6
2023 lokakuu	Lasikuitu	1 990	64,2	112 299	3 623	1 469	47,4	84,6	2,8			17,7
2023 syyskuu	Lasikuitu	1 897	63,2	106 449	3 548	1 467	48,9	84,8	14,7			17,8
2023 elokuu	Lasikuitu	1 949	62,9	108 676	3 506	1 503	48,5	76,0	18,1			17,9
2023 heinäkuu	Lasikuitu	1 893	61,1	106 460	3 434	1 467	47,3	74,8	16,9			17,8
2023 kesäkuu	Lasikuitu	1 800	60,0	101 577	3 386	1 394	46,5	57,1	16,3			17,7
2023 toukokuu	Lasikuitu	1 888	60,9	107 561	3 470	1 415	45,7	57,7	11,6			17,6
2023 huhtikuu	Lasikuitu	1 812	60,4	104 243	3 475	1 321	44,0	55,0	4,7			17,4
2023 maaliskuu	Lasikuitu	1 925	62,1	110 563	3 567	1 329	42,9	80,4	-3,1			17,4
		17 118	62,2	969 246	3 525	12 781	46,5	73,3	8,8			17,66
2022 marraskuu	Synteettinen	1 919	64,0	108 831	3 628	1 547	51,6	92,7	-0,5			17,6
2022 lokakuu	Synteettinen	1 954	63,0	110 014	3 549	1 595	51,4	87,7	6,5			17,8
2022 syyskuu	Synteettinen	1 890	63,0	106 662	3 555	1 533	51,1	81,7	9,5			17,7
2022 elokuu	Synteettinen	1 880	60,6	104 216	3 362	1 509	48,7	72,1	18,7			18,0
2022 heinäkuu	Synteettinen	1 768	57,0	97 373	3 141	1 403	45,3	71,4	19,5			18,2
2022 kesäkuu	Synteettinen	1 726	57,5	95 833	3 194	1 347	44,9	66,7	17,0			18,0
2022 toukokuu	Synteettinen	1 831	59,1	103 234	3 330	1 356	43,8	61,7	9,5			17,7
2022 huhtikuu	Synteettinen	1 806	60,2	102 497	3 417	1 281	42,7	67,2	3,1			17,6
2022 maaliskuu	Synteettinen	1 838	59,3	106 221	3 426	1 261	40,7	72,9	-1,0			17,3
		16 612	60,4	934 881	3 400	12 831	46,7	74,9	9,1			17,77
	SYNTEETTINEN / LASIKUITU	97,0 %	97,1 %	96,5 %	96,5 %	100,4 %	100,4 %	102,2 %	104,1 %			100,6 %



Tuloilmakone TK306-TF01 mittaustulokset.

TULOILMAKONE TK306-TF01												
	SÄHKÖNKULUTUS	ILMAVÄÄRÄT	SUODATTIMEN PAINE-ERO	KOSTEUS %	LÄMPÖTILA	Sähkönkulutus (kWh) / ilmamäärä (m <sup>3</sup> /s)						
Aikaleima	Suodattimen materiaali	Päivän keskiarvo yhteensä (kWh)	Kuukauden keskiarvo (kWh)	Päivän keskiarvo yhteensä (dm <sup>3</sup> /s)	Kuukauden keskiarvo (dm <sup>3</sup> /s)	Päivän keskiarvo yhteensä (Pa)	Kuukauden keskiarvo (Pa)	Kuukauden keskiarvo (RH %)	Kuukauden keskiarvo (°C)			
2023 marraskuu	Synteettinen	1 324	44,1	46 890	1 563	570	19,0	89,2	-3,0			28,2
2023 lokakuu	Synteettinen	1 365	44,0	47 850	1 544	578	18,6	84,6	2,8			28,5
2023 syyskuu	Synteettinen	1 305	43,5	46 940	1 565	550	18,3	84,8	14,7			27,8
2023 elokuu	Synteettinen	1 414	45,6	48 809	1 574	545	17,6	76,0	18,1			29,0
2023 heinäkuu	Synteettinen	1 385	44,7	48 285	1 558	543	17,5	74,8	16,9			28,7
2023 kesäkuu	Synteettinen	1 317	43,9	45 583	1 519	481	16,0	57,1	16,3			28,9
2023 toukokuu	Synteettinen	1 379	44,5	48 741	1 572	508	16,4	57,7	11,6			28,3
2023 huhtikuu	Synteettinen	1 287	42,9	45 792	1 526	497	16,6	55,0	4,7			28,1
2023 maaliskuu	Synteettinen	1 365	44,0	48 407	1 562	547	17,6	80,4	-3,1			28,2
		12 140	44,1	427 297	1 554	4 819	17,5	73,3	8,8			28,41
2022 marraskuu	Lasikuitu	1 334	44,5	48 218	1 607	475	15,8	92,7	-0,5			27,7
2022 lokakuu	Lasikuitu	1 324	42,7	46 811	1 510	498	16,1	87,7	6,5			28,3
2022 syyskuu	Lasikuitu	1 366	45,5	48 506	1 617	518	17,3	81,7	9,5			28,2
2022 elokuu	Lasikuitu	1 370	44,2	47 485	1 532	467	15,1	72,1	18,7			28,9
2022 heinäkuu	Lasikuitu	1 297	41,8	44 223	1 427	431	13,9	71,4	19,5			29,3
2022 kesäkuu	Lasikuitu	1 287	42,9	44 672	1 489	423	14,1	66,7	17,0			28,8
2022 toukokuu	Lasikuitu	1 371	44,2	48 458	1 563	476	15,4	61,7	9,5			28,3
2022 huhtikuu	Lasikuitu	1 306	43,5	46 468	1 549	462	15,4	67,2	3,1			28,1
2022 maaliskuu	Lasikuitu	1 348	43,5	47 810	1 542	499	16,1	72,9	-1,0			28,2
		12 003	43,7	422 651	1 537	4 250	15,5	74,9	9,1			28,40
	SYNTEETTINEN / LASIKUITTU	101,1 %	101,1 %	101,1 %	101,1 %	113,4 %	113,4 %	97,8 %	96,0 %			100,0 %

Poistoilmakone TK306-PF01 mittaustulokset.

POISTOILMAKONE TK306-PF01												
	SÄHKÖNKULUTUS	ILMAMÄÄRÄT	SUODATTIMEN PAINE-ERO	KOSTEUS %	LÄMPÖTILA							
Alkaleima	Suodattimen materiaali	Päivän keskiarvo yhteensä (kWh)	Kuukauden keskiarvo (kWh)	Päivän keskiarvo yhteensä (dm <sup>3</sup> /s)	Kuukauden keskiarvo (dm <sup>3</sup> /s)	Päivän keskiarvo yhteensä (Pa)	Kuukauden keskiarvo (Pa)	Kuukauden keskiarvo (RH%)	Kuukauden keskiarvo (°C)	Sähkönkulutus (kWh) / Ilmamäärä (m <sup>3</sup> /s)		
2023 marraskuu	Synteettinen	1 299	43,3	58 099	1 937	374	12,5	89,2	-3,0	22,4		
2023 lokakuu	Synteettinen	1 350	43,5	59 658	1 924	367	11,8	84,6	2,8	22,6		
2023 syyskuu	Synteettinen	1 362	45,4	59 419	1 981	346	11,5	84,8	14,7	22,9		
2023 elokuu	Synteettinen	1 431	46,2	61 512	1 984	343	11,1	76,0	18,1	23,3		
2023 heinäkuu	Synteettinen	1 431	46,2	62 038	2 001	356	11,5	74,8	16,9	23,1		
2023 kesäkuu	Synteettinen	1 342	44,7	58 240	1 941	341	11,4	57,1	16,3	23,0		
2023 toukokuu	Synteettinen	1 387	44,7	61 139	1 972	363	11,7	57,7	11,6	22,7		
2023 huhtikuu	Synteettinen	1 253	41,8	56 409	1 880	343	11,4	55,0	4,7	22,2		
2023 maaliskuu	Synteettinen	1 321	42,6	59 495	1 919	348	11,2	80,4	-3,1	22,2		
		12 176	44,3	536 009	1 949	3 181	11,6	73,3	8,8	22,72		
2022 marraskuu	Lasikuitu	1 284	42,8	58 628	1 954	283	9,4	92,7	-0,5	21,9		
2022 lokakuu	Lasikuitu	1 277	41,2	57 407	1 852	277	9,0	87,7	6,5	22,2		
2022 syyskuu	Lasikuitu	1 326	44,2	59 212	1 974	271	9,0	81,7	9,5	22,4		
2022 elokuu	Lasikuitu	1 376	44,4	59 660	1 925	249	8,0	72,1	18,7	23,1		
2022 heinäkuu	Lasikuitu	1 304	42,1	56 121	1 810	240	7,7	71,4	19,5	23,2		
2022 kesäkuu	Lasikuitu	1 296	43,2	56 571	1 886	253	8,4	66,7	17,0	22,9		
2022 toukokuu	Lasikuitu	1 334	43,0	58 802	1 897	294	9,5	61,7	9,5	22,7		
2022 huhtikuu	Lasikuitu	1 227	40,9	55 238	1 841	286	9,5	67,2	3,1	22,2		
2022 maaliskuu	Lasikuitu	1 248	40,3	56 208	1 813	296	9,5	72,9	-1,0	22,2		
		11 672	42,4	517 848	1 884	2 450	8,9	74,9	9,1	22,54		
SYNTEETTINEN / LASIKUITTU		104,3 %	104,3 %	103,5 %	103,5 %	129,8 %	129,8 %	97,8 %	96,0 %	100,8 %		

TK311-TF01 mittaustulokset.

TUULOILMAKONE TK311-TF01												
	SÄHKÖNKULUTUS	ILMAMÄÄRÄT	SUODATTIMEN PAINE-ERO	KOSTEUS %	LÄMPÖTILA	Sähkökulutus (kWh) / Ilmamäärä (m <sup>3</sup> /s)						
Aikaleima	Suodattimen materiaali	Päivän keskiarvo yhteensä (kWh)	Kuukauden keskiarvo (kWh)	Päivän keskiarvo yhteensä (dm <sup>3</sup> /s)	Kuukauden keskiarvo (dm <sup>3</sup> /s)	Päivän keskiarvo yhteensä (Pa)	Kuukauden keskiarvo (Pa)	Kuukauden keskiarvo (RH%)	Kuukauden keskiarvo (°C)			
2023 marraskuu	Synteettinen	875	29,2	53 896	1 797	510	17,0	89,2	-3,0			16,2
2023 lokakuu	Synteettinen	900	29,0	55 440	1 788	511	16,5	84,6	2,8			16,2
2023 syyskuu	Synteettinen	902	30,1	55 139	1 838	528	17,6	84,8	14,7			16,4
2023 elokuu	Synteettinen	987	31,8	59 105	1 907	554	17,9	76,0	18,1			16,7
2023 heinäkuu	Synteettinen	953	30,7	57 580	1 857	533	17,2	74,8	16,9			16,6
2023 kesäkuu	Synteettinen	911	30,4	54 888	1 830	496	16,5	57,1	16,3			16,6
2023 toukokuu	Synteettinen	914	29,5	56 100	1 810	491	15,8	57,7	11,6			16,3
2023 huhtikuu	Synteettinen	851	28,4	52 106	1 737	459	15,3	55,0	4,7			16,3
2023 maaliskuu	Synteettinen	900	29,0	54 898	1 771	484	15,6	80,4	-3,1			16,4
		8 193	29,8	499 152	1 815	4 566	16,6	73,3	8,8			16,41
2022 marraskuu	Lasikuitu	852	28,4	53 153	1 772	428	14,3	92,7	-0,5			16,0
2022 lokakuu	Lasikuitu	849	27,4	54 410	1 755	454	14,7	87,7	6,5			15,6
2022 syyskuu	Lasikuitu	875	29,2	53 952	1 798	458	15,3	81,7	9,5			16,2
2022 elokuu	Lasikuitu	973	31,4	58 474	1 886	511	16,5	72,1	18,7			16,6
2022 heinäkuu	Lasikuitu	952	30,7	56 943	1 837	495	16,0	71,4	19,5			16,7
2022 kesäkuu	Lasikuitu	894	29,8	53 947	1 798	455	15,2	66,7	17,0			16,6
2022 toukokuu	Lasikuitu	896	28,9	54 995	1 774	440	14,2	61,7	9,5			16,3
2022 huhtikuu	Lasikuitu	858	28,6	52 535	1 751	409	13,6	67,2	3,1			16,3
2022 maaliskuu	Lasikuitu	880	28,4	53 678	1 732	421	13,6	72,9	-1,0			16,4
		8 029	29,2	492 086	1 789	4 071	14,8	74,9	9,1			16,32
	SYNTEETTINEN / LASIKUITTU	102,0 %	102,0 %	101,4 %	101,4 %	112,1 %	112,1 %	97,8 %	96,0 %			100,6 %

TK311-PF01 mittaustulokset.

POISTOILMAKONE TK311-PF01										
	SÄHKÖNKULUTUS	ILMAMÄÄRÄT	SUODATTIMEN PAINE-ERO	KOSTEUS %	LÄMPÖTILA					
Alkaleima	Suodattimen materiaali	Päivän keskiarvo yhteensä (kWh)	Kuukauden keskiarvo (kWh)	Päivän keskiarvo yhteensä (dm <sup>3</sup> /s)	Kuukauden keskiarvo (dm <sup>3</sup> /s)	Päivän keskiarvo yhteensä (Pa)	Kuukauden keskiarvo (Pa)	Kuukauden keskiarvo (RH%)	Kuukauden keskiarvo (°C)	Sähkönkulutus (kWh) / Ilmamäärä (m <sup>3</sup> /s)
2023 marraskuu	Synteettinen	1 430	47,7	62 902	2 097	734	24,5	89,2	-3,0	22,7
2023 lokakuu	Synteettinen	1 488	48,0	65 280	2 106	724	23,4	84,6	2,8	22,8
2023 syyskuu	Synteettinen	1 501	50,0	65 441	2 181	702	23,4	84,8	14,7	22,9
2023 elokuu	Synteettinen	1 637	52,8	70 229	2 265	762	24,6	76,0	18,1	23,3
2023 heinäkuu	Synteettinen	1 586	51,2	68 515	2 210	710	22,9	74,8	16,9	23,1
2023 kesäkuu	Synteettinen	1 526	50,9	65 232	2 174	694	23,1	57,1	16,3	23,4
2023 toukokuu	Synteettinen	1 532	49,4	66 679	2 151	730	23,6	57,7	11,6	23,0
2023 huhtikuu	Synteettinen	1 422	47,4	61 638	2 055	675	22,5	55,0	4,7	23,1
2023 maaliskuu	Synteettinen	1 479	47,7	64 432	2 078	708	22,8	80,4	-3,1	23,0
		13 601	49,5	590 348	2 146	6 439	23,4	73,3	8,8	23,04
2022 marraskuu	Lasikuitu	1 413	47,1	62 410	2 080	632	21,1	92,7	-0,5	22,6
2022 lokakuu	Lasikuitu	1 420	45,8	64 245	2 072	634	20,5	87,7	6,5	22,1
2022 syyskuu	Lasikuitu	1 466	48,9	63 918	2 131	625	20,8	81,7	9,5	22,9
2022 elokuu	Lasikuitu	1 620	52,3	69 354	2 237	688	22,2	72,1	18,7	23,4
2022 heinäkuu	Lasikuitu	1 594	51,4	67 664	2 183	667	21,5	71,4	19,5	23,6
2022 kesäkuu	Lasikuitu	1 513	50,4	64 520	2 151	630	21,0	66,7	17,0	23,4
2022 toukokuu	Lasikuitu	1 506	48,6	65 548	2 114	645	20,8	61,7	9,5	23,0
2022 huhtikuu	Lasikuitu	1 421	47,4	61 595	2 053	612	20,4	67,2	3,1	23,1
2022 maaliskuu	Lasikuitu	1 450	46,8	63 161	2 037	641	20,7	72,9	-1,0	23,0
		13 403	48,7	582 414	2 118	5 776	21,0	74,9	9,1	23,01
	SYNTEETTINEN / LASIKUITTU	101,5 %	101,5 %	101,4 %	101,4 %	111,5 %	111,5 %	97,8 %	96,0 %	100,1 %

## Mittaustuloksien koontitaulukko.

		SÄHKÖNKULUTUS		LIMAMÄÄRÄT		SUODATTIMEN PAINE-ERO		KOSTEUS %		LÄMPÖTILA		Sähkönkulutus (kWh) / ilmamäärä (m <sup>3</sup> /s)
Aikaleima	Kone- merkintä	Suodattimen materiaali	Päivän keskiarvot yhteensä (kWh)	Mittaus- jakson keskiarvo (kWh)	Päivän keskiarvot yhteensä (dm <sup>3</sup> /s)	Mittaus- jakson keskiarvo (dm <sup>3</sup> /s)	Päivän keskiarvot yhteensä (Pa)	Mittaus- jakson keskiarvo (Pa)	Mittaus- jakson keskiarvo (RH %)	Mittaus- jakson keskiarvo (°C)		
1.3.2022 - 30.11.2022	TK302-TF01	synteettinen	6 872	25,0	644 574	2 344	5 753	20,9	74,9	9,1	10,66	
1.3.2023 - 30.11.2023	TK302-TF01	lasikuitu	6 750	24,5	646 523	2 351	5 907	21,5	73,3	8,8	10,44	
	<b>SYNTEETTINEN / LASIKUITU</b>		<b>101,8 %</b>	<b>101,8 %</b>	<b>99,7 %</b>	<b>99,7 %</b>	<b>97,4 %</b>	<b>97,4 %</b>	<b>102,2 %</b>	<b>104,1 %</b>	<b>102,1 %</b>	
1.3.2022 - 30.11.2022	TK302-PF01	synteettinen	9 049	32,9	765 738	2 784	4 417	16,1	74,9	9,1	11,82	
1.3.2023 - 30.11.2023	TK302-PF01	lasikuitu	9 041	32,9	769 180	2 797	5 388	19,6	73,3	8,8	11,75	
	<b>SYNTEETTINEN / LASIKUITU</b>		<b>100,1 %</b>	<b>100,1 %</b>	<b>99,6 %</b>	<b>99,6 %</b>	<b>82,0 %</b>	<b>82,0 %</b>	<b>102,2 %</b>	<b>104,1 %</b>	<b>100,5 %</b>	
1.3.2022 - 30.11.2022	TK303-TF01	synteettinen	16 612	60,4	934 881	3 400	12 831	46,7	74,9	9,1	17,77	
1.3.2023 - 30.11.2023	TK303-TF01	lasikuitu	17 118	62,2	969 246	3 525	12 781	46,5	73,3	8,8	17,66	
	<b>SYNTEETTINEN / LASIKUITU</b>		<b>97,0 %</b>	<b>97,1 %</b>	<b>96,5 %</b>	<b>96,5 %</b>	<b>100,4 %</b>	<b>100,4 %</b>	<b>102,2 %</b>	<b>104,1 %</b>	<b>100,6 %</b>	
1.3.2022 - 30.11.2022	TK303-PF01	synteettinen	19 377	70,5	991 427	3 605	5 567	20,2	74,9	9,1	19,55	
1.3.2023 - 30.11.2023	TK303-PF01	lasikuitu	18 918	68,8	955 714	3 475	6 400	23,3	73,3	8,8	19,79	
	<b>SYNTEETTINEN / LASIKUITU</b>		<b>102,4 %</b>	<b>102,4 %</b>	<b>103,7 %</b>	<b>103,7 %</b>	<b>87,0 %</b>	<b>87,0 %</b>	<b>102,2 %</b>	<b>104,1 %</b>	<b>98,7 %</b>	
1.3.2022 - 30.11.2022	TK306-TF01	lasikuitu	12 003	43,7	422 651	1 537	4 250	15,5	74,9	9,1	28,40	
1.3.2023 - 30.11.2023	TK306-TF01	synteettinen	12 140	44,1	427 279	1 554	4 819	17,5	73,3	8,8	28,41	
	<b>SYNTEETTINEN / LASIKUITU</b>		<b>101,1 %</b>	<b>101,0 %</b>	<b>101,1 %</b>	<b>101,1 %</b>	<b>113,4 %</b>	<b>113,2 %</b>	<b>97,8 %</b>	<b>96,0 %</b>	<b>100,0 %</b>	
1.3.2022 - 30.11.2022	TK306-PF01	lasikuitu	11 672	42,4	517 848	1 884	2 450	8,9	74,9	9,1	22,54	
1.3.2023 - 30.11.2023	TK306-PF01	synteettinen	12 176	44,3	536 009	1 949	3 181	11,6	73,3	8,8	22,72	
	<b>SYNTEETTINEN / LASIKUITU</b>		<b>104,3 %</b>	<b>104,3 %</b>	<b>103,5 %</b>	<b>103,5 %</b>	<b>129,9 %</b>	<b>130,3 %</b>	<b>97,8 %</b>	<b>96,0 %</b>	<b>100,8 %</b>	
1.3.2022 - 30.11.2022	TK311-TF01	lasikuitu	8 029	29,2	492 086	1 789	4 071	14,8	74,9	9,1	16,32	
1.3.2023 - 30.11.2023	TK311-TF01	synteettinen	8 193	29,8	499 152	1 815	4 566	16,6	73,3	8,8	16,41	
	<b>SYNTEETTINEN / LASIKUITU</b>		<b>102,0 %</b>	<b>102,0 %</b>	<b>101,4 %</b>	<b>101,4 %</b>	<b>112,1 %</b>	<b>112,1 %</b>	<b>97,8 %</b>	<b>96,0 %</b>	<b>100,6 %</b>	
1.3.2022 - 30.11.2022	TK311-PF01	lasikuitu	13 403	48,7	582 414	2 118	5 776	21,0	74,9	9,1	23,01	
1.3.2023 - 30.11.2023	TK311-PF01	synteettinen	13 601	49,5	590 348	2 146	6 439	23,4	73,3	8,8	23,04	
	<b>SYNTEETTINEN / LASIKUITU</b>		<b>101,5 %</b>	<b>101,5 %</b>	<b>101,4 %</b>	<b>101,4 %</b>	<b>111,5 %</b>	<b>111,6 %</b>	<b>97,8 %</b>	<b>96,0 %</b>	<b>100,1 %</b>	

Mittaustuloksien koontitaulukko suodatinmateriaaleittain.

Aikaleima	Kone- merkintä	Suodattimen materiaali	SÄHKÖNKULUTUS		ILMAMÄÄRÄT		SUODATTIMEN PAINE-ERO		KOSTEUS %	LÄMPÖTILA	Sähkönkulutus (kWh) / ilmamäärä (m <sup>3</sup> /s)
			Päivän keskiarvo yhteensä (kWh)	Mittaus- jakson keskiarvo (kWh/h)	Päivän keskiarvo yhteensä (dm <sup>3</sup> /s)	Mittaus- jakson keskiarvo (dm <sup>3</sup> /s)	Päivän keskiarvo yhteensä (Pa)	Mittaus- jakson keskiarvo (Pa)	Mittaus- jakson keskiarvo (RH %)	Mittaus- jakson keskiarvo (°C)	
1.3.2022 - 30.11.2022	TK302-TF01	synteettinen	6 872	25,0	644 574	2 344	5 753	20,9	74,9	9,1	10,66
1.3.2022 - 30.11.2022	TK302-PF01	synteettinen	9 049	32,9	765 738	2 784	4 417	16,1	74,9	9,1	11,82
1.3.2022 - 30.11.2022	TK303-TF01	synteettinen	16 612	60,4	934 881	3 400	12 831	46,7	74,9	9,1	17,77
1.3.2022 - 30.11.2022	TK303-PF01	synteettinen	19 377	70,5	991 427	3 605	5 567	20,2	74,9	9,1	19,55
1.3.2023 - 30.11.2023	TK306-TF01	synteettinen	12 140	44,1	427 279	1 554	4 819	17,5	73,3	8,8	28,41
1.3.2023 - 30.11.2023	TK306-PF01	synteettinen	12 176	44,3	536 009	1 949	3 181	11,6	73,3	8,8	22,72
1.3.2023 - 30.11.2023	TK311-TF01	synteettinen	8 193	29,8	499 152	1 815	4 566	16,6	73,3	8,8	16,41
1.3.2023 - 30.11.2023	TK311-PF01	synteettinen	13 601	49,5	590 348	2 146	6 439	23,4	73,3	8,8	23,04
			<b>98 020</b>	<b>44,5</b>	<b>5 389 407</b>	<b>2 450</b>	<b>47 573</b>	<b>21,6</b>	<b>74,1</b>	<b>9,0</b>	<b>18,19</b>
1.3.2023 - 30.11.2023	TK302-TF01	lasikuitu	6 750	24,5	646 523	2 351	5 907	21,5	73,3	8,8	10,44
1.3.2023 - 30.11.2023	TK302-PF01	lasikuitu	9 041	32,9	769 180	2 797	5 388	19,6	73,3	8,8	11,75
1.3.2023 - 30.11.2023	TK303-TF01	lasikuitu	17 118	62,2	969 246	3 525	12 781	46,5	73,3	8,8	17,66
1.3.2023 - 30.11.2023	TK303-PF01	lasikuitu	18 918	68,8	955 714	3 475	6 400	23,3	73,3	8,8	19,79
1.3.2022 - 30.11.2022	TK306-TF01	lasikuitu	12 003	43,7	422 651	1 537	4 250	15,5	74,9	9,1	28,40
1.3.2022 - 30.11.2022	TK306-PF01	lasikuitu	11 672	42,4	517 848	1 884	2 450	8,9	74,9	9,1	22,54
1.3.2022 - 30.11.2022	TK311-TF01	lasikuitu	8 029	29,2	492 086	1 789	4 071	14,8	74,9	9,1	16,32
1.3.2022 - 30.11.2022	TK311-PF01	lasikuitu	13 403	48,7	582 414	2 118	5 776	21,0	74,9	9,1	23,01
			<b>96 935</b>	<b>44,1</b>	<b>5 355 662</b>	<b>2 434</b>	<b>47 022</b>	<b>21,4</b>	<b>74,1</b>	<b>9,0</b>	<b>18,10</b>
		<b>SYNTEETTINEN / LASIKUITU</b>	<b>101,1 %</b>	<b>101,1 %</b>	<b>100,6 %</b>	<b>100,6 %</b>	<b>101,2 %</b>	<b>101,2 %</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,0 %</b>	<b>100,5 %</b>

Ilmanvaihtokoneiden suunnitellut- ja toteutuneet ilmamäärät.

<b>NEPENMÄEN KOULU</b>					
<b>LAITE-TUNNUS</b>	<b>LAITENIMI</b>	<b>Suunniteltu ilmamäärä (dm<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Mittausjaksojen pienin ilmamäärä (dm<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Mittausjaksojen suurin ilmamäärä (dm<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Mittausjaksojen keskimääräinen ilmamäärä (dm<sup>3</sup>/s)</b>
TK302-TF01	Tuloilmapuhallin	4 468	1 597	3 194	<b>2 344</b>
TK302-PF01	Poistoilmapuhallin	4 468	2 061	3 668	<b>2 784</b>
TK303-TF01	Tuloilmapuhallin	5 177	2 324	4 140	<b>3 400</b>
TK303-PF01	Poistoilmapuhallin	3 999	2 479	4 146	<b>3 605</b>
TK306-TF01	Tuloilmapuhallin	2 705	939	2 221	<b>1 554</b>
TK306-PF01	Poistoilmapuhallin	2 480	1 130	2 833	<b>1 949</b>
TK311-TF01	Tuloilmapuhallin	2 952	1 366	2 238	<b>1 815</b>
TK311-PF01	Poistoilmapuhallin	2 955	1 644	2 668	<b>2 146</b>