



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Markus Aalto

Älykkään ohjauksen suunnittelu ja toteutus EC-poistoilmapuhaltimille

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

27.11.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Markus Aalto Älykkään ohjauksen suunnittelu ja toteutus EC-poistoilmapuhaltimille 39 sivua 27.11.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	yliopettaja Jukka Yrjölä sähkötöiden johtaja Janne Vitie
<p>Opinnäytetyön ensimmäisen osan tarkoituksena oli tarkoituksena suunnitella älykäs ohjaustapa poistoilmapuhaltimien EC-moottoreille vanhoihin asuinkerrostaloihin, joissa on ollut käytössä kello-ohjattu 2-nopeusjärjestelmä. Järjestelmä suunniteltiin vakiopaineohjauksella toimivaksi, ja lisäksi on ulkolämpötilan mukaan muuttuva tehostusjaksojen ilmavirran rajoitustoiminto. Mitä kylmempää on ulkona, sitä vähemmän järjestelmä tehostaa ilmanvaihtoa.</p> <p>Automaatiojärjestelmällä haettiin säästöjä kiinteistön lämmitysenergian kulutuksessa ja samalla myös asumisviihtyvyyden parantamista mm. vedontunnetta vähentämällä.</p> <p>Toinen osa työstä oli asentaa järjestelmä Porvoossa sijaitsevaan kerrostaloon ja tehdä asennuksen jälkeen tarvittavat mittaukset, jotta pystyttiin laskennallisesti selvittämään, minkä verran säästöä järjestelmä tuo kiinteistölle lämmityskuluissa.</p> <p>Kohteeseen uusittiin myös molemmat EC-poistopuhaltimet vanhojen kolmivaihemoottoreiden tilalle, joten samalla tarkasteltiin myös niiden tuomia säästöjä sähköenergian kulutuksessa.</p> <p>Vuoden 2018 laskennalliset säästöt olivat uudella järjestelmällä ilmanvaihdon tehostusajan lämmitysenergian kulutuksen osalta noin 23 % ja sähköenergian säästö vanhoihin moottoreihin verrattuna noin 50 % vuodessa. Rahallista säästöä vuodelta 2018 olisi tullut yhteensä noin 940 €: a.</p>	
Avainsanat	poistoilmanvaihto, älykäs ohjaus, EC-puhallin, vakiopaine

Author Title Number of Pages Date	Markus Aalto Design and Implementation of Intelligent Control for EC Exhaust Air Fans 39 pages 27 November 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer Janne Vitie, Supervisor of electrical work
<p>The purpose of the Bachelor's thesis was, first, to design an intelligent control system for exhaust air fans with EC motors in old apartment blocks with a clock-controlled 2-speed system. The control system was to operate under constant pressure control and have airflow limitation for boost cycles that would vary according to the outdoor temperature: the colder the outdoors, the less ventilation in boost cycles.</p> <p>The automation system sought savings in the heating energy consumption of the property and also improved living comfort, for example by reducing the sense of draft.</p> <p>The second aim was to install the system in a block of flats in Porvoo and take the necessary measurements after the installation in order to calculate how much the system would save in heating costs. At the same time, old three-phase motors were replaced with EC-motors, and their effect on the electricity consumption was also considered.</p> <p>The calculations established that the new system and motors would have saved about 23% for heating and 50% for electricity in the year 2018. In total, the savings for the year 2018 would have been around € 940.</p>	
Keywords	exhaust ventilation, intelligent control, constant pressure

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä	2
2.1	Toimintaperiaate	2
2.2	Ilmavirtojen tasapainotus	4
2.3	Ongelmakohdat	6
3	Älykkään ohjauksen toteutus	7
3.1	Järjestelmän toimintaselostus	7
3.2	Järjestelmän komponentit ja niiden toiminta	9
3.2.1	Ouman Ouflex- vapaasti ohjelmoitava automaatiojärjestelmä	9
3.2.2	Ohjausjärjestelmän valikot ja niiden toiminnot	10
3.2.3	Paine-erolähetin	12
3.2.4	Lämpötila-anturi	14
3.3	Järjestelmän hyödyt verrattuna perinteisiin järjestelmiin	14
4	Laitteiston asennus saneerauskohteeseen	16
4.1	Poistoilmakoneiden valinta	16
4.2	Poistoilmakoneiden uusiminen	19
4.3	Automaatiolaitteiden asennus	20
4.4	Tehostusaikojen ja vakiopaineohjauksen asetusarvojen asettelu	22
5	Lämmitysenergian ja sähkönkulutuksen säästölaskelmat	25
5.1	Sähköenergian kulutusvertailu	25
5.2	Lämmitysenergian kulutusvertailu	29
5.2.1	Tehostusnopeuden ilmavirtojen laskenta	31
5.2.2	Tehostusilmavirralla säästetty lämmitysenergian määrä ja hinta	32
6	Tulosten vertailu	34
7	Yhteenveto	36
	Lähteet	38

Lyhenteet

°C	Lämpötilan yksikkö, celsiusaste.
EC	Electronically Commutated. Elektronisesti kommutoitu. EC-puhallin voidaan kytkeä suoraan vaihtovirtaverkkoon ja kommutoinnin ansiosta elektroniikka muuttaa vaihtovirran tasavirraksi ja ohjaa puhallinnopeutta säätämällä moottorin saamaa virtaa.
I/O-moduuli	Input/Output-moduuli. Laite, jolla ohjelmoitava logiikka liitetään muihin laitteisiin.
k-kerroin	Suhteellinen arvo, joka tarvitaan oikeiden määrien muuntamiseen mittausanturin signaalin ja todellisen prosessiarvon välillä.
kWh	Energian yksikkö, kilowattitunti.
MWh	Energian yksikkö, megawattitunti.
Pa	Paineen yksikkö, pascal.
PP	Poistoilmapuhallin.
Q	Lämpömäärän suure, ilman lämmittämiseen kuluva energia (kWh).

1 Johdanto

Työn tilaajana toimi Säätolaittehuolto Oy, jonka palveluksessa työskentelee 45 työntekijää. Säätolaittehuolto Oy on laajentanut viime vuosina toimintansa kattamaan koko LVISKA-alan huolto- ja saneeraustyöt. Yhtenä osana tätä kokonaisuutta ilmanvaihto-osaston toimenkuvaan kuuluu poistoilmakoneiden uusimistyöt. Nykyään kun energiansäästö- ja kulutus otetaan yhä enemmän huomioon talotekniikassa ja se on myös asiakkaille tärkeä asia, haluttiin lähteä selvittämään, pystytäänkö poistoilmakoneiden älykkäällä ohjauksella saamaan merkittäviä säästöjä aikaan lämmitys- ja sähköenergian kulutuksessa.

Poistoilmakoneet ovat tiukentuvien energiamääräysten takia siirtymässä kohti EC-moottorikäyttöjä, ja useat valmistajat ovat jo lopettaneet tai lopettamassa oikosulkumoottoritekniikkaan perustuvien huippuimureiden valmistamisen. Tästä syystä insinööriyö rajattiin koskemaan EC-moottoreilla varustettuja poistoilmakoneita.

Insinööriyön tavoitteena oli kehittää nykyisille useissa kerrostalokohteissa käytössä oleville 2-nopeuskäyttöisille ja kello-ohjatuille poistoilmakoneille älykäs ohjaustapa Ouman Ouflex -automaatiojärjestelmää käyttäen. Ohjausjärjestelmällä pyritään parantamaan asumisviihtyvyyttä ja pudottamaan ilmanvaihdon energiankulutusta. Toinen osuus työstä oli suunnitellun automaatiojärjestelmän asennus saneerauskohteeseen ja sen hyötyjen selvittäminen.

Energiansäästöpotentialiaali selvitettiin lämmitysenergian osalta laskemalla, kuinka paljon vähemmän uusi laitteisto olisi vertailuvuonna 2018 vähentänyt poistoilman määrää ja sitä kautta pienentänyt kaukolämmön kulutusta. Sähköenergian säästö laskettiin mittaamalla ilmanvaihtolaitteiden sähkön virrankulutus kohteessa ennen ja jälkeen järjestelmän asennuksen. Mittausten perusteella laskennallisesti selvitettiin, kuinka paljon energiatehokkaampia uudet EC-moottorit ovat vanhoihin verrattuna.

2 Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä

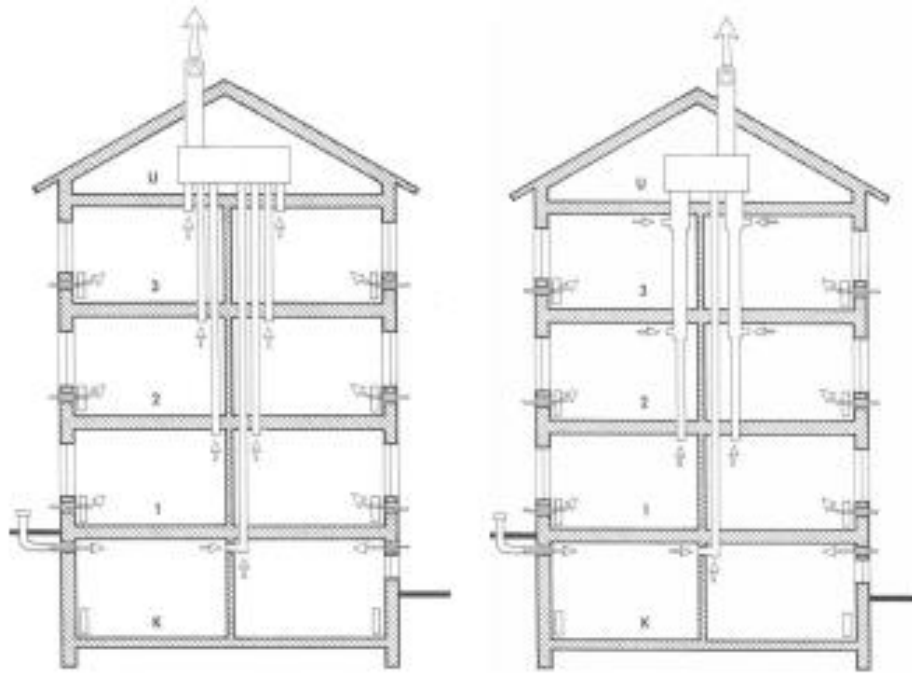
Koneellinen poistoilmanvaihto alkoi yleistyä 1960-luvulla kerrostalorakentamisessa ja syrjäytti siihen asti käytössä olleen painovoimaisen ilmanvaihdon yleisimpänä ilmanvaihtotapana. Ennen vuotta 1960 rakennetuissa kerrostaloasunnoissa noin 20 %:ssa oli koneellinen poistoilmanvaihto, kun taas 1960-luvulla rakennetuissa kerrostaloasunnoissa 70 % oli varustettu koneellisella poistolla. 1970-luvulla jo 90 %:ssa valmistuneissa kerrostaloasunnoissa oli koneellinen poistoilmanvaihto. [1, s. 458.]

Koneellinen poistoilmanvaihto säilyi käytetyimpänä ilmanvaihtojärjestelmänä aina 2000-luvun alkuun asti, minkä jälkeen koneellisesta tulo- ja poistojärjestelmästä on tullut valitseva toteutustapa uusiin kerrostalokohteisiin. Muutos johtuu käytännössä rakentamisen kiristyneistä energiatehokkuusvaatimuksista, joihin pelkällä koneellisella poistoilmanvaihdoilla käytännössä mahdotonta päästä. Nykyään ilmanvaihtokoneisiin vaaditaan rakennettavaksi lämmöntalteenottojärjestelmä, ja se on helpointa toteuttaa tulo- ja poistojärjestelmällä.

2.1 Toimintaperiaate

Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä jokaisen asunnon keittiöstä, WC- ja märkätiloista ja vaatehuoneesta johdetaan poistoilma poistopuhaltimelle, josta se puhalletaan yleensä vesikaton yläpuolelle. Poistoilmakanavisto on toteutettu joko erillis- tai yhteiskanavajärjestelmänä. Sisätiloissa ilmanvaihtokanavistot ovat aina alipaineisia verrattuna asuintiloihin, näin vältetään hajujen ja epäpuhtauksien leviämistä tiloista ja asunnoista toiseen.

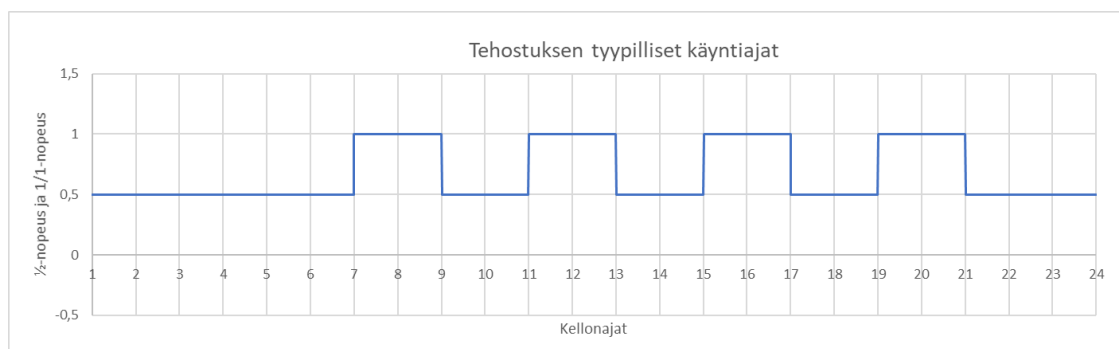
Kuva 1 havainnollistaa erilaisia kanavointiratkaisuja. Kuvassa vasemmalla puolella on erilliskanavajärjestelmä, jossa jokaisesta asunnosta johdetaan erillinen poistoilmakanava kokoojakammioon vintille ja huippumuri imee ilman ulos. Kuvassa oikealla on puolella yhteiskanavajärjestelmä, jossa jokaiselle pystynousulle on yksi runkokanava. Esimerkiksi yhdestä pystylinjasta haarautuu venttiili jokaisen päällekkäin olevan kerroksen keittiön poistoventtiilille, ja toinen pystylinja palvelee esimerkiksi kylpyhuonelinjaa. Näin saadaan vähennettyä kanavakuilujen tilantarvetta huoneistojen sisällä, kun niissä ei tarvitse viedä isoja määriä pystyhormeja.



Kuva 1. Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä. Erilliskanava- ja yhteiskanavajärjestelmät [2, s. 3].

Korvausilma otetaan ulkoa yleensä korvausilma-aukkojen tai venttiileiden kautta. Ne on sijoitettu kaikkiin asuinhuoneisiin keittiötä lukuun ottamatta.

Poistokoneiden ohjaus on tyypillisesti toteutettu kello-ohjattuna 2-nopeuskäyttönä. Ilmanvaihdon tehoa kasvatetaan haluttuina kellonaikoina $\frac{1}{2}$ -nopeudesta 1/1-nopeuteen, kuten kuva 2 osoittaa. Yleensä tehostus on käytössä sen osan päivästä, jolloin oletetaan, että asukkaat tekevät ruokaa tai kosteuskuormitus on suurimmillaan. Tilaajayrityksen kokemusten perusteella tehostusajat ovat tyypillisesti 7–9, 11–13, 15–17 ja 19–21.



Kuva 2. Esimerkki ilmanvaihdon käyntiajoista 2-nopeuskäytössä.

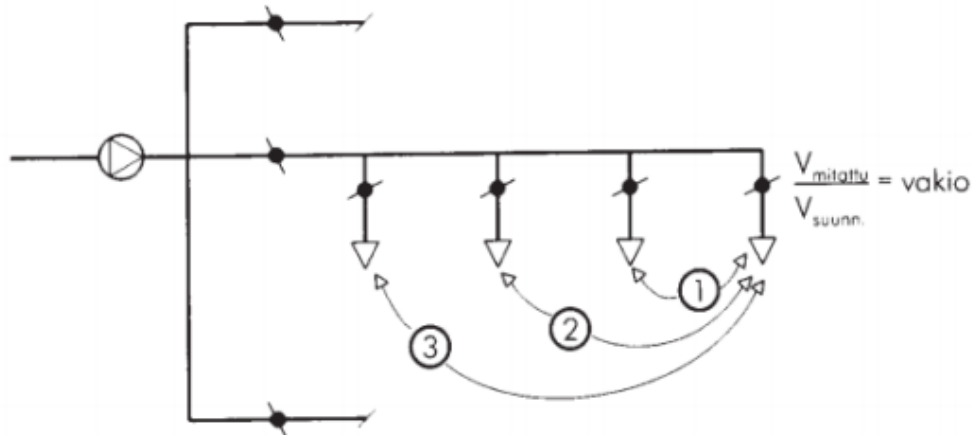
Tehostusajat ovat vapaasti säädettävissä, ja monesti niitä onkin isännöitsijän tai huoltomiehen toimesta muutettu asukkailta tulleiden palautteiden perusteella.

2.2 Ilmavirtojen tasapainotus

Ilmavirtojen tasapainotus tehdään yleensä joko laskennallisella tai suhteellisella menetelmällä. Laskennallista menetelmää ei yleensä käytetä vanhojen rakennusten tasapainotuksessa, koska luotettavia suunnittelutietoja ja laskettuja arvoja kanaviston ja sen osien painehäviöistä ei ole saatavilla. Tämän vuoksi keskityn tässä selittämään suhteellisen tasapainotuksen kulun.

Ilmanvaihdon suhteellisessa tasapainotuksessa tarkastellaan vaaditun ja mitatun ilmavirran välistä suhdetta venttiilissä tai muussa mittapisteessä. Kuvassa 3 havainnollistetaan mittausjärjestystä.

Ensin aloitetaan avaamalla kaikki säätöpellit ja poistamalla muut mahdolliset kuristukset kanavistosta. Sen jälkeen etsitään virtausteknisesti vaikein reitti kanavistosta. Yleensä se on kanaviston kauimmainen venttiili, mutta ei välttämättä aina. Jossain lyhyemmässä kanavahaarassa saattaa olla enemmän painehäviöitä aiheuttavia kanaviston osia, jolloin siitä muodostuu epäedullisin reitti ilmalle kulkea venttiililtä puhaltimelle. Kun tämä venttiili on löytynyt, se toimii jatkossa referenssipisteenä, johon kaikkia muita venttiileitä verrataan.



Kuva 3. Ilmavirtojen säätö suhteellisella menetelmällä [3, s. 2]

Ensin lasketaan referenssiventtiin suhdeluku, joka on venttiilistä mitatun ilmavirran ja suunnitellun ilmavirran suhde. Tätä suhdelukua verrataan kanavistossa seuraavan venttiin suhdelukuun ja säädetään tätä venttiiliä niin, että sen suhdeluku vastaa referenssiventtiin suhdelukua. Säättöä tehdessä täytyy ottaa huomioon, että referenssiventtiin suhdeluku muuttuu, jos muita venttiileitä joudutaan säätämään reilusti. Tällöin täytyy mitata uusi suhdeluku referenssiventtiilistä ja säätää sen mukaan seuraava venttiili. [4]

Näin jatketaan, kunnes kaikille haaran venttiileille on saatu sama suhdeluku. Sen jälkeen säädetään kanaviston muut haarat yksitellen samalla tavalla. Kun kaikki haarat on tasapainotettu, sen jälkeen säädetään jokaisen haaran säätöpelti ikään kuin ne olisivat yksittäisiä päätelaitteita. Valitaan yksi referenssipisteeksi ja säädetään muiden ilmavirrat vastaamaan sen suhdelukua. [4]

Jos järjestelmässä on hihnäkäyttöinen poistopuhallin, urapyörien kokoa muuttamalla haetaan oikea kokonaisilmavirta, jotta säätöpelleillä ei tarvitse aiheuttaa ylimääräistä painehäviötä kanavistoon. Jos käytössä on kaksinopeuskäyttöinen huippumuri, oikea kokonaisilmavirta on pakko hakea tekemällä kuristuksia kanavistoon, koska huippumurin pyörimisnopeuteen ei pystytä vaikuttamaan.

2.3 Ongelmakohdat

Yksi koneellisen poistoilmanvaihdon ongelma on se, että ilman minkäänlaista lämmöntalteenottoa se tuhlaa paljon arvokasta lämmitysenergiaa. Kaikki asunnoista pois imetty ilma puhalletaan suoraan ulkoilmaan. VTT:n tutkimuksen mukaan 1960–1970-luvulla rakennettujen kerrostalojen kokonaislämpöhäviöistä jopa 46 % voi aiheutua poistoilmanvaihdon lämpöhäviöistä. [5, s. 16.]

Lämpöhäviöihin yritettiin puuttua 1970-luvun energiakriisin aikaan, jolloin sen aikaiseen Suomen rakentamismääräyskokoelman D2 liitteeseen lisättiin mahdollisuus puolittaa ulkoilmavirta asuntoihin, kun ulkoilman lämpötila on enintään +15 astetta paikkakunnan mitoitusulkolämpötilaa korkeampi. Kokoelmassa annettiin mahdollisuus myös ilmanvaihdon toiminta-aikojen ryhmittelyyn ja tarpeenmukaiseen ohjaukseen. [6, s. 12.] Tämä johtikin siihen, että ilmanvaihdon ilmavirtojen puolittaminen otettiin käyttöön kokoaikaiseksi ratkaisuksi. Puolitetusta ilmavirrasta tehtiin normaalikäytön ilmavirta, jota tehostettiin muutama tunti kerrallaan päivän aikana, jolloin oletettiin ilmanvaihdon tehontarpeen olevan suurempi esimerkiksi yleisinä ruoanlaittoaikoina ja iltaisin, kun ihmisiä on enemmän kotona.

Tämä toimenpide kuitenkin huonontaa asuntojen ilmanlaatua, koska asukkaiden elintavat eivät välttämättä noudata ilmanvaihdon tehostusaikoja. Tällöin kosteus ja ruoanlaiton käryt jäävät asuntoihin eivätkä poistu suunnitellusti poistoilmareittejä pitkin.

Ilmavirtojen puolinopeuden käyttö pääsääntöisenä nopeutena on edelleen laajasti käytössä 1970-luvulla ja sen jälkeen rakennetuissa kerrostaloissa. Muutoksia tähän tehdään yleensä vasta isomman ilmanvaihdon perusparannuksen yhteydessä, jossa asuntoihin rakennetaan myös tuloilmanvaihto tai poistoilman lämmöntalteenotto.

Vanhoissa asuinkiinteistöissä myös asukkaat saattavat vastustaa poistoilmanvaihdon tehostamista, koska varsinkin viileämmillä ilmoilla se aiheuttaa helposti vedontunnetta asunnoissa. Tämä johtuu pääsääntöisesti puutteellisesti suunnitelluista korvausilmareiteistä, jolloin ulkoa tuleva korvausilma valuu suoraan oleskeluvyöhykkeelle eikä sekoitu kunnolla huoneilmaan.

Puutteellisten korvausilmareittien takia painesuhteiden hallinta koneellisessa poistoilma-järjestelmässä on haasteellista. Kun korvausilma otetaan huoneistoon suunnittelemattomasti, on puhtaan ilman jako huoneiston sisällä sattumanvaraista. Riippuen huoneen sijainnista ja korvausilmareittien tiiviyydestä voi olla, että esimerkiksi makuuhuoneeseen ei tule ollenkaan korvausilmaa. [7, s. 15.]

Myös ääniongelmät kasvavat asunnoissa, jos ilmanvaihdon tehoa kasvatetaan. Usein kanaviston yläpäässä kanavan alipaine on sen verran suuri, että venttiileitä pitää kuristaa reilusti, jotta ilmanvaihto ei tehostu liikaa ja tämä taas aiheuttaa venttiileiden kohinaa asuntoihin. Myös peltiset ilmanvaihtokanavat ovat usein huonosti äänieristettyjä, jolloin äänet kulkeutuvat asunnosta toiseen kanavistoa pitkin.

3 Älykkään ohjauksen toteutus

Ouman Ouflex -järjestelmä valittiin käytettäväksi ohjausjärjestelmäksi, koska se on laajasti käytössä taloautomaatiossa, ja sen ohjelmointiin ja käyttöön on osaamista Säätolaitahuolto Oy:ssä. Jos kohteessa on jo valmiiksi Ouflex-järjestelmä käytössä esimerkiksi lämmönjakopaketin säätöä varten, voidaan ilmanvaihdon ohjaus liittää osaksi jo olemassa olevaa järjestelmää.

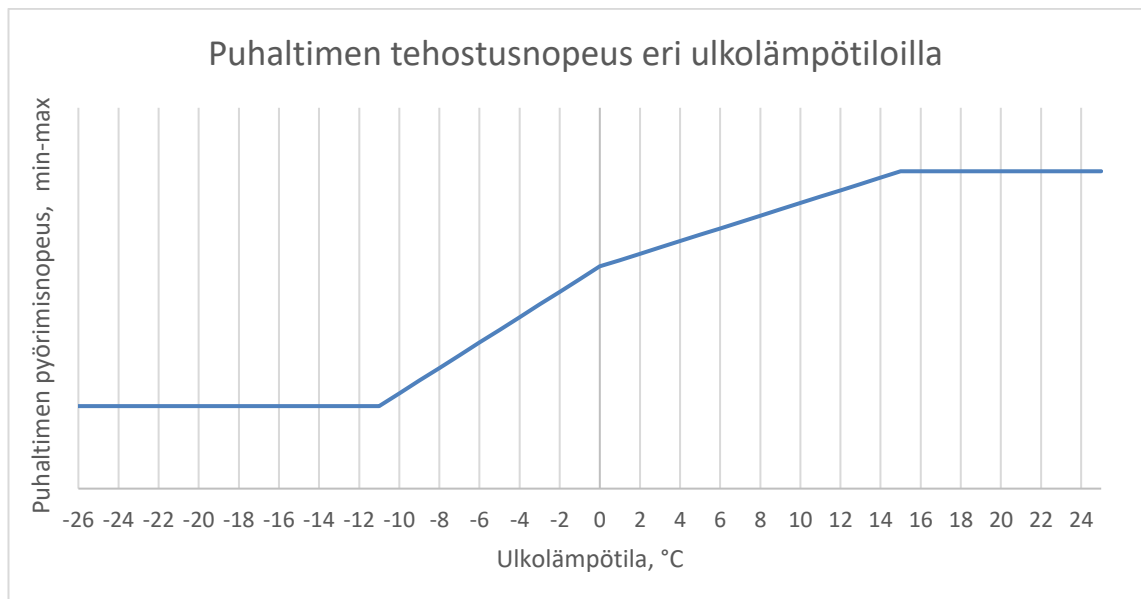
Ohjausjärjestelmää lähdettiin toteuttamaan yhteistyössä Säätolaitahuolto Oy:n automaatioinsinööri Samuli Kettusen kanssa. Hän loi laaditun toimintaselostuksen pohjalta ohjelman Ouflexiin, jotta se saatiin toimimaan halutulla tavalla.

3.1 Järjestelmän toimintaselostus

Poistoilmakanavan paine-erolähetin lähettää painetiedon ohjausjärjestelmälle, johon on asetettu pienimmän ja suurimman alipaineen arvot. Järjestelmä ylläpitää pienintä alipainetta, kunnes kello-ohjauksella ilmanvaihtoa tehostetaan haluttuina aikoina. Tällöin järjestelmä säätää poistopuhaltimen pyörimisnopeutta portaattomasti kohti aseteltua suurimman alipaineen arvoa ulkolämpötila-anturin lähettämän lämpötilatiedon mukaan skaalattuna.

Tehostuksessa käytetään kolmipisteskaalausta. Esimerkiksi -11 °C :n ja 0 °C :n välillä käyrä laskee jyrkemmin kohti asetettua pienintä alipaineen arvoa ja 0 °C :n ja 10 °C :n välillä käyrä on loivempi. Lämpötilan alittaessa -11 °C järjestelmä pitää yllä pienintä alipaineen arvoa, kunnes lämpötila lähtee taas nousemaan. Kuvassa 4 havainnollistetaan, miten puhaltimen pyörimisnopeus muuttuu lämpötilan suhteen.

Puhaltimen tehostusnopeuden lämpötilarajat ovat vapaasti säädettävissä kunkin kohteen mukaan. Ylläolevassa esimerkissä tehostuksen pakkasrajana on käytetty -11 °C :ta. Tämä raja on käytössä useissa 1970–2000-luvun kerrostalokohteissa ja se tulee sen aikaisista rakennusmääräyksistä. Vuosina 1978 ja 1987 laadituissa ilmanvaihdon rakentamismääräyksissä sanotaan, että kun ulkoilman lämpötila on enintään 15 °C korkeampi kuin paikkakunnan mitoitusulkolämpötila, voidaan tilakohtaisia ilmavirtaohjearvoja pienentää tilapäisesti enintään 50 % [6]. Pääkaupunkiseutu kuuluu lämpötilavyöhykkeeseen 1, jonka mitoitusulkolämpötila on -26 °C ja kun siihen lisätään 15 °C , saadaan rajaksi -11 °C .



Kuva 4. Puhaltimen tehostusnopeus eri ulkolämpötiloilla.

Jyrkemällä käyrän pudotuksella -11 °C :n ja $+0\text{ °C}$:n välillä pyritään siihen, että kun ulkoilman lämpötila painuu pakkaselle, pienennetään ilmanvaihdon lämpöhäviöitä ja tyydytään pienempään ilmanvaihdon tehostamiseen. Kovimmilla pakkasilla ilmanvaihtoa ei tehosteta lainkaan päivän aikana, kuten ei tehdä vanhallaan järjestelmällä.

Järjestelmään ohjelmoidaan myös mahdollisuus helletuuletukselle. Tuuletustoiminto kytkeytyy käyttöön automaattisesti, kun ulkolämpötila on ollut yhtäjaksoisesti vähintään 2 tunnin ajan yli 25 °C. Lämpötilan laskiessa alle 20 °C:n poistoilmapuhallin kytkeytyy kahdeksi tunniksi suurimman alipaineen asetukselle kello-ohjauksesta huolimatta. Tällöin saadaan huoneistojen koko ilmatilavuuden verran päivän aikana lämmennyttä ilmaa vaihdettua viileämpään.

Järjestelmä on liitettävissä etävalvontaan, jolloin siitä saadaan reaaliaikaisesti hälytykset mahdollisista vika- ja häiriötilanteista. Ohjausjärjestelmän parametreja voidaan myös muokata etäyhteyden kautta.

3.2 Järjestelmän komponentit ja niiden toiminta

3.2.1 Ouman Ouflex- vapaasti ohjelmoitava automaatiojärjestelmä

Automaatiojärjestelmän ohjauslaitteena on kuvan 5 mukainen DIN-kiskokiinnitteinen, vapaasti ohjelmoitava valvonta-, ohjaus- ja säätöyksikkö. Laitteen ohjelmointi tapahtuu työkaluohjelmalla ja valmis ohjelma ladataan laitteeseen Ethernet-portin kautta. Ouflexissa on mm. 34 kpl I/O-pisteitä sekä tiedonsiirto- ja väyläliitännät. Laitteen I/O-pisteiden määrä on laajennettavissa ulkoisilla moduuleilla väyläliityntöjen kautta. [8, s. 2.]



Kuva 5. Ouman Ouflex -rakennusautomaatiojärjestelmän ohjausyksikkö [8, s.1].

Huippuimureiden ohjausjärjestelmän asentamiseen on kaksi vaihtoehtoa. Joko asennetaan kokonaan uusi Ouflex-järjestelmä tai liitetään osaksi kohteessa olevaa Ouflex-taloautomaatiojärjestelmää. Jos olemassa olevassa Ouflexissä on tarpeeksi I/O-pisteitä vapaana, riittää kun ladataan huippuimureiden ohjausohjelmisto laitteeseen ja liitetään siihen tarvittavat anturit ja ohjauskaapelit. Jos I/O-pisteet loppuvat kesken, voidaan järjestelmää laajentaa helposti lisäämällä siihen ulkoinen Ouman Flex Combi I/O -laajennusyksikkö, joka yhdistetään automaatiojärjestelmään.

3.2.2 Ohjausjärjestelmän valikot ja niiden toiminnot

Seuraavaksi käydään läpi älykkääseen ohjaukseen laaditut ja sen käyttöön liittyvät valikot siinä järjestyksessä kuin ne laitteesta löytyvät. Itse Ouman Ouflex A-automaatiolaitteen sovellusasetukset on jätetty pois, koska ne löytyvät automaatiolaitteen omasta ohjekirjasta, eivätkä varsinaisesti liity tähän työhön.

Poistopuhallin (Positio – Palvelualue) -valikosta voidaan lukea:

- *"Pysäyttävän komennon tila"*. Kertoo, onko esimerkiksi iv-hätäseis-painiketta painettu. (ok/aktiivinen)
- *"Ulkolämpötila"*. Näyttää ulkolämpötila-anturin välittämän sen hetkisen tiedon. (°C)
- *"Aikaohjelman tila"*. Kertoo mikä aikaohjelma on käynnissä kyseisellä hetkellä. (tehostus/osateho)
- *"Ohjauksen tila"*. Kertoo mikä ohjaustapa on valittuna käyttöön. (seis/kä-siajo/aikaohjelma)
- *"Ohjaus"*. Kertoo, tuleeko järjestelmälle ohjausviesti, joka pyrkii käynnistämään puhaltimen. Ohjausviestin päällä olosta ei vielä voida tietää onko poistopuhallin käynnissä. (päällä/pois)
- *"Tila"*. Kertoo puhaltimen käyntitilan. Lukee puhaltimelta saatavaa käynnin tilatietoa. (seis/käy)
- *"Käyntiaika"*. Näyttää poistopuhaltimen käyntiajan. (h)
- *"Säädön tila"*. Näyttää millä säädöllä poistopuhallinta kyseisellä hetkellä ajetaan. (Pois, Aikaohjelma, Tehonrajoitus tai Helletuuletus)
- *"Säätö"*. Näyttää mikä on puhaltimen säätöarvo kyseisellä hetkellä puhaltimen maksimisäätöarvosta. (0-100%)
- *"Laskennallinen poistokanavan paineasetus"*. Näyttää sen hetkisen poistopuhaltimen säätökäyrältä luetun paineasetuksen johon järjestelmä pyrkii paineen asettamaan. (Pa)

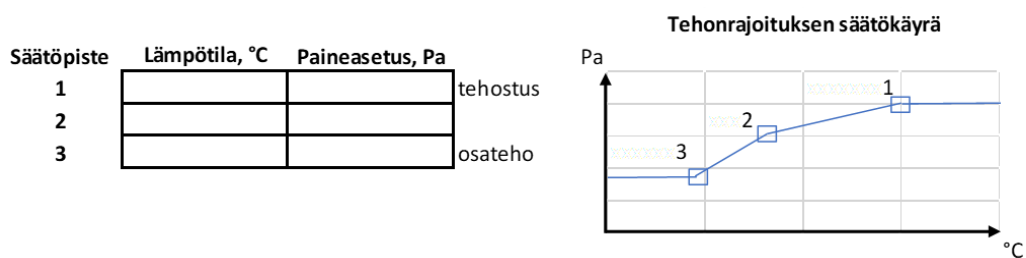
- ”Poistokanavan paine”. Näyttää painelähettimeiltä saadun reaaliaikaisen poistokanavan painemittauksen arvon. (Pa)

Asetusarvot-valikosta voidaan säätöjärjestelmään asetella

- ”Osateho poistopaineasetus”. Asetellaan haluttu vakiopaine, jota järjestelmä pyrkii ylläpitämään osatehon ollessa käytössä. Tämä asetusarvo siirtyy automaattisesti säätökäyrän osatehon säätöpisteeksi.
- ”Täysteho poistopaineasetus”. Asetellaan haluttu vakiopaine, jota järjestelmä pyrkii ylläpitämään tehostusaikoina. Tämä asetusarvo siirtyy automaattisesti säätökäyrän tehostuksen säätöpisteeksi.

Asetusarvot-valikosta päästään Huoltotila-valikkoon, josta voidaan tehdä seuraavat muutokset

- ”Tehonrajoitus-toiminto”. Valitaan, onko tehonrajoituksen säätökäyrä käytössä vai ei. Jos toiminto otetaan pois käytöstä, niin järjestelmä ohjaa puhaltimen tehoa osatehon ja täystehon välillä aikaohjelman mukaan ottamatta huomioon ulkoilman lämpötilaa.
- ”Tehonrajoituksen säätökäyrä”. Osatehon ja täydentehon poistopaineasetukset siirtyvät automaattisesti taulukkoon säätöpisteiksi, kun ne on ensin aseteltu ”Asetusarvot”-kohdassa. Halutut minimi- ja maksimilämpötilat tehonrajoituksen käyttöalueelle asetellaan kuvan 6 mukaiseen taulukkoon lämpötilasarakkeen alle. Säätöpiste 2:n käytöllä voidaan käyrää muokata laskemaan jyrkemmin kohti osatehon paineasetusta. Säätöpiste 2:n paine- ja lämpötila-asetukset syötetään taulukkoon. Muokkausten jälkeen säätökäyrä muuttuu vastaamaan asetusarvoja.



Kuva 6. Tehonrajoituksen säätöpisteiden asetus ja säätökäyrä.

- ”Helletuuletustoiminto”, asetellaan halutut lämpötilat ja toiminta-ajat, joiden mukaan tuuletustoiminto toimii. Tästä valikosta voidaan myös kytkeä helletuuletus pois toiminnasta. Oletuksena helletuuletustoiminto käynnistyy, kun ulkolämpötila on ollut yli +25 °C yli kaksi tuntia ja laskee sen jälkeen alle +20 °C:n. Tällöin poistopuhallin ohjautuu tehostusasetukselle kahdeksi tunniksi.

Hälytysasetukset-valikosta voidaan asetella seuraavia säätöjä

- ”Poistokanavan painehälytyksen poikkeamaraja”. Kuinka suuri poikkeama sallitaan halutusta paineasetuksesta verrattuna painelähettimen osoittamaan kanavapaineeseen, ennen kuin järjestelmä antaa poikkeamasta hälytyksen.
- ”Hälytyksen viive”. Kuinka kauan järjestelmä sallii kanavapaineen pysyvän poistokanavan painehälytyksen poikkeamarajan yläpuolella ennen kuin siitä lähtee hälytys.
- ”Ristiriitahälytyksen hälytysviive”. Kuinka kauan järjestelmä sallii ohjauksikäskyn poikkeavan puhaltimen tilatiedosta, ennen kuin järjestelmä antaa hälytyksen.

Aikaohjelmat-valikosta voidaan muokata

- ”Viikko-ohjelma” -kohtaa. Viikko-ohjelmaan voidaan asetella vapaasti joka päivälle useita tehostusjaksoja. ”Lisää uusi” -kohdasta saadaan lisättyä tarvittava määrä aikaohjelmia. Kuten kuvasta 7 nähdään, voidaan samat aikaohjelmat laittaa helposti toistumaan useampina päivinä rastiittamalla halutut viikonpäivät. Yksittäisen aikaohjelman saa poistettua tyhjentämällä rastit jokaisen päivän kohdalta ja painamalla OK-painiketta.



Kuva 7. Ohjausjärjestelmän viikko-ohjelma

- ”Nykyinen arvo” -kohtaa. Tästä valikosta voidaan asettaa poistoilmapuhalin käsi- tai automaattiohjaukselle.

3.2.3 Paine-erolähetin

Järjestelmään asennetaan esimerkiksi kuvan 8 mukainen paine-erolähetin, joka kaapeloitaan Ouflexin mittaustulo-liittimiin. Paine-erolähetin voidaan asentaa

ilmanvaihtokammion sisä- tai ulkopuolelle. Jos lähetin asennetaan kammion sisäpuolelle, + -merkin mittapisteestä johdetaan taipuisa letku kanavan ulkopuolelle, jotta saadaan mitattua paine-ero kanaviston ja ulkopuolella vallitsevan ilmanpaineen välillä. Jos lähetin sijaitsee kanaviston ulkopuolella, kanavan sisälle vietään letku miinusmerkin mittapisteestä.

Jos poistoilmapuhaltimessa on valmiit paine-eron mittapisteet, voidaan letkut kiinnittää myös suoraan niihin. Tällöin paine-ero mitataan puhaltimen imukartion yli, ja mittaustulos on tarkempi kuin kanavapaineella mitattuna. Tätä paine-erolukemaa voidaan myös käyttää laskettaessa puhaltimen eri käyntinopeuksien ilmavirtoja.



Kuva 8. Paine-erolähetin ilmalle [9, s.1].

Paine-erolähetin voidaan tarvittaessa asentaa ulos huippuimurin kylkeen, koska lähetimet ovat IP-luokiteltuja ja sään kestäviä. Huomioon otettavia seikkoja ulos asennettaessa on, että kaikkien valmistajien lähettimet eivät kestä kovia pakkasia.

Jos mittaletku tuodaan ulkoilmaan, se täytyy suojata tuulen aiheuttamalta paineen vaihtelulta, joka muuten saattaa aiheuttaa vääristymää mittaustuloksiin. Hyvä vaihtoehto on käyttää kuvan 9 mukaista suojakoteloä painemittausletkulle. Kotelo asennetaan seinään ja letkun pää vietään kotelon sisään. Kotelon takaosassa on suojakalvot, jotka tasaavat paineen kotelon sisä- ja ulkopuolen välillä mutta estävät tuulen vaikutuksen mittaukseen.



Kuva 9. Produx PEL-USK -suojakotelo painemittausletkulle [10].

Asennuspaikan suhteen täytyy myös ottaa huomioon, että mittaletku ei saa jäädä talvella mahdollisesti kinostuvan lumen alle, koska tämä saattaa häiritä mittaustulosta.

3.2.4 Lämpötila-anturi

Ouflexiin liitetään lämpötila-anturi, joka mittaa vallitsevaa ulkolämpötilaa. Lämpötila-anturi tulisi asentaa rakennuksen pohjoissivulle varjoisaan paikkaan. Anturin lähellä ei saa olla lämmönlähteitä, jotka saattavat vääristää mittaustulosta. Jos kohteessa on jo valmiiksi asennettuna ulkolämpötila-anturi esimerkiksi lämmönjakopakettia varten, sitä voidaan käyttää yhtä hyvin myös ilmanvaihdon ohjaamiseen.

3.3 Järjestelmän hyödyt verrattuna perinteisiin järjestelmiin

Vakiopaineeseen perustuvan säätöjärjestelmän etu vakiopyörimisnopeusjärjestelmään verrattuna on se, että vakiopainejärjestelmässä puhaltimen ilmavirta säätyy tarpeen mukaan. Jos esimerkiksi joku asukas tukkii omat venttiilinsä, paine kanavassa kasvaa ja vakiopyörimisnopeudella toimivassa järjestelmässä poistoilmanvaihto muiden asuntojen venttiileissä lisääntyy tarpeettomasti. Vakiopainejärjestelmässä paineen lähtiessä nousemaan puhaltimen pyörimisnopeutta pudotetaan sen verran, että saavutetaan jälleen sama vakiopaine kuin ennen muutosta. Tällöin muiden asukkaiden ilmanvaihto pysyy ennallaan.

Järjestelmä toimii samalla tavoin myös silloin, jos siihen liitetään erilaisia ilmanvaihdon tehostusratkaisuja, esimerkiksi liesikuvut, joissa on tehostusläppä tai kosteusohjatut poistoilmaventtiilit. Liesikuvun tehostusläppän voi avata ruoanlaiton ajaksi, jolloin siitä aiheutuneen lämmön ja hajut saa tehokkaammin ohjattua pois asunnosta. Kuvan 10 mukaisia kosteusohjattuja poistoilmaventtiileitä taas voidaan asentaa kylpyhuoneisiin ja muihin kosteisiin tiloihin.



Kuva 10. Kosteuden mukaan säätävä poistoilmaventtiili KSO-M [11, s. 1].

Venttiilit toimivat 24 V:n pienisjännitteellä ja mittaavat jatkuvasti ilmankosteutta. Ilmankosteuden noustessa tietyn rajan yli venttiili aukeaa sähköisesti enemmän, ja ilmanvaihto tehostuu siksi aikaa, kunnes kosteus on pudonnut halutulle tasolle ja venttiili palaa jälleen normaaliasentoon.

EC-moottoreilla varustettujen puhaltimien portaaton tehonsäätö parantaa osaltaan järjestelmän energiatehokkuutta. Vanhassa järjestelmässä, jos puhallin on hieman liian tehokas, kanavistoon aiheutetaan ylimääräistä painehäviötä säätöpelleillä tai kuristamalla venttiileitä, jotta saadaan ilmapirtaa rajoitettua. EC-moottoreita käytettäessä ylimääräiset rajoittimet voidaan poistaa ja pienentää puhaltimen pyörimisnopeutta.

Ouman Ouflex A -laitteesta saadaan myös haluttaessa lähetettyä järjestelmän vikailmoitukset suoraan huoltomiehen matkapuhelimeen. Tällöin mahdollisten vikatilanteiden

huomioiminen ei jää huoltomiehen satunnaisten tarkastusten tai asukkaiden ilmoitusten varaan.

4 Laitteiston asennus saneerauskohteeseen

Saneerauskohteeksi valikoitui As Oy Kuutoset Porvoosta. As Oy Kuutosiin kuuluu kuusi vuonna 1976 valmistunutta kerrostaloa osoitteessa Humaltarhantie 1–5, 06450 Porvoo. Kohteen isännöitsijä tilasi Säätolaitahuolto Oy:ltä uudet huippuimurit ja niille älykkään ohjausjärjestelmän asentamisen Humaltarhantie 1:n kerrostaloon, johon sisältyvät A-, B- ja C-portaat.

Myöhemmin, jos laitteisto osoittautuu käytössä toimivaksi ja kustannustehokkaaksi, har- kitaan myös taloyhtiön muiden poistoilmakoneiden uusimista ja niidenkin liittämistä oh- jausjärjestelmän piiriin.

4.1 Poistoilmakoneiden valinta

A-portaalle oli oma poistokone sekä B- ja C-portaille yhteinen poistokone. Vanhat pois- tokoneet olivat kuvan 11 mukaisia Bahcon hihnavetoisia yhteiskanavapuhaltimia, jotka sijaitsivat vesikatolla poistoilmakanavan sisällä. Poistopuhallin ja moottori oli kiinnitetty poistoilmakammion kanteen.



Kuva 11. PP-7, vanha poistopuhallin.

Poistopuhaltimet olivat tulleet teknisen käyttöikänsä päähän. Puhaltimien ja moottoreiden laakerit pitivät ääntä, ja puhaltimien siivet olivat epätasapainoiset niihin kertyneen lian vuoksi. Poistokoneiden epätasapainon ja puutteellisen tärinäeristyksen vuoksi puhaltimien äänet kantautuivat kanavistoa pitkin yläkerran asuntoihin, mikä häiritsi asukkaiden päivittäistä elämää.

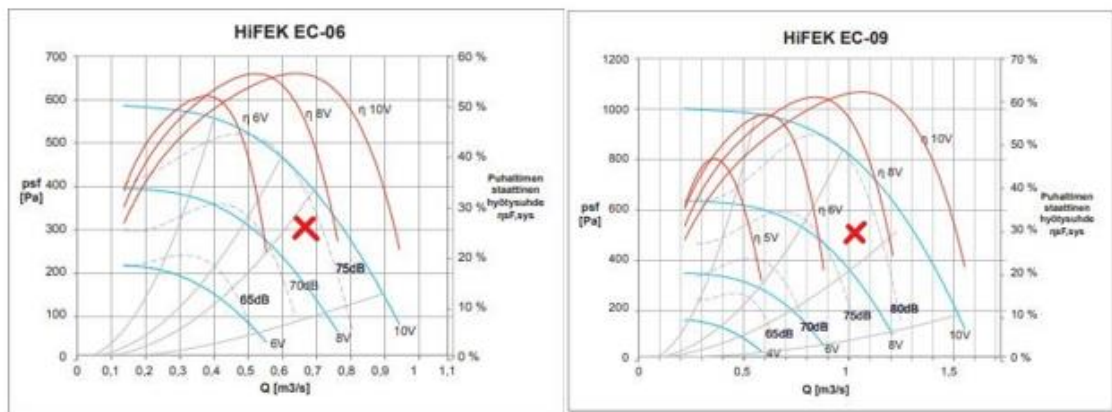
Taulukkoon 1 on merkattu vanhojen poistoilmakoneiden tiedot ja niiden alkuperäisten ilmanvaihtokuvien mukaiset ilmavirtatiedot. Vanhoissa ilmanvaihtokuvissa ilmavirrat on merkitty yksikössä m^3/h , kun taas nykyään käytetään yksikköä m^3/s . Taulukossa 1 ilmavirrat on esitetty molemmissa muodoissa, jotta uuden ja vanhan puhaltimen ilmavirtojen vertailu on helpompaa.

Taulukko 1. Vanhojen ilmanvaihtokoneiden ilmavirtatiedot

Positio	Vaikutusalue	Vanha ilmanvaihtokone	Tehostuksen ilmavirta	Normaalikäytön ilmavirta
PP-7	B- ja C-porras	BAHCO FTAK-123-222	3800 m ³ /h, 1,06 m ³ /s	1900 m ³ /h, 0,53 m ³ /s
PP-8	A-porras	BAHCO FTAK-093-220	2400 m ³ /h, 0,67 m ³ /s	1200 m ³ /h, 0,33 m ³ /s

PP-7:n vaikutusalue kattaa 7 200 m³. Tilavuudesta noin 860 m³ on yleisiä tiloja, joiden ilmanvaihtokerroin on pienempi kuin asuinhuoneistoissa. PP-8:n vaikutusalue kattaa 3 800 m³, josta yleisiä tiloja on 570 m³: ä. Oikein säädettynä ja tasapainotettuina molemmat ilmanvaihtojärjestelmät toteuttavat tehostusilmavirralla rakentamismääräyskoelman vaatimuksen, että asunnon koko ilmatilavuuden täytyy vaihtua kerran kahden tunnin aikana. [6, s. 3.]

Uusiksi poistoilmakoneiksi valikoituivat Koja Oy:n HiFEK EC -huippuimurit. Niihin päädyttiin nopean toimitusajan ja hinta-laatusuhteen vuoksi. Huippuimureiden valintaan käytettiin Koja Oy:n kuvan 12 mitoitusaulukoita. Mitoitukseen käytettiin vanhojen ilmanvaihtokoneiden tehostuksen ilmavirtatietoja ja kokemusperäistä arviota kanaviston painehäviöstä. A-portaan kanaviston painehäviöksi arvioitiin 300 Pa ja B–C-portaan kanaviston häviöksi 500 Pa. B–C-portaan koneen painehäviö arvioitiin suuremmaksi, koska siinä on pidemmät kanavistot johtuen isommasta palvelualueesta. Arvioidut toimintapisteet on merkattu kuvaan punaisilla rasteilla.



Kuva 12. Huippuimureiden HiFEK EC-06 ja HiFEK EC-09 mitoitusaulukot.

Vaakariviltä luetaan vanhan puhaltimen maksimi-ilmavirran arvosta suoraan ylöspäin arvioituun paineenkorotukseen asti, ja siihen kohtaan muodostuu puhaltimen toimintapiste. Puhaltimien valinnassa otettiin huomioon, että arvioitu toimintapiste ei ole aivan huippumurin maksimikäyrällä, vaan että molemmissa huippumureissa on hieman tehostusvaraa, jos arvio ei pidä täysin paikkaansa.

Tällä mitoituksella huippumureiksi valikoituivat A-portaaseen HiFEK EC-06 ja B–C-portaisiin HiFEK EC-09.

4.2 Poistoilmakoneiden uusiminen

Vanhat yhteiskanavapuhaltimet poistettiin kammioista ja sadesuojat purettiin poistoilmakammioiden päältä, koska huippumurit asennettiin niiden tilalle. Uusien huippumureiden moottorit sijaitsevat kammion ulkopuolella, ja kun automaatiolaitteet asennettiin ulos; myös sähkön syöttökaapelit piti tuoda kammion kyljestä vesikatolle.

Uudet huippumurit haalattiin katolle nostinliikkeen toimesta, minkä jälkeen ne asennettiin kuvan 13 mukaisesti paikoilleen.



Kuva 13. PP-8 HiFEK EC-06 asennettuna paikalleen

Kuvassa vasemmalla puhaltimen takana näkyy puhelinyhtiön linkkimasto, joka ei liity asennettuun laitteistoon.

Asennuksessa tuli ottaa huomioon, että huippuimureiden asennuskehysten imuaukot olivat suurempia kuin vanhojen puhaltimien ulospuhallusaukot, joten niitä piti laajentaa, jotta välttyttiin turhilta painehäviöiltä. Myös asennuskehysten ja kammioiden kansien välisien saumojen tiivistäminen on tärkeää, jottei kannen päälle satava vesi pääse valumaan kammion sisään ja sitä kautta talon rakenteisiin.

4.3 Automaatiolaitteiden asennus

Ouman Ouflex A -laite asennettiin kuvan 14 mukaisesti B-portaan pohjakerroksen sähköpääkeskuksen seinään omaan koteloonsa. Samassa sähköpääkeskuksessa sijaitsivat molempien poistoilmakoneiden käyttökytkimet, ja sieltä lähtivät myös niiden sähkön syöttökaapelit katolle.



Kuva 14. Ouman Ouflex A asennettuna sähköpääkeskukseen.

Ouflexille otettiin sähkö ilmanvaihtokoneiden yhdeltä sulakkeelta, jota ei enää tarvittu ilmanvaihtokoneelle, koska uudet huippuimurit ovat yksivaiheisia vanhojen kolmivaihe-koneiden sijaan. Muut sähkönsyötöltä yli jääneet kaapelit käytettiin automatiikan ohjaus-kaapeleina Ouflex A:n ja katolla sijaitsevien laitteiden välillä.

Ouflex A:lle kaapeloitiin myös ulkolämpötila-anturi. Kohteessa oli aikaisemmin ollut käytössä ohjauslaite parkkipaikkojen sähkötolpille, joka sääteli niille tulevaa sähkönsyöttöä ulkoilman lämpötilan mukaan. Laitteisto oli muuten purettu pois, mutta vanha ulkolämpötila-anturi ja sen kaapelointi oli jätetty. Hyödynsimme vanhan kaapelin ja asensimme uuden anturin ulos vanhan tilalle, näin säästyimme vaivalloiselta kaapelin vedolta sähköpääkeskuksesta talon ulkoseinälle.

Vesikatolla molempien huippuimureiden piipun kylkiin asennettiin kuvan 15 mukaisesti säänkestävät kotelot. Koteloihin asennettiin Ouman Flex Combi 21 -laajennusyksikkö, 230V/24V-muuntaja ja huippuimurin sähkönsyötön katkaiseva turvakytin. Koteloiden viereen asennettiin painelähetin, jonka mittaletkut kytkettiin suoraan HiFEK-huippuimurin paine-eron mittauspisteisiin.



Kuva 15. HiFEK EC -huippumuri ja ohjauslaitteet katolla

Flex Combi 21 -laajennusyksiköt asennettiin kohteeseen sen takia, että olemassa olevat kaapelit eivät olisi riittäneet kaikille tarvittaville huippumurin ohjauksille ja mittauksille. Combi-korttiin liitettiin kaikki katolla sijaitsevat mittaukset ja ohjaukset, minkä jälkeen tieto saatiin kulkemaan kahta väyläkaapelia pitkin sähköpääkeskuksen Ouman Ouflex A:n ja katolla sijaitsevan Flex Combi 21 -yksikön välillä.

4.4 Tehostusaikojen ja vakiopaineohjauksen asetusarvojen asettelu

Ohjausjärjestelmään asetettiin samat aikaohjelmat, jotka kohteessa olivat olleet käytössä ennen uuden järjestelmän asennusta. Vanhassa järjestelmässä oli ainoastaan kaksi tehostusjaksoa kello 10–12 ja 16–19, jotka olivat käytössä jokaisena viikonpäivänä, myös viikonloppuisin.

Osatehon pakkasrajoituksen lämpötilaksi asetettiin -11 °C ja tehostusnopeuden rajoituslämpötilaksi 15 °C . Säätokäyrän keskimmäiseksi pisteeksi asetettiin 0 °C , minkä jälkeen käyrä laskee jyrkemmin kohti osatehon asetusarvoa.

Paineasetusten arvot saatiin laskemalla Koja Oy:n ilmoittamalla laskentakaavalla huippuimurin mittayhteistä mitatun paine-eron lukema halutulla ilmavirralla. Ilmavirta voidaan laskea kaavalla 1.

$$q_v = \frac{k \times \sqrt{(\Delta p)}}{1000} = \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \quad (1)$$

Δp on puhaltimen mittayhteistä mitattu paine-ero, Pa

k on puhallinvalmistajan ilmoittama muuntoarvo

K-arvo vaihtelee eri huippuimureiden tyyppien mukaan, EC-06:n k-arvo on 26,4 ja EC-09:n k-arvo on 33,6.

Alla on esitetty PP-8:n tehostusnopeuden paine-eron asetusarvon laskenta kaavaa 1 käyttäen.

$$\Delta Pa = \left(\frac{q_v \times 1000}{26,4} \right)^2 = \left(\frac{0,33 \times 1000}{26,4} \right)^2 = 156 \text{ Pa}$$

PP-7:n ja PP-8:n tehostuksen ja osatehon säätöpisteiden paineasetuksiksi saatiin alla olevien taulukon 2:n mukaiset arvot.

Taulukko 2. Poistoilmapuhaltimien paineasetukset

Positio	Huippuimuri	k-arvo	Tehostus, m ³ /s	Tehostus, ΔPa	Osateho, m ³ /s	Osateho, ΔPa
PP-7	HiFEK EC-09	33,6	1,06 m ³ /s	960	0,53 m ³ /s	240
PP-8	HiFEK EC-06	26,4	0,67 m ³ /s	625	0,33 m ³ /s	156

Keskimmäisen 0 °C:n pisteen vakiopaineasetukseksi valittiin painelukema, joka vastaa 2/3:aa tehostuksen ja osatehon ilmavirtojen erotuksesta lisättyä osatehon ilmavirralla. Alla on esitetty PP-8:n keskimmäisen pisteen ilmavirran laskenta.

$$q_v = q_{v,osateho} + \frac{2}{3} \times (q_{v,tehostus} - q_{v,osateho}) = 0,33 \frac{m^3}{s} + \frac{2}{3} \times (0,67 - 0,33) \frac{m^3}{s}$$

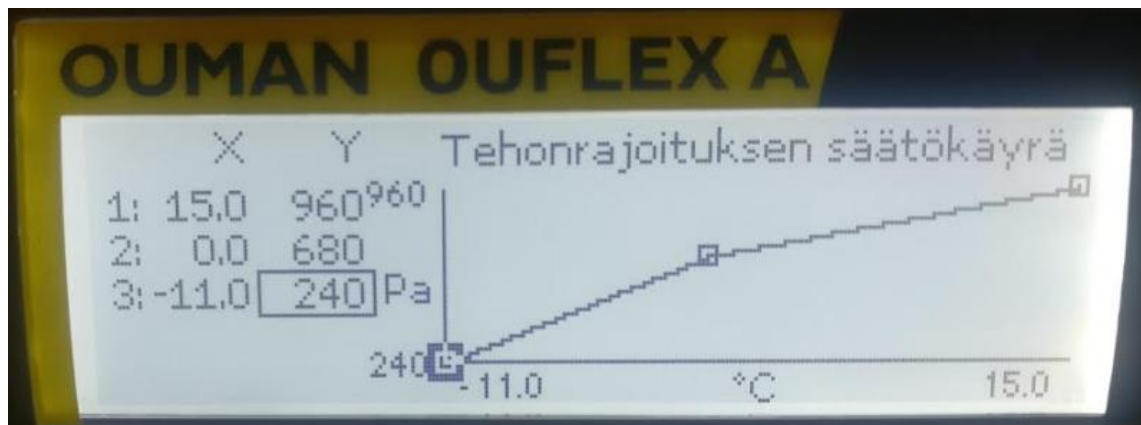
$$= 0,56 \frac{m^3}{s}$$

Keskimmäisen 0 °C:n pisteen ilmavirrat ja vakiopaineasetukset molempien poistokoneiden osalta on esitetty taulukossa 3.

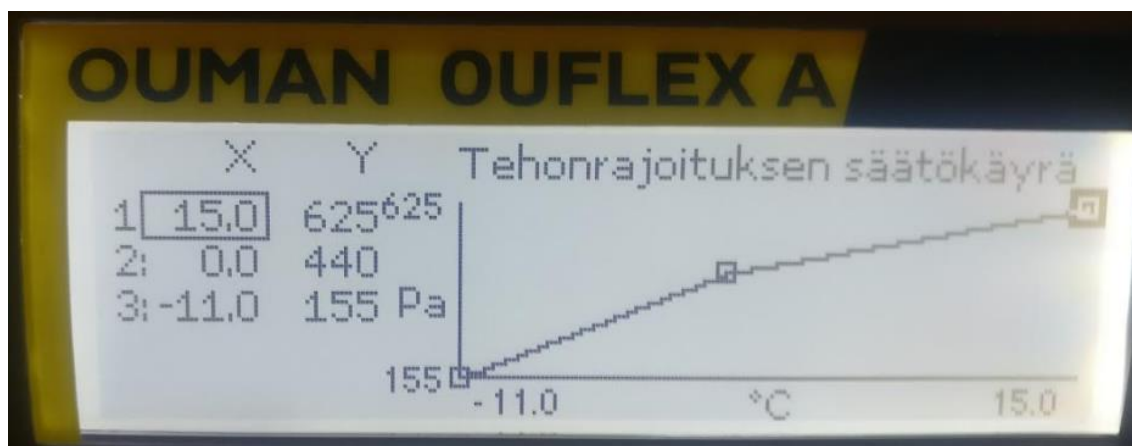
Taulukko 3. Keskimmäisen 0 °C:n pisteen ilmavirrat ja paineasetukset

Positio	Huippuimuri	k-arvo	$(\Delta_{tehostus-osateho, m^3/s}) * 2/3 + osateho, m^3/s$	0 °C paineasetus, ΔPa
PP-7	HiFEK EC-09	33,6	0,88 m ³ /s	680
PP-8	HiFEK EC-06	26,4	0,56 m ³ /s	440

Valmiit tehonrajoituksen säätökäyrät täydennettynä lämpötila- ja vakiopaineasetuksilla kuvattu Ouflex A -laitteen näytöllä kuvissa 16 ja 17.



Kuva 16. PP-7, tehonrajoituksen säätökäyrä



Kuva 17. PP-8, tehonrajoituksen säätökäyrä

5 Lämmitysenergian ja sähkönkulutuksen säästölaskelmat

Ennen kuin uusia laitteita lähdettiin asentamaan, otettiin vanhoista ilmanvaihtokoneista kaikki tarvittavat tiedot ylös. Näin pystyttäisiin laskemaan, minkä verran uudet laitteet ja älykäs ohjaus säästävät taloyhtiön sähkön ja kaukolämmön kulutuksessa.

5.1 Sähköenergian kulutusvertailu

Mittauksissa oletettiin, että myös uudet laitteet käyvät kahdella vakionopeudella samojen tehostusaikojen mukaan kuten vanhatkin koneet. Tämä oletus lisää hieman uusien ilmanvaihtokoneiden laskennallista energiankulutusta, mutta todellisen kulutuksen laskeminen ei ole mahdollista, ellei järjestelmään asennettaisi sähkötehon mittausta koko halutulle mittausjaksolle. Virrankulutus uudessa järjestelmässä ei pysy tasaisena, koska ilmanvaihtokone on vakiopainesäätöinen ja tällöin muuttuvien olosuhteiden takia automatiikka säättää pyörimisnopeutta portaattomasti pitääkseen paineen vakiona ja silloin virrankulutus muuttuu hieman koko ajan.

Moottoreiden sähkön kulutuksen laskennassa ei voida käyttää moottorin tyyppikilpeen stanssattua tehotietoa, koska se kertoo moottorin antotehon. Laskennassa täytyy käyttää moottorin sähköverkosta ottamaa tehoa, jossa on huomioitu myös moottorissa muodostuvat häviöt.

Moottoreiden sähköverkosta ottama teho lasketaan mittaamalla moottorin syöttökaapeleista pihtivirtamittarilla virrankulutus. Sähkötehon laskentakaava (2) vanhoille kolmivaihemoottoreille on

$$P_{moottori} = \sqrt{3} \times U \times I_{mitattu\ keskiarvo} \times \cos\varphi \quad (2)$$

$P_{moottori}$ on moottorin teho, kW

U on jännite (normaalisti 400V), V

I on virta, (vaiheiden keskiarvo), A

$\cos\varphi$ on moottorin vaihekulma

Uudet EC-moottorit ovat 1-vaiheisia, joten niiden virrankulutus mitataan pihtivirtamittarilla syöttökaapelista ja lasketaan kaavalla

$$P_{moottori} = U * I_{vaihe} \quad (3)$$

Vanhojen ja uusien ilmanvaihtokoneiden mitatut virrankulutukset normaalikäytöllä ja tehostuksella, moottoreiden vaihekulmat ja lasketut moottoreiden tehot on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Moottoreiden mitatut virrankulutukset ja niistä lasketut moottoreiden tehot

Vanha puhallin	Virta, vaiheiden KA	vaihekulma, $\cos \varphi$	Teho, kW
PP-7, osateho	0,6	0,55	0,23
PP-7, tehostus	2	0,82	1,14
Vanha puhallin	Virta, vaiheiden KA		Teho, kW
PP-8, osateho	0,3	0,53	0,11
PP-8, tehostus	1,3	0,76	0,68

Uusi puhallin	Virta, moottori		Teho, kW
PP-7, osateho	0,4	1 ~	0,09
PP-7, tehostus	2,4	1 ~	0,55

Uusi puhallin	Virta, moottori		Teho, kW
PP-8, osateho	0,4	1 ~	0,09
PP-8, tehostus	1,2	1 ~	0,28

Vanhojen ilmanvaihtokoneiden tehostusjaksot olivat joka päivä klo 10–12 ja 16–19, joten päivässä moottorit pyörivät tehostusnopeudella viisi tuntia. Vanhoissa ilmanvaihtokoneissa oli myös käytössä ilmanvaihdon ilmavirtojen rajoitustoiminto -11 °C :n jälkeen. Kun kokonaistehostustunneista vähennettiin tehostusaikojen tunnit, jolloin ilmanlämpötila on ollut vuonna 2018 alle -11 °C saatiin tehostuksen käyntiajaksi 1 766 tuntia ja normaalikäytön ajaksi 6 935 tuntia vuodessa. Näillä käyttötunneilla laskettuna vanhojen ja uusien moottoreiden sähkötehon kulutukseksi vuodessa saatiin taulukon 5 mukaiset laskelmat.

Taulukko 5. Moottoreiden sähkön kulutukset vuodessa.

Vanha puhallin	Teho, kW	Käyntiaika, h/a	Kulutus, kWh
PP-7, osateho	0,23	6994	1599
PP-7, tehostus	1,14	1766	2007

Vanha puhallin	Teho, kW	Käyntiaika, h/a	Kulutus, kWh
PP-8, osateho	0,11	6994	770
PP-8, tehostus	0,68	1766	1209

Kulutus vuodessa yhteensä: **5585 kWh**

Uusi puhallin	Teho, kW	Käyntiaika, h/a	Kulutus, kWh
PP-7, osateho	0,09	6994	643
PP-7, tehostus	0,55	1766	975

Uusi puhallin	Teho, kW	Käyntiaika, h/a	Kulutus, kWh
PP-8, osateho	0,09	6994	643
PP-8, tehostus	0,28	1766	487

Kulutus vuodessa yhteensä: **2749 kWh**

Kun vähennetään uusien moottoreiden sähkön kulutus vanhojen moottoreiden kulutuksesta, saadaan erotukseksi 2 836 kWh. Tämän verran vähemmän kaksi uutta EC-huippuimuria kuluttaa vuodessa vähemmän sähköä verrattuna vanhoihin yhteiskanavapuhaltimiin.

Asunto-osakeyhtiön sähkön hinta Porvoossa vuonna 2108 oli noin 0,13 €/kWh [12]. Sillä saadaan laskettua rahallinen säästö, joka sinä vuonna olisi saatu uudella järjestelmällä. Kuten taulukosta 6 käy ilmi, huippuimureiden uusimisella olisi saavutettu 368,7 €:n säästö verrattuna vanhoihin huippuimureihin. Siihen jos lisättäisiin vielä tehostusnopeuden pienentäminen ulkolämpötilan mukaan, sähköä säästyisi vielä jonkun verran enemmän.

Taulukko 6. Sähkön laskennallinen säästö vuonna 2018.

Sähkön kulutuksen erotus:	2836	kWh
Sähkön hinta 2018:	0,13	€/kWh
Säästö:	368,7	€

Uudet EC-moottorit ovat huomattavan paljon energiatehokkaampia kuin vanhat kolmi-vaihemoottorit. Niiden sähkön kulutus on laskelmien mukaan noin puolet verrattuna vanhoihin koneisiin, kuten alla olevasta taulukosta 7 selviää.

Taulukko 7. Energian säästö uusilla moottoreilla

Vanhojen moottoreiden sähkönkulutus:	5585	kWh
Uusien moottoreiden sähkönkulutus:	2759	kWh
Sähköenergian säästö vuodessa:	49	%

5.2 Lämmitysenergian kulutusvertailu

Koska saneerauskohde sijaitti Porvoossa, valittiin laskelmien pohjaksi Ilmatieteenlaitoksen Porvoon Harabackan havaintoaseman vuoden 2018 tuntikohtaiset lämpötilatiedot. Näillä tilastoilla pystyttiin laskemaan, minkä verran ilmaa uudet huippuimurit olisivat poistaneet asunnoista vuoden aikana, jos lämpötilaan sidottu tehonrajoitustoiminto olisi ollut käytössä koko viime vuoden.

Vanhojen ilmanvaihtokoneiden poistoilmavirtoina tehdyissä laskelmissa käytettiin ilmanvaihtokuvien osatehon ja tehostuksen ilmavirtatietoja, koska vanhoista puhaltimista ei ollut mahdollista mitata todellisia kokonaisilmavirtoja ja koko kiinteistön ilmavirtojen mitaamista ei ollut asennustyön puitteissa mahdollista toteuttaa. Tätä oletusta on relevanttia käyttää laskelmien pohjana, koska jos kiinteistöön suoritettaisiin ilmanvaihdon mitaus- ja säätötyö, asuntojen poistoilmavirrat säädettäisiin vanhojen ilmanvaihtokuvien mukaisesti lukemiin ja niistä muodostuisi juuri sama kokonaisilmavirta.

Uusien puhaltimien ilmavirrat saatiin asettamalla Ouman Ouflex A:sta vuorotellen jokainen lämpötila-asetus -11 °C :sta $+15\text{ °C}$:seen käsin päälle ja ottamalla ylös jokaista lämpötilaa vastaava painearvo. Koja Oy:n huippuimureiden k-arvon laskentakaavalla pysyttiin laskemaan jokaista painearvoa vastaava ilmavirta. Alle -11 °C :n ja yli $+15\text{ °C}$:n painearvoja ei tarvinnut ottaa ylös, koska niiden lämpötilojen jälkeen paineasetus pysyy muuttumattomana lämpötilasta huolimatta. Taulukossa 8 on esitetty lämpötilojen mukaiset vakiopaine arvot PP-7:lle ja PP-8:lle.

Taulukko 8. Puhaltimien vakiopaineet mittalaipan yli eri lämpötiloissa

PP-7	
°C, ulkoilma	Δp , mittalaipan yli
15	960
14	942
13	923
12	905
11	886
10	867
9	849
8	830
7	811
6	793
5	774
4	755
3	737
2	718
1	699
0	681
-1	641
-2	601
-3	561
-4	521
-5	481
-6	441
-7	401
-8	361
-9	321
-10	281
-11	240

PP-8	
°C, ulkoilma	Δp , mittalaipan yli
15	625
14	613
13	601
12	588
11	576
10	564
9	551
8	539
7	527
6	514
5	502
4	490
3	477
2	465
1	453
0	440
-1	415
-2	389
-3	363
-4	337
-5	311
-6	285
-7	259
-8	233
-9	208
-10	182
-11	155

Ilmatieteen laitoksen tilastoista poistettiin kesä-, heinä- ja elokuun lämpötilatiedot. Näin tehtiin sen takia, että vaikka ulkoilman lämpötila satunnaisesti laskisikin alle +15 °C:n, lämmitysjärjestelmä ei kuitenkaan aloita huoneistojen lämmittämistä. Siten kesäkuukausien lämpötilan muutoksilla ei ole vaikutusta kaukolämmön kulutukseen.

5.2.1 Tehostusnopeuden ilmavirtojen laskenta

Osatehon ilmavirtoja ei lämmitysenergian kulutusvertailussa tarvinnut ottaa huomioon, koska osateholla uuden ja vanhan järjestelmän ilmavirrat vastaavat toisiaan. Tällöin mittään säästöä ei synny.

Uuden järjestelmän tehostusnopeuden ilmavirrat laskettiin jokaiselle vuoden aikana olevalle tehostustunnille erikseen, kuten alla taulukon 9 esimerkistä käy ilmi. Taulukkoon on laskettu tammikuun 1. päivän tehostusaikojen ilmavirrat.

Tehostusnopeuden ilmavirta saadaan laskettua kyseisen puhaltimen k-kertoimen kaavalla (1).

Taulukko 9. Uusittujen puhaltimien tehostusnopeuksien ilmavirtoja

Koje: PP-7				
Pv	Klo	ulkoilman lämpötila	Δp , mittalaippa	tehostus ilmavirta, m ³ /h
1	10:00	0	681	3157
1	11:00	1	699	3198
1	16:00	1	699	3198
1	17:00	1	699	3198
1	18:00	0	681	3157
Koje: PP-8				
Pv	Klo	ulkoilman lämpötila	Δp , mittalaippa	tehostus ilmavirta, m ³ /h
1	10:00	0	440	1994
1	11:00	1	453	2023
1	16:00	1	453	2023
1	17:00	1	453	2023
1	18:00	0	440	1994

Ilmatieteenlaitoksen ilmoittamat lämpötilat on pyöristetty lähimpään tasalukuun, koska Ouman Ouflex A -järjestelmäkään ei mittaa lämpötilaa desimaalien tarkkuudella.

5.2.2 Tehostusilmavirralla säästetty lämmitysenergian määrä ja hinta

Jokaisen tehostustunnin osalta laskettiin myös, kuinka monta astetta lämmitysjärjestelmän on nostettava korvausilman lämpötilaa, jotta sisäilman lämpötila saadaan pidettyä vakiona. Asuntoihin tulee korvausilmareittejä pitkin sama määrä ulkoilman lämpötilassa olevaa korvausilmaa kuin poistokone poistaa asunnoista.

Laskennassa oletettiin, että lämmitysjärjestelmä nostaa korvausilman lämpötilan +17 °C:seen ja loput lämmitystarpeesta saadaan ilmaisenergioista, kuten asuinhuoneistojen laitteista, valaistuksesta ja ihmisistä. Lämmitystarveluku S17 on yleisesti käytössä rakennusten energiatarpeen laskennassa [13].

Kun tiedettiin uuden ja vanhan järjestelmän tuntikohtaisen ilmavirran erotus ja tarvittava lämpötilan nosto, pystyttiin laskemaan, kuinka paljon lämmitysenergiaa säästyy pienemmällä poistoilmanvaihdolla. Korvausilman lämpenemisen lämmitysenergian tarve lasketaan kaavalla 4. [14, s. 23.]

$$Q_{korvausilma} = \rho_i \times c_{pi} \times q_{v, korvausilma} \times (T_s - T_u) \times \Delta t \div 1000 \quad (4)$$

$Q_{korvausilma}$ on korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh

ρ_i on ilman tiheys, 1,2 kg / m³

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J / kg*K

$q_{v, korvausilma}$ on korvausilmavirta, m³/s

T_u on ulkoilman lämpötila, °C

T_s on sisäilman lämpötila, °C

Δt on ajanjakson pituus, h

Taulukossa 10 on esitetty laskennan tulokset yhden tunnin osalta ulkoilman ollessa +0 °C ja ulkoilman ollessa –10 °C. Kuten taulukosta käy ilmi, kovemmalla pakkasella järjestelmän säästämä lämpöenergian määrä kasvaa huomattavasti.

Laskenta suoritettiin molempien puhaltimen kaikille tehostustunneille samalla tavalla. Lopuksi tulokset laskettiin yhteen ja saatiin kokonaislämmitysenergian tarve uusille ja

vanhoille puhaltimille. Näiden erotuksena saatiin lämmitysenergian määrä, jonka uusi ohjausjärjestelmä olisi säästänyt, jos se olisi ollut kohteessa käytössä koko vuoden 2018.

Taulukko 10. PP-7:n lämmitysenergian tarpeet ja erotuksen energian määrät kahden tunnin osalta.

Pv	Klo	Ulkoilman t , °C	sisäilma (17°C)- ulkoilma, Δt	tehostus uusittu, m ³ /h	tehostus vanha, m ³ /h	erotus, m ³ /s	Q korvausilman lämmitys, kWh
1	10:00	0	17	3157	3800	0,179	3,65
25	18:00	-10	27	2028	3800	0,492	15,95

Koko vuoden yhteenlasketut poistoilmavirtojen erotukset molempien koneiden osalta on esitetty taulukossa 11. Samaan taulukkoon on laskettu myös rahallinen säästö vuoden ajalta. Kaukolämmön hintana on käytetty Porvoon Energian ilmoittamaa hintaa 66,28 €/MWh [15].

Taulukko 11. Tehostusnopeuden energian säästö vuodessa

Koje	Korvausilmamäärän pieneneminen		Energian säästö	
PP-7	838006	m ³	5639	kWh
PP-8	464987	m ³	2932	kWh
Yhteensä:	1302993	m ³	8571	kWh

Kaukolämmön hinta: 0,06628 €/kWh

Säästö yhteensä vuodessa:	568	€
---------------------------	------------	---

Vanhojen ja uusien ilmanvaihtokoneiden tehostusjaksojen kokonaisilmavirrat ja energiankulutukset on esitetty taulukossa 12. Prosentuaalinen säästö ilmanvaihdon tehostusajan lämmitysenergian kulutuksessa on noin 23 %.

Taulukko 12. Tehostusjaksojen ilmamäärät ja prosentuaalinen säästö vuodessa

	Kokonaisilmamäärä tehostusjaksoilla vuodessa, PP-7 ja PP-8	Kokonaisenergiankulutus tehostusjaksoilla vuodessa, PP-7 ja PP-8
Vanha järjestelmä	7020600 m ³	127860 kWh
Uusi järjestelmä	5753074 m ³	98298 kWh
Ilmanvaihdon lämmitysenergian säästö tehostusaikana:		23 %

6 Tulosten vertailu

Uusien huippuimureiden ja niiden asennustyön osuus kustannuksista oli noin 5 300 €, alv. 0 %. Laitteiden uusimisella saavutettu sähköenergian säästö on pieni suhteessa asennuskustannuksiin, jolloin takaisinmaksuaika muodostuu pitkäksi eikä työ ei ole asiakkaalle taloudellisesti kannattavaa. Kuitenkin teknisen käyttöikänsä päähän tulleet poistoilmakoneet olisi pitänyt joko tapauksessa uusia, joten vuosittaisia käyttökustannuksia vähentävät laitteet ovat kuitenkin paras mahdollinen ratkaisu.

Uudet huippuimurit ovat myös huoltokustannuksiltaan edullisemmat verrattuna vanhoihin puhaltimiin. Ne ovat käytännössä huoltovapaat, kun taas vanhoihin laitteisiin piti vaihtaa kiilahihnoja vuosittain. Näistä kuluista syntyy myös jonkin verran vuosittaista säästöä uusien huippuimureiden hyväksi.

Lämmitysenergian säästö 568 € saatiin aikaan älykkäällä ilmanvaihdon ohjauksella. Hankinta ja asennuskustannukset huomioiden ohjausjärjestelmä tuli maksamaan taloyhtiölle 2 450 €, alv. 0%. Järjestelmän käyttö maksaa itsensä takaisin noin viidessä vuodessa, joten siltä kannalta järjestelmä on melko kustannustehokas.

Kyseiseen taloyhtiöön, johon järjestelmä asennettiin, kuuluu useampia kerrostaloja. Muissa on vielä käytössä vanhat puhaltimet ja vanha ohjausjärjestelmä. Älykäs ohjaus on helposti laajennettavissa taloyhtiön muihinkin taloihin siinä vaiheessa, kun niiden huippuimureita uusitaan EC-puhaltimiksi. Talojen välillä kulkee valmis kaapelointi, jota voitaisiin hyödyntää huippuimureiden ohjaukseen. Tällöin jokaiseen taloon ei tarvitse asentaa uutta Ouman Ouflex A -laitetta, vaan kaikkia huippuimureita voidaan ohjata

samalla päälaitteella ja huippuimureille asennettaisiin edullisemmat Combi-lisäkortit. Tämä laskee järjestelmän laajennuskustannuksia huomattavasti. Myös huippuimureiden ohjaus ja asetusten muutokset, esimerkiksi tehostusaikojen muutokset, pystyttäisiin tekemään keskitetysti samasta paikasta.

7 Yhteenveto

Insinööriyön tilaajana toimi Säätolaitahuolto Oy, jonka toimialana ovat taloteknisten järjestelmien huolto- ja asennustyöt pääasiassa pääkaupunkiseudulla. Insinööriyön tavoitteena oli kehittää energiaa säästävää ja kylmillä säillä asukkaiden kokemaa vedontunnetta vähentävä ohjausjärjestelmä koneellisella poistoilmanvaihdolla varustettuihin kerrostalokohteisiin.

Suuressa osassa 1970–1990-luvuilla valmistuneista kerrostalokohteista on edelleen käytössä poistoilmanvaihtojärjestelmä, jota tehostetaan muutama tunti kerrallaan päivän aikana. Korvausilman suunnittelu on usein puutteellista, korvausilmareittejä ei ole välttämättä ollenkaan. Tällöin korvausilma tulee hallitsemattomasti sisään yleensä ikkunoiden tiivisteiden välistä ja saattaa aiheuttaa vedontunnetta.

Ohjausjärjestelmän on tarkoitus portaattomasti pienentää ilmanvaihdon tehostusajan poistoilmanvaihtoa ulkoilman lämpötilan mukaan. Mitä kylmempi ulkona on, sitä vähemmän järjestelmä tehostaa ilmanvaihtoa tehostusjaksoina. Tällöin asukkaiden kokemaa vedontunnetta vähenee, koska kylmää korvausilmaa virtaa vähemmän asuntoon ja lämmitysjärjestelmä ehtii paremmin lämmittää korvausilman. Samalla säästetään myös lämmitysenergian kulutuksessa, koska kylmillä säillä lämmitystehontarve pienenee.

Ouman Ouflex A -ohjausjärjestelmä ja uudet Koja Oy:n EC-moottoreilla varustetut huippuimurit asennettiin Porvoossa Humaltarhantie 1:ssä sijaitsevaan vuonna 1976 valmistuneeseen kerrostalokohteeseen. Ennen uusien laitteiden asentamista mitattiin vanhojen poistokoneiden sähkönkulutukset normaalikäytön ja tehostusajan nopeuksilla. Huippuimureiden ja ohjausjärjestelmän asentamisen jälkeen mitattiin uusien moottoreiden sähkönkulutukset, jotta pystyttiin tekemään laskelmat niiden sähköenergian säästön osalta. Sähköenergian säästöä saatiin laskennallisesti 368 € vuodessa. Uudet EC-moottoreilla varustetut huippuimurit kuluttavat lähes puolet vähemmän sähköä kuin vanhat kolmivaihemoottorit.

Lämmitysenergian säästö laskettiin vuoden 2018 Porvoon Harabackan sääaseman lämpötilatietojen perusteella. Tuntikohtaisesti verrattiin vanhan järjestelmän poistoilman määrää uuden järjestelmän vastaavaan. Näiden erotuksesta saatiin laskettua vuoden aikana vähentynyt korvausilman määrä ja se minkä verran vähemmän lämmitysenergiaa

kului korvausilman lämmittämiseen. Laskennallisesti vuoden 2018 osalta rahallista säästöä olisi tullut 568 €.

Insinööriyössä saavutettiin sille asetetut tavoitteet, saatiin tehtyä valmis ja toimiva ohjausjärjestelmä EC-huippuimureille. Asennuskohteesta saaduilla mittaustuloksilla pystytään osoittamaan laitteiden hankkimisen rahalliset hyödyt tuleville asiakkaalle.

Lähteet

- 1 Asuntoilmanvaihto. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy. <<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK040402.pdf>> Luettu 15.8.2019
- 2 Asuinrakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän peruskorjaus- ja parannus. 2004. RT 56-10831. Helsinki: Rakennustieto.
- 3 Ilmanvaihtokanaviston tasapainosuunnittelu. 1998. LVI 32-10118. Helsinki: Rakennustieto.
- 4 Suhteellinen säätö. 2019. Verkkoaineisto. Pietiko Oy <<https://www.pietiko.fi/mittaustietoa/suhteellinen-saato>> Luettu 8.3.2019
- 5 Ilmanvaihdon ja lämmityksen säädöt, taloyhtiöiden energiaratkaisut. 2019. Verkkoaineisto. Keski-Suomen Energiatoimisto. <<http://www.kesto.fi/default.asp?sivuID=31204>> Luettu 8.3.2019
- 6 Rakennusten ilmanvaihto. 1978. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: sisäasiainministeriö.
- 7 Säteri Jorma, Kovanen Keijo & Pallari Marja-Liisa. 1999. Kerrostalojen sisäilman ja energiatalouden parantaminen. VTT Tiedotteita 1945. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.
- 8 Ouman Ouflex A. 2019. Esite. Verkkoaineisto. Ouman Oy <https://ouman.fi/wp-content/uploads/2019/01/XM1387A_Ouflex-A_multilanguage_v.2.6_PRINT.pdf> Luettu 24.2.2019
- 9 DBT-R8. Esite. Verkkoaineisto. HK Instruments Oy <<http://hkinstruments.fi/fi/tuotteet/paine-erolahettimet-ilmalle/dpt-r8/>> Luettu 25.2.2019
- 10 PEL-USK. Esite. Verkkoaineisto. Produal Oy <http://www.produal.com/fi/shop/web_differential_pressure_transmitters_for_air/sku-1131020> Luettu 5.3.2019
- 11 KSOM Poistoilmaventtiili. Esite. 2019. Verkkoaineisto. Fläkt Woods Oy <<https://www.flaktgroup.com/fi/products/k-factor-app/ksom/>> Luettu 7.3.2019
- 12 Porvoon Energia hinnasto 2018. Verkkoaineisto. Porvoon Energia Oy <<https://porvoonenergia.fi/wp-content/uploads/2018/09/Yleinen-hinnasto-2018-09-01.pdf>> Luettu 20.9.2019

- 13 Lämmitystarveluvut. 2017. Verkkoaineisto. Motiva. < https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/mita_ovat_lammitystarveluvut> Luettu 10.10.2019
- 14 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 15 Porvoon Energia kaukolämpöhinnasto. Verkkoaineisto. Porvoon Energia Oy < <https://porvoonenergia.fi/fi/yritys/hinnasto-ja-sopimusehdot/kaukolampohinnasto-porvoo/>> Luettu 10.10.2019