



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Kosti Kuronen

Asuinkerrostalon asuntokohtainen poissaolotilanne koneellisessa poistoil- manvaihtojärjestelmässä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

12.5.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Kosti Kuronen Asuinkerrostalon asuntokohtainen poissaolotilanne koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä 43 sivua + 1 liite 12.05.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	yliopettaja Aki Valkeapää yksikönpäällikkö Sami Holmberg
<p>Insinöörityön tavoitteena oli selvittää, onko ilmanvaihdon poissaolotilanteen toteuttaminen koneelliseen poistoilmanvaihtojärjestelmään nykyjärjestelmillä mahdollista. Lisäksi työssä selvitettiin laskennallisesti poissaolotilanteen energiansäästömahdollisuuksia koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä.</p> <p>Työssä tehtiin energia- ja investointilaskelmat tarkasteltavan esimerkkitaloyhtiön ilmanvaihdon nykytilanteesta, normaalin ilmanvaihtokorjauksen tilanteesta sekä poissaolotilanteella varustetun ilmanvaihtojärjestelmän tilanteesta. Laskelmien avulla tutkittiin poissaolotilanteen vaikutusta energiansäästöön sekä eri järjestelmien elinkaarikustannuksia. Laskelmien lisäksi työssä käytettiin asiantuntijahaastatteluita tietolähteinä.</p> <p>Laskelmien avulla todettiin, että poissaolotilanteella voidaan saavuttaa merkittäviä energiansäästöjä koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä. Poissaolotilanteella varustettu järjestelmä on alkuinvestointina huomattavasti suurempi kuin perinteinen ilmanvaihtojärjestelmän korjaus, mutta elinkaarikustannuksiltaan poissaolotilanteella varustettu järjestelmä on huomattavasti edullisempi.</p> <p>Insinöörityössä todettiin, että nykyjärjestelmillä on mahdollista toteuttaa poissaolotilanne olemassa olevaan koneelliseen poistoilmanvaihtojärjestelmään, mutta poissaolotilanteella varustettua poistoilmanvaihtojärjestelmää ei ole vielä pilotoitu riittävän laajasti.</p> <p>Insinöörityö tehtiin Tapiolan Lämpö -konsernille.</p>	
Avainsanat	koneellinen poistoilmanvaihto, poissaolotilanne

Author Title Number of Pages Date	Kosti Kuronen Demand Controlled Ventilation in an Existing Fan Assisted Exhaust Ventilation 43 pages + 1 appendix 12 May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Aki Valkeapää, Principal Lecturer Sami Holmberg, Head of Department
<p>The purpose of this final year project was to study whether it is possible to add an unoccupied mode in an existing fan assisted exhaust ventilation system. The goal was to study the effects of the unoccupied mode on the energy efficiency of an existing apartment building.</p> <p>The study was carried out by generating several energy and investment calculations for an existing apartment building. The calculations covered the present state of the ventilation, a regular renovation of the ventilation, and demand controlled exhaust ventilation equipped with an unoccupied mode. Since the concept of an unoccupied mode in an old apartment building is quite recent, expert interviews were also conducted about the subject.</p> <p>The calculations proved that adding an unoccupied mode in an existing fan assisted exhaust ventilation system could make a significant difference in the heating energy demand of an apartment building. The final year project found an available product which can be used to add an unoccupied mode in an existing exhaust ventilation system.</p> <p>This final year project proved that it is possible and profitable to renovate an existing mechanical exhaust ventilation system to a demand controlled exhaust ventilation system equipped with an unoccupied mode.</p>	
Keywords	fan assisted exhaust ventilation, unoccupied mode

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä asuinkerrostalossa	2
2.1	Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän periaate	2
2.2	Koneellisen poistoilmanvaihdon kehitys asuinkerrostaloissa	3
2.3	Puhaltimien ohjaus	4
2.4	Yleisimmät ongelmat	5
3	Ilmanvaihtoon liittyvät määräykset	9
3.1	Määräysten kehitys	9
3.2	Yhteenvedo määräyksistä	11
4	Tutkimusmenetelmät	12
5	Laskentaosuus	13
5.1	Vertailukohteen esittely	13
5.2	Ilmanvaihdon nykytilanne	15
5.3	MyAir-ilmanvaihtojärjestelmä	17
5.4	Korjauskuvaukset	18
5.4.1	Peruskorjaus	18
5.4.2	Muutos tarpeenmukaiseksi poistoilmanvaihtojärjestelmäksi	19
5.5	Ilmavirtalaskelmat	20
5.6	Energialaskelmat	22
5.6.1	Laskentamenetelmät ja parametrit	22
5.6.2	Laskelmien tulokset	25
5.6.3	Tarpeenmukaisen poistoilmanvaihtojärjestelmän simulaatiot	26
5.7	Investointilaskelmat	29
5.7.1	Laskentamenetelmä	29
5.7.2	Laskentaparametrit	30
5.7.3	Investointikustannukset	31
5.7.4	Laskelmien tulokset	33
5.7.5	Herkkyystarkastelu	34

6	Haastatteluosuus	36
6.1	Haastateltavien valinta	36
6.2	Haastattelut	37
6.3	Haastattelujen yhteenveto	38
7	Yhteenveto ja pohdinta	39
	Lähteet	41
	Liitteet	
	Liite 1. Simulaatiotilanteet	

1 Johdanto

Suomessa oli vuoden 2018 lopussa hieman yli 1 400 000 kerrostaloasuntoa [1], joista lähes 60 % eli noin 800 000 asuntoa on varustettu koneellisella poistoilmanvaihtojärjestelmällä [2, s. 7]. Suuri osa näistä järjestelmistä on toteutettu kellokytkimellä ohjatulla ilmanvaihtojärjestelmällä, jolla puhalletaan asunnoista lämmintä ilmaa suoraan ulkoilmaan kellokytkimeen määritettyinä vuorokaudenaikoina vuoden ympäri.

Energiatehokkuus ja asumisviihtyvyyt ovat tämän hetken suuria trendejä rakennusalalla. Ilmanvaihtotekniikan innovaatioissa sekä energiatehokkuuteen liittyvissä asetuksissa energiatehokasta rakentamista on viime vuosina painotettu huomattavasti aiempaa enemmän. Suurin osa innovaatioista on kuitenkin kustannustehokkuudeltaan vain alkuperäisratkaisuna tehokkaita, ja asetukset koskevat lähes poikkeuksetta uusia rakennuksia. Ilmanvaihtoalan laitevalmistajat, suunnittelijat ja asiantuntijat eivät tunnu olevan kiinnostuneita kehittämään uusia ratkaisuja tai innovaatioita koneelliseen poistoilmanvaihtojärjestelmään, vaikka energiansäästöpotentiaali järjestelmässä on suorastaan valtava.

Ilmanvaihdon poissaolotilanne on yleinen esimerkiksi pientalojen koneellisissa tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmissä. Oletettavasti poissaolotilanteesta olisi kuitenkin suurempi hyöty koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä, jota ei yleensä ole varustettu lämmöntalteenottolaitteistolla. Poissaolotilannetta ei ole toistaiseksi kuitenkaan käytetty koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä.

Insinööriyössä tutkitaan asuntokohtaisen poissaolotilanteen koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä mahdollistavia järjestelmiä sekä poissaolotilanteella saavutettavia energiansäästöjä. Työ tehdään siksi, että poissaolotilannetta ei ole yleisesti käytetty koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä eikä siitä siksi ole tietoa hyvin saatavilla.

Insinööriyön tavoitteena on selvittää, onko poissaolotilanteen toteuttaminen nykyjärjestelmillä mahdollista koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä ja miten ilmanvaihdon poissaolotilanteella voidaan vaikuttaa asuinkerrostalon energiatehokkuuteen.

Insinööriyö tehdään Tapiolan Lämpö -konsernille.

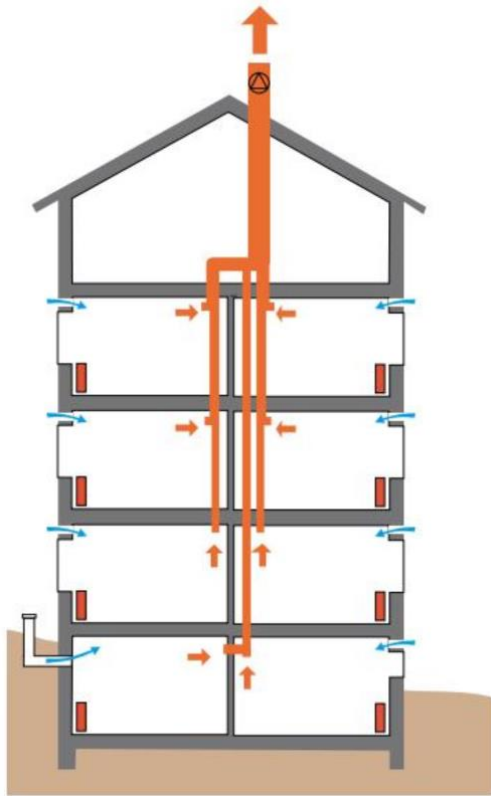
2 Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä asuinkerrostalossa

2.1 Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän periaate

Koneellinen poistoilmanvaihto toimii periaatteeltaan siten, että asunnoista imetään koneellisesti ilmaa poistoilmaventtiilien kautta ja asuntoihin tuodaan raitista ilmaa korvausilmareittien kautta. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa kaikki ilmanvaihtokanavat ovat alipaineisia asuntoon nähden ja aiheuttavat siten alipaineen myös asunnon ja ulkoilman välille. Koneellinen poistoilmanvaihto on varustettu yleisesti kammiopuhaltimella tai huippuimurilla, joita on yksi tai useampi esimerkiksi porrastai rakennuskohtaisesti. Yleisin käytössä oleva kanavointimenetelmä on yhteiskanavajärjestelmä, jossa pystysuuntaan samassa linjassa, mutta eri kerroksissa olevat asunnot on kytketty yhteisiin pystykanaviin. Harvemmin käytetyssä erilliskanavointijärjestelmässä asunnoista viedään erilliset hormit ullakotilaan, jossa ne yhdistetään kokoojakammiolla ja ohjataan huippuimurille tai kammiopuhaltimelle, joka puhaltaa poistoilman ulkoilmaan. [3, s.20.]

Asunnoissa poistoilmaventtiilit sijaitsevat tiloissa, joissa syntyy enemmän epäpuhtauksia tai muita sisäilmaston rasitteita. Näitä tiloja ovat esimerkiksi keittiö, kylpyhuone ja WC-tilat. Periaatteellisesti kaikki tilat, joissa on poistoilmaventtiileitä, pidetään alipaineisina muuhun asuntoon nähden, jotta tiloissa syntyvät epäpuhtaudet eivät pääse leviämään asunnon sisällä muihin tiloihin. Korvausilmareitit sijaitsevat asunnon oleskelutiloissa, kuten makuuhuoneessa ja olohuoneessa. Korvausilma kulkeutuu muihin asunnon tiloihin siirtoilmana ovirakojen tai siirtoilmaritilöiden avulla. [4]

Kuvassa 1 havainnollistetaan koneellisen poistoilmanvaihdon toimintaa.

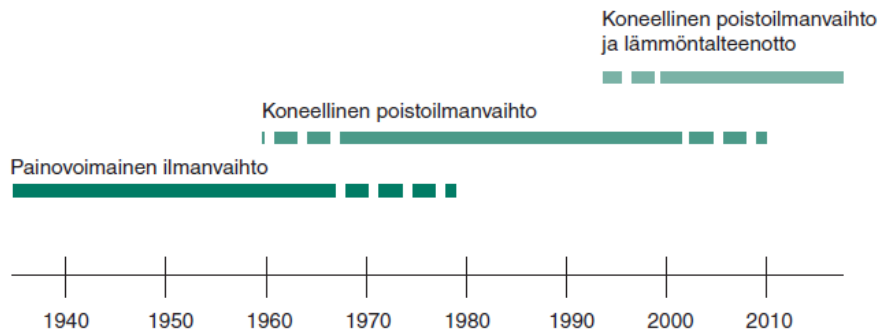


Kuva 1. Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän periaatekuva [5].

2.2 Koneellisen poistoilmanvaihdon kehitys asuinkerrostaloissa

Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä syrjäytti painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän kerrostalojen yleisimpänä ilmanvaihtoratkaisuna 1960-luvulla. Ennen 1960-lukua rakennetuista asunnoista noin 20 %:ssa on koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä, kun 1960-luvulla rakennetuista asunnoista noin 70 %:ssa on koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä. 1970-luvulla koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä oli jo ylivoimaisesti yleisin asuinkerrostalojen ilmanvaihtojärjestelmä, ja jopa 90 % kaikista 1970-luvulla rakennetuista asuinkerrostaloasunnoista on varustettu koneellisella poistoilmanvaihtojärjestelmällä. Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä säilyi yleisimpänä asuinkerrostalojen ilmanvaihtojärjestelmänä aina 1990-luvulle saakka, kunnes 1990-luvun loppupuolella koneellinen tulo-/poistoilmanvaihtojärjestelmä syrjäytti koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän. [2, s. 7.]

Kuvassa 2 on esitetty yleisimmät ilmanvaihtoratkaisut aikajanelä.



Kuva 2. Yleisimmät ilmanvaihtoratkaisut eri aikakausina [6].

Koneellisen poistoilmanvaihdon alkutaipaleella 1960-luvulla järjestelmä oli vielä hyvin kehittymätön. Aikakauden järjestelmissä ei tyypillisesti käytetty korvausilmaventtiileitä keittiöiden ja keittokomeroiden venttiileitä lukuun ottamatta, vaan korvausilma otettiin hallitsemattomasti esimerkiksi rakennevuotojen kautta [7, s. 16]. Kanavistot ja ilmanvaihtokammiot ovat tyypillisesti betonisia hormielementtejä ja paikalla valettuja betonikammioita [2, s. 20; 8]. Poistoilmaventtiilit ovat yleensä rako- tai ritiläventtiileitä, joita on käytännössä mahdotonta säätää luotettavasti [8].

1970-luvulla järjestelmässä yleistyi kierresaumattujen peltikanavien käyttö ilmanvaihtokanavina [2, s. 20]. Korvausilman saanti oli tyypillisesti hallitsematonta aina 1980-luvun loppuun saakka, jolloin rakentamismääräyskokoelma määräsi kiinnittämään enemmän huomiota korvausilman saantiin ja sen hallintaan [9, s. 85]. Liesikuvut alkoivat yleistyä 1970- ja 1980-luvuilla [8].

1990-luvulla koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä oli saavuttanut lopullisen muotonsa. Suurimmassa osassa 1990-luvun rakennuksia on alkuperäiset korvausilmaventtiilit, siirtoilmareitit huoneiden välillä ja keittiön ilmajärjestelmä voidaan tehostaa ruoanlaiton aikana lainauskytkimellä varustetun liesikuvun avulla. [8]

2.3 Puhaltimien ohjaus

Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien yleisimmät ohjaustavat eivät ole vuosien varrella muuttuneet juurikaan siitä, kun koneellista poistoilmanvaihtojärjestelmää on ryhdytty asuinkerrostaloissa käyttämään. Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjes-

telmässä on yleensä hihnakäyttöinen kaksinopeuskone, jonka nopeutta vaihtamalla ilmanvaihtoa säädetään keskitetysti kaikista puhaltimen palvelualueen tiloista. Puhallin on yleensä varustettu kellokytkimellä ja 1980-luvulta lähtien myös pakkastermostaattilla. [9, s. 85.]

Pakkastermostaattilla ohjataan pakkaspudotusta, joka mainittiin ensimmäisen kerran vuoden 1978 rakentamismääräyskokoelmassa. Pakkaspudotuksella sallittiin ilmanvaihdon pienentäminen silloin, kun ulkoilman lämpötila on 15 °C paikkakunnan mitoituslämpötilaa korkeampi. Pääkaupunkiseudulla tämä tarkoittaa nykymääräysten mukaisesti -11 °C:n ulkolämpötilaa. [10, s. 12.] Tätä ilmanvaihdon puolittamismahdollisuutta käytettiin tyypillisesti siten, että koko rakennuksen ilmanvaihtoa tehostettiin kellokytkimellä ajastettuna aikoina, jolloin ilmanvaihdon tarpeen oletettiin olevan suurempi. Käytännössä tämä johti siihen, että ilmanvaihtojärjestelmässä on keskimäärin kolmesti päivässä noin kahden tunnin tehostusjakso. Tilakohtaiset mitoitusilmavirrat toteutuvat yleensä ainoastaan tehostusaikoina. [7, s. 16-17.]

Uusimmissa koneellisissa poistoilmanvaihtojärjestelmissä on käytetty myös paineohjattuja ilmanvaihtokoneita, jotka on varustettu taajuusmuuttajilla ja paine-eroantureilla. Jos puhallin on paineohjattu, keittiöissä on oltava myös tehostettavat liesikuvut. Tällä järjestelmällä saadaan pidettyä haluttu painetaso kanavistossa, vaikka kanaviston paine muuttuu esimerkiksi liesikupujen tehostuksesta johtuen. Paineohjauksella päästään myös eroon käyttäjien tekemien toimenpiteiden ja esimerkiksi ikkunatuuletuksen aiheuttamista ilmanvaihtojärjestelmän ongelmista. [11]

2.4 Yleisimmät ongelmat

Yleisimpiä ongelmia koneellisessa poistoilmanvaihdossa on liiallinen alipaine, vedon tunne ja tunkkainen sisäilma. Myös terminen paine-ero aiheuttaa ongelmia koneellisen poistoilmanvaihdon järjestelmissä. [11]

Riittämätön tai hallitsematon korvausilma

Jos asunnossa ei ole huolehdittu riittävästä korvausilman saannista hallitusti, ilmanvaihtojärjestelmä aiheuttaa asuntoon pahimmillaan merkittävän alipaineen ulkoilmaan nähdessä. Jos asunto on liian alipaineinen, ilmanvaihtojärjestelmä ottaa korvausilman hallitsemattomasti esimerkiksi ulko-oven läpi porraskäytävästä tai rakenteiden vuotokohdista. Hallitsematon korvausilma voi aiheuttaa alipaineen lisäksi sisäilman tunkkaisuutta, jos korvausilma ei ole puhdasta ja raitista ilmaa. [12, s. 5.]

Korvausilma aiheuttaa usein myös vedontunnetta, jos ulkoilma virtaa suoraan oleskelualueelle lämmittämättömänä [12, s. 6]. Ilman jaon kannalta paras ratkaisu on seinään asennettava lautasmallinen korvausilmaventtiili. Seinäasennus vaatii kuitenkin erillisen läpiviennin ulkoseinään, ja siksi esimerkiksi ikkunatyöstöllä toteutettava rakoveventtiili on yleisempi jälkiasenteinen korvausilmaventtiili. [13]

Vanhemmat rakennukset ovat ulkovaipaltaan ja ikkunoiltaan huomattavasti hatarampia kuin nykyrakennukset, jonka vuoksi alipaineongelmia syntyy usein esimerkiksi rakennuksen ulkovaippaa tiivistävän ikkunaremontin yhteydessä, mikäli riittävään korvausilman saantiin ei kiinnitetä remontin yhteydessä huomiota. [11]

Riittämättömän tai hallitsemattoman korvausilman aiheuttamista ongelmista päästään useimmiten eroon mitoittamalla korvausilmareitit uudestaan ja varmistamalla korvausilman riittävyys. Useissa tapauksissa jälkiasenteisilla korvausilmaventtiileillä varustetut rakennukset kärsivät kuitenkin riittämättömän korvausilman aiheuttamista ongelmista, koska markkinoilla olevien korvausilmaventtiileiden avulla harvoin saadaan riittävän suuria korvausilmavirtoja varsinkaan pieniin asuntoihin. [11]

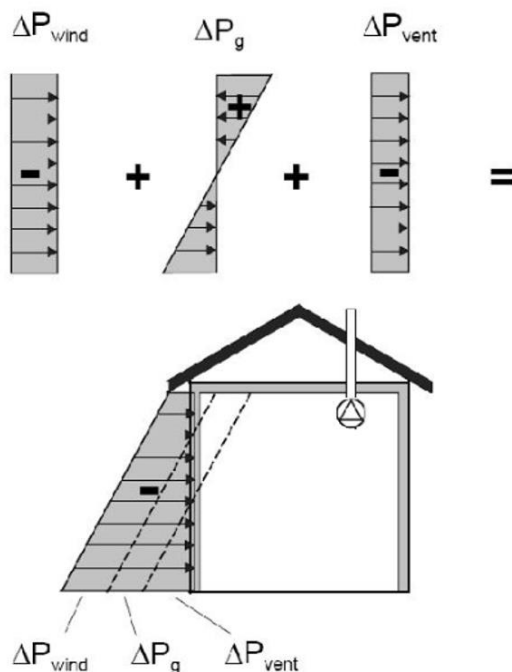
Riittämätön ilmanvaihto

Riittämätön ilmanvaihto aiheuttaa usein sisäilman tunkkaisuutta ja huonoa sisäilmaa. Riittämätön ilmanvaihto voi johtua esimerkiksi asukkaiden itse tekemistä muutoksista ilmanvaihtojärjestelmään, ilmanvaihtokoneiden hajoamisesta, ilmanvaihtokoneiden väärästä käytöstä tai ilmanvaihtokoneiden virheellisestä mitoituksesta. [11]

Riittämättömän ilmanvaihdon aiheuttamista ongelmista päästään yleensä eroon suunnittelemalla rakennuksen mitoitusilmavirrat uudestaan, varmistamalla ilmanvaihtoventtiilien sopivuus koneelliseen poistoilmanvaihtojärjestelmään sekä nuohoamalla ja säätämällä ilmanvaihtojärjestelmä uuden ilmanvaihtosuunnitelman mukaisesti. Toisinaan vanhoissa rakennuksissa voi kuitenkin olla merkittäviä kanavavuotoja, jolloin saatetaan edellä mainittujen töiden lisäksi joutua tiivistämään kanavia. [11]

Terminen paine-ero

Sisä- ja ulkoilman välinen lämpötilaero aiheuttaa rakennukseen paine-eron, joka muuttuu pystysuunnassa. Kun ulkolämpötila on kylmempi kuin sisäilman, rakennuksen alkerrokseen aiheutuu alipaine ja yläkerrokseen ylipaine. Termisen paine-ero syntyy ulko- ja sisäilman ilmassojen tiheyserosta eli termisen paine-ero syntyy aina kun ulko- ja sisälämpötilojen välillä on ero. Painovoimainen ilmanvaihto toimii periaatteeltaan termistä paine-eroa hyväksikäyttäen, mutta termisen paine-ero vaikuttaa myös koneellisessa poistoilmanvaihdossa. Termisen paine-eron lisäksi rakennuksen painesuhteisiin vaikuttaa tuuli ja koneellinen ilmanvaihto. [14, s. 12-13.] Yhdessä kaikkien tekijöiden vaikutus aiheuttaa rakennukseen kokonaispaine-eron, joka on havainnollistettu kuvassa 3.



Kuva 3. Kokonaispaine-ero koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetussa rakennuksessa. Kuva muokattu lähteestä. [14, s. 14.]

Termisen paine-eron vuoksi ulko- ja sisäilman lämpötilaeron ollessa suuri, korkean rakennuksen alimmissa kerroksissa alipaine voimistuu ja ylimmissä kerroksissa saattaa esiintyä jopa ylipainetta. Tässä tilanteessa alimpien kerrosten poistoilmavirta lisääntyy ja ylimmissä kerroksissa saattaa esiintyä jopa takaisinvirtausta. [14, s. 16.]

Terminen paine-ero on hankala ongelma, koska sen aiheuttamaa muutosta ilmanvaihdossa on lähes mahdotonta arvioida olemassa olevassa rakennuksessa luotettavasti, sillä termiseen paine-eroon vaikuttaa lämpötilan ja ilmanvaihdon lisäksi tuuli, joka on hankalasti ennakoitavissa.

3 Ilmanvaihtoon liittyvät määräykset

3.1 Määräysten kehitys

Ensimmäisen kerran ilmanvaihtoon liittyviä määräyksiä julkaistiin vuonna 1940 julkaisussa Rakentajain kalenterissa. Rakentajain kalenterissa annettiin Helsingin kaupungin rakennustarkastajan laatimat painovoimaista ja koneellista poistoilmanvaihtoa koskevat määräykset. Vuodesta 1940 Rakentajain kalenteria julkaistiin vuosittain ja määräykset olivat perusohjeena voimassa koko maassa. [7, s. 19.]

Rakentajain kalenterissa ohjeistettiin painovoimaisen ja koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän kanavakokoja, ilmanvaihtuvuutta ja ilman nopeuksia. Julkaisussa oli myös määräys huolehtia asuinhuoneiden riittävästä raittiin ilman saannista ja tuolloin ohjeistuksena oli käyttää aeroradiaattoreita, joilla raitis ilma johdetaan lämmityspatterin läpi ennen huoneilmaan pääsyä. [7, s. 19, 20.] Tavoitteelliset ilmanvaihtokertoimet määritettiin erikseen kaikille eri huonetyypeille kuvan 4 mukaisesti.

Ilmanvaihtokanavien mittoja	
A. Kanavat luonnollisessa ilmanvaihtojärjestelmässä	
1.	Kanavan poikkileikkausala vähintään 1/1 000 lattiapinta-alasta
2.	Keittiö, keittokomero ja avonainen takka vähintään 15 x 23 cm (345 cm ²) Muut tilat vähintään 15 x 15 cm (225 cm ²)
B. Poistoilmakanava koneellista imuria käytettäessä	
1.	Ilman nopeus sivukanavissa 1,0 - 1,5 m/s Pääkanavissa, keskikokoisissa 1,5 - 2,5 m/s Pääkanavissa, suurissa 2,5 - 3,0 m/sek
2.	Keittiö, keittokomero ja avoin takka vähintään 13 x 20 cm (260 cm ²) Muut tilat vähintään 13 x 13 cm (169 cm ²)
Asuintalojen ilmanvaihtolukuja	
HUONE	ILMANVAIHTOLUKU (1/h)
Asuinhuone	1 - 1,5
Keittiö	5 (vähintään 30,6 dm ³ /s)
Keittokomero	8 (vähintään 30,6 dm ³ /s)
Kylpy- ja suihkuhuone	8

Kuva 4. Ilmanvaihtojärjestelmän mitoitusohjeita vuoden 1940 Rakentajain kalenterista [7, s. 20].

Vuonna 1954 julkaistiin normaalimääräyskomitean laatimat lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden suunnittelun normaaliohjeet. Ohjeistuksissa määritettiin vähimmäisilmavirrat

asuinhuoneille, keittiölle sekä kylpy- ja WC-tiloille. [7, s. 20.] Normaaliohjeissa keittiöiden ilmavirrat olivat edelleen suuria nykymääräyksiin verrattuna. Vähimmäisilmavirtojen lisäksi normaaliohjeissa määrättiin kanavakokoja rakenneaineisille kanaville. Normaaliohjeissa ei ollut enää ohjeita ulkoilmaventtiilien asentamisesta koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä. [7, s. 21.]

Vuonna 1966 normaaliohjeita päivitettiin, mutta merkittäviä muutoksia ei tehty paitsi ohjeellisiin ilmavirtoihin. Ohjeellisia ilmavirtoja pienennettiin keittiön osalta ja vuoden 1966 normaaliohjeissa ilmavirtamitoitus ohjeistettiin lähes samalle tasolle kuin nykyään. Vuoden 1966 normaaliohjeissa ei ollut enää ohjeita ilman nopeudelle poistoilmakanavassa. [7, s. 20, 21.]

Vuonna 1978 julkaistiin ensimmäinen rakentamismääräyskokoelman osa D2. Rakentamismääräyskokoelmassa määrättiin, että tuloilmassa on oltava tarpeellinen osuus ulkoilmaa. Ohjeistus tämän määräyksen saavuttamiseksi oli ulkoilmavirta $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$, joka vastaa ilmanvaihtokerrointa $0,5 \text{ 1/h}$ normaalikorkuisessa huoneessa. Ulkoilmavirran mitoituksessa voitiin kuitenkin ottaa huomioon vuotoilmavirta merkittävänä, sillä läpitalon asunnoissa vuotoilman arvioitiin olevan $0,2 \text{ 1/h}$ ja muissa asunnoissa $0,1 \text{ 1/h}$. Läpitalon asunnoissa siis 40% ulkoilmavirroista voitiin jättää huomiotta ilmanvaihtosuunnittelussa. [10, s. 3.] Energiahäviöiden pienentämiseksi sallittiin ilmanvaihdon tilakohtaisten ilmavirtojen puolittaminen kylmällä säällä silloin, kun ulkoilman lämpötila on 15 °C korkeampi kuin paikkakunnan mitoituslämpötila. Tätä kutsutaan pakkaspudotukseksi, kuten tässä työssä on aiemmin kerrottu. [10, s. 12.]

Seuraava rakentamismääräyskokoelman osa D2 julkaistiin vuonna 1987. Merkittävin muutos aiempiin määräyksiin oli keittiön ilmanvaihdossa. Keittiön ilmanvaihdon ohjeellinen ilmavirta oli $20 \text{ dm}^3/\text{s}$, mikäli keittiössä on liesikupu tai vastaava kohdepoisto, mutta muuten poistoilmavirraksi ohjeistettiin keittiössä vähintään 50 l/s . [15, s. 16.] Suunnittelussa tämä ohjeistus nähtiin liesikupupakkona, sillä keittiön ilmavirta $50 \text{ dm}^3/\text{s}$ on käytännössä mahdoton toteuttaa yleispoistona [7, s. 22].

Vuonna 2003 julkaistussa rakentamismääräyskokoelmassa ohjeistusilmavirrat pysyivät ennallaan pieniä muutoksia lukuun ottamatta. Pienten asuntojen osalta tarkennettiin ilmanvaihdon ohjeistuksia siten, että ilmavirtoja sai suunnitella pienissä asunnoissa oh-

jeilmavirtoja pienemmäksi niin, että normaalina käyttöaikana ilmanvaihtokerroin on enintään 0,7 1/h. [16, s. 21.] Vuonna 2003 julkaistussa rakentamismääräyskokoelmassa sallittiin nyt ilmanvaihdon pienentäminen poissaolotilanteessa käyttöajan ilmavirtoja pienemmäksi, jos ilmanvaihto on asuntokohtaisesti ohjattavissa [16, s. 8].

Vuonna 2010 ja 2012 julkaistuissa rakennusmääräyskokoelmissa ei ollut enää ilmavirtojen suhteen muutoksia vuoteen 2003. Tämän insinööriyön kannalta tärkein muutos vuonna 2010 oli, että jos ilmanvaihto on asuntokohtaisesti ohjattavissa, ilmanvaihtojärjestelmä voidaan suunnitella siten, että ilmavirtoja voi pienentää asuntokohtaisesti enintään 60 %, kun asunnossa ei oleskella eikä muita merkittäviä kosteusrasituksia ole. [17, s. 10.]

Vuonna 2018 tuli voimaan ”Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta”. Tämä asetus oli siten merkittävä, että rakennusmääräyskokoelmissa oli aiemmin ollut määräyksiä ja ohjeistuksia erikseen. Käytännössä rakennusmääräyskokoelman ohjeistukset olivat kuitenkin ohjanneet suunnittelua ja niitä oli usein luettu kuten määräyksiä. Vuonna 2018 voimaan tulleessa asetuksessa oli pelkästään määräyksiä ja näin suunnittelijalle annettiin enemmän vapauksia suunnittelutyöhön. [18]

Asetuksen myötä on kuitenkin tullut myös erillisiä ohjeistuksia, joita käytetään käytännössä virallisina suunnitteluohjeina. Näitä ohjeita ovat julkaisseet esimerkiksi FINVAC ry ja Talotekniikkainfo.

3.2 Yhteenveto määräyksistä

Yhteenvetona mainittakoon merkittävimmät muutokset ilmanvaihdon osalta. Vuodesta 1940 aina vuoteen 1966 asuntojen ilmavirtaohjeistukset olivat Suomessa nykypäivään verrattain suuria ja ilmanvaihtokertoimet kasvoivat sen myötä myös suuriksi. Tämän insinööriyön kannalta mainittavat muutokset tapahtuivat vuonna 1978, kun ilmanvaihtokertoimeksi ohjeistettiin suunnittelemaan nykyäänkin käytössä oleva 0,5 1/h käyttöajan ilmavirroilla sekä vuonna 1987, jolloin rakentamismääräyskokoelma ohjeistusten avulla luotiin käytännössä liesikupupakko.

Tämän insinööriyön kannalta merkittävin muutos tapahtui kuitenkin vuonna 2010, kun asuntokohtaisesti säädettävässä ilmanvaihtojärjestelmässä sallittiin ilmavirtojen vähentäminen 60 %:lla käyttöajan ilmavirroista poissaolotilanteessa.

4 Tutkimusmenetelmät

Insinööriyön tutkimusmenetelmänä käytetään pääosin laskennallista tarkastelua. Työssä tehdään tarkasteltavaan esimerkkitilanteeseen nykytilanteen laskelmat, peruskorjatun ilmanvaihtojärjestelmän laskelmat sekä tarpeenmukaisesti ohjatun poistoilmanvaihtojärjestelmän laskelmat. Nykytilanteen järjestelmästä esitetään ilmavirtalaskelmat ja ilmanvaihdon lämmitysenergian tarpeen laskelmat. Muista järjestelmistä esitetään lisäksi elinkaaren investointilaskelmat.

Laskennallisella tarkastelulla voidaan arvioida eri ohjausjärjestelmällä varustettujen ilmanvaihtojärjestelmien eroavaisuuksia energiatehokkuudessa verrattuna nykytilanteen järjestelmään.

Koska tarpeenmukainen järjestelmä ja periaate koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä on uusi eikä aiheesta löydy kattavasti olemassa olevaa tietoa, käytetään tutkimusta tukevana tutkimusmenetelmänä asiantuntijahaastatteluita.

Haastatteluiden avulla pyritään selvittämään, voidaanko nykyisillä järjestelmillä toteuttaa asuntokohtainen poissaolotilanne koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmissä. Haastatteluilla selvitetään myös sitä, minkälaisilla järjestelmillä asuntokohtainen poissaolotilanne saadaan toteutettua.

5 Laskentaosuus

5.1 Vertailukohteen esittely

Tämän insinööriyön laskelmissa käytetään vertailukohteenä Tapiolan Lämpö Oy:n isännöimää asuinkerrostalokohdetta, joka sijaitsee Espoon Haukilahdessa. Kohteesta käytetään tässä työssä nimitystä As Oy Vertailu.

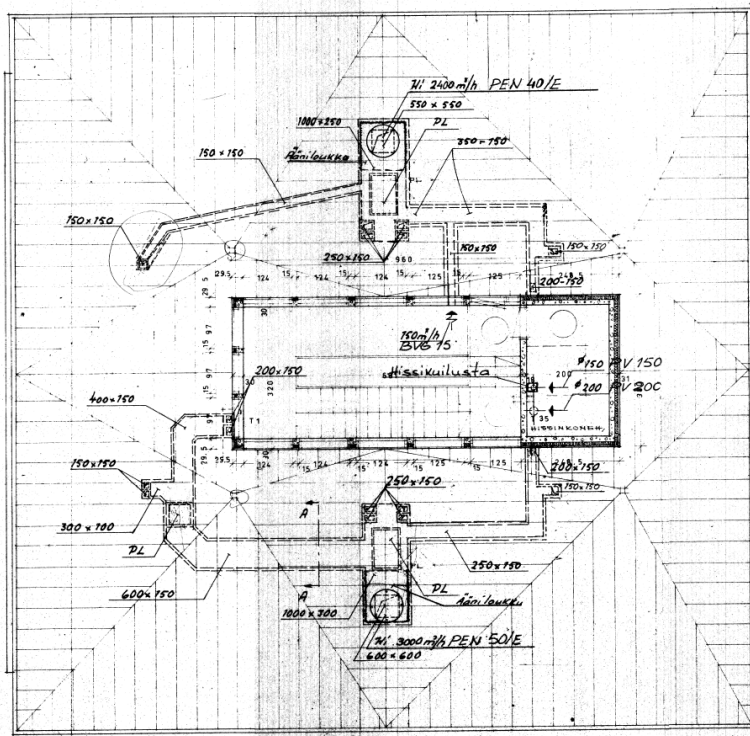
As Oy Vertailun perustiedot:

- Rakennusvuosi 1964
- Kaksi asuinkerrostalorakennusta
- Kuusi asuinkerrosta ja kellarikerros
- Molemmissa rakennuksissa yksi rappukäytävä
- Koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä

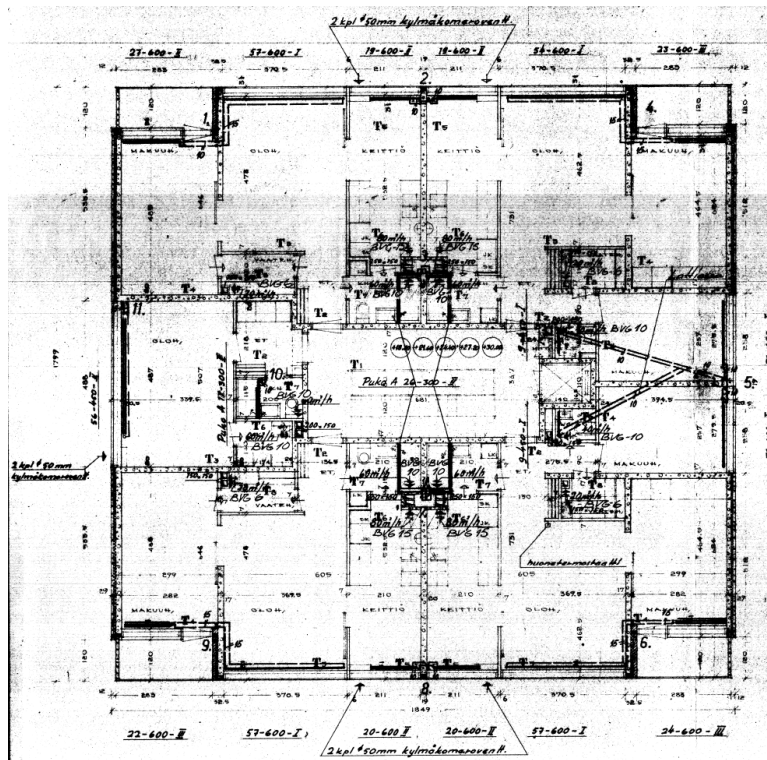
Taloyhtiössä on yhteensä 58 asuntoa ja kolmea eri asuntokokoa, jotka jakaantuvat seuraavasti:

- 25,6 m² yksiö 10 kpl
- 52,5 m² kaksio 24 kpl
- 63,7 m² kolmio 24 kpl

Taloyhtiöön on tehty linjasaneeraus vuonna 2000 ja kaikkien ikkunoiden uusiminen vuonna 2004. Kuvissa 5 ja 6 esitettynä taloyhtiön ilmanvaihtopiirustukset.



Kuva 5. Kuvakaappaus As Oy Vertailun alkuperäisestä ullakko-/vesikattokerroksen ilmanvaihtopiirustuksesta.



Kuva 6. Kuvakaappaus As Oy Vertailun alkuperäisestä kuudennen kerroksen ilmanvaihtopiirustuksesta.

Taloyhtiöistä on saatavilla alkuperäiset piirustukset sekä linjasaneerauksen aikaiset piirustukset. Piirustusten lisäksi on saatavilla joitain tutkimusdokumentteja ja -pöytäkirjoja, kuten ilmavirtojen mittauspöytäkirja vuodelta 2014. Taloyhtiön korjaushistoria on pääpiirteittäin saatavilla.

Taloyhtiössä on betoniset ilmanvaihtokanavat, joiden kunto on todettu hyväksi pistokoetyyppisen ilmanvaihtokanavien kuvausten perusteella. Ilmanvaihdon alkuperäinen ratkaisu on ollut keittiön osalta pelkkä yleispoisto ilman liesikupua tai -tuuletinta.

Taloyhtiössä on yhteensä neljä huippuimuria. Kaikki huippuimurit on uusittu vuonna 2002 ja ovat kaksinopeuksisia huippuimureita mallia Vallox 40P-6/12. Molempia rakennuksia palvelee kaksi huippuimuria.

Taloyhtiöön ei ole alkuperäisesti suunniteltu korvausilmareittejä paitsi keittiön kylmäkammeroihin. Taloyhtiöön on jälkiasennettu karmimalliset korvausilmaventtiilit mallia DirAir Air-In.

5.2 Ilmanvaihdon nykytilanne

Alkuperäisten ilmanvaihtosuunnitelmien mukaisesti taloyhtiöön on suunniteltu molempiin rakennuksiin täyden tehon ilmavirrat seuraavasti:

- 0,666 m³/s, huippuimuri 1
- 0,833 m³/s, huippuimuri 2

Taloyhtiön kokonaisilmavirraksi tehostusteholla on siis suunniteltu noin 3,0 m³/s.

Uusittujen huippuimureiden vaihtotyöstä tai niiden valintaperusteista ei ole dokumentaatiota saatavilla eikä huippuimureissa ole mittayhteitä, joten vuonna 2002 uusittujen huippuimureiden kokonaisilmavirroista ei ole tarkkaa tietoa. Insinööryötä varten tiedusteltiin huippuimureiden valmistajan Vallox Oy:n teknisestä tuesta luotettavaa tapaa mitata myynnistä poistuneen huippuimurin kokonaisilmavirtoja, mutta teknisen tuen mukaan huippuimureilta ei voida luotettavasti mitata kokonaisilmavirtaa. Kokoojakanavien ilma-

virrat on mahdollista mitata esimerkiksi pitot-putkimenetelmää käyttäen, mutta rakenneaineisten kanavien vuoksi menetelmä on haastava eikä mittausta tehty insinööriyötä varten.

Taloyhtiöön on tehty ilmanvaihtojärjestelmän nuohous- ja säätötyö vuonna 2014 sekä ilmanvaihdon pistokoemittaukset kolmeen asuntoon tehostus- ja osateholla vuonna 2018. Molemmista mittaustöistä on dokumentaatio saatavilla. Insinööriyössä käytettävä kokonaisilmavirta tehostus- ja osateholla on määritetty verraten alkuperäispiirustuksia todettuihin mittaustuloksiin. Lisäksi taloyhtiön yleisten tilojen ilmanvaihto otettiin siltä osin huomioon, että yhden rakennuksen kokonaisilmavirroista vähennettiin $200 \text{ dm}^3/\text{s}$. Näillä oletuksilla ja arvioilla taloyhtiön asuntojen nykytilanteen kokonaisilmavirroiksi määräytyi

- $2,6 \text{ m}^3/\text{s}$ tehostuksella ja
- $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ osateholla.

Tämän insinööriyön laskelmissa käytetään näitä ilmavirtoja taloyhtiön nykytilanteen kokonaisilmavirtoina. Taloyhtiön ilmanvaihtoa tarkastellaan kokonaisuutena eikä rakennuskohtaisesti, koska rakennuskohtaisella tarkastelulla teetetään ylimääräistä työtä eikä rakennuskohtainen tarkastelu tuo lisäarvoa insinööriyöhön.

Taloyhtiön huippuimureiden ohjaustapa on kellokytkin, johon on asetettu taulukon 1 mukaiset osa- ja tehostustehon käyntiajat.

Taulukko 1. Nykytilanteen ilmanvaihdon kellokytkimellä asetetut käyntiajat.

Kellonaika	Ilmavirta, m ³ /s
00.00-01.00	1,3
01.00-02.00	1,3
02.00-03.00	1,3
03.00-04.00	1,3
04.00-05.00	1,3
05.00-06.00	1,3
06.00-07.00	2,6
07.00-08.00	2,6
08.00-09.00	1,3
09.00-10.00	1,3
10.00-11.00	2,6
11.00-12.00	1,3
12.00-13.00	1,3
13.00-14.00	1,3
14.00-15.00	1,3
15.00-16.00	1,3
16.00-17.00	2,6
17.00-18.00	1,3
18.00-19.00	1,3
19.00-20.00	1,3
20.00-21.00	2,6
21.00-22.00	1,3
22.00-23.00	1,3
23.00-00.00	1,3

Taloyhtiön ilmanvaihdossa on havaittu korkealle rakennukselle tyypillisiä termisen paineeron aiheuttamia ongelmia, kuten merkittävää alipaineisuutta, vedontunnetta ja takaisinvirtausta ilmanvaihtoventtiileiltä. [11]

5.3 MyAir-ilmanvaihtojärjestelmä

MyAir-ilmanvaihtojärjestelmä on Climecon Oy:n kehittämä tarpeenmukaisesti ohjattava ilmanvaihtojärjestelmä koneellisella poistoilmanvaihtojärjestelmillä varustettuihin rakennuksiin. Järjestelmässä on kaksi pääkomponenttia: ilmanvaihtoventtiili ja keskusyksikkö. Näiden lisäksi järjestelmään kuuluu paine-eromittari ja ohjauspainike. Kaikki ilmanvaihtoventtiilit toimivat itsenäisesti ja niissä on paine-, lämpötila- ja kosteusanturit. Venttiilit toimivat automaattisesti tarpeen mukaan tai ohjauspainikkeen avulla manuaalisesti. Venttiilit reagoivat esimerkiksi kylpyhuoneessa syntyvään kosteuteen lisäämällä kylpyhuoneen ilmavirtoja. [19]

Kaikki ilmanvaihtoventtiilit yhdistetään langattomasti LoRaWAN-verkon avulla keskusyksikköön. Keskusyksiköltä mittaustiedot siirretään internetyhteydellä pilveen, josta tietoja voi tarkkailla reaaliaikaisesti. [19]

Ohjauspainikkeella käyttäjä voi ohjata esimerkiksi keittiön tehostusta ruoanlaiton aikana. Lisäksi tämän insinööriyön kirjoittamisen aikaan on valmistumassa ensimmäinen kohde, jossa ohjauspainikkeessa on lisäksi poissaolotoiminto, jolla voidaan laskea asunnon poissaolotilanteen ilmavirtoja käyttöajan ilmavirtoja pienemmäksi. [20]

Ideaalinen alkuperäinen järjestelmä MyAir-järjestelmän asennukselle on järjestelmä, jossa keittiön ilmanvaihto on toteutettu ainoastaan keittiön yleispoistolla ilman liesikupua. Tällöin järjestelmän toimiminen ideaalisesti on helpompaa ja edullisempaa, kun mahdollisia liesikupuja ei tarvitse jättää tai poistaa järjestelmästä. Järjestelmä toimii myös liesikuvuilla varustettuna, mutta ei yhtä tehokkaasti. [20] MyAir-ilmanvaihtventtiiliä ei suositella asennettavaksi liesikuvun sisälle [19].

Tämän insinööriyön laskelmissa käytetään MyAir-järjestelmää tarpeenmukaisena ilmanvaihtojärjestelmänä, koska kyseinen järjestelmä on tällä hetkellä markkinoiden ainoa ilmanvaihtojärjestelmä, jolla koneellinen poistoilmanvaihto voidaan korjata tarpeenmukaiseksi ja varustaa poissaolo-ohjauksella.

5.4 Korjauskuvaukset

Insinööriyössä vertaillaan kahta erilaista ilmanvaihdon korjaustapaa vertailukohteessa. Toisena korjaustapana on peruskorjaus ja vaihtoehtoisena korjaustapana ilmanvaihdon tarpeenmukaistaminen MyAir-järjestelmällä.

Molemmissa korjausvaihtoehdoissa asennustöiden jälkeen suoritetaan ilmanvaihtokoneiden ja kaikkien taloyhtiön päätelaitteiden säätötyö sekä parannetaan tarvittaessa ulakolla kulkevien kokoojakanavien tiiveyttä.

5.4.1 Peruskorjaus

Peruskorjaus on yleisin ilmanvaihtojärjestelmän korjaustapa. Peruskorjauksella tarkoitetaan yleisesti sitä, että ilmanvaihtolaitteisto uusitaan ja ilmavirrat säädetään alkuperäisten suunnitelmien mukaisesti. [11]

Tässä insinööriyössä As Oy Vertailun peruskorjaukseksi on määritelty kaikkien huippuimureiden vaihtotyö, ilmanvaihtoverteiliiden uusiminen tarvittavilta osin sekä uusien il-mavirtojen mitoitus.

Huippuimurit vaihdetaan suoravetoisiksi EC-huippuimureiksi, joilla voidaan säätää käyt-töajan ja tehostuksen ilmavirrat portaattomasti vertailukohteeseen sopiviksi. Uusilla huip-puimureilla päästään eroon vanhoista, kiinteästi kaksinopeuksisista huippuimureista. Laskelmissa on käytetty huippuimureina FläktGroup Oy:n STEC-3-huippuimureita.

Kohteessa on havaittu laaja skaala erilaisia ilmanvaihtoverteiliitä, joten työssä vaihde-taan kaikki poistoilmanvaihtoverteilit samaksi verteiliiksi mallia FläktGroup KSO. Vertti-lien vaihtotyöllä saadaan lisättyä ilmavirtojen säätötarkkuutta huomattavasti.

Peruskorjauksen sisällöllä ei voida tuoda taloyhtiön ilmanvaihtoon tarpeenmukaisuutta, koska ilmanvaihto pysyy kellokytkimellä ohjattuna.

5.4.2 Muutos tarpeenmukaiseksi poistoilmanvaihtojärjestelmäksi

Tässä korjaustavassa kaikki asuntojen määräävät poistoilmanvaihtoverteilit vaihdetaan MyAir-ilmanvaihtoverteileiksi. Määräävillä ilmanvaihtoverteileillä tarkoitetaan kaikkien keittiöiden, kylpyhuoneiden ja WC-tilojen verteilejä. Vaatehuoneisiin vaihdetaan nor-maalit ilmanvaihtoverteilit mallia FläktGroup KSO.

Huippuimurit uusitaan vakiopaineohjattaviksi huippuimureiksi mallia FläktGroup STEC-3. Vakiopainesäädöllä varustettujen huippuimureiden pyörimisnopeus muuttuu kanaviston vallitsevan paineen mukaisesti, yrittäen saavuttaa määritetyt painetasot. Esi-merkiksi kun verteilit avautuvat ja kanavapaine pienenee, huippuimuri nostaa kierrosno-peuttaan ja verteiliiden sulkeutuessa huippuimuri laskee kierrosnopeuttaan.

Asuntoihin asennetaan ohjauspainikkeet, joilla voidaan ohjata ilmanvaihtoverteileitä ma-nuaalisesti. Ohjauspainikkeella voidaan tehostaa ilmanvaihtoa tai asettaa poissaoloti-lanne käyttöön.

Lisäksi taloyhtiöön asennetaan MyAir-järjestelmään kuuluva keskusyksikkö.

5.5 Ilmavirtalaskelmat

Peruskorjauksen ilmavirrat mitoitetaan normaalisti nykyasetusten ja ohjeistuksien mukaisesti. Peruskorjauksen ilmavirrat on mitoitettu FINVAC ry:n julkaisemaa ohjetta ”Opas ilmanvaihdon mitoitukseen asuinrakennuksissa” mukaillen.

Tarpeenmukaisen poistoilmanvaihtojärjestelmän ilmavirrat suunnitellaan ohjeistuksien mukaan siten, että asunnoissa mahdollistetaan myös asuntokohtainen tehostus ja poissaolotilanne. Tarpeenmukaisessa järjestelmässä voidaan puhua kolmesta eri mitoitusilmavirrasta: poissaolotilanteen ilmavirta, normaalin käyttöajan ilmavirta ja tehostustilanteen ilmavirta. Näissä kolmessa eri tilanteessa on eri mitoitusilmavirrat, jotka määritellään asetuksen 1009/2017 pykälän 10§ mukaan seuraavasti:

Asuinhuoneiston ilmavirtojen ohjaus on suunniteltava niin, että tulo- ja poistoilmavirtoja voi ohjata joko rakennus- tai asuntokohtaisesti siten, että niitä voidaan tehostaa vähintään 30 prosenttia suuremmaksi kuin suunnitellun käyttöajan ilmavirrat. Jos ilmanvaihtoa voi ohjata asuntokohtaisesti, asuinhuoneiston tulo- ja poistoilmavirtoja voidaan pienentää enintään 60 prosenttia suunnitellun käyttöajan ilmavirroista. [21]

Ilmavirtojen suunnittelussa otetaan huomioon Talotekniikkainfo-sivustolla oleva ohjeistus asuntokohtaisesti ohjattavan ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelusta:

Mikäli asuinrakennuksen ilmanvaihdon tehostusta voidaan ohjata asuinhuoneistokohtaisesti, voidaan keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän tehostuksen aikaisen kokonaisilmavirran mitoituksessa huomioida tehostustarpeiden eriaikaisuus ja näin välttää ilmanvaihtojärjestelmän tarpeeton ylimitoitus. Mikäli tehostustarpeiden samanaikaisuus on tiedossa, mitoitetaan ilmanvaihtojärjestelmän tehostustilanteen ilmavirta suurimman samanaikaisen tarpeen mukaisesti. [22]

Koska tutkimuksen kohteena olevan taloyhtiön tehostustarpeiden samanaikaisuus ei ole tiedossa, voidaan käyttää tehostusilmavirtojen mitoituksessa kaavaa 1.

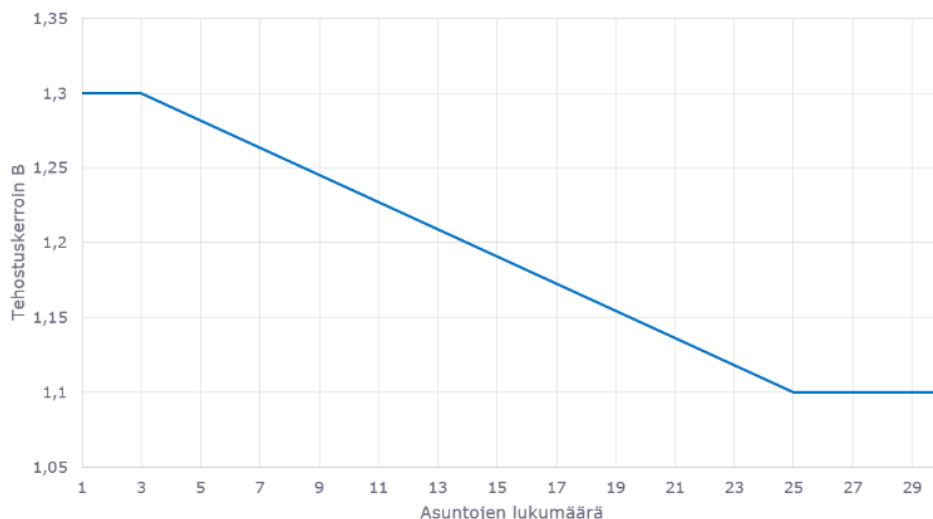
$$V_{mit} = B * V_{ka} \quad (1)$$

jossa

V_{mit}	ilmanvaihtojärjestelmän mitoitusilmavirta tehostustilanteessa
B	on tehostuskerroin
V_{ka}	on käyttöajan ilmavirta

Kaavassa käytettävä tehostuskerroin saadaan kuvaajasta, joka on esitetty kuvassa 7.

Tehostuskerroin B



Kuva 7. Asuntokohtaisella ilmanvaihdon tehostuksella varustetun asuinrakennuksen keskitetyn ilmanvaihdon tehostusilmavirran mitoitukseen käytettävä tehostuskerroin [22].

Kuvaajan mukaisesti tässä insinööriyössä esiteltävän taloyhtiön tehostustilanteen ilma-
virran mitoituksessa voidaan käyttää tehostuskertoimena kerrointa 1,1. Ilman asuntokohtaista ohjausta tehostuskerroin olisi 1,3. Taulukossa 2 on esitetty vertailukohteeseen tehdyt ilmavirtamitoitukset.

Taulukko 2. Asuntojen mitoitusilmavirrat molemmissa korjausvaihtoehdoissa. Ilmavirrat on esitetty litroina dm^3/s .

ASUNTOJEN MITOITUSILMAVIRRAT									
Asuntotyyppi	Pinta-ala, m ²	Keittiö	KPH	WC	VH	Ilmanvaihtokerroin	Poissaolo	Käyttöaika	Tehostus
AT 1	63,7	8	10	7	5	0,678	12	30	39
AT 2	52,5	8	10	-	6	0,658	10	24	31
AT 3	25,6	8	10	-	-	1,013	7	18	23

Asuntojen mitoitusilmavirrat ovat samat molemmissa korjaustavoissa, mutta ilmanvaihtokoneiden kokonaisilmavirtojen mitoituksessa syntyy ero tarpeenmukaisesti ohjattavan järjestelmän kuvan 7 mukaisesta mitoitustilanteen tehostuskertoimesta.

Taulukko 3. Ilmanvaihtokoneiden mitoitusilmavirrat molemmissa korjausvaihtoehdoissa. Ilmavirrat esitetty kuutioina m³/s.

ILMANVAIHTOKONEIDEN MITOITUSILMAVIRRAT		
	Peruskorjaus	MyAir-järjestelmä
Poissaolotilanne	-	0,59
Normaali käyttöaika	1,48	1,48
Tehostustilanne	1,92	1,62

Taulukossa 3 on esitetty koko taloyhtiön mitoitusilmavirrat, koska insinööriyössä käsitellään taloyhtiön ilmanvaihtoa kokonaisuutena eikä yksittäisten huippuimureiden palvelualueittain. Taulukoissa 2 ja 3 esitettyjä mitoitusilmavirtoja käytetään insinööriyön energialaskelmien ilmavirtoina.

5.6 Energialaskelmat

5.6.1 Laskentamenetelmät ja parametrit

Taloyhtiön ilmanvaihdon lämmitysenergian tarve lasketaan ympäristöministeriön laatimaa ohjetta rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaan soveltaen [23]. Järjestelmässä ei ole lämmöntalteenottoa ja korvausilmaventtiilit ovat karmiventtiileitä ilman tuloilman lämmitystä. Käytännössä työssä käytetään lämmitettävänä ilmavirtana kokonaisuudessaan mitoitustilanteiden ilmavirtoja ilman vähennyksiä tai kompensointeja. Laskennassa ei otettu huomioon kesäkuukausia, jolloin taloyhtiön lämmityksen oletetaan olevan poissa käytöstä. Laskennan ulkopuolelle on jätetty kesä-, heinä- ja elokuu.

Sisäilman lämpötilaksi on määritetty laskelmissa 21 °C. Todellista tietoa sisäilman vallitsevista lämpötiloista ei ole saatavilla. Taloyhtiöön on tehty lämmitysjärjestelmän perussäätö sekä patteriventtiilien vaihtotyö vuonna 2002, joten lämmityksen voidaan olettaa olevan jokseenkin tasapainossa, vaikka suuriakin lämpötilaeroja asuntojen välillä voi olla.

Koska rakennuksessa ei ole koneellista tuloilmaa, tuloilman lämmitystä eikä poistoilman lämmöntalteenottoa, laskelmissa käytetään ilmanvaihdon lämmitysenergian tarpeen laskennassa kaavaa 2 [23].

$$Q_{iv} = (\rho_i * c_{pi} * q_{v,korvausilma} * (T_s - T_u) * \Delta t) / 1000 , \quad (2)$$

jossa

Q_{iv}	korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh
ρ_i	ilman tiheys, 1,2 kg/m ³
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/kgK
q_v	korvausilmavirta, m ³ /s
T_s	sisäilman lämpötila, °C
T_u	ulkoilman lämpötila, °C
Δt	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Ilmanvaihdon lämmitysenergian tarpeen laskennassa on kolme muuttujaa: ilmavirta, ulkoilman lämpötila sekä ajanjakson pituus. Ilmavirtoina käytetään aiemmin laskettuja mitoitusilmavirtoja.

Taloyhtiön ilmanvaihdon lämmitysenergian tarpeen laskennassa käytetään ulkolämpötiloina rakennusten energialaskennan testivuoden (TRY2012) tuntikohtaisia ulkolämpötiloja. Testivuosi on kehitetty energialaskentaa varten ja testivuoden valinnassa on noudatettu standardia SFS EN ISO 15927-4:2005. [24] Rakennusten energialaskennan testivuoden valinta tehdään seuraavasti:

Testivuosi koostuu kutakin kuukautta edustavista todellisuudessa esiintyneistä ns. tyyppikuukausista, jotka valitaan paikkakunnan pitkäaikaisesta säähavaintoaineistosta tilastollisten valintakriteerien mukaisesti. Jotta testivuoteen valittujen kuukausien vaiheissa ei esiintyisi jyrkkiä sääsuureiden muutoksia, on sääsuureiden (lämpötila ja suhteellinen kosteus) arvoja muokattu kuukauden viimeisten ja ensimmäisten tuntien osalta. [24]

Taulukossa 4 esitetään energialaskennan testivuodessa käytetyt kuukaudet.

Taulukko 4. Energialaskennan testivuosiin valitut kuukaudet eri lämpötilavyöhykkeillä [24].

Kuukausi / vyöhyke	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I-II (Vantaa)	1990	1998	1994	2009	2006	2005	2008	2003	1997	1981	1989	1998
III (Jyväskylä)	1984	2004	2008	1991	2008	1985	2009	1980	1997	1998	2007	1983
IV (Sodankylä)	1988	1983	1985	2009	2007	1988	1991	2004	2003	1995	1981	1997

Peruskorjauksen vaihtoehdossa ilmanvaihdon käyttötilanteen ajanjakson pituus määritetään taulukossa 1 esitettyjen kellokytkimelle asetettujen käyttöaikojen mukaisesti.

Tarpeenmukaisella ohjauksella varustetun koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän energiankulutuksen laskeminen ei ole yhtä yksinkertaista kuin kello-ohjauksella varustetun järjestelmän. Tässä insinööriyössä tutkitaan poissaolotilanteen mahdollistamia säästöjä, joten laskenta vaatii käyntiaikojen asettamista oletukseen perustuen. Insinööriyössä on oletettu, että taloyhtiössä asuu normaalissa päivätyössä käyviä henkilöitä ja käyntiajat on määritetty oletuksen mukaisesti. Taulukossa 5 on esitetty oletetut käyntiajat erikseen arkipäiville ja viikonlopuille.

Taulukko 5. Tarpeenmukaisessa järjestelmässä oletuksilla asetetut käyntiajat.

Kellonaika	Arkipäivät	Viikonloput ja pyhät
00.00-01.00	1,48	1,48
01.00-02.00	1,48	1,48
02.00-03.00	1,48	1,48
03.00-04.00	1,48	1,48
04.00-05.00	1,48	1,48
05.00-06.00	1,48	1,48
06.00-07.00	1,48	1,48
07.00-08.00	1,48	1,48
08.00-09.00	1,62	1,62
09.00-10.00	0,59	1,48
10.00-11.00	0,59	1,48
11.00-12.00	0,59	1,48
12.00-13.00	0,59	1,48
13.00-14.00	0,59	0,59
14.00-15.00	0,59	0,59
15.00-16.00	0,59	0,59
16.00-17.00	0,59	1,48
17.00-18.00	1,62	1,62
18.00-19.00	1,48	1,48
19.00-20.00	1,48	1,48
20.00-21.00	1,48	1,48
21.00-22.00	1,48	1,48
22.00-23.00	1,48	1,48
23.00-00.00	1,48	1,48

Taulukosta nähdään, että arkipäiville on oletettu kahdeksan tunnin poissaolotilanne ja muille päiville kolmen tunnin poissaolotilanne.

Kokonaisenergiankulutuksen laskennassa tulee ottaa huomioon myös huippuimureiden sähkönkulutus. Nykyisten huippuimureiden sähkönkulutus on saatu huippuimureiden tyyppikilvistä ja uusien STEC-3-huippuimureiden sähkönkulutukset eri ilmanvaihdon tilanteissa on saatu tekemällä koneajot FläktGroup Oy:n Centriware-ohjelmistolla.

Kaikissa tilanteissa huippuimureiden paineenkorotukseksi on asetettu 200 Pa, vaikka todellisuudessa paineenkorotuksen tarve riippuu ilmavirtojen tarpeesta. Tällä on kuitenkin oletettu olevan pieni vaikutus sähköenergian kulutukseen. Paineenkorotus 200 Pa on arvio, eikä laskettu tarvittava paineenkorotus. Taulukossa 6 on esitetty huippuimureiden sähkötehot eri tilanteissa.

Taulukko 6. Huippuimureiden yhdistetyt ottotehot esitettynä kaikilla vaihtoehdoilla.

HUIPPUIMUREIDEN OTTOTEHO, kW			
	Nykytilanne	Peruskorjaus	MyAir-järjestelmä
Poissaolotilanne	-	-	0,312
Käyttöajan tilanne	0,28	0,592	0,592
Tehostustilanne	2,2	0,768	0,644

Energiansäästöpotentiaalin laskentaa varten kaukolämmölle ja sähkölle määritetään hinnat markkinahintojen mukaisesti.

Kaukolämmön hintana käytetään Energiategollisuus ry:n julkaiseman kaukolämmön hintataulukon hintaa. Hintataulukko on julkaistu 20.2.2020. Toimittajaksi hintataulukosta on valittu Fortum Power and Heat Oy, joka toimii Espoon alueella.

Sähkön hinta määritetään tarkastamalla Caruna Oy:n siirtohintaa ja Fortum Oy:n sähkön myyntihintaa. Hinnat tarkastettiin 1.4.2020, jolloin siirtohintaa oli 3,14 c/kWh, myyntihintaa 6,64 c/kWh ja sähkövero 2,794 c/kWh.

Taulukossa 7 on esitetty laskelmissa käytetyt kaukolämmön ja sähkön kokonaishinnat toimitettuna.

Taulukko 7. Laskelmissa käytettävät energiahinnat. Hinnat sisältävät kaikki kulut ja verot.

	Hinta, €/MWh
Kaukolämpö	87,5
Sähkö, kokonaishinta	125,7

5.6.2 Laskelmien tulokset

Taulukoissa 8 ja 9 esitetään As Oy Vertailun ilmanvaihdon energiankulutuksen laskelmat laskettuna aiemmin esitetyillä menetelmillä ja parametreilla.

Taulukko 8. As Oy Vertailun ilmanvaihdon lämmitysenergiantarve vuodessa eri järjestelmillä.

	<i>Lämmitysenergian kulutus, MWh/vuosi</i>	<i>Erotus nykytilanteeseen, MWh</i>	<i>Kulutus rahassa, €/vuosi</i>	<i>Säästö rahassa, €/vuosi</i>
Nykytilanne	259,3	-	22 698,02 €	-
Peruskorjaus	258,9	-0,4	22 660,69 €	37,33 €
MyAir-järjestelmä	201,5	-57,8	17 636,10 €	5 061,92 €

Taulukko 9. As Oy Vertailun ilmanvaihtolaitteiston sähköenergian kulutus vuodessa.

	<i>Sähköenergian kulutus, MWh/vuosi</i>	<i>Erotus nykytilanteeseen, MWh</i>	<i>Kulutus rahassa, €/vuosi</i>	<i>Säästö rahassa, €/vuosi</i>
Nykytilanne	5,96	-	748,99 €	-
Peruskorjaus	5,51	-0,4	692,45 €	56,54 €
MyAir-järjestelmä	4,56	-1,4	573,57 €	175,42 €

Laskennan tuloksista voidaan havaita, että venttiiliohjausjärjestelmällä voidaan saavuttaa vuositasolla merkittäviä säästöjä nykytilanteeseen tai peruskorjaukseen verrattuna. Keskitetyssä ilmanvaihtojärjestelmässä sähkönkulutus on yleisesti melko pientä ja kuten tuloksista voidaan todeta, sähkönkulutuksessa syntyy säästöjä lämmityksen säästöihin verrattuna vähän.

Tämän laskelman mukaan tarpeenmukaisella ilmanvaihdon ohjauksella voidaan säästää noin 5 200 € vuodessa sisältäen lämmitysenergian ja sähköenergian säästöt koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä. Ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutusta voidaan pienentää vuositasolla jopa viidenneksellä.

Tuloksia tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon muuttuvat tekijät, jotka muuttavat tuloksia merkittävästi. Näitä ovat energian hinta sekä laskelmissa käytetyt eri ilmanvaihtolaitteiden käyttäjät.

5.6.3 Tarpeenmukaisen poistoilmanvaihtojärjestelmän simulaatiot

Koska tarpeenmukaisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä on muuttuvat ilmavirrat eikä todellisuudessa toteutuvia ilmavirtoja voida tietää, tehdään insinööriyössä simulaatioita

erilaisista ilmanvaihdollisista tilanteista. Simulaatiot tehdään Excel-ohjelmistolla laskennallisesti.

Simulaatioilla pyritään tuomaan esille pienistäkin muutoksista syntyviä vaikutuksia kustannuksiin. Simulaatioissa ei lasketa sähkönkulutusta vuositasolla, koska laskenta olisi tarpeettoman työlästä ja erot sähkönkulutuksessa ovat niin pieniä, että niillä ei ole merkitystä kokonaiskulutuksessa.

Simulaatioissa käytetään käyttöaikoina taulukossa 5 määritettyjä käyntiaikoja, mutta näiden käyntiaikojen aikaisia ilmavirtoja muutetaan muuttamalla asuntojen ilmavirtoja prosentuaalisesti. Taulukossa 10 esitettyssä simulaatioissa jokaisen ilmanvaihdon tilanteen arvioidaan olevan samanaikaisesti käytössä 70 %:ssa asuntoja.

Taulukko 10. Esimerkki simulaation Excel-laskelmasta.

Poissaolotilanne						
	Ilmavirta					
Poissaolo	413,28	l/s			Prosentti asunnoista	70 % poissa
Käyttöaika	442,8	l/s			Prosentti asunnoista	30 % käyttö
Tehostus	0	l/s			Prosentti asunnoista	0 % teho
Kokonais	856,08	l/s	0,86	m ³ /s		
Normaali käyttöaika						
	Ilmavirta					
Poissaolo	177,12	l/s			Prosentti asunnoista	30 % poissa
Käyttöaika	1033,2	l/s			Prosentti asunnoista	70 % käyttö
Tehostus	0	l/s			Prosentti asunnoista	0 % teho
Kokonais	1210,32	l/s	1,21	m ³ /s		
Tehostustilanne						
	Ilmavirta					
Poissaolo	0	l/s			Prosentti asunnoista	0 % poissa
Käyttöaika	442,8	l/s			Prosentti asunnoista	30 % käyttö
Tehostus	1343,16	l/s			Prosentti asunnoista	70 % teho
Kokonais	1785,96	l/s	1,79	m ³ /s		

Taulukossa 10 esitetyn esimerkin mukaisesti on luotu erilaisia ilmanvaihdollisia tilanteita taloyhtiössä, kun käytössä on tarpeenmukaisesti ohjattu MyAir-järjestelmä. Huomioitavaa on, että kun 70 % asunnoista on mitoitustehostuksella, ilmavirrat kasvavat suuremmaksi kuin huippuimureiden mitoitusilmavirrat.

Asuntojen prosentuaalisia ilmanvaihtotilanteita muuttamalla voidaan myös manipuloida ilmanvaihtotilanteiden käyntiaikoja siten, että esimerkiksi normaalin käyttöajan ilmavirrat

muutetaan poissaolotilanteen ilmavirroiksi, jolloin energiankulutus lasketaan sekä poissaolotilanteen käyntiaikoina että käyttöajan käyntiaikoina poissaolotilanteen ilmavirtojen arvoilla.

Simulaatiotilanteita tehdään insinööriyössä yhteensä viisi. Näistä ensimmäisessä korostetaan tilannetta, jossa ilmanvaihdon poissaolotilannetta ei käytetä aktiivisesti ja viidennessä korostetaan tilannetta, jossa ilmanvaihdon poissaolotilannetta käytetään myös normaalin käyttöajan käyntiaikoina. Simulaatioiden tulokset on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Simulaatioiden avulla tuotetut laskelmat tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän vuosittaisista kulutuksista ja säästöistä verrattuna nykytilanteeseen.

	<i>Ilmavirta, poissaolo (m³/s)</i>	<i>Ilmavirta, käyttöaika (m³/s)</i>	<i>Ilmavirta, tehostus (m³/s)</i>	<i>Lämmitysenergian kulutus, MWh/vuosi</i>	<i>Erotus nykytilanne, MWh</i>	<i>Kulutus rahassa, €/vuosi</i>	<i>Säästö rahassa, €/vuosi</i>
Simulaatio 1	1,21	1,39	1,63	228,0	-31,4	19 954,25 €	2 743,77 €
Simulaatio 2	0,86	1,21	1,79	190,1	-69,3	16 633,91 €	6 064,11 €
Simulaatio 3	0,77	1,25	1,43	185,3	-74,1	16 213,49 €	6 484,53 €
Simulaatio 4	0,86	1,17	1,48	181,3	-78,0	15 867,58 €	6 830,44 €
Simulaatio 5	0,86	0,94	1,48	158,8	-100,5	13 902,18 €	8 795,84 €

Taulukossa 11 kolme eri ilmavirtaa tarkoittaa eri ilmanvaihtotilanteen oletettujen, taulukossa 5 esitettyjen käyntiaikojen mukaisia tilanteita. Mitoitustilanteen ilmavirta poissaolotilanteelle on 0,59 m³/s, normaalin käyttöajan tilanteelle 1,48 m³/s ja tehostusajan tilanteelle 1,62 m³/s. Liitteessä 1 on esitetty kaikkien simulaatiotilanteiden prosentuaaliset ilmanvaihtotilanteet.

Simulaatioiden tuloksista voidaan todeta, että tarpeenmukaisesti ohjatulla MyAir-järjestelmällä on merkittävä säästöpotentiaali taloyhtiön ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutuksessa. Havaitaan myös, että eroavaisuudet ensimmäisen ja viimeisen simulaation välillä ovat suuria. Simuloineilla saadut tulokset ovat arvioita ja eri tilanteissa saatavia laskennallisia tuloksia. Todellinen energiankulutus saadaan selville ainoastaan toteutuneiden kulutuksien perusteella. Simulaatioilla on kuitenkin tärkeää osoittaa erilaisia tilanteita, koska tarpeenmukainen järjestelmä toimii harvoin mitoitustilanteen mukaisesti.

5.7 Investointilaskelmat

5.7.1 Laskentamenetelmä

Energiataloudellisten investointien kannattavuutta tarkasteltaessa tulee ajatella nykyhetken lisäksi koko hankkeen elinkaarta. Eri kuluerät, tuotot ja mahdolliset lisäinvestoinnit ajoittuvat tällöin eri ajankohdille hankkeen elinkaaren aikana. Kun korko otetaan laskentaan mukaan, se vaikuttaa pääomaerien suuruuteen hankkeen elinkaaren aikana eikä kaikkia kuluja, tuottoja ja investointeja voida sellaisenaan sijoittaa nykyhetkeen vaan ne on ensin korkotekijöitä käyttäen siirrettävä vastaamaan samaa ajankohtaa. [25]

Insinööriyössä investointilaskelmat tehdään nykyarvomenetelmää käyttäen. Nykyarvomenetelmässä kaikki tuotot, kulut ja lisäinvestoinnit diskontataan nykyhetkeen ja lasketaan yhteen seuraavan kaavan 3 mukaisesti:

$$P = \sum_{k=1}^n \frac{T_k}{(1+i)^k} - \sum_{k=1}^n \frac{K_k}{(1+i)^k} - I_0 + \frac{S}{(1+i)^n}, \quad (3)$$

jossa T_k ja K_k on vuoden tuotot ja kulut, I_0 on alkuinvestointi ensimmäisen vuoden alussa, S on jäännösarvo vuoden n lopussa, i on valittu laskentakorko ja P on kustannusfunktio eli investoinnin nykyarvo valituilla laskentaparametreilla. Insinööriyössä nykyarvo lasketaan diskontatun kassavirran laskelmilla ja laskelmissa käytetään Excel-laskentaohjelmistoa eikä jäännösarvoa oteta huomioon.

Yleisesti voidaan sanoa, että hanke on kannattava, kun kustannusfunktion P arvo on positiivinen. Kustannusfunktion arvo riippuu kuitenkin paljon asetetuista korkotekijöistä. Vaikka kustannusfunktion P arvo on negatiivinen, hanke saattaa olla tuottava, mutta ei täytä laskentakoron i kautta asetettua tuottovaatimusta. Jos laskentakorko $i = 0$ ja kustannusfunktion arvo on negatiivinen, hanke on absoluuttisesti kannattamaton ja käytännössä toteuttamiskelvoton, ellei hankkeella saavuteta muuten suuria hyötyjä. [25]

Laskentakorko ilmaisee rahan arvon muuttumista ajan kuluessa. Jos korkokanta asetetaan korkeaksi, painottuu lähitulevaisuudessa syntyvät kulut ja tuotot. Alhaista korkokantaa käytettäessä erot nykyhetken ja tulevaisuuden välillä tasaantuvat. [25]

Nykyarvomenetelmä on käytetyimpiä investoinnin kannattavuuden arviointimenetelmiä, koska se ottaa huomioon rahan aikariippuvuuden ja sillä saadaan selville toteutuuko investoinnille asetettu tuottovaatimus. Vaihtoehtoisten investointien vertailussa suurimman nykyarvon saanut vaihtoehto pidetään edullisimpana. [25]

5.7.2 Laskentaparametrit

Investointilaskelmissa nykyarvo lasketaan käyttäen diskontatun kassavirran laskentamenetelmää käyttäen. Menetelmässä diskontataan kuluista ja tuotoista aiheutuva kassavirta jokaiselle investoinnissa tarkasteltavalle vuodelle. Energiahinnan nousulle tarkastelujakson aikana määrätään tietty arvio ja investoinnille lasketaan reaalikorko arvioidun nimelliskoron ja inflaation avulla. [25]

Kaavassa 4 esitetään reaalikoron laskentamenetelmä [25].

$$r = \frac{i-f}{1+f}, \quad (4)$$

jossa

r	on reaalikorko
i	on nimelliskorko
f	on inflaatio

Tarkastelujakson jokaiselle vuodelle lasketaan diskonttaustekijä, joka on riippuvainen reaalikorosta seuraavan kaavan 5 mukaisesti [25].

$$a_n = \frac{1}{(1+r)^n}, \quad (5)$$

jossa

a_n	on diskonttaustekijä
r	on reaalikorko
n	on tarkasteltava ajankohta, vuosi

Kassavirta lasketaan lisäämällä jokaisen vuoden tulot ja menot yhteen, minkä jälkeen kassavirta diskontataan yhteisen diskonttaustekijän avulla ja tulokseksi saadaan diskontattu kassavirta. Investoinnin nykyarvo saadaan summaamalla tarkastelujakson jokaisen

vuoden diskontattu kassavirta yhteen ja vähentämällä summasta investointikustannukset.

Energian hinnan eskalaatiolla tarkoitetaan energian hinnan arvioitua nousua vuodessa ja se on tämän insinööriyön laskelmissa arvioitu olevan 2 %. Eskalaatio on suurin epävarmuustekijä investointien nykyarvon laskennassa, koska energian hinnan tulevaisuutta ei voida luotettavasti arvioida. Jäljempässä suoritetuissa herkkyytarkasteluissa on tarkasteltu eskalaation vaikutusta investoinnin nykyarvoon. [25]

Taulukossa 12 on esitetty laskelmissa käytetyt laskentaparametrit.

Taulukko 12. Investointilaskelmissa käytetyt laskentaparametrit.

Investointien nimelliskorko	4 %
Yleinen inflaatio	1 %
Laskettu reaalikorko	3 %
Energian hinnan eskalaatio	2 %
Tarkastelujakso	25

5.7.3 Investointikustannukset

Insinööriyössä tarkastellaan ensisijaisesti koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän poissaolotilanteen toteutusmahdollisuuksia ja kustannussäästöjä. Investointilaskelmissa vertaillaan kahden erityyppisen investoinnin kannattavuutta, joista toinen on yleinen vanhempien asuinkerrostalojen ilmanvaihdon korjaustapa ja toinen on tarpeenmukaisen MyAir-järjestelmän asentaminen tarkastelun kohteena olevaan asuinkerrostaloon.

Molemmassa korjausvaihtoehdoissa alkuinvestoinnin kuluja aiheuttaa selvitystyö, suunnittelutyö, laitehankinnat ja asennustyöt.

Edellä mainittujen hankkeiden välillä on suuri alkuinvestointiero, sillä MyAir-ilmanvaihtoventtiilit ovat etäohjattavuuden ja antureidensa vuoksi kalliita verrattuna perinteisiin KSO-poistoilmanvaihtoventtiileihin. MyAir-poistoilmanvaihtoventtiilien ja -järjestelmän hinnat tässä investointilaskelmassa perustuvat laitevalmistajalta haastattelussa ja sähköpostiviesteissä saatuun arvioon. Huippuimureiden uusimisen hinnat perustuvat ole-

massa olevien kiinteistöjen asiantuntijalta saatuihin hinta-arvioihin ja toteutuneisiin urakkahintoihin. Perinteisten KSO-poistoilmanvaihtoventtiilien hinnat perustuvat myös hinta-arvioihin ja toteutuneisiin hintoihin. Kaikki investointilaskelmassa esitetyt hinnat sisältävät arvonlisäveron 24 %.

Taulukossa 13 on esitetty investointikustannusarvioiden vertailu.

Taulukko 13. Peruskorjauksen ja MyAir-järjestelmän investointikustannusarvioiden vertailu.

	<i>Ilmanvaihtojärjestelmän peruskorjaus</i>	<i>MyAir -järjestelmä</i>
Suunnittelutyö	5 000,00 €	5 000,00 €
Huippuimureiden uusinta	18 000,00 €	20 000,00 €
Ilmanvaihtoventtiilien uusinta	9 000,00 €	55 000,00 €
Ohjaujärjestelmien muutostyöt	3 000,00 €	7 600,00 €
Sekalaiset lisätyöt	1 000,00 €	1 000,00 €
Yhteensä	36 000,00 €	88 600,00 €

Vertailusta voidaan todeta, että tarpeenmukaisen ilmanvaihtojärjestelmän investointikustannukset ovat merkittävästi suuremmat kuin ilmanvaihtojärjestelmän peruskorjauksessa.

Varsinaisia huoltokustannuksia ei ole kummallakaan järjestelmällä, paitsi ne huoltokustannukset, jotka ovat molemmille järjestelmille tarpeelliset kuten järjestelmien nuohoustyöt. Todellisuudessa huoltokustannuksia molemmissa järjestelmissä syntyy jonkin verran, ja siitä syystä kiinteiksi huoltokustannuksiksi molemmille järjestelmille on asetettu 300 € vuodessa.

Tarpeenmukainen MyAir-järjestelmä on toistaiseksi vielä niin uusi, että todellista, suurella otannalla saatua keskimääräistä käyttöikää järjestelmälle ei tiedetä, mutta perusajatus on laskea ilmanvaihtojärjestelmille elinkaari 25 vuoden ajalta. MyAir-järjestelmässä ilmanvaihtoventtiileiden paristot tulee vaihtaa keskimäärin viiden vuoden välein. Paristojen vaihtoa ei ole otettu huomioon investointilaskelmassa, koska kustannus jäänee suhteellisen pieneksi, jos paristojen vaihto suoritetaan esimerkiksi korvausilmaventtiilien suodatinten vaihdon yhteydessä. Lisäksi oletetaan, että MyAir-järjestelmä säästää

muiden ominaisuuksiensa vuoksi myös huoltokuluissa esimerkiksi etävalvonnan myötä vähentyneiden huoneistokäyntien kautta. Tämän huoltokustannusten vähentymisen oletetaan kompensoivan paristoiden vaihtotyön.

5.7.4 Laskelmien tulokset

Nykyarvolaskelmissa verrattiin kahden järjestelmän investointeja, järjestelmän peruskorjauksen ja ilmanvaihtojärjestelmän muuttamista tarpeenmukaiseksi MyAir-järjestelmällä. Taulukossa 14 esitetään laskelman tulokset.

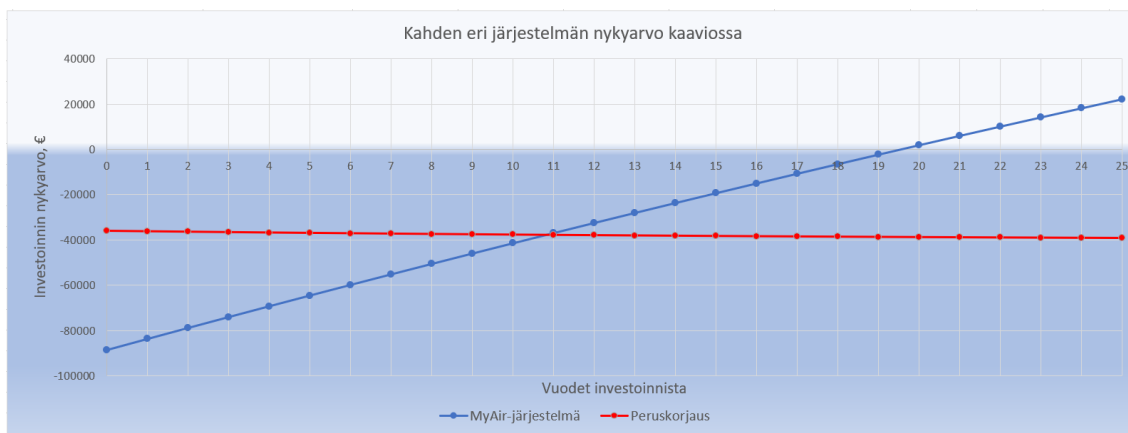
Taulukko 14. Kahden eri investoinnin nykyarvot.

	Investoinnin nykyarvo
Peruskorjaus	-39 161,39 €
MyAir-järjestelmä	22 199,22 €

Investointilaskelmien tuloksista voidaan todeta, että MyAir-järjestelmällä toteutettu ilmanvaihdon parannus on huomattavasti kannattavampi vaihtoehto kuin peruskorjaus. MyAir-järjestelmällä tehdyn korjauksen nykyarvo on investointilaskelmissa positiivinen eli investointi on määrätyillä laskentaparametreilla laskettuna kannattava.

Peruskorjausvaihtoehdon tuloksesta voidaan havaita, että investoinnin nykyarvo on pienempi kuin investoinnin suuruus investointihetkellä. Tämä johtuu siitä, että peruskorjauksella saavutettavat säästöt energiankulutuksessa ovat niin pieniä, että vuosittaiset huoltokustannukset mitätöivät säästöt ja kasvattavat kuluja.

Kuvassa 8 on esitetty nykyarvon kehitys kuvaajassa.



Kuva 8. Peruskorjauksen ja MyAir-järjestelmän investointikustannusten nykyarvo esitettynä samassa kuvaajassa.

Kuten kuvasta 8 havaitaan, MyAir-järjestelmän investointi on saavutettujen energiasäästöjen myötä huomattavasti kannattavampi kuin peruskorjauksen investointi.

5.7.5 Herkkyystarkastelu

Energian hinnan muutos voi poiketa huomattavasti esimerkiksi inflaatiosta ja siitä syystä energian hinnan eskalaatio on investointilaskelmassa suurin epävarmuustekijä, koska tulevaisuuden energian hinnan eskalaation arvioiminen on vaikeaa. Energian hinnan eskalaatiota voidaan arvioida ainoastaan menneisyydessä toteutuneiden hintojen perusteella. Eskalaation vaikean ennustettavuuden vuoksi herkkyystarkastelussa tutkitaan energian hinnan eskalaation vaikutusta investoinnin nykyarvoon.

Eskalaation vaikutusta tutkitaan tekemällä herkkyystarkastelu investoinnin nykyarvolle eskalaation arvoilla 0–5 %. Herkkyystarkastelu on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 15. Herkkyystarkastelun tulokset energiahinnan eskalaation arvoilla 0–5 %.

	Nykyarvo, fe = 0 %	Nykyarvo, fe = 1 %	Nykyarvo, fe = 2 %	Nykyarvo, fe = 3 %	Nykyarvo, fe = 4 %	Nykyarvo, fe = 5 %
MyAir-järjestelmä	-2 340,04 €	9 003,00 €	22 199,22 €	37 584,49 €	55 557,30 €	76 590,43 €

Tuloksista nähdään, että energian hinnan eskalaatiolla on suuri merkitys kokonaisinvestoinnin nykyarvoon.

Energiansäästöillä on myös luonnollisesti suuri merkitys investoinnin nykyarvon laskennassa ja tässä tutkimuksessa tutkitun tarpeenmukaisen järjestelmän todellisia energiansäästöjä on mahdotonta arvioida luotettavasti. Energiansäästöt riippuvat paljon rakennusten asukkaista ja siitä, kuinka aktiivisesti käyttäjät käyttävät esimerkiksi poissaolo-ohjausta. Näistä syistä suoritetaan herkkyystarkastelu myös aiemmin tehtyjen simulaatioiden säästöillä ja investoinnin nykyarvon laskelmassa pidetään muuten taulukon 12 laskentaparametrit. Koska simulaatiotilanteille ei laskettu sähköenergian kulutusta, sähköenergian säästöistä saatavaa tuottoa ei ole huomioitu herkkyystarkastelussa.

Taulukossa 16 on esitetty investoinnin nykyarvon herkkyystarkastelu taulukon 11 mukaisissa simulaatiotilanteissa.

Taulukko 16. Investoinnin nykyarvon herkkyystarkastelu simulaatiotilanteiden tuottamilla energiansäästöillä.

	Nykyarvo, simulaatio 1	Nykyarvo, simulaatio 2	Nykyarvo, simulaatio 3	Nykyarvo, simulaatio 4	Nykyarvo, simulaatio 5
MyAir-järjestelmä	-33 049,23 €	40 517,25 €	49 832,34 €	57 496,46 €	101 042,61 €

Herkkyystarkastelun tuloksista nähdään, että jos poissaolotoimintoa ei käytetä juurikaan, säästöt ja sitä kautta investoinnin nykyarvo laskee huomattavasti. Toisaalta jos poissaolotoimintoa käytetään enemmän kuin mitoitustilanteessa, investoinnin nykyarvo ja sitä kautta kannattavuus kasvaa merkittävästi.

6 Haastatteluosuus

6.1 Haastateltavien valinta

Haastatteluilla pyrittiin selvittämään asuntokohtaisen poissaolotilanteen toteutustapoja koneellisessa poistoilmanvaihdossa. Lisäksi haastatteluilla pyrittiin saamaan asiantuntijoiden mielipiteitä poissaolotilanteesta koneellisessa poistoilmanvaihdossa.

Tästä syystä haastateltaviksi valittiin laitevalmistajan edustaja, olemassa olevien rakennusten asiantuntija, Espoon rakennusvalvonnan LVI-tarkastaja ja ilmanvaihtosuunnittelija, joka on suunnitellut poissaolotilanteella toimivan koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän.

Alla on esitetty haastatellut asiantuntijat ja lyhyt perustelu valinnalle.

Antti Rytivaara

Antti Rytivaara toimii Climecon Oy:llä design program specialist -tittelillä MyAir-ilmanvaihtojärjestelmän kehityksen ja teknisen tuen parissa. Rytivaara valittiin haastateltavaksi laitevalmistajan edustajana MyAir-ilmanvaihtojärjestelmään liittyen.

Sami Holmberg

Sami Holmberg toimii Tapiolan Lämpö Oy:n teknisen asiantuntijapalvelun yksikönpäällikkönä. Holmberg valittiin haastateltavaksi olemassa olevien rakennusten järjestelmien ja haasteiden asiantuntijana.

Jari Merivirta

Jari Merivirta toimii Espoon kaupungilla rakennusvalvonnan LVI-tarkastajana. Merivirta valittiin haastateltavaksi rakennusvalvonnan vaatimukseen liittyen, kun koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä muutetaan tarpeenmukaiseksi ilmanvaihtojärjestelmäksi.

Kaj Karumaa

Kaj Karumaa toimii Sweco Asiantuntijapalvelut Oy:llä sisäilma- ja energia-asiantuntijana. Karumaa valittiin haastateltavaksi, koska hän on suunnitellut MyAir-ilmanvaihtojärjestelmällä toteutetun ilmanvaihtokorjauksen.

6.2 Haastattelut

Antti Rytivaaran mukaan MyAir-järjestelmä on ollut markkinoilla noin kolme vuotta, mutta vuoden 2020 alusta lanseerattiin uusi versio MyAir-ilmanvaihtoventtiilistä, jonka jälkeen järjestelmää ryhdyttiin markkinoimaan runsaammin. Alun perin MyAir-järjestelmän tarkoituksena oli tuottaa koneelliseen poistoilmanvaihtoon dynaaminen säätö, jolla ilmanvaihto saataisiin pidettyä jatkuvasti tasapainossa ulkoilman olosuhteista riippumatta. Tähän päivään mennessä MyAir-järjestelmä on asennettu noin kymmeneen kohteeseen. [20]

Poissaolotilanteella varustettua järjestelmää ei ole toistaiseksi pilotoitu kunnolla, mutta tämän insinööriyön kirjoittamisen aikaan ensimmäisen poissaolotilanteella varustetun MyAir-ilmanvaihtojärjestelmän asennustyö on loppuvaiheessa, Rytivaara kertoo. [20]

Sami Holmberg näkee MyAir-järjestelmän potentiaalisesti todella hyvänä ratkaisuna koneelliseen poistoilmanvaihtojärjestelmään ja uskoo, että mikäli järjestelmä toimii kuten sen on tarkoituskin, sillä päästään monista ongelmista sekä turhista selvityskäynneistä eroon. Holmberg nostaa esille, että jatkuvalla sisäilman olosuhteiden anturoinnilla on huomattava merkitys taloyhtiön huoltotoimenpiteiden vähentämiseen ja asukkaiden hyvien sisäilmaolosuhteiden takaamiseen. [11]

”Mikäli järjestelmällä päästään säästöjen kanssa samoihin elinkaarikustannuksiin kuin perinteisellä korjauksella, on järjestelmä kannattava, koska asumisviihtyvyys paranee huomattavasti”, Holmberg kertoo. [11]

Kaj Karumaa kertoo olleensa mukana MyAir-järjestelmän kehitystyössä suunnittelijan näkökulmasta. Tällä hetkellä työn alla oleva MyAir-järjestelmällä varustettu kohde sijaitsee Helsingin Bulevardilla, jossa painovoimaisesta järjestelmästä tehdään koneellinen

poistojärjestelmä MyAir-järjestelmällä varustettuna. Bulevardin kohteessa on myös ensimmäistä kertaa poissaolo-ohjaus käytössä. Bulevardin korjauskohteen on suunnitellut Kaj Karumaa. Karumaa näkee tärkeäksi, että koneellista poistoilmanvaihtoa korjattaessa asuntokohtainen ilmavirtojen säätö on mahdollistettava. [26]

Jari Merivirta Espoon rakennusvalvonnasta kertoo, että keittiöiden kärynpoistoon ei toisiksi riitä pelkkä liesituuletin aktiivihilisuodattimella, koska yksikään laitevalmistaja ei ole riittävällä testauksella todistanut liesituulettimen poistavan ruonlaitosta syntyviä käryjä riittävän tehokkaasti. [27]

6.3 Haastattelujen yhteenveto

Haastattelut olivat hyvin keskustelunomaisia ja yllä esitettiin tärkeimmät haastatteluissa esille tulleet ajatukset ja maininnat. Haastatteluista saatuja tietoja on käytetty myös tämän insinööriyön aiemmissa kappaleissa tietolähteenä.

Yleisesti haastatteluista voidaan todeta, että MyAir-järjestelmän kaltaiselle tuotteelle on tarvetta ja tarpeenmukaiseen ilmanvaihtoon myös koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä uskotaan, vaikka sitä ei ole vielä laajasti tehty. Haastateltavat olivat myös sitä mieltä, että asetustekstiin tulisi saada velvoite energiatehokkuuden parantamisesta myös korjauskohteissa, kun ilmanvaihtojärjestelmää uusitaan.

7 Yhteenveto ja pohdinta

Insinööriyössä tutkittiin asuntokohtaisen poissaolotilanteen koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä mahdollistavia järjestelmiä sekä poissaolotilanteesta syntyviä energiansäästöjä. Työ tehtiin siksi, että poissaolotilannetta ei ole yleisesti käytetty koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä, eikä siitä siksi ennen tätä työtä ole ollut juurikaan tietoa saatavilla.

Valituilla tutkimusmenetelmillä todistettiin laskennallisesti, että tarkasteltavassa kohteessa ilmanvaihdon poissaolotilanteella voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä energiakustannuksissa. Lisäksi haastatteluiden avulla saatiin selville, että tällä hetkellä markkinoilla on jo tuote, jolla poissaolotilanne ja tarpeenmukaisuus voidaan toteuttaa myös koneelliseen poistoilmanvaihtojärjestelmään.

Poissaolotilanteen oletettuihin ongelmiin saatiin melko kattavasti haastatteluissa vastauksia, mutta esimerkiksi keittiön ilmanvaihdon ratkaisu on edelleen ongelma, koska rakennusvalvonta ei hyväksy aktiivihillisuodattimella toimivaa liesituuletinta keittiön kärynpoistoon siten, että tilan yleinen tehostus voidaan jättää pois. Toisaalta tehostusajat ovat muihin käyntiaikoihin verrattuna lyhyitä ja kokonaisenergiankulutuksessa huomattavasti tärkeämpi tekijä on poissaolotilanteen ja normaalin käyttöajan käyntiajat.

Tutkimuksessa ei otettu huomioon tarpeenmukaisen MyAir-järjestelmän muita säästöjä kuin energiansäästön myötä syntyneet rahalliset säästöt. Koska MyAir-järjestelmä on internetin välityksellä etänä tarkkailtava järjestelmä, joka kerää jatkuvasti kaikkien asuntojen lämpötilan ja ilman kosteuden arvoja, huoltokustannusten säästöpotentiaali on merkittävä vähentyneiden huoltokäyntien myötä. Sisäilman lämpötiloja hyödyntäen voidaan myös esimerkiksi hienosäätää taloyhtiön lämmitysjärjestelmää, jonka myötä saavutetaan enemmän energiansäästöä, kuin tässä työssä on esitetty.

Työtä tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon, että rahallisen säästön lisäksi asuntokohtainen ilmanvaihdon säätömahdollisuus lisää merkittävästi käyttäjien asumisviihtyvyyttä eikä kaikkia tarpeenmukaiseksi korjatun ilmanvaihtojärjestelmän hyötyjä voida siis mitata rahassa.

Tutkimuksen energiansäästöläskelmat tehtiin sillä oletuksella, että asunnoista ollaan päivisin aktiivisesti poissa ja poissaolotilannetta käytetään. Todellisen energiansäästön tarkka arvioiminen on mahdotonta ja voi olla, että todellisessa kohteessa poissaolotilanteella varustettu järjestelmä ei tuota yhtä suuria säästöjä kuin tässä työssä on esitetty.

MyAir-järjestelmän käyttöönotossa olisi tärkeää, että jokaiselle asunnolle määritetään jokaisen asunnon käyttäjien mukaiset oletuspoissaoloajastukset. Näin järjestelmällä voidaan käyttää poissaolotilanne tehokkaammin eikä poissaolopainikkeen käytön unohtaminen vie järjestelmän energiansäästöä pois. Jos poissaolotilanne kytkeytyy päälle käyttäjän ollessa asunnossa normaalista poiketen määriteltynä poissaoloaikana, järjestelmän pitäisi tunnistaa tilanne ja pitää normaalin käyttöajan ilmavirrat venttiileillä.

Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän poissaolotilanteen tutkimuksia tulee jatkaa riittävän laajalla pilotoinnilla, jossa pilotoitaviksi kohteiksi valitaan asuinkerrostaloja eri vuosikymmeniltä ja seurataan tarpeenmukaisen poistoilmanvaihtojärjestelmän toimintaa riittävän pitkällä aikavälillä. Näin saadaan tietoa tarpeenmukaisesti ohjatun koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän todellisista energiansäästöistä, asumisviihtyvyyden kasvamisesta ja uusien järjestelmien toimivuudesta.

Insinööriä voidaan käyttää esimerkkinä poissaolotilanteen tuomista mahdollisuuksista energiansäästön suhteen esimerkiksi silloin, kun taloyhtiöön ollaan suunnittelemassa investointia ilmanvaihdon korjausta varten.

Lopuksi sanottakoon, että Suomessa on suuri määrä asuinkerrostaloja, joiden ilmanvaihtojärjestelmä on energiatehokkuudeltaan välttävä koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä. Tämän insinööriä tarkoitus on osoittaa, että koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä voidaan korjata energiatehokkaammaksi ja tarpeenmukaisella ilmanvaihdon ohjauksella myös asumisviihtyvyyttä voidaan lisätä runsaasti.

Lähteet

- 1 Asuntokanta 2018. 2019. Verkkoaineisto. Suomen Tilastokeskus. http://www.stat.fi/til/asas/2018/01/asas_2018_01_2019-10-10_kat_001_fi.html Päivitetty 10.10.2019. Luettu 30.1.2020.
- 2 Palonen, Jari; Virtanen, Vesa; Seppänen, Olli. 2000. Asuntoilmanvaihdon kehitys- ja tutkimustarpeet: Asuntoilmanvaihtojärjestelmien koerakentaminen ja tutkimustoiminta Suomessa 1980- ja 1990-luvuilla. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.
- 3 Jaakkola, Tuomo; Linstedt, Tuomo; Junnonen, Juha-Matti. 2010. Energiatehokas asuinkerrostalojen talotekniikkakorjaus. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.
- 4 Ilmanvaihdon perusteet. Verkkoaineisto. Sisäilmayhdistys Ry. <<https://www.sisailmayhdistys.fi/Perustietoa-sisailmasta/Ilmanvaihdon-perusteet>> Luettu 7.2.2020.
- 5 Virta, Jari; Pylsy, Petri. 2011. Taloyhtiön energiakirja. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.
- 6 Asuinrakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän peruskorjaus ja -parannus, RT 56-10831. 2004. Rakennustieto Oy.
- 7 Pallari, Marja-Liisa; Heikkinen, Jorma; Gabrielsson, Juha; Matilainen, Veijo; Reisbacka, Anne. 1995. Kerrostalojen ilmanvaihdon korjausratkaisut. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT).
- 8 Ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmän yleisarviointi. 2016. Verkkoaineisto. Suomen LVI-Liitto, SuLVI ry. <https://sulvi.fi/wp-content/uploads/2017/05/IVKT-2016-Ohje-2-Ilmanvaihto-ja-ilmastointij%C3%A4rjestelm%C3%A4n-yleisarviointi.pdf>. Luettu 3.3.2020.
- 9 Neuvonen, Petri; Hieta-Wikman, Sinikka. 2015. Kerrostalot 1975-2000. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 10 Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. 1978. Rakennusten ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. Helsinki: Sisäasianministeriö.
- 11 Holmberg, Sami. Yksikönpäällikkö. Tapiolan Lämpö Oy. Espoo. Asiantuntijahaastattelu. 14.3.2020.
- 12 Ikäheimo, M. 2003. Helsingiläisten asuntojen ilmanvaihto-ongelmista. Verkkoaineisto. Helsingin kaupungin ympäristökeskus. <https://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-06-03.pdf>. Luettu 14.3.2020.

- 13 Palonen, Jari. Asuntoilmanvaihto. Verkkoaineisto. Rakennustieto Oy. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK040402.pdf>. Luettu 14.3.2020.
- 14 Seppänen, Kim. 2010. Painesuhteet rakennuksen ulkovaipan yli. Itä-Suomen yliopisto. Kuopio: Itä-Suomen yliopisto.
- 15 Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. 1987. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 16 Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. 2003. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 17 Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. 2010. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 18 Uudet asetukset korvaavat rakentamismääräyskokoelman. Verkkoaineisto. LVI-Tekniset Urakoitsijat LVI-TU ry. <https://www.lvi-tu.fi/uudet-asetukset-korvaavat-rakentamismaarayskokoelman/>. Luettu 7.3.2020.
- 19 MyAir-järjestelmä. Verkkoaineisto. Climecon Oy. <https://www.climecon.fi/myair/>. Luettu 17.3.2020.
- 20 Rytivaara, Antti. Design program specialist. Climecon Oy. Helsinki. Asiantuntija-haastattelu 17.3.2020.
- 21 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2018. (1009/2017). Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 22 Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <https://www.talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/10-ss-ilmavirtojen-ohjaus>. Luettu 14.3.2020.
- 23 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Energiatehokkuus. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2018. Helsinki: Ympäristöministeriö.
- 24 Rakennusten energianlaskennan testivuodet. 2012. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. https://www.ilmatieteenlaitos.fi/documents/30106/359229/Testivuosien_kuvaus.pdf/3b0cb383-0c9a-4682-80d9-ef492ae4e955. Luettu 20.3.2020.
- 25 Sirén, Kai. Rakennusten energiainvestoinnin kannattavuuden laskenta. 2015. Espoo: Aalto yliopisto.
- 26 Karumaa, Kaj. Sisäilma- ja energia-asiantuntija. Sweco Asiantuntijapalvelut Oy. Helsinki. Asiantuntijahaastattelu 26.3.2020.

- 27 Merivirta, Jari. LVI-tarkastaja. Espoon kaupunki, rakennusvalvonta. Espoo. Puhe-
linkeskustelu 25.3.2020.

Simulaatio 1						
Poissaolotilanne						
	Ilmavirta					
Poissaolo	118,08	l/s			Prosentti asunnoista	20 % poissa
Käyttöaika	1180,8	l/s			Prosentti asunnoista	80 % käyttö
Tehostus	0	l/s			Prosentti asunnoista	0 % teho
Kokonais	1298,88	l/s	1,30	m3/s		
Normaali käyttöaika						
	Ilmavirta					
Poissaolo	59,04	l/s			Prosentti asunnoista	10 % poissa
Käyttöaika	1328,4	l/s			Prosentti asunnoista	90 % käyttö
Tehostus	0	l/s			Prosentti asunnoista	0 % teho
Kokonais	1387,44	l/s	1,39	m3/s		
Tehostustilanne						
	Ilmavirta					
Poissaolo	0	l/s			Prosentti asunnoista	0 % poissa
Käyttöaika	959,4	l/s			Prosentti asunnoista	65 % käyttö
Tehostus	671,58	l/s			Prosentti asunnoista	35 % teho
Kokonais	1630,98	l/s	1,63	m3/s		

Simulaatio 2						
Poissaolotilanne						
	Ilmavirta					
Poissaolo	413,28	l/s			Prosentti asunnoista	70 % poissa
Käyttöaika	442,8	l/s			Prosentti asunnoista	30 % käyttö
Tehostus	0	l/s			Prosentti asunnoista	0 % teho
Kokonais	856,08	l/s	0,86	m3/s		
Normaali käyttöaika						
	Ilmavirta					
Poissaolo	177,12	l/s			Prosentti asunnoista	30 % poissa
Käyttöaika	1033,2	l/s			Prosentti asunnoista	70 % käyttö
Tehostus	0	l/s			Prosentti asunnoista	0 % teho
Kokonais	1210,32	l/s	1,21	m3/s		
Tehostustilanne						
	Ilmavirta					
Poissaolo	0	l/s			Prosentti asunnoista	0 % poissa
Käyttöaika	442,8	l/s			Prosentti asunnoista	30 % käyttö
Tehostus	1343,16	l/s			Prosentti asunnoista	70 % teho
Kokonais	1785,96	l/s	1,79	m3/s		

Simulaatio 3

Poissaolotilanne						
	Ilmavirta					
Poissaolo	472,32	l/s			Prosentti asunnoista	80 % poissa
Käyttöaika	295,2	l/s			Prosentti asunnoista	20 % käyttö
Tehostus	0	l/s			Prosentti asunnoista	0 % teho
Kokonais	767,52	l/s	0,77	m3/s		
Normaali käyttöaika						
	Ilmavirta					
Poissaolo	177,12	l/s			Prosentti asunnoista	30 % poissa
Käyttöaika	885,6	l/s			Prosentti asunnoista	60 % käyttö
Tehostus	191,88	l/s			Prosentti asunnoista	10 % teho
Kokonais	1254,6	l/s	1,25	m3/s		
Tehostustilanne						
	Ilmavirta					
Poissaolo	118,08	l/s			Prosentti asunnoista	20 % poissa
Käyttöaika	738	l/s			Prosentti asunnoista	50 % käyttö
Tehostus	575,64	l/s			Prosentti asunnoista	30 % teho
Kokonais	1431,72	l/s	1,43	m3/s		

Simulaatio 4

Poissaolotilanne						
	Ilmavirta					
Poissaolo	413,28	l/s			Prosentti asunnoista	70 % poissa
Käyttöaika	442,8	l/s			Prosentti asunnoista	30 % käyttö
Tehostus	0	l/s			Prosentti asunnoista	0 % teho
Kokonais	856,08	l/s	0,86	m3/s		
Normaali käyttöaika						
	Ilmavirta					
Poissaolo	236,16	l/s			Prosentti asunnoista	40 % poissa
Käyttöaika	738	l/s			Prosentti asunnoista	50 % käyttö
Tehostus	191,88	l/s			Prosentti asunnoista	10 % teho
Kokonais	1166,04	l/s	1,17	m3/s		
Tehostustilanne						
	Ilmavirta					
Poissaolo	118,08	l/s			Prosentti asunnoista	20 % poissa
Käyttöaika	590,4	l/s			Prosentti asunnoista	40 % käyttö
Tehostus	767,52	l/s			Prosentti asunnoista	40 % teho
Kokonais	1476	l/s	1,48	m3/s		

Simulaatio 5							
Poissaolotilanne							
	Ilmavirta						
Poissaolo	413,28	l/s			Prosentti asunnoista	70 %	poissa
Käyttöaika	442,8	l/s			Prosentti asunnoista	30 %	käyttö
Tehostus	0	l/s			Prosentti asunnoista	0 %	teho
Kokonais	856,08	l/s	0,86	m ³ /s			
Normaali käyttöaika							
	Ilmavirta						
Poissaolo	354,24	l/s			Prosentti asunnoista	60 %	poissa
Käyttöaika	590,4	l/s			Prosentti asunnoista	40 %	käyttö
Tehostus	0	l/s			Prosentti asunnoista	0 %	teho
Kokonais	944,64	l/s	0,94	m ³ /s			
Tehostustilanne							
	Ilmavirta						
Poissaolo	118,08	l/s			Prosentti asunnoista	20 %	poissa
Käyttöaika	590,4	l/s			Prosentti asunnoista	40 %	käyttö
Tehostus	767,52	l/s			Prosentti asunnoista	40 %	teho
Kokonais	1476	l/s	1,48	m ³ /s			