

Iina Laxman

Poistoilman lämmön talteenoton jälkiasennus ja sisäilmasto asuinkerrostaloissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

30.10.2015

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	lina Laxman Poistoilman lämmön talteenoton jälkiasennus ja sisäilmasto asuinkerrostaloissa 80 sivua + 4 liitettä 30.10.2015
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka, suunnittelupainotteinen
Ohjaaja	osaamisaluepäällikkö Jorma Säteri
<p>Tämän opinnäytetyöprojektin tarkoituksena oli kartoittaa poistoilman lämmön talteenoton jälkiasennuksien vaikutuksia asuinkerrostalojen energiankäyttöön ja sisäilmastoon. Aiheeseen liittyen tehtiin kaksi opinnäytetyötä, joista toinen keskittyy energiapuoleen ja toinen sisäilmastoasioihin. Tässä sisäilmasto-osuudessa keskitytään laajemmin erilaisiin sisäilmastotekijöihin, lämmön talteenottoon sekä niiden mahdollisiin yhteyksiin. Työssä tarkasteltava asuinkerrostalokanta rajattiin kattamaan Suomessa 1960–1980-luvuilla rakennettuja kerrostaloja.</p> <p>Teoriaosuudessa pyrittiin käymään kattavasti läpi sisäilmastoon vaikuttavia tekijöitä sekä muita aihekokonaisuuteen liittyviä asioita. Aluksi käydään lyhyesti läpi tarkasteltavan asuinkerrostalokannan ominaisuudet energiankulutuksen, ilmanvaihdon ja korjauksen osalta. Opinnäytetyön teoriaosuuden alkuosassa aiheina ovat myös ilmanvaihdon perusasiat, lämmön talteenotto sekä määräykset ja ohjeet. Teoriaosuuden jälkimmäisessä osassa määräysten ja ohjeiden esittelyn jälkeen perustasosta poiketaan sekä paremman että huonomman sisäilmaston suuntaan, minkä jälkeen esitellään erilaisia lämmön talteenottoratkaisuja ja niihin liittyviä oheistoimenpiteitä. Viimeisessä teoriaosuudessa mietitään lämmön talteenoton ja ilmanvaihtoparannuksien kannattavuutta. Teoriaosuuden lisäksi suoritettiin kaksi asukaskyselyä asuinkerrostaloissa, joihin on jälkiasennettu poistoilman lämmön talteenottolaitteisto.</p> <p>Ongelmakohtiksi havaittiin mm. tiedon ja käytännön kokemusten puute päättäjien keskuudessa, liian lyhytkantoinen näkökanta toteutettavista korjauksista päätettäessä ja se tosiasia, ettei koneellisen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän rakentaminen kaikissa kohteissa ole kannattavaa. Toisaalta ilmanvaihtoon liittyvistä korjauksista luovutaan usein todennäköisesti vääristä syistä. Asukaskyselyjen vastauksissa oli havaittavissa tyypillisiä sisäilmastoon liittyviä ongelmia, kuten epäsuorat lämpöolot ja veto, vaikka otanta oli melko pieni ja alun perin toivottuja vertailukohtia ei saatu toteutetuksi.</p>	
Avainsanat	lämmön talteenotto, sisäilmasto, ilmanvaihto, kerrostalo

Author Title Number of Pages Date	lina Laxman Indoor climate in multi-storey buildings with retrofitted exhaust air heat recovery system 80 pages + 4 appendixes 30 October 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, desing oriented
Instructor	Jorma Säteri, Head of Department
<p>The purpose of this final year project was to examine the effects of a retrofitted exhaust air heat recovery system on the indoor climate and energy consumption of multi-storey apartment buildings in Finland. This Bachelor's thesis examined the indoor climate, and there was another thesis made about the energy consumption. The buildings chosen for the study were constructed in Finland during the 1960s-1980s.</p> <p>For the project, a literature review was made and relative factors around indoor climate, heat recovery systems and building codes were collected. Also, different retrofit-solutions with necessary or advisable peripheral actions were studied. Furthermore, in cases where retrofitted exhaust air heat recovery system was assembled, two resident inquiries were carried out to get data for a comparison.</p> <p>The inquiries revealed the typical problems related to indoor climate, such as unsuitable temperature conditions and draft, even though the sampling was narrow. As a result it was established that there is a lack of knowledge and experience about heat recovery and ventilation related renovations among the people who make decisions on the matters. Furthermore, the decisions are usually made on the basis of short-term goals and a ventilation system renovation is often dismissed for wrong reasons. On the other hand, ventilation or heat recovery system renovations are not worth doing in some cases.</p>	
Keywords	Heat recovery from exhaust air, indoor climate, ventilation, multi-storey building

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Lähtökohdat ja taustaa	1
2.1	Asuinkerrostalot 1960–1980	1
2.2	Asuinkerrostalojen korjaukset	3
2.2.1	Toteutuneet korjaukset ja nykytilanne	3
2.2.2	Ilmanvaihdon korjaukset ja tulevaisuuden näkymät	5
3	Ilmanvaihdon perusteita	7
3.1	Rakenteiden tiiveys ja vuotoilmanvaihto	7
3.2	Ilmanvaihtojärjestelmät	9
3.2.1	Painovoimainen ilmanvaihto	9
3.2.2	Koneellinen poistoilmanvaihto	9
3.2.3	Koneellinen tulo-poistoilmanvaihto	10
3.3	Sisäilmaston fysikaaliset tekijät	11
3.3.1	Ilman lämpötila	11
3.3.2	Ilman liike ja veto	12
3.3.3	Ilmanjako	13
3.3.4	Ilman kosteus	14
3.3.5	Melu	14
3.4	Sisäilmaston kemialliset tekijät	15
3.4.1	Hiilidioksidi ja muut ihmisperäiset epäpuhtaudet	16
3.4.2	Radon	17
3.4.3	Rakennusmateriaalien päästöt	17
3.4.4	Hiukkasmaiset epäpuhtaudet	18
3.4.5	Hiilimonoksidi eli häkä	19
3.4.6	Tupakansavu	19
3.4.7	Mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet	19
3.5	Ilman suodatus	20
3.5.1	Suodattimien luokittelu	20
3.5.2	Kemialliset suodattimet	21
3.5.3	Sähkösuodattimet ja ilmanpuhdistimet	21
3.6	Ilman lämmitys ja jäähdytys	22
3.7	Ilmanvaihdon säätötavat	23
3.7.1	Kello-ohjaus	23

3.7.2	Vakioilmanvaihto	23
3.7.3	Huoneistokohtainen ohjaus (tehostus)	24
3.7.4	Tarpeenmukainen ohjaus	24
4	Poistoilman lämmön talteenotto	25
4.1	Lämmönsiirto ja häviöt	25
4.2	Lämmön talteenoton hyötysuhteet	26
4.3	Perinteinen lämmön talteenotto	27
4.4	Nestekiertoinen lämmön talteenotto	28
4.5	Poistoilmalämpöpumppu	28
5	Sisäilmastoon liittyviä määräyksiä ja ohjeita	30
5.1	Rakennusten sisäilmasto	30
5.1.1	Normaaliohjeet ja RakMk D2	30
5.1.2	Asumisterveysasetus	32
5.2	Rakennusten energiatehokkuus	33
5.2.1	RakMk D3	33
5.2.2	Korjaus- ja muutostyöt	33
6	Paremmen sisäilmaston potentiaali	34
6.1	Sisäilmastoluokitus 2008	34
6.2	Tutkimukset ja hankkeet	36
6.3	Teollinen korjausrakentaminen	36
6.4	Hyvän sisäilmaston hyödyistä	37
7	Huonon sisäilmaston seuraukset	37
7.1	Ilmanvaihdon puutteet	37
7.2	Sisäilmaongelmat yleisesti	38
7.3	Sairas rakennus -oireyhtymä	38
7.4	Kosteusvauriot ja homeongelmat	38
7.5	Ilmansaasteet ja pienhiukkaset	39
7.6	Tarpeeton energiankulutus	40
8	Poistoilman lämmöntalteenottoratkaisut	40
8.1.1	Nykytilanteen kartoitus	41
8.1.2	Painovoimaisen ilmanvaihdon parannus	41
8.1.3	Ilmanvaihdon huolto ja peruskorjaus	42

8.1.4	Puhdistus ja perussäätö	42
8.1.5	Puhaltimen uusiminen	43
8.2	Koneellisen poistoilmanvaihdon parannus	43
8.2.1	Poistoilman lämmön talteenotto	43
8.2.2	Tuloilmaikkunat	44
8.2.3	Tulo- tai raitisilmaradiaattorit	45
8.2.4	Muut korvausilmajärjestelyjen parannukset	47
8.3	Koneellisen tuloilman lisääminen	48
8.3.1	Asuntokohtaiset tuloilmalaitteet	48
8.3.2	Asuntokohtaiset tulo-poistoilmanvaihtokoneet	50
8.3.3	Ikkunaan integroitu ilmanvaihtokone	52
8.4	Keskitetty tulo-poistoilmanvaihto	53
8.4.1	Talotekniikkaelementit	54
8.4.2	Julkisivuelementit	55
8.4.3	WISE Apartment Solution	56
8.5	Hajautettu tulo-poistoilmanvaihto	57
9	Kustannukset ja kannattavuus	57
9.1	Yleiset periaatteet	58
9.2	Toimenpiteiden ajoitus	59
9.3	Rakennuksen tiiveys	60
9.4	Rakennusten ja järjestelmien tekniset käyttöiät	60
9.5	Investointikustannukset	61
9.6	Energiankulutusvaikutukset	62
9.7	Paremmen sisäilmaston arvo	63
9.8	Korjauksiin myönnettävät avustukset ja tuet	64
10	Kokemuksia sisäilmastosta - Asukaskyselyt	65
10.1	Soukanahde 6	66
10.2	Armas Launiksen katu 7	68
10.3	Energiapuolen tuloksia	70
11	Päätelmät	71
	Lähteet	73

Liitteet

Liite 1. Asukaskyselyn kyselylomake, Soukanahde 6.

Liite 2. Asukaskyselyn kyselylomake, Armas Launiksen katu 7.

Liite 3. Asukaskyselyn vastaukset, Soukanahde 6.

Liite 4. Asukaskyselyn vastaukset, Armas Launiksen katu 7.

Käsitteitä

Ilmanvaihtokerroin kuvaa, kuinka monta kertaa tunnissa tilan ilmatilavuus vaihtuu $(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^3 = 1/\text{h}$.

Oleskeluvyöhyke on huoneen osa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8 m:n korkeudella lattiasta ja sivupinnat ovat 0,6 m:n etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistä rakennusosista.

Sisäilma käsittää huoneiston sisätiloissa olevan ilman.

Sisäilmasto käsittää sisäilman lisäksi tilassa vallitsevat lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet.

1 Johdanto

Tarkoituksena oli kartoittaa lämmön talteenoton jälkiasennuksien vaikutuksia asuinkerrostalojen energiankäyttöön ja sisäilmastoon. Aiheeseen liittyen tehtiin kaksi opinnäytetyötä, joista toinen keskittyy energiapuoleen ja toinen sisäilmastoasioihin. Opinnäytetyön toimeksiantajana ja rahoittajana toimi ympäristöpooli. Tässä sisäilmastoosuudessa keskitytään laajemmin erilaisiin lämmön talteenottotapoihin käytännössä ja niiden mahdollisiin sisäilmastovaikutuksiin kuten vetoon ja lämpötilaan. Teoriaosuuden lisäksi suoritettiin kaksi asukaskyselyä asuinkerrostaloissa, joihin on jälkiasennettu poistoilman lämmön talteenottolaitteisto.

Opinnäytetyön alussa pyritään käymään lyhyesti läpi tarkasteltavan asuinkerrostalokannan ominaisuudet energiankulutuksen, ilmanvaihdon ja korjausten osalta. Työssä tarkasteltava asuinkerrostalokanta on rajattu kattamaan Suomessa 1960–1980-luvuilla rakennettuja kerrostaloja, koska niiden suhteellinen määrä ja säästöpotentiaali ovat suuret. Tälle kannalle on myös ominaista korjausten ajankohtaisuus lähitulevaisuudessa. Tämän jälkeen käydään läpi ilmanvaihtoon ja energiatehokkuuteen liittyviä perusasioita sekä määräyksiä ja ohjeita. Perustasosta poiketaan sekä parempaan ja huonompaan suuntaan, minkä jälkeen on esitelty erilaisia lämmön talteenottoratkaisuja ja niihin liittyviä oheistoimenpiteitä. Viimeisessä teoriaosuudessa on mietitty lämmön talteenoton ja ilmanvaihtoparannuksien kannattavuutta. Lopuksi on esitelty kahteen kohteeseen suoritettujen asukaskyselyjen tulokset.

2 Lähtökohdat ja taustaa

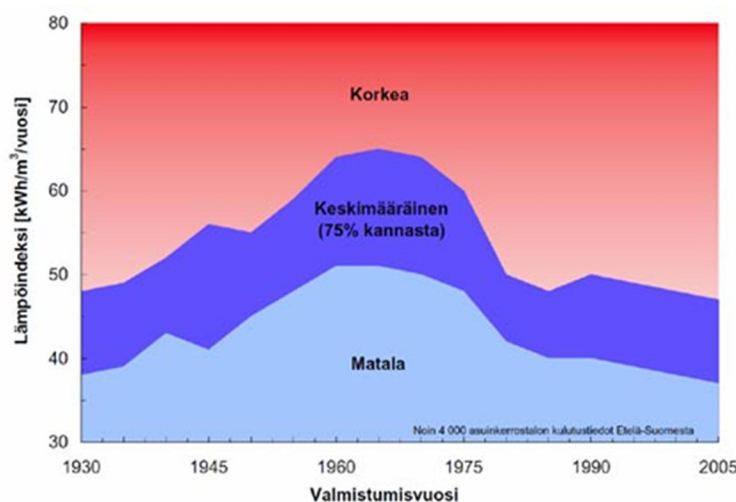
2.1 Asuinkerrostalot 1960–1980

Suomessa on paljon asuinkerrostaloja, jotka kaipaavat erilaisia korjaustoimenpiteitä lähitulevaisuudessa. Etenkin 1960–80-luvuilla rakennetut asuinkerrostalot ovat suuren määränsä vuoksi tuomassa merkittävän saneeraustarpeen. Tilastokeskuksen mukaan vuoden 2014 lopussa Suomessa oli 59 047 asuinkerrostaloa [1, s. 10]. Näistä noin 30 400 kerrostaloa on rakennettu 1960–1980-luvuilla [2]. Rakennusten korjaustarpeet liittyvät useimmiten taloteknisiin järjestelmiin, ja viime vuosina tiukentuneet energiatehokkuuteen liittyvät määräykset pyrkivät ohjaamaan suoritettavilla saneerauksilla saa-

vutettavaa laatu- ja energiatehokkuustasoa yhä korkeammalle. Saneerauksella pyritäänkin yhä useammin toiminnallisuuden säilyttämisen ohella laskemaan rakennuksen energiankulutusta ja/tai nostamaan energiatehokkuutta silloin, kun korjauksia on suoritettava joka tapauksessa.

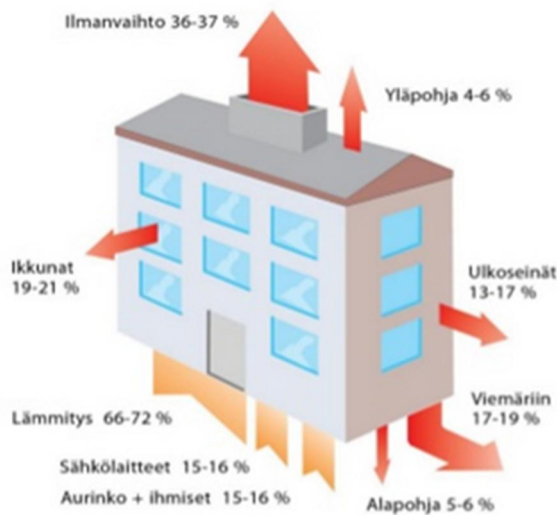
Suomen kerrostalokannan ilmanvaihto 1960-luvulta aina 2000-luvulle asti on toteutettu pääosin koneellisella poistolla, joka alkoi yleistyä jo 1950-luvun puolivälissä. Koneellisen poistoilmanvaihdon kerrostaloissa ei yleensä ole lämmön talteenottojärjestelmiä. Aiemmin vallitseva ilmanvaihtojärjestelmä oli painovoimainen ilmanvaihto. 1960-luvulla noin 30 %:ssa rakennetuista asuinkerrostaloista oli vielä painovoimainen ilmanvaihto, mikä oli yleistä lähinnä matalissa korkeintaan 3-kerroksisissa rakennuksissa. 1970-luvulla rakennetuissa kerrostaloissa painovoimaisen ilmanvaihdon osuus oli enää 9 %, mutta ensimmäisiä koneellisia tulo-poistojärjestelmiä alkoi ilmestyä, aluksi 3 %:n osuudella. Ajanjaksolla 1980–2003 vain noin 5–10 %:iin asuinkerrostaloista rakennettiin koneellinen tulo-poistojärjestelmä [3, s. 29]. Käytännössä energiamääräykset ohjasivat rakentamaan koneellisen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän lähes kaikkiin rakennuksiin vuodesta 2003 lähtien. [4, s. 11–12.]

1960- ja 1970-luvun asuinkerrostaloissa on suuri säästöpotentiaali, koska niillä on suuren määränsä ohella myös kerrostalokantamme suurin ominaiskulutus (kuva 1). Etelä-Suomessa tyypillisen 1960–1980-luvun asuinkerrostalon ominaiskulutus on 45–65 kWh/m³/a tai pinta-alaan suhteutettuna 200–295 kWh/as.m²/a. [5, s. 20; 6.]



Kuva 1. Asuinkerrostalojen lämpöindeksi eli ominaiskulutus (kWh/m³/a) valmistumisvuoden mukaan [6].

Vanhojen kerrostalojen suurin yksittäinen energiankuluttaja on tilojen lämmitys ja lämmityksen suurin lämpöhäviö aiheutuu ilmanvaihdosta. Koneellisen poistoilmanvaihdon lämpöhäviöt ovat erään lähteen [7, s. 3] mukaan jopa 46 % asuinkerrostalojen kokonaislämpöhäviöistä, mutta useimmiten sen osuus on reilun kolmanneksen. Asuinkerrostaloissa kolme suurinta lämmitysenergiaa kuluttavaa tekijää ovat ilmanvaihto 36–37 %, lämmin käyttövesi 20–30 % ja ikkunat 20 %. Tyypillisen 1960–1980-luvun kerrostalon lämpöenergiatase on kuvattu kuvassa 2. [5, s. 20–21.]



Kuva 2. Lämpöenergiatase tyypillisessä 1960–1980-luvun asuinkerrostalossa [5, s. 19].

Tutkittavan 1960–1980-luvun asuinkerrostalokannan lämmitysenergiasta merkittävä osa kuluu myös ulkovaipan johtumislämpöhäviöihin, joiden osuus (ikkunat pois lukien) tilojen lämmityksestä on noin 20 % [7, s. 3]. Vuonna 2013 asuinkerrostalojen lämmitykseen kului 15 472 GWh energiaa. Tästä 13 372 GWh oli kaukolämpöä ja 1 134 GWh sähköä. 30 GWh (0,2 %) energiasta oli peräisin lämpöpumpuista. [8.]

2.2 Asuinkerrostalojen korjaukset

2.2.1 Toteutuneet korjaukset ja nykytilanne

Käyttövesi- ja viemärijärjestelmän korjaus eli putkiremontti on perinteisin toimenpide korjaustarvetta omaavissa kerrostaloissa, koska käyttövesi- ja viemärijärjestelmien tekninen käyttöikä on suhteellisen lyhyt ja korjaustarve on useimmiten helppo ymmär-

tää. Rakenteisiin vuotavat vesijohdot ovat erittäin akuutin korjaustarpeen merkki, koska kosteus vaurioittaa rakenteita ja aiheuttaa mikrobikasvuston riskin. Vaikka lämpimän käyttöveden kuluttama energiamäärä asuinkerrostaloissa on merkittävä, käyttövesi- ja viemärointijärjestelmien korjaamisella on melko marginaalinen energiansäästöpotentiaali. Viime vuosina ovat yleistyneet myös julkisivuremontit lisäeristysineen sekä sähkö- ja telejärjestelmien päivitystoimenpiteet.

Tilastokeskuksen mukaan asunnon omistajat ja asunto-osakeyhtiöt korjasivat asuntojaan ja asuinrakennuksiaan 5,7 miljardilla eurolla vuonna 2013. Tästä summasta noin 2,2 miljardia euroa kului asuinkerrostalojen kunnostamiseen, missä kolme suurinta korjauskohdetta olivat talotekniikka (757 miljoonaa euroa), ulkopinnat ja rakenteet (618 miljoonaa euroa) sekä märkätilat (247 miljoonaa euroa). Kerrostalojen peruskorjauksissa ensimmäinen korjausajankohta sijoittuu vaipan peruskorjaukseen 25–35 vuoden iässä ja toinen putkistojen uusimiseen keskimäärin 50 vuoden iässä. [9; 10, s. 4.]

Lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmien remontit ovat jääneet vähemmälle huomiolle, koska niiden tekninen käyttöikä on suhteellisen pitkä ja niiden vaikutukset asumisviihtyvyyteen eivät ole yhtä välittömiä kuin käyttöveden ja viemärien tapauksessa. Energian säästöä ja energiatehokkuutta ajatellen varsinkin ilmanvaihdon merkitys on kuitenkin kasvanut, ja aiheesta on meneillään paljon tutkimushankkeita. Poistoilman lämmössä piilee suuri säästöpotentiaali, mikä on toki huomattu, muttei ehkä loppuun ajateltu; negatiivisista mielikuvista päätellen poistoilman lämmön talteenottoa suunniteltaessa ei ehkä ole osattu huomioida sen vaikutuksia sisäilmastoon, mutta asiaan ollaan heräämässä.

Useimmat korjaus- ja parannustoimenpiteet kuten julkisivujen ja ikkunoiden uusiminen, lisäeristyksen lisääminen tai lämmitystavan muutokset vaikuttavat ilmanvaihdon toimintaan, vaikka ne eivät suoranaisesti kohdistukaan itse järjestelmään. Ilmanvaihdon toiminta tulisi tarkastaa myös olosuhdetekijöiden muuttuessa merkittävästi, esim. liikenteen tai sisäisen lämpökuorman kasvaessa. Ikkunoiden vaihto vähentää aina ilma-voitoja. Tiivistäminen vähentää oleellisesti painovoimaisen tai koneellisen poistoilmajärjestelmän ilmanvaihtomääriä, jos kunnollisia korvausilmareittejä ei ole. [4, s. 9–10.]

Kiinteistöliiton uusimman korjausrakentamisbarometrin mukaan korjausrakentaminen on edelleen vilkasta, ja siinä on havaittavissa epävarmaa kasvua. Keväällä 2015 kah-

della kolmesta taloyhtiöstä oli jokin korjaushanke tai sen valmistelu käynnissä. Barometrikyselyyn vastanneiden määrä oli noussut huomattavasti vuoden takaisesta. Korjausrakentamisen kasvua hillitsevät huonot talousnäkymät, mutta enemmistölle taloyhtiöistä sillä ei kuitenkaan ole vaikutusta suunniteltujen korjaus- ja ylläpito Hankkeiden toteutumiseen. [11.]

Korjausrakentamisbarometrin perusteella yleisimpiä korjaustoimenpiteiden kohteita tänä vuonna (2015) ovat mm. putkistot, ikkunat ja ovet, joista putkiremonttien osuudessa oli kasvua viime vuoteen verrattuna. Energiatohokkuutta parantavien toimenpiteiden osalta yleisimpiä ovat ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja säätö, patteriverkoston perussäätö, termostaattisten patteriventtiilien asentaminen tai uusiminen sekä ikkunoiden ja parvekeovien tiivistykset. Tilanne on suunnilleen sama kuin vuosi sitten. Näitä perustoimenpiteitä on toteutettu noin 30–45 %:ssa vastaajien taloyhtiöitä. Vastaajien taloyhtiöistä noin 15 %:lla oli käytössä energiatohokkuuden edistämiseksi ohjaava strategia. Ikkunoiden uusiminen oli yleisin varsinainen korjaustoimenpide. Tämän vuoden barometrikyselyn lisäkysymyksessä tiedusteltiin aiheita, joista kaivattaisiin erityisesti lisätietoja ja vastausten pohjalta taloyhtiöissä on aurinkoenergian ohella kiinnostusta poistoilman lämmön talteenoton toteuttamiseen lämpöpumpun avulla. Uusiutuvan energian hankkeita oli kuitenkin toteutettu vain alle 8 %:ssa vastausten kohteista ja näistä puolet oli ilmalämpöpumppujen asennuksia. [11.]

2.2.2 Ilmanvaihdon korjaukset ja tulevaisuuden näkymät

Erityisesti kerrostaloissa ilmanvaihtokorjauksille ei ole määritettävissä mitään teoreettista ajankohtaa niiden rakennusten osalta, joissa ei vielä ole koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa. REMO2000-tutkimuksen tuloksiin pohjautuen vuonna 2000 ilmanvaihdon lämmön talteenottoasennuksia tehtäisiin hieman alle 2 %:iin rakennuskannasta vuosittain, mutta myöhemmin arvioitiin osuuksien olevan pienempiä. [3, s. 19, 25–27.]

Eräessä ympäristöministeriön teettämässä tutkimuksessa (2012) kysyttiin asiantuntijoiden näkemystä vuonna 2010 jo tehdyistä ja vuosina 2010–2050 tehtävien korjaustoimenpiteiden osuuksista. Vastaukset on esitetty taulukossa 1. Ilmanvaihtokorjauksien suhteen asiantuntijoiden näkemykset olivat hyvin vaihtelevia; ilmanvaihdon osalta korjaamattomiksi jäävien osuus vaihteli 20 %:n ja 80 %:n välillä. Arvioiden mukaan myös

läheisesti ilmanvaihtoon vaikuttava vaipan tiivistys jätettiin suurimmassa osassa (80 %) tekemättä. [3, s. 27.]

Kaikkia rakennuksia tarkasteltaessa asiantuntijat uskoivat, että lämmön talteenotolla varustettu ilmanvaihtojärjestelmä rakennettaisiin suurimpaan osaan (80–95 %) rakennuksista ennen vuotta 2050, vaikka asuinkerrostalojen kohdalla esiintyikin epävarmuutta. Pessimistinen näkemys kerrostalojen ilmanvaihtokorjauksista perustui raportin mukaan lähinnä tekniikoiden kehittymättömyyteen ja houkuttelevien, helposti toteutettavien ratkaisujen puutteeseen. [3, s. 26.]

Taulukko 1. Asiantuntijanäkemyksiin perustuva arvio talotyypeittäin niiden energiansäästötoimenpiteiden osuudesta, jotka jo on tehty ennen vuotta 2010 ja joita ei tehdä ennen vuotta 2050 [3, s. 27].

Asiantuntija-arvio energiansäästötoimenpiteiden tekemisestä 2010-2050	Ikkunoiden vaihto		Seinien lisäeristys		Yläpohjan lisäeristys		Vaipan tiivistys		Ilmanvaihdon lämmön-talteenoton rakentaminen		Huoneisto-kohtainen veden kulutuksen mittaus	
	Tehty	Ei tehdä	Tehty	Ei tehdä	Tehty	Ei tehdä	Tehty	Ei tehdä	Tehty	Ei tehdä	Tehty	Ei tehdä
	Omakotitalot	15 %	20 %	15 %	40 %	20 %	15 %	5 %	70 %	30 %	10 %	100 %
Rivitalot	15 %	10 %	15 %	40 %	5 %	20 %	5 %	70 %				5 %
Kerrostalot	15 %	15 %	8 %	40 %	3 %	75 %	5 %	80 %	5 %	80% / 20%		10 %
Liike- ja toimistorakennukset	15 %	15 %	10 %	50 %	0 %	75 %	5 %	80 %	50 %	5 %		100 %
Julkiset rakennukset	15 %	15 %	10 %	50 %	0 %	75 %	5 %	80 %	50 %	5 %		100 %

VTT:n 2005 julkaisemassa *Asuinrakennukset vuoteen 2025 – Uudistuotannon ja perusparantamisen tarve* -raportissa arvioitiin asuinrakennuskannan perusparannustarpeita kahdella kymmenen vuoden pituisilla ajanjaksoilla (2006–2015 ja 2016–2025). Koko asuntokannan perusparannustarpeen arvioitiin olevan 2016–2025 noin 1,9 miljardia euroa vuodessa. Asuinkerrostalojen perusparannustarpeet kasvoivat ajanjaksolla 2006–2015 lähes 30 % ja pysyivät ennallaan ajanjaksolla 2016–2025. Betonielementtisten julkisivujen korjaamisen vilkain ajanjakso ajoittuu 2020-luvulle, jolloin korjaamisen määrä on arvion mukaan kuusinkertainen verrattuna 1990-luvun korjaamisen määrään. Perusparannustarpeen määrän muutokset ja ajoittuminen selittyvät pitkälti uudistuotannon määrän muutoksilla 1960-, 1970- ja 1980-luvuilla. Toisaalta pieni osa rakennuskannasta jää kokonaan perusparantamatta. [12, s. 31.]

3 Ilmanvaihdon perusteita

Hyvin toimiva ilmanvaihtojärjestelmä huolehtii sisäilman laadusta sekä rakenteiden kunnosta. Ilmanvaihtojärjestelmän tehtävä on poistaa sisäilmaan tuotetut kosteuskuormat ja epäpuhtaudet, kuten ihmisen aineenvaihdunnan tuotteet sekä sisustusmateriaaleista haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Jotta ilmanvaihto tekisi tehtävänsä, tilaan tuotavan tuloilman tulee olla poistettavien epäpuhtauksien osalta puhtaampaa kuin sisäilman. Myös tuloilma tai ilmanvaihtojärjestelmä itsessään voi toimia epäpuhtauslähteenä. [13, s. 47.]

Tavallisesti tuloilmaa tuodaan puhtaammille alueille ja poistetaan tiloista, joissa epäpuhtauksia syntyy. Tavallisessa asunnossa epäpuhtauksia syntyy eniten keittiössä ja kylpyhuoneessa, joissa on poistoilmaventtiilit. Tulo- ja korvausilma pyritään ohjaamaan tiloihin, joissa oleskellaan, eli olo- ja makuuhuoneisiin. Näin estetään epäpuhtauksien leviäminen koko sisäilmaan ja oleskelutiloissa saavutetaan parempi sisäilman laatu. [14.]

Ilmanvaihdon toiminta perustuu paine-eroihin; ilma virtaa itsestään suuremmasta paineesta pienempään. Paine-ero voidaan saada aikaan lämpötilaeron ja tuulen yhteisvaikutuksella tai koneellisesti. Mitä suurempi paine-ero, sitä suurempi on ilmavirtaus. Rakennefysikaalisista syistä asuinrakennukset suunnitellaan lievästi alipaineisiksi, ja tyypillisesti asunnoissa vallitseva alipaine on noin 5–30 Pa. Asunto on liian alipaineinen, jos esim. ulko-oven avaaminen on hankalaa. [14.]

Ilmanvaihdon riittävydestä voidaan varmistua vain tiloissa tehtävillä mittauksilla, mutta esim. paperiarkin imeytyminen poistoilmaventtiiliin tai kylpyhuoneen peiliin normaalin suihkun yhteydessä tiivistyvän huurteen poistuminen 5–10 minuutissa ovat hyviä merkkejä. Ilmanvaihdon määriä on käsitelty tarkemmin määräysten ja ohjeiden sekä sisäilmastoluokituksen yhteydessä tämän työn luvuissa 5 ja 6. [5, s. 39.]

3.1 Rakenteiden tiiveys ja vuotoilmanvaihto

Rakennuksen vaipan ja ilmanvaihtokanavien tai -hormien tiiveys on keskeinen rakenteiden kosteudensiirtoon ja ilmanvaihdon toimintaan vaikuttava tekijä. Rakenteiden tiiveys vaikuttaa merkittävästi myös rakennuksen lämpöhäviöihin ja energiatehokkuu-

teen. Epätiiveys rakenteissa aiheutuu rakennusvaiheessa jääneistä raoista, asennuksissa vioittuneista höyrystyiluista sekä käytössä kuluneista rakennusosista ja tiivisteistä. Ilmanvaihtokanavien tai hormien osalta tiiveys saattaa olla ongelma lähinnä vanhemmissa painovoimaisen ilmanvaihdon kohteissa, joissa on rakenneaineiset hormit. [4, s. 22.]

Vuotoilmanvaihdolla tarkoitetaan rakenteiden epätiiveyskohtien kautta tapahtuvaa, hallitsematonta ilmanvaihtoa. Mitä suurempi on rakenteen yli vallitseva paine-ero, sitä suurempi on sen läpi virtaava ilmamäärä. Käytännössä poistoilmanvaihdon aiheuttama sisätilan alipaineisuus kasvattaa ulkoseinien läpi tapahtuvaa vuotoilmanvaihtoa. Rakenteiden läpi hallitsemattomasti virtaava ulkoilma on lämmittämätöntä ja aiheuttaa siten lämmityskaudella lämpöhäviöitä sekä vedon tunnetta. Tämän lisäksi vuotoilma on suodattamatonta ja pahimmassa tapauksessa ulkoilmaakin likaisempaa rakenteista mahdollisesti irtoavien epäpuhtauksien takia. Vuotoilmanvaihtoa voi tapahtua myös eri sisätilojen välillä, jos painesuhteet ovat väärät. Tällöin epäpuhtaudet (mm. tupakansavu ja hajut) pääsevät leviämään tiloista ja/tai asunnoista toisiin. Rakennuksen sisäiset paine-erot korostuvat korkeissa rakennuksissa. Kerrostaloissa on yleistä, että ilma virtaa sisään alakerran asuntoihin, niistä porraskäytävän kautta yläkerrokseen, joista se poistuu ylipaineisen seinän kautta. [14.]

Rakennuksen ilmanpitävyyttä kuvataan tavallisesti 50 Pa:n paine-erolla mitatulla ilma-vuotokertoimella n_{50} , joka kuvaa, kuinka moneen kertaan rakennuksen ilmatilavuus vaihtuu tunnissa. Tyypillisesti ilmanvuotokerroin on 2–4 1/h. Tiiviissä talossa kerroin on alle 1 1/h ja hatarassa yli 5 1/h. Toinen tapa kuvata vuotoilmanvaihdon suuruutta on ilmanvuotoluku q_{50} ($\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$), joka kuvaa keskimääräistä vuotoilmavirtaa suhteessa rakennusvaipan pinta-alaan 50 Pa:n paine-erolla [15]. Tavallisissa asumisolosuhteissa paine-ero on pienempi kuin mittauksissa käytetty 50 Pa, jolloin myös vuotoilmavirta on pienempi. [13, s. 31.]

Ilmanvaihtokanavien tai -hormien tiiveyttä voidaan kuvata esim. Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMk) mukaisilla tiiveysluokilla A–E, joista paras on luokka E. Kunkin tiiveysluokan suurin sallittu vuotoilmamäärä riippuu käytetystä paine-erosta annetun kaavan tai diagrammin mukaisesti. Esimerkiksi 200 Pa:n paine-erolla suurin sallittu vuotoilmavirta luokassa E on 0,01 ja luokassa A 0,85 $\text{dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$. Rakenneaineisten ilmanvaihtohormien tiivistämiseen on olemassa erilaisia tekniikoita, joista kahta (Schädler ja ALFO) tutkittiin eräässä VTT:n tutkimuksessa vuonna 1999. Molemmilla

hormien tiivistystekniikoilla oli mahdollista saavuttaa silloisten rakentamismääräysten mukainen K-luokan tiiviys ($2,58 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ paine-erolla 200 Pa). K-luokan tiiveys oli Helsingin kaupungin rakennusvalvontaviraston ohjeistuksen mukaan edellytys olemassa olevan hormin tiiveydelle siirryttäessä painovoimaisesta ilmanvaihdosta koneelliseen poistoon. [4, s. 49, 77; 16.]

3.2 Ilmanvaihtojärjestelmät

3.2.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimaisessa poistoilmanvaihdossa ilmanvaihdon käyttövoimana ovat ulko- ja sisäilman tiheyseroista johtuva terminen paine-ero sekä tuulen aiheuttama paine-ero. Painovoimainen ilmanvaihto on altis epäsuotuisen tuuli- ja lämpötilaosuhteiden aiheuttamille häiriöille ja jopa takaisinvirtaukselle. Painovoimaisen poistoilmanvaihdon suosio erityisesti asuinrakennuksissa on perustunut alhaisiin kustannuksiin. Painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä jokaisella tilalla tulee olla hormi. Painovoimainen ilmanvaihto ei itse aiheuta melua, mutta meluisalla paikalla ikkunatuuletus voi olla ongelmallista. Painovoimaisen ilmanvaihdon hallittavuus on hyvin rajallinen, ja joissain tapauksissa turvaudutaan tehostamaan ilmanvaihtoa tarvittaessa käytettävällä puhaltimella, jolloin puhutaan hybridi-ilmanvaihdosta. [17, s. 66–70.]

3.2.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa käyttövoimana on poistopuhaltimella aikaansaatua alipaine kanavistossa. Aikaansaadusta alipaineesta johtuen tilaan virtaa korvausilmaa sieltä, mistä ilma helpoiten pääsee virtaamaan. Korvausilman virtausreitteihin ja määrään voidaan vaikuttaa erilaisilla raitisilmaventtiileillä (sekä vaipan tiiveydellä). Erilaisia korvausilmaventtiilejä ym. ilman sisäänottoratkaisuja on esitelty lämmöntalteenottoratkaisujen yhteydessä tämän työn luvussa 8.

Koneellisesta poistoilmanvaihdosta on kaksi variaatiota, erillis- ja yhteiskanavajärjestelmä. Ensimmäisessä variaatiossa jokaisesta huoneistosta johdetaan oma erillinen poistoilmakanava ullakolle tai vesikatolle. Erilliskanavajärjestelmä on ollut verrattain harvinainen, mutta lisäsi suosiotaan säädettävyytensä johdosta. Yleisempi ja halvempi ratkaisu on ollut yhteiskanavajärjestelmä, jossa kanavat yhdistetään yhteiseen nousu-

kanavaan, joka johdetaan vesikatolle. Yhteiskanavavariaatio vie huomattavasti vähemmän tilaa, mutta vaatii enemmän panostusta paloturvallisuuteen ja säädettävyyteen. [18, s. 13.]

Ilman tulee päästä virtaamaan esteettömästi suunnitellulla reitillään raitisilmaventtiililtä aina poistoilmaventtiilille asti, joten myös huoneiston sisäisillä siirtoilmareiteillä on merkitystä. Tyypillinen siirtoilman virtausreitti on huoneiden välisten ovien alareunaan jätettävä aukko eli ovi- tai kynnysrako, jonka tulisi olla noin 15 mm korkea korkeintaan 15 m²:n kokoisessa huoneessa ja noin 30 mm suuremmissa huoneissa. Kylpyhuoneeseen johtavan oven kynnyksraon korkeuden tulisi olla noin 10 mm. Ovirakojen sijasta voidaan käyttää seinään asennettavia siirtoilmaventtiilejä. [5, s. 91.]

Käytännössä korvausilmaventtiilien käyttö on ollut melko harvinaista 1980-luvun lopulle saakka, ja korvausilma tulee vuotoilmana, mistä sattuu ja miten sattuu. Tämän lisäksi venttiilejä on tukittu esim. vedon takia tai peitetty esteettisten tekijöiden johdosta. Myös toimimattomia siirtoilmareittejä esiintyy, koska niitä ei välttämättä ole osattu huomioida esim. oven tai lattian vaihdon yhteydessä. [18, s. 16, 66.]

3.2.3 Koneellinen tulo-poistoilmanvaihto

Koneellisessa tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmässä sekä tulo- että poistoilma kulkevat hallitusti ilmanvaihtokanavien kautta sisään ja ulos rakennuksesta. Sekä tulo- että poistoilmakanavistolla on oma puhaltimensa. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon etuna on mahdollisuus tuloilman tehokkaaseen suodatukseen ja lämmön talteenottoon. Hyvin toimiva koneellinen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmä vaatii säännöllistä huoltoa ja kuluttaa enemmän sähköenergiaa kuin muut ilmanvaihtojärjestelmätyypit, mutta sillä voidaan saavuttaa merkittävästi parempi sisäilmasto. Korkeammasta sähköenergian kulu- tuksesta huolimatta täysin koneellinen ilmanvaihtojärjestelmä on energiatehokas.

Koneellinen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmä voi olla keskitetty, hajautettu tai huoneis- tokohtainen. Keskitetyssä tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmässä koko rakennukselle on yhteinen ilmanvaihtokone, joka sijoitetaan tyypillisesti katolle tai ullakolle. Asuntokohtaisessa järjestelmässä jokaisella asunnolla on oma ilmanvaihtokone, joka sijoitetaan useimmiten keittiöön, eteiseen tai kylpyhuoneeseen. Näiden kahden lisäksi on hajautettu ilmanvaihtojärjestelmä, jossa esim. jokaisessa rapussa tai kerroksessa on oma koneensa, joka palvelee useampaa asuntoa. Asuntokohtaisella tai hajautetulla ilman-

vaihtojärjestelmällä vältetään useimmiten kerrosten välisiä läpivientejä ja/tai pitkiä vaakasiirtoja.

Jos tuloilmaa kostutetaan tai jäähdytetään, puhutaan ilmastoinnista. Asuinkerrostaloissa tämä on ollut kuitenkin erittäin harvinaista. Mikäli koneelliseen tuloilmaan halutaan lisätä jäähdytys, tulee kanavisto eristää, mikä saattaa olla hyvinkin vaivalloista ja tilaa vievää.

3.3 Sisäilmaston fysikaaliset tekijät

Asuinrakennusten ja muiden oleskelutilojen terveellisyyteen, turvallisuuteen ja viihtyisyyteen vaikuttavat sekä fysikaaliset että kemialliset tekijät. Fysikaalisia tekijöitä ovat mm. sisäilman lämpötila, liike ja kosteus, melu ja valaistus. Ilmanvaihtuvuus on myös fysikaalinen tekijä. Sisäilmaston kemiallisia tekijöitä on käsitelty seuraavassa kappaleessa. Valaistuksen ei koettu olevan oleellinen tekijä työn aiheen kannalta, joten sitä ei käsitellä tässä työssä. [19, s. 9.]

3.3.1 Ilman lämpötila

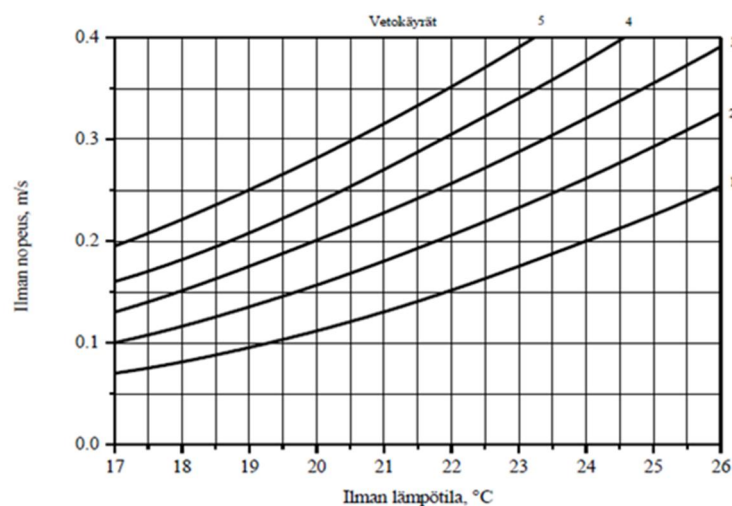
Sisäilman lämpötila etenkin oleskeluvyöhykkeellä on yksi tärkeimmistä tekijöistä terveellistä, turvallista ja viihtyisää sisäilmastoa tavoitellessa. Vaikka lämpötilan kokemisessa on jonkin verran yksilöllisiä eroja, lämpöoloihin tyytyväisten osuus on suurimmillaan huoneilman lämpötilan ollessa 21–23 °C. Oikea lämpötila mm. parantaa vireyttä, vähentää sairauksiin viittaavia oireita sekä parantaa ilman laatua mm. rakennusmateriaalien päästöjä pienentämällä. Ohjeellisten arvojen mukaan lämpötilan tulee olla välillä 18–26 °C lukuun ottamatta ulkoilman lämpimyydestä johtuvia ylityksiä. [17, s. 1; 19, s. 13.]

Ihmisen kokemiin lämpöoloihin vaikuttavat huoneilman lämpötilan ohella lämpösäteily, ilman liike ja kosteus sekä vaatetus ja ihmisen aktiviteettitaso. Lämpösäteily aiheutuu huonetilassa olevista kuumista tai kylmistä pinnoista, joiden vaikutus voidaan ottaa huomioon ns. operatiivisella lämpötilalla. Tavallisin operatiiviseen lämpötilaan vaikuttava kylmä pinta asunnoissa on ikkuna. [17, s. 2.]

Huoneeseen tuotavan tulo-, korvaus- tai raitisilman lämpötila on lähes aina huonelämpötilaan nähden alilämpöistä. Tästä johtuen sen tiheys on suurempi ja se pyrkii laskeutumaan huonetilan alaosaan. Tämä aiheuttaa konvektiovirtauksia ja vedon tunnetta. Käytännössä tuloilman lämpötilan tulisi olla vähintään 17 °C, jottei se aiheuttaisi vedon tunnetta tyypillisillä ilmamäärillä. Yleensä on energiatehokkaampaa käyttää huonelämpötilan hienosäätöön varsinaisia lämmittämiä, koska ne ovat tarkkasäätöisempiä ja huomioivat paremmin sisäiset ilmaislämmöt ja lämpökuormat. Ilmalämmityksessä kohteissa tuloilma voi olla myös ylilämpöistä, mutta tämä on järkevää lähinnä matala- tai nollaenergiatalojen tilojen lämmityksessä uudisrakentamisen puolella. [20, s. 111–113.]

3.3.2 Ilman liike ja veto

Vedontunne aiheutuu keskimääräistä suuremmasta, paikallisesta lämmönsiirrosta iholla, mikä johtuu ilman virtausnopeudesta ja/tai lämpötilasta. Herkimmin veto tuntuu niskan alueella ja virtaussuunnan ollessa alhaalta ylös tai takaa eteen. Mitä matalampi on ilman lämpötila, sitä pienemmällä ilman virtausnopeudella vedon tunnetta esiintyy. Lämpötilan ja ilman liikenopeuden vaikutusta vedontunteen esiintymiseen on kuvattu ns. vetokäyrässä (kuva 3). Korvaus- tai vuotoilman alilämpöisyydestä ja ilman laskeutumisesta johtuen kylmät lattiat ovat vedon ohella yleisiä tyytymättömyyttä aiheuttavia tekijöitä koneellisen poistoilmanvaihdon kohteissa. [17, s. 9–11.]



Kuva 3. Ilman liikenopeuden ja lämpötilan vaikutus vedontunteen esiintymiseen, ns. vetokäyrästä [16].

Sisäilmastoluokituksessa 2008 (esitely myöhemmin paremman sisäilmaston yhteydessä luvussa 6), hyvän sisäilmaston lämpöoloja kuvataan vedottomiksi. Sisäilmastoluokituksen tavoitearvojen (S2) mukaan tämä tarkoittaa 21 °C:n lämpöisellä ilmalla korkeintaan 0,17 m/s ja 25 °C:n lämpöisellä ilmalla korkeintaan 0,25 m/s ilman liikenopeutta oleskeluvyöhykkeellä. Tyydyttävälle sisäilmastolle (S3) vastaavat arvot ovat 0,2 ja 0,3 m/s. [21.]

Vedontunnetta voidaan vähentää joko korvausilmaa lämmittämällä tai sen liikenopeutta pienentämällä. Ilmamäärän ollessa tietyn suuruinen ilman liikenopeuteen voidaan vaikuttaa suurentamalla virtausaukkoa, lisäämällä aukkojen määrää tai ohjaamalla ilmavirta suuremmalle pinta-alalle. Toisaalta virtausaukon/ -aukkojen kasvattaminen vähentää ilman virtausnopeutta ja sen alkunopeutta, joka useimmiten on edellytys vedottomalle ilmanjaolle etenkin koneellisen poistoilmanvaihdon kohteissa. [22, s. 75.]

3.3.3 Ilmanjako

Vaikka ilmamäärät sekä ilman lämpötila ja laatu olisivat kunnossa, niiden huono jakautuminen oleskeluvyöhykkeelle saattaa mitätöidä mahdollisuuden hyvään sisäilman laatuun. Jos ilma kulkeutuu esimerkiksi suoraan tuloilmalaitteelta poistoilmaventtiilille, siitä ei ole juurikaan hyötyä ilman laadun kannalta. Tällaista ilmiötä kutsutaan oikosulkuvirtaukseksi. Ilman tulisi siis virrata koko oleskeluvyöhykkeelle vedottomasti ja meluttomasti myös tehostetuilla ilmavirroilla. Puhaltimet kuluttavat sitä enemmän energiaa, mitä enemmän ilmaa liikutellaan, joten tehokkaammalla ilmanjaolla voidaan säästää puhallinenergiaa tinkimättä ilman laadusta. [17, s. 137.]

Tavallisin ilmanjakotapa kerrostaloissa on sekoittava ilmanvaihto, joka nimensä mukaisesti sekoittaa tuloilman tehokkaasti huoneilmaan. Tämä perustuu aiemmin mainittuun, tarpeeksi suureen alkunopeuteen, minkä lisäksi ilmasuihku ohjataan useimmiten huoneen yläosaan. Alilämpöinen tuloilma ehtii tällöin lämpenemään sekä hidastumaan ennen oleskeluvyöhykkeelle saapumista. Koneellisen tuloilman järjestelmiin on runsaasti erilaisia suuttimia ja hajottajia, joiden avulla tehokas ilmanjako on saavutettavissa, mutta koneellisen poiston järjestelmillä tähän tavoitteeseen on vaikea, ellei jopa mahdoton päästä. Joissain ratkaisuissa koneellisen poistoilmanvaihdon korvausilma saadaan kuitenkin johdettua lämmittävän rakenteen kautta. Näitä asioita on käsitelty enemmän lämmöntalteenottoratkaisujen yhteydessä tämän työn luvussa 8.

3.3.4 Ilman kosteus

Sisäilman kosteus vaikuttaa ihmisen hikoiluun ja hengitykseen sekä lämpöolojen kokemiseen. Liiallinen ilman kosteus voi edistää pölypunkkien esiintymistä ja aiheuttaa kosteuden tiivistymistä rakenteisiin, mikä lisää mikrobikasvun ja kohonneiden materiaali-päästöjen riskiä. Kuiva ilma puolestaan hidastaa hengitysteiden värekarvojen liikettä ja heikentää liman poistumista, jolloin limakalvojen vastustuskyky erilaisia tulehduksia vastaan heikkenee. Liian kuiva ilma aiheuttaa sairauksiin viittaavaa oireilua ja epäviihtyisyyttä. [19, s. 16.]

Sisäilman kosteutta kuvataan yleensä suhteellisella kosteudella, joka tarkoittaa ilmassa olevan vesihöyryn määrää suhteessa vallitsevalle lämpötilalle ominaiseen maksimimäärään. Ilman absoluuttisella kosteudella tarkoitetaan yhden kuution sisältämän vesihöyryn massaa, joka ei muutu ilman lämmitessä tai jäähtyessä, ellei kastepistettä aliteta. Kastepiste kuvaa lämpötilaa, jossa vesihöyryn maksimimäärä ylittyy ja vettä tiivistyy ilmasta. Suhteellinen kosteus riippuu suuresti lämpötilasta ja mitä lämpimämpää ilma on, sitä enemmän siinä voi olla vesihöyryä. [23, s. 39–45]

Asunnon sisäilman suhteellisen kosteuden tulisi olla noin 20–60 %, mutta raja-arvojen välille voi olla mahdotonta päästä mm. ilmastollisista syistä [19, s. 16]. Ulkoilman kosteus ja lämpötila vaihtelevat vuoden ajan ja kelin mukaan, minkä lisäksi tavanomaisessa asumisessa syntyvä kosteuskuorma on luonteeltaan vaihtelevaa ja ajoittain runsasta. Pakkasilla ulkoilman absoluuttinen kosteus on hyvin matala (vaikka suhteellinen kosteus olisikin korkea) ja huoneilma suhteellisesti vielä kuivempaa.

Kosteusfysiikan kannalta on tärkeää, että ilma kulkee rakenteessa ulkoa sisälle, koska Suomen kylmässä ilmastossa seinän sisään pääsevä sisäilman kosteus tiivistyy herkästi. Parhaiten tämä voidaan estää toimivalla ilmanvaihdolla, oikeilla painesuhteilla ja tiiviillä höyrysululla. Viime vuosina on puhuttu paljon liian tiiviiden rakenteiden aiheuttamista sisäilma- ja kosteusongelmista. Itse tiiviys ei kuitenkaan ole ongelmien syy, vaan sisäilman epäpuhtauslähteet ja puutteellinen ilmanvaihto. [24.]

3.3.5 Melu

Melu vaikuttaa ihmiseen hyvin vaihtelevasti, kun pois luetaan voimakkaat kuulovaurioita aiheuttavat äänet. Asuinrakennuksissa melua, johon asukas itse ei voi vaikuttaa,

syntyy ulkotiloissa esim. liikenteestä ja sisätiloissa esim. erilaisista kodinkoneista ja talotekniikasta. Tällainen melu voi häiritä nukahtamista sekä unen laatua ja kestoa, minkä lisäksi se voi aiheuttaa viihtyisyyshaittaa. Melulle altistuessa saattaa esiintyä vaarattomia, ohimeneviä elintoimintojen muutoksia sekä aggressiota, masentuneisuutta ja päänsärkyä. Unen häiriintymistä alkaa esiintyä melutasolla 25–35 dB(A), mikä on melko lähellä Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D2 (RakMk D2) mukaisia äänitasojen ohjearvoja: keskiäänitason tulisi olla asuinhuoneissa korkeintaan 28 dB(A), kylpyhuoneissa 38 dB(A) ja muualla 33 dB(A). [16; 19, s. 31–32.]

Ilmanvaihdon kannalta oleellisia meluhaittoja saattavat olla poistoilmapuhaltimesta kantautuva ääni, muut kanaviston kautta kantautuvat äänet sekä mm. erilaisista venttiileistä aiheutuvat suhinat ja vinkumiset. Ilmanvaihtojärjestelmän aiheuttamaa melua voidaan hillitä rajoittamalla ilman liikenopeutta ja/tai käyttämällä äänenvaimentimia ym. ääntä vaimentavia rakenteita. Ääniteknisesti ajatellen ilman virtausnopeuden kanavassa tulisi olla enintään 3-4 m/s. Nykyaikaiset puhaltimet ovat usein huomattavasti hiljaisempia kuin vanhemmat edeltäjänsä. Huonosta ilmanvaihdosta johtuva ikkunatuuletus saattaa myös aiheuttaa meluhaittaa.

3.4 Sisäilmaston kemialliset tekijät

Fysikaalisten tekijöiden lisäksi sisäilmastoon vaikuttavat ilman kemialliset tekijät eli erilaisten epäpuhtauksien määrä. Sisäilmassa voi olla ärsytysoireita ja terveyshaittoja aiheuttavia epäpuhtauksia myös tietämättämme; esimerkiksi häkää tai radonia ei voi haistaa. Erilaiset hajut koetaan kerrostaloissa usein häiritseviksi varsinkin silloin, kun hajujen aiheuttajaan ei aistija itse voi vaikuttaa. [24.]

Välittömin ja merkittävin ominaisuus sisäilmassa on sen happipitoisuus, koska ihminen tarvitsee happea elintoiminnoissaan. Ihmisen aineenvaihdunnan lopputuotteina syntyy mm. hiilidioksidia ja useita haisevia yhdisteitä. Asumiseen liittyvät toimet kuten ruoanlaitto aiheuttavat hetkellistä epäpuhtauskuormaa. Näiden ohella rakennusmateriaalit ja ulkoilma voivat toimia epäpuhtauslähteinä. Yhtenä ilmanlaadun mittarina on nenä, joka aistii huonon ilman herkimmin tilaan tullessaan. Vaikka nenä aistii herkästi hajuja ja hiilidioksidia, se myös tottuu huonoon sisäilmaan nopeasti. [23.]

Kemialliset epäpuhtaudet ovat hiukkasmaisia tai kaasumaisia aineita, jotka voidaan jakaa orgaanisiin ja epäorgaanisiin yhdisteisiin. Kemiallisten epäpuhtauksien pitoisuudet sisäilmassa saattavat vaihdella ympäristö-olosuhteiden tai rakennuksessa ja sen ulkopuolella tapahtuvien toimintojen mukaan. Rakennusten ulkopuolisista toiminnoista johtuvaa epäpuhtauksien kuormaa voidaan pienentää tulo- tai korvausilman suodatuksella. Sisäilman kaasumaisten orgaanisten yhdisteiden epäillään olevan yhteydessä ihmisten kokemiin terveys- ja hajuhaittoihin ja erityisesti asumisviihtyvyyttä vähentäviin tuntemuksiin. Ilmassa samanaikaisesti esiintyvillä useilla yhdisteillä saattaa olla toisiinsa vahvistava vaikutus. [25.]

Ihmisen altistuminen epäpuhtauksille riippuu kolmesta tekijästä, jotka ovat päästön määrä ja laatu, altistusaika sekä ilmanvaihtuvuus (laimennusvaikutus). Kotiolosuhteissa altistusaikaa ei juurikaan voida lyhentää. Joihinkin päästöihin voidaan vaikuttaa esim. rakennusmateriaaleja vaihtamalla, mutta ihmisperäisiin päästöihin voidaan vaikuttaa vain ilmanvaihdolla. [19, s. 21.]

3.4.1 Hiilidioksidi ja muut ihmisperäiset epäpuhtaudet

Ihmisen ollessa epäpuhtauksien pääasiallisena lähteenä ilman laatua voidaan kuvata hiilidioksidipitoisuudella, koska se on likimain verrannollinen hengityksen ja ihon kautta vapautuvien epäpuhtauksien määrään. Normaaliolosuhteissa hiilidioksidi on hajuton, väritön, myrkytön ja huonosti reagoiva kaasu, joka on suurina pitoisuuksina (noin 5 000 ppm) terveydelle haitallista. Puhtaana kaasuna se syrjäyttää hapen ja voi tukahduttaa ihmisen. Terveystasojen mukainen hiilidioksidipitoisuus oleskelutiloissa on 1 500 ppm, joka saadaan ylläpidettyä ulkoilmavirralla $4 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{hlö}$ [19, s. 22]. RakMk D2:n mukaan hiilidioksidipitoisuuden tulisi olla huonetilan käyttöaikana alle 1 200 ppm ja Sisäilmastoluokituksen luokan S1 tavoitearvo on alle 750 ppm. Ulkoilman hiilidioksidipitoisuus on noin 400 ppm. [14; 16; 24.]

Ihmisen aineenvaihdunta tuottaa hiilidioksidin ohella myös kosteuskuormaa ja useita pahanhajuisia eritteitä, jotka poistuvat kehosta uloshengityksen tai hikoilun kautta. Tällaisia ovat mm. metaani ja aldehydit. Ilmanvaihdolla voi olla myös merkitystä ihmisperäisten virusten ja bakteerien leviämisessä. Ihmisen toiminnasta aiheutuvia epäpuhtauksia syntyy lähinnä ruoanlaiton, suihkun tai pyykinpesun yhteydessä. Tällaisista toiminnoista syntyy myös paljon kosteuskuormaa. [24.]

3.4.2 Radon

Radon on radioaktiivinen, asuntojen ja työpaikkojen sisäilmassa esiintyvä näkymätön ja hajuton jalokaasu. Radon on peräisin maaperästä ja sen esiintyminen on paikallista, mutta Suomessa tietyillä alueilla runsasta. Noin puolet suomalaisen saamasta säteilyannoksesta on peräisin huoneilman radonista. Suomessa noin 300 henkeä saa arvioiden mukaan vuosittain keuhkosyövän radonista. [26.]

3.4.3 Rakennusmateriaalien päästöt

Sisäilmassa esiintyvien haihtuvien yhdisteiden kokonaismäärää kuvataan termillä TVOC (*Total Volatile Organic Compounds*). TVOC-pitoisuutta ei voida käyttää sellaiseen terveyshaitan arvioinnissa, mutta TVOC-pitoisuus yli 600 µg/m³ kiellii kohonneista pitoisuuksista ja lisäselvitykset ovat todennäköisesti tarpeen. Kemiallisten epäpuhtauksien pitoisuudet ovat usein korkeimmillaan uusissa ja hiljattain korjatuissa rakennuksissa. [19, s. 56.]

Tyypillisiä rakennus- ja sisustusmateriaaleihin sekä liimoihin, lakkoihin ja puhdistusaineisiin liittyviä yhdisteitä ovat ammoniakki, formaldehydi ja styreeni. Ammoniakkia saatetaan olla sisäilmassa, kun se haisee lämpötilan ja kosteuden muutosten mukaan vaihtelevasti pistävälle, mädän tyyppiselle hajulle tai kun lattiapinnassa esiintyy tummia värimuutoksia. Kuten ammoniakille, myös formaldehydille sekä styreenille on tyypillistä pistävä hajua. Kaikki mainitut yhdisteet aiheuttavat erilaisia ärsytysoireita silmissä, hengitysteissä ja iholla. Tupakointi lisää mm. ilman ammoniakki- ja formaldehydipitoisuutta. [19, s. 59–60, 62, 65.]

Asbesti on yleisnimi tietyille luonnossa esiintyville mineraalikuiduille. Asbestia käytettiin laajasti vielä 1970-luvun alussa, mutta sen käyttö, maahantuonti ja kauppa ovat olleet kiellettyä vuodesta 1994 lähtien. Asbestille saatetaan altistua lähinnä rakenteiden purku- ja korjaustöiden yhteydessä, jos suojautuminen on puutteellista. Asbestia on käytetty paljon sen hyvien rakennusteknisten ominaisuuksien johdosta, ennen kuin sen vaarallisuus kävi ilmi. Asbestikuidut ovat läpimitaltaan pieniä (0,03–3 µm) ja kulkeutuvat sekä kerääntyvät keuhkoihin. Asbesti aiheuttaa keuhkosyöpää, asbestoosia ja muita keuhkosairauksia. [19, s. 60.]

Rakennusmateriaalien päästöluokitus on suunniteltu tavallisissa asuin- ja työhuoneissa esiintyvien rakennusmateriaalien luokittelua varten. Luokituksessa rakennusmateriaalit jaetaan kolmeen luokkaan, joista M1 on paras. M1-merkki kertoo, että tuote on testattu puolueettomassa laboratoriossa ja että se on vakioiduissa testiolosuhteissa täyttänyt neljän viikon iässä M1-luokalle asetetut vaatimukset. Luokituksessa asetetaan vaatimuksia materiaaleista huoneilmaan kulkeutuville kemiallisille päästöille. Ainoa tuotteen koostumukseen kohdistuva vaatimus on laastien, tasoitteiden ja silotteiden kaseiinittomuus. M1-luokan materiaaleihin voidaan rinnastaa pinnoittamattomina tiili, luonnonkivi, keraaminen laatta, lasi ja metalli. Testaamattomille materiaaleille ei myönnetä luokitusmerkkiä. [27.]

3.4.4 Hiukkasmaiset epäpuhtaudet

Hiukkaset jaotellaan kokonsa perusteella kokonaisleijumaan, hengitettäviin hiukkasiin ja pienhiukkasiin. Kokonaisleijumalla (TSP) tarkoitetaan kaikkia ilmassa leijuvia hiukkasia ja suurin osa kokonaisleijuman massasta on karkeaa pölyä. Hengitettävät hiukkaset ovat aerodynaamiselta halkaisijaltaan alle 10 µm:n ja pienhiukkaset alle 2,5 µm:n kokoisia hiukkasia. Alle 0,1 µm:n hiukkasia kutsutaan ultrapieniksi. Etenkin pienhiukkaset ovat erittäin haitallisia ihmisten terveydelle. [19, s. 66.]

Hiukkaset syntyvät liikenteessä, teollisuudessa ja energiantuotannossa sekä ihmisen toiminnan seurauksena. Näiden lisäksi merkittävästi ulkoilman hiukkaspitoisuuksia nostaa keväisin nouseva katupöly. Suomessa suurin osa ulkoilmassa leijuvasta pienhiukkasmassasta on kaukokulkeumaa, jonka osuus jopa vilkasliikenteisillä alueilla on keskimäärin jopa 50–70 % pienhiukkasista. Hiukkasmaisille epäpuhtauksille altistuminen tapahtuu kuitenkin pääosin sisätiloissa pitkästä altistusajasta (sisätiloissa oleskelu) johtuen. Sisäilmaston pienhiukkasten ylivoimaisesti merkittävin lähde on sisätiloissa tapahtuva tupakointi. [19, s. 66; 28.]

Suuret hiukkaset laskeutuvat lattialle ja muille pinnoille. Sisäänhengitysilman mukana tulevat, suuret hiukkaset jäävät ylähengitysteihin ja poistuvat yskimällä, aivastelemalla ja liman mukana aiheuttaen lähinnä ärsytysoireita (nuha, yskä). Hengitettävät hiukkaset pääsevät kulkeutumaan keuhkoputkiin saakka ja pienhiukkaset aina keuhkorakkuloihin saakka. Keuhkoihin tunkeutuvat hiukkaset poistuvat elimistöstä huomattavasti hitaammin kuin suuret hiukkaset. Kaikista pienimmät hiukkaset saattavat tunkeutua keuhkorakkuloista edemmäs verenkiertoon, jossa ne voivat vaikuttaa pitkiäkin aikoja. Korkea

pienhiukkasten määrä voi aiheuttaa ärsytysoireita ja lisää hengitys- ja sydänoireita sekä heikentää keuhkojen ja sydämen toimintakykyä. Ulkoilman pienhiukkasten on todettu lisäävän lasten ja astmaatikkojen oireita sekä hengitys- ja sydänsairaiden sairaalaanottoja ja kuolleisuutta. Ulkoilman hiukkasten aiheuttamien terveyshaittojen ehkäisemiseksi ei ole nykyisen tutkimustiedon perusteella määritettävissä pitoisuutta, jonka alapuolella haittoja ei esiintyisi. [19, s. 66; 28.]

3.4.5 Hiilimonoksidi eli häkä

Hiilimonoksidia (CO) eli häkää syntyy hiiltä sisältävien aineiden epätäydellisessä palamisessa. Sisäilman hiilimonoksidin lähteitä ovat liikenteen pakokaasujen ohella väärin toimivat tai käytetyt uunit, takat ja kaasuliedet sekä tupakointi. Hiilimonoksidi on vaarallista, koska se sitoutuu veren hemoglobiiniin rajoittaen veren kykyä kuljettaa happea. Lievä häkämyrkytys aiheuttaa päänsärkyä, pahoinvointia ja hengenahdistusta. Vakavaan häkämyrkytykseen voi kuolla. [19, s. 64.]

3.4.6 Tupakansavu

Tupakansavu on savukkeiden ja muiden tupakkatuotteiden poltosta muodostuvien hiukkasten, aerosolien ja kaasujen seos. Tupakansavu on hyvin yleinen ongelma kerrostaloissa. Hatarissa tai huonosti toimivalla ilmanvaihdolla varustetuissa kerrostaloissa tupakansavu leviää helposti, minkä lisäksi se aistitaan herkästi. Tupakansavussa on yli 4 000 yksittäistä yhdistettä, joista yli sata ovat ihmiselle haitallisia ja noin 40 aiheuttavat syöpää. Hiukkasten keskimääräinen halkaisija tupakansavussa on 0,1 µm, joten suurin osa hiukkasista tunkeutuu syvälle keuhkoihin. Tupakansavusta käytetään myös lyhennettä YTS (ympäristön tupakansavu). Sisätiloissa tapahtuvalle tupakoinnille altistuu (passiivinen tupakointi mukaan lukien) 40 % väestöstä. [19, s. 68; 28.]

3.4.7 Mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet

Kosteusvaurioituneesta rakenteesta voi kulkeutua sisäilmaan hiukkasia ja/tai mikrobien aineenvaihduntatuotteita. Erityisesti sisäilman laatua pilaavat esim. ikkunarakenteiden saumakohtiin muodostuvat mikrobikasvustot, koska ne kulkeutuvat helpommin sisäilmaan kuin rakenteiden sisällä olevat. Mikrobien aineenvaihduntatuotteita ovat erilaiset

mykotoksiinit ja VOC, josta käytetään tässä yhteydessä myös nimitystä MVOC (*Microbial Volatile Organic Compounds*). [19, s. 71–72; 29; 30.]

Tiettyjen ärsytysoireiden kuten silmien, nenän ja kurkun ärsytyksen sekä hengenhdistuksen ja astman vaikeutumisen on osoitettu liittyvän home- ja kosteusvaurioihin. Myös äänen käheys, kurkkukipu, yskä, lämpöily ja limannousu ovat yleisiä oireita. Homeinen, tunkkainen tai hieman imelä haju on selvä merkki rakennuksessa piilevästä kosteus- ja homevauriosta. Kaikki mikrobit eivät kuitenkaan aiheuta helposti aistittavaa hajua, jolloin mahdollisen kosteusvaurion tai mikrobikasvuston olemassa olosta voidaan ottaa selvää esim. itiö- tai MVOC-pitoisuuksia mittaamalla. [19, s. 71–72; 29; 30.]

3.5 Ilman suodatus

Ulkoilman tehokas suodatus olisi erittäin tärkeää sisäilman laadun kannalta varsinkin kaupunkiympäristössä. Suodattimien aiheuttaman painehäviön vuoksi niiden käyttö on kuitenkin rajoitettua etenkin ilman koneellista tuloilmaa. Karkeasti voisi sanoa, että mitä vähemmän suodatin päästää lävitseen epäpuhtauksia, sitä suuremman painehäviön se aiheuttaa. Kun suodattimia on, niitä pitää myös vaihtaa tai pestä riittävän usein. Likaiset suodattimet voivat pilata sisäilmaa, vahingoittaa laitteistoa ja aiheuttaa esim. paloturvallisuusriskin.

Suodattimen vaihtotarpeen indikaattorina pidetään yleensä sen aiheuttaman paineron kasvamista, jota koneellisissa tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmissä mitataan automaattisesti. Mittarointi saati automatisointi ei kuitenkaan ole järkevää pienten suodattimien tai ilmanvaihtokoneiden tapauksessa ja parempi tapa on seurata suodattimen likaisuutta silmämääräisesti. Tällöin voidaan puhua hygieenisestä vaihtovälistä, joka kaupunkialueilla on noin 3–6 kuukautta. Käyttämällä esisuodatinta voidaan suodattimen vaihtoväliä pidentää, sillä vaihtamalla esisuodatin tarpeeksi usein säilyy varsinainen suodatin (ja muut komponentit) pidempään puhtaana. [14.]

3.5.1 Suodattimien luokittelu

Suodattimet luokitellaan standardin SFS-EN 779 (2012) mukaan karkeasuodattimiin G1–G4, perussuodattimiin M5–M6 ja hienosuodattimiin F7–F9. Luokitus perustuu ilmansuodattimien alimpaan erotusasteeseen ja suodatustehoon, johon viitataan myös

käsitteellä minimierotusaste (ME). Karkeasuodattimet jaetaan luokkiin synteettisen pölyn keskimääräisen erotuskyvyn mukaan, joka G1-luokassa on 50–65 % ja G4-luokassa vähintään 90 %. Perus- ja hienosuodattimissa tarkastellaan 0,4 µm:n hiukkasten keskimääräistä erotusastetta, joka M5-luokassa on 40–60 % ja F9-luokassa vähintään 95 %. Hienosuodattimille annetaan erotuskyvyn lisäksi minimierotusaste, jonka on oltava 0,4 µm:n kokoisille hiukkasille F7-luokassa 35 %, F8-luokassa 55 % ja F9-luokassa 70 %. Tavallisimmat ilmanvaihdon suodattimet ovat luokkaa F7, joka vastaa karkeasti määräysten vaatimaa tasoa. [31.]

Edellä mainittujen suodattimien lisäksi on myös tehokkaampia EPA-, HEPA- ja ULPA-suodattimia, joiden luokittelussa testataan mm. tunkeutuvimpien hiukkasten (MPPS) erotusastetta. EPA-suodattimet jaetaan luokkiin E10–E12, HEPA-suodattimet luokkiin H13–H14 ja ULPA-suodattimet luokkiin U15–U17. Parhaimmat suodattimet pidättävät käytännössä 100 % tunkeutuvimmista hiukkasista; prosentin tarkkuudella ilmaistuna tätä edellytetään jo luokan E12 suodattimelta. [31.]

3.5.2 Kemialliset suodattimet

Kemialliset suodattimet poistavat kaasumaisia epäpuhtauksia. Suodattimien materiaali on usein aktiivihiltä. Aktiivihillisuodattimia käytetään hajujen, höyryjen sekä matalien kaasupitoisuuksien poistoon esim. ilmaa kierrättävissä liesituulettimissa. Kemiallisilla suodattimilla voisi olla käyttöä kerrostaloasunnoissa, joissa parveketupakointi aiheuttaa tupakansavun leviämisen ulkoilman sisäänoton kautta huoneistoihin. Valitettavasti riittävän pienikokoista ja tehokasta suodatinta ei ole saatavilla asuntokohtaisiin ilmanvaihtokoneisiin. Tämän lisäksi niiden käyttöikä on lyhyt, ja ne vaativat usein rinnalleen toisen, jopa kaksikin suodatinta. [32; 33.]

3.5.3 Sähkösuodattimet ja ilmanpuhdistimet

Sähkösuodatin eli elektrostaattinen suodatin perustuu varauksiin, jotka aikaan saadaan pienellä jännitteellä. Poistettavat epäpuhtaudet varataan sähköisesti ja kerätään vastakkaisen varauksen omaavalle keräysalustalle. Elektrostaattinen suodatin voi oikein toimiessaan poistaa mekaanista suodatinta tehokkaammin ihmisen terveydelle haitallimmien hiukkaskoon. Sähkösuodatin mielletään pitkäikäiseksi ja helppohoitoiseksi, koska sen huollosi riittää pelkkä pesu. Toisaalta sähkösuodattimen toiminta vaatii

säännöllistä puhdistusta, jopa suhteellisen usein, jotta se toimisi suunnitellulla tavalla. Käytännössä suodattimeen saattaa kertyä likaa jota on vaikea saada poistettua kunnolla, jolloin erotuskyky heikkenee huomattavasti. [34.]

Markkinoilla on paljon erilaisia ilmanpuhdistimia, jotka yleensä ovat eri suodatustekniikoista koostuvia yhdistelmiä. Esimerkkinä tällaisesta yhdistelmäsuodattimesta on Elixairin kanavaan asennettava ilmanpuhdistin, jossa on yhdistetty kaikki kolme suodattintyyppiä: esisuodatin kerää isot pölyhiukkaset, sähkösuodattimet keräävät pienimmätkin mikrohiukkaset ja aktiivihiilisuodatin imee hajuja ja kaasuja. Esi- ja sähkösuodattimet pestään, huuhdotaan ja kuivataan 3–6 kertaa vuodessa. Elixair E416- ja E1250-ilmanpuhdistimet soveltuvat ilmamäärille 111 dm³/s ja 278 dm³/s. Elixair-kanavasuoatattimen esitteessä painehäviön kerrotaan olevan 10 Pa ilman virtausnopeudella 1 m/s. [35.]

3.6 Ilman lämmitys ja jäähdytys

Ilman ominaislämpökapasiteetti on noin 1,0 kJ/kg/°C. Tämä tarkoittaa, että yhden ilmailon lämmittäminen yhdellä asteella vaatii 1,0 kJ energiaa. Ilman tiheys riippuu paineesta ja lämpötilasta, mutta käytännön laskuissa voidaan käyttää arvoa 1,2 kg/m³. Täten yhden ilmakeuution lämmittäminen yhdellä asteella vaatii noin 1,2 kJ energiaa. Vastaavasti yhden ilmakeuution lämmittäminen vaatii Etelä-Suomen mitoituspakkasella (−26 °C) noin 60 kJ energiaa. Kun halutaan arvioida ilmanvaihdon lämmityksen vaatimaa lämpötehoa, kerrotaan kyseinen arvo tilavuusvirralla ja lämpötilaerolla [36, s. 173]. Esimerkiksi 100 dm³/s ilmavirran lämmittäminen ulkoilman lämpötilasta −26 °C tuloilman lämpötilaan 18 °C vaatii noin 5,3 kW:n tehon:

$$1,2 \text{ kJ/m}^3/\text{°C} \cdot 0,100 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (18 - (-26)) \text{ °C} = 5,3 \text{ kW}$$

Todellisuudessa ilma on kuivan ilman ja vesihöyryn seos, mikä vaikuttaa merkittävästi ilman ominaisuuksiin ja käyttäytymiseen. Vesihöyryn vaikutus voidaan huomioida käyttämällä lämpötilan sijasta ilman entalpiaa eli energiasisältöä. Tarkemmissa ja varsinkin ilmakeuuteluprosesseihin liittyvissä tarkasteluissa tämä sekä ilman tiheyden lämpötilariippuvuus tulee huomioida. [23, s. 38–45.] Jos kuvitellaan edellisen esimerkin ilmavirran vaatimaa lämmitystehoa ja siihen liittyvän patterin vesivirtaa, saadaan paljon pienempi virtaama veden suuremmasta ominaislämpökapasiteetista ja tiheydestä johtuen.

Veden ominaislämpökapasiteetti on noin 4,2 kJ/kg/°C ja tiheys 1000 kg/m³. Näillä saadaan 5,3 kW:n teholle 0,04 dm³/s vesivirta:

$$5,3 \text{ kW} / 4,2 \text{ kJ/kg/}^\circ\text{C} / 1 \text{ kg/dm}^3 / 30 \text{ }^\circ\text{C} = 0,04 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Käytännössä tämä tarkoittaa, että vesikiertoinen patteri vaatii vähemmän tilaa kuin ilma-ilma-lämmönsiirrin. Myös sähköpattereilla on pieni tilantarve, minkä lisäksi ne tarvitsevat putkituksen sijasta vain sähköjohdon.

Ilman jäähdytys toimii kuten lämmitys, mutta toisin päin. Jäähdytyksen tapauksessa tulee huomioida myös kondenssivaara ja jäähdytystehoja tarkastella nimenomaan entalpian avulla. Koneellinen jäähdytys lisää merkittävästi viihtyisyyttä kesäaikana, mutta se ei ole ollut yleinen asuinkerrostaloissa. Koneellisen jäähdytyksen ohella kevyt ja kätevä keino asuinrakennusten lämpötilojen hallintaan on yötuuletus. Myös lämpöpumpputekniikalla on mahdollista viilentää sisäilmaa.

3.7 Ilmanvaihdon säätötavat

3.7.1 Kello-ohjaus

Perinteinen aiemmin vallinnut tapa ohjata koneellista poistoilmanvaihtoa kerrostaloissa on kello-ohjaus, missä ilmanvaihtoa tehostetaan oletettuina ruoanlaittoaikoina esim. klo 17–19. Nykyään sama ruoanlaittoajankohta sopii harvalle, joten tehostuksen hyöty on kyseenalainen. Usein tehostusaikojen ulkopuolella ilmanvaihtuvuus on vielä ohjearvoja huomattavasti pienempi (esim. puolet), ja tehostusaikana saattaa aiheutua turhia meluongelmia. Kello-ohjaus juontaa juurensa alun perin sallittuun ilmavirtojen puolittamiseen ulkolämpötilan laskiessa alle raja-arvon. [4, s. 15.]

3.7.2 Vakioilmanvaihto

Vakioilmanvaihdossa ilmavirta on nimensä mukaisesti vakio ympäri vuorokauden. Kello-ohjauksella ja vakioilmanvaihdolla tarkoitetaan monissa yhteyksissä samaa asiaa, mutta tämän työn parissa ne mielletään eri ohjaustavoiksi. Teoriassa vakioilmanvaihdon ilmamäärän on oltava vaatimusten mukainen eli vähintään 0,5 l/h. Tässä ohjeustavassa on mahdollista, ettei ilmanvaihto ruoanlaitto- tai pyykinpesuaikoina olekaan

riittävä mutta ”tuhlataan” jatkuvasti energiaa tarpeettomasti vaikka vähempikin riittäisi esim. asukkaiden poissa ollessa. Kello-ohjauksesta on jossain tapauksissa siirrytty vakioilmanvaihtoon ns. painotetun keskiarvon ilmavirralla, mihin on oltu tyytyväisiä näissä kohteissa [37].

3.7.3 Huoneistokohtainen ohjaus (tehostus)

Huoneisto- tai henkilökohtaisesti säädettävissä olevasta ilmanvaihdosta käytetään myös nimitystä käsiohjaus, mikä on mahdollista niin keskitetyissä että huoneistokohtaisissa järjestelmissä, mutta huomattavasti joustavampaa ja toimintavarmempaa jälkimmäisessä. Huoneistokohtainen säätö on noussut jossain määrin hyvin pidetyksi tavaksi ohjata ilmanvaihtoa, koska kukin voi itse päättää tehostuksen ajankohdasta omien tarpeidensa pohjalta. Varsinkin keskitetyissä ilmanvaihtojärjestelmissä säätö saattaa olla kuitenkin hankalaa ja aiheuttaa epäsuotuisia painesuhteita asuntojen välillä. [17.]

3.7.4 Tarpeenmukainen ohjaus

Käsiohjaukseen verrattuna kehittyneempi versio muuttuvan ilmanvaihdon järjestelmästä on ilmanvaihdon automaattinen ohjaaminen tarpeenmukaisesti jonkin indikaattorin perusteella. Tällaisena indikaattorina voi toimia esim. ilman hiilidioksidipitoisuus tai lämpötila. Teoriassa todellisen tarpeen mukainen automaattinen ohjaus on energiatehokkain tapa ylläpitää hyvää sisäilman laatua, mutta tällainen säätötapa ei huomioi henkilökohtaisia mieltymyksiä. Huonona puolena on järjestelmän monimutkaisuus. Julkisissa rakennuksissa kuten kouluissa, päiväkodeissa tai palvelurakennuksissa tarpeenmukainen ohjaus on erittäin merkittävä energiansäästötekijä, koska käyttöajan vaatimat ilmavirrat ovat suuria ja vaihtelevat suuresti. Asuinkerrostaloissa investointihinta on helposti korkea saavutettavaan hyötyyn nähden. [17.]

4 Poistoilman lämmön talteenotto

Poistoilman sisältämä lämpö menee hukkaan useimmissa koneellisen poiston asuin-kerrostaloissa, vaikka sen talteenotto on mahdollista. Poistoilma on lämmön lähteenä sinänsä ihanteellinen, että sen määrä ja lämpötila on hyvin tasainen ympäri vuoden. Poistoilman sisältämän lämmön hyödyntämistä rajoittaa kuitenkin sen matala lämpötila-taso. Poistoilman lämpöä voidaan sellaisenaan siirtää tehokkaasti lähinnä kylmään ulkoilmaan, mikä onkin koneellisen tulo-poistoilmanvaihdon järjestelmissä luontevaa ja helppoa. Mikäli koneellista tuloilmaa ei ole, poistoilman lämpöä voidaan hyödyntää lähinnä lämpöpumpun avulla. Lämpöpumpulla poistoilman matalaa lämpötilatasoa saadaan jälkeensä nostettua, jolloin lämpö on hyödynnettävissä myös käyttöveden tai tilojen lämmitykseen. Toki lämpöpumpputekniikkaa voidaan hyödyntää myös koneellisen tuloilman järjestelmissä.

4.1 Lämmönsiirto ja häviöt

Lämpö siirtyy itsestään aina korkeammasta matalampaan lämpötilaan, ja mitä suurempi on vallitseva lämpötilaero, sitä tehokkaampaa lämmön siirtyminen on. Lämpötilaeron lisäksi lämmönsiirtoon vaikuttavat mm. lämmönsiirtopinta-ala ja lämmönsiirtopinnan ominaisuudet kuten materiaali; toiset materiaalit johtavat lämpöä paremmin kuin toiset. Talotekniikassa erilaiset virtaukset ovat yleensä turbulenttisia, mikä kuvaa virtauksen luonnetta pyörteiseksi. Tasaista, pyörteetöntä virtausta kutsutaan laminaariseksi. Lämmönsiirto on merkittävästi tehokkaampaa turbulenttisissa kuin laminaarisissa olosuhteissa. [36, s. 125, 165–172.]

Nesteille, höyryille ja kaasuille käytetään yhteisnimitystä fluidi. Fluidien kykyä varastoida lämpöä kuvataan niiden ominaislämpökapasiteetilla, mikä kertoo fluidin lämpötilan muuttamiseen liittyvän energiamäärän massa- ja lämpötilayksikköä kohden. Vastavasti fluidin olomuodonmuutoksiin (höyrystyminen/tiivistyminen) liittyy tietty energiamäärä massayksikköä kohden. Tätä energiamäärää kuvataan höyrystymislämmöllä, joka on tyypillisesti moninkertainen ominaislämpökapasiteettiin nähden. Tästä johtuen esimerkiksi ilman vesihöyryn tiivistyminen poistoilmasta vaikuttaa suuresti lämmön talteenoton tehokkuuteen. [36, s. 104, 160–164.]

Olomuodon muutokset tapahtuvat normaalissa ilmanpaineessa tietyssä lämpötilassa, esim. veden kiehumispiste on 100 °C. Kiehumis- ja tiivistymispisteitä voidaan manipuloida paineen avulla. Matalammassa paineessa useimmat nesteet höyrystyvät kiehumispistettään alemmissa lämpötiloissa, ja vastaavasti höyry saadaan tiivistymään nostamalla painetta tarpeeksi. Kuten edellä todettiin, olomuodon muutokset sitovat tai vapauttavat suhteellisen suuren määrän energiaa. Kun olomuodon muutos saadaan tapahtumaan sopivissa olosuhteissa, lämpö saadaan siirtymään luonnollisen suunnan vastaisesti esim. matalammasta lämpötilasta korkeampaan. Näihin periaatteisiin perustuu kylmäkoneikkojen ja lämpöpumpun toiminta, joka käydään läpi lyhyesti myös poistoilmalämpöpumpun yhteydessä tämän työn luvussa 4.5. [36, s. 160–164.]

Lämmönsiirrossa tapahtuu aina häviöitä. Mitä enemmän lämpöä joudutaan siirtämään paikasta toiseen ja eri massavirtojen välillä, sitä suuremmiksi kasvavat häviöt. Siirron lämpöhäviöiden kannalta lämmönsiirto on tehokkaimmillaan, kun lämpö saadaan siirrettyä suoraan lämmönlähteestä käyttökohteeseensa. Hyvällä eristyksellä kyetään hillitsemään siirtohäviöitä. Lämmönsiirtonesteen liikuttelemiseen kuluu myös pumpausenergiaa eli sähköä. Pumppuja ja puhaltimia varusteineen pitää myös säätää ja huoltaa. Säätolaitteet asennuksineen nostavat investointikustannuksia ja huolto lisää käyttökustannuksia. Näillä perusteilla järjestelmissä tulisi pyrkiä mahdollisimman yksinkertaiseen ja toimintavarmaan ratkaisuun.

4.2 Lämmön talteenoton hyötysuhteet

Erilaisten lämmön talteenottolaitteiden hyötysuhteiden kanssa tulee olla tarkkana. Yleisimmin puhutaan joko tuloilman lämpötilahyötysuhteesta tai vuosihyötysuhteesta. Lämpötilahyötysuhde on lämmön talteenottolaitetta koskeva arvo, kun taas vuosihyötysuhde kuvaa koko järjestelmää. Muun muassa lämmön talteenoton vuosihyötysuhteen laskennan avuksi on julkaistu ympäristöministeriön *Tasauskalkentaopas 2012* sekä excel-pohjainen työkalu. Karkeasti vuosihyötysuhde on noin 40 % pienempi kuin lämpötilahyötysuhde, joten sen suuruutta voidaan arvioida kertomalla lämpötilahyötysuhde luvulla 0,6. [38; 39.]

Tuloilman lämpötilahyötysuhde on tuloilman lämpenemisen suhde poistoilman ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon. Tuloilman lämpötilahyötysuhteeseen vaikuttaa lämmön talteenottolaitteen rakenteen lisäksi tulo- ja poistoilmavirtojen suhde. Poistoilman

lämpötilahyötysuhteella tarkoitetaan vastaavasti poistoilman jäähtymisen suhdetta poistoilman ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon. [39, s. 44.]

Poistoilman lämmön talteenoton vuosihyötysuhde on lämmön talteenottolaitteistolla talteen otettavan ja hyödynnettävän lämpömäärän suhde rakennuksen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan lämpömäärään, kun lämmön talteenottoa ei ole. Vuotoilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaa lämpömäärää ei oteta vuosihyötysuhteen laskennassa huomioon. [39, s. 9.]

Lämpöpumpun hyötysuhdetta kuvataan lämpökertoimella COP (*Coefficient Of Performance*), jolla tarkoitetaan tuotetun (lauhduksessa vapautuneen) lämpöenergian suhdetta kompressorin kuluttamaan sähköenergiaan. Järjestelmän vuosihyötysuhteessa huomioidaan kaikki sähköä kuluttavat laitteet ja siitä käytetään nimitystä SCOP (*Seasonal Coefficient Of Performance*). Vuosihyötysuhteet ovat kiinteistö- ja järjestelmäkoh-
taisia, eikä niitä yleensä voi verrata toisiinsa. [40, s. 13.]

4.3 Perinteinen lämmön talteenotto

Perinteisellä lämmön talteenotolla mielletään tämän työn yhteydessä lämmönsiirrin, jonka välityksellä poistoilman lämpöä siirretään tuloilmaan joko suoraan tai lämmönsiirtonesteen välityksellä lämmöntalteenottolaitteen sisällä. Perinteisen lämmöntalteenottolaitteen lisääminen edellyttää koneellista tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmää, jossa tulo- ja poistoilmakoneet sijaitsevat samassa tilassa tai kotelossa. Periaatteeltaan asuinrakennusten lämmön talteenottosiirtimet voidaan jakaa regeneratiivisiin ja rekupe-
ratiivisiin siirtimiin.

Regeneratiivisessa lämmönsiirtimessä tulo- ja poistoilma virtaavat vuorotellen saman, lämpöä varaavan massan läpi. Massana on yleensä pyörivä kiekko, joten usein puhutaan myös pyörivästä lämmön talteenotosta. Regeneratiivinen lämmönsiirrin saattaa siirtää myös kosteutta ja epäpuhtauksia poistoilmasta tuloilmaan, mistä johtuen sitä ei voida käyttää useampaa kuin yhtä asuntoa palvelevien koneiden kanssa. Asuntokohtaisissa ilmanvaihtokoneissa regeneratiivisen lämmönsiirtimen käyttö on sallittua, ja lämmityskaudella kosteuden siirtymistä poistoilmasta tuloilmaan voidaan pitää hyvänä ominaisuutena. Liesikuvun likaista poistoilmaa ei saa johtaa regeneratiivisen lämmönsiirtimen kautta. Regeneratiivisella lämmönsiirtimellä on suhteellisen hyvä lämpötila-

hyötysuhde, joka vaihtelee välillä 60–80 %, mutta saattaa olla jopa 85 %. [23, s. 73–77; 39, s. 44.]

Rekuperatiivisessa lämmönsiirtimessä lämpö siirtyy massavirrasta toiseen paikallaan olevan pinnan läpi ilman, että virrat ovat kosketuksissa toisiinsa. Yleisin rekuperatiivinen lämmönsiirrin on levylämmönsiirrin, jossa massavirrat kulkevat toisiinsa nähden vastavirtaan tai ristiin. Vastavirtasiirrin on näistä tehokkaampi, mutta ristivirtasiirrin vie vähemmän tilaa ja on siksi tavallinen pienissä ilmanvaihtokoneissa. Ristivirtalämmönsiirtimen eli ns. kuution lämpötilahyötysuhde on noin 50–70 % ja vastavirtasiirtimen 60–80 %. [23, s. 73–77; 39, s. 44.]

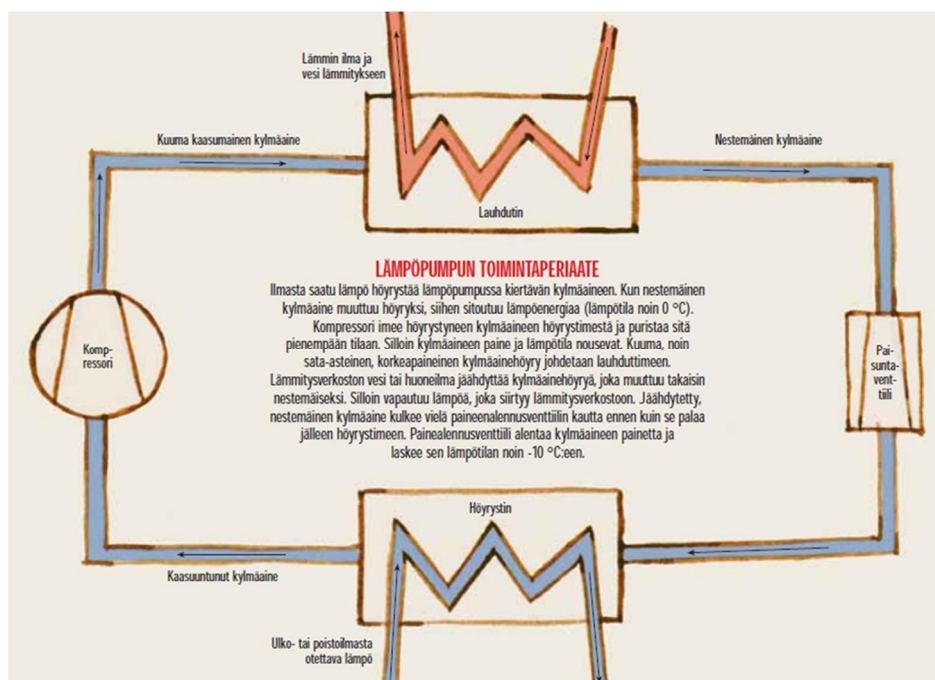
4.4 Nestekiertoinen lämmön talteenotto

Nestekiertoissa lämmön talteenotossa lämmönlähde ja hyödyntämiskohde sijaitsevat eri paikoissa, ja lämpö siirtyy niiden välillä kiertävän nesteen kuljettamana. Kiertonesteenä on yleensä vesi ja glykolin seos. Eri tiloissa sijaitseviin koneisiin sekä useamman koneen sisältäviin hajautettuihin järjestelmiin nestekiertoinen lämmöntalteenotto saattaa olla järkevä ratkaisu. Nestekiertoinen lämmöntalteenotto on joustava, mutta siinä on enemmän häviöitä ja se vaatii putkiston lämmön lähteen ja kohteen välille. Kierron ylläpitäminen lisää jossain määrin sähkönkulutusta. Nestekiertoisen lämmön talteenottolaitteiston lämpötilahyötysuhde on vain 45–60 % ja vuosihyötysuhde vieläkin pienempi. Huonosta hyötysuhteesta ja poistoilman matalasta lämpötilatasosta johtuen nestekiertoinen lämmön talteenottojärjestelmä ilman lämpöpumpputekniikkaa lienee kerrostaloissa harvinaisempi kuin muut ratkaisut. [20, s. 86.]

4.5 Poistoilmalämpöpumppu

Lämpöpumpun toimintaperiaate on esitetty kuvassa 4. Lämpöpumppukoneiston komponentit ovat kompressori, lauhdutin, paineenalennusventtiili ja höyrystin. Kompressorilla nostetaan kylmäaineen painetta sekä lämpötilaa ja pidetään yllä kiertoa. Kompressorin jälkeen kylmäaine kulkee lauhduttimeen, jossa se lauhuu vapauttaen lämpöä ympäristöön. Lauhduttimen jälkeen kylmäaineen painetta lasketaan paineenalennusventtiilillä, minkä jälkeen se siirtyy höyrystimen kautta takaisin kompressorin imupuolelle. Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy sitoen lämpöä ympäristöstään. [40, s. 13.]

Höyrystinpatteri voi fyysisesti sijaita poistoilmavirrassa, jolloin järjestelmää kutsutaan suora-höyrysteiseksi. Useimmiten poistoilmavirrassa on kuitenkin lämmön talteenotto-patteri, jossa kiertää lämmönsiirtoneste ja itse höyrystin sijaitsee esim. kellarissa. Täl-löin puhutaan nestekiertoisesta tai välillisestä järjestelmästä. Poistoilman lämpöpump-pujärjestelmissä käytettyjä siirrintyyppejä ovat esim. lamelli-, neulaputki- ja harjaläm-mönsiirtimet. [40, s. 18–20.]



Kuva 4. Poistoilmalämpöpumpun toimintaperiaate ja ns. kylmäkierto [41].

Poistoilmalämpöpumpun etuja perinteiseen lämmön talteenottoon ovat ennen kaikkea korkeampi lämpötilataso, joustavuus ja/tai pienempi tilantarve. Toisaalta lämpöpumppu kuluttaa sähköenergiaa, eikä lämpötilataso lähes koskaan riitä yksinään tuottamaan lämmintä käyttövedettä. Lämpöpumpun toiminta riippuu suuresti ulkoilman lämpötilasta sekä kytkentä- ja säätötavasta. Uudemmillä lämpöpumpuilla voidaan tuottaa jopa 65 °C:n lämpöistä vettä, mutta korkeilla lämpötiloilla koneiston lämpökerroin huononee. Poistoilmalämpöpumpun hyötysuhde on parhaimmillaan väliskeleillä, kun ulkoilman lämpötila ei ole niin kylmä eikä lämmitysverkoston menolämpötila korkea. Hyötysuhteen kannalta tilanne on huonoin pakkasilla, jolloin hyötysuhde saattaa laskea jopa miinukselle. Poistoilmalämpöpumppu on laitteena kalliimpi ja monimutkaisempi kuin perinteinen lämmöntalteenottosiirrin, minkä lisäksi se sisältää kylmäainetta (lupa-asiat, tarkastukset). [40; 42.]

Lämmityskausi kestää yleensä syksystä kevääseen, mutta lämpimän käyttöveden tarve on suunnilleen vakio ympäri vuoden. Käyttöveden kulutus ei kuitenkaan ole tasaista, joten järjestelmään tarvitaan vähintään useampi varaaja. Varaajalla pystytään tasoittamaan myös lämmityspuolen toimintaa ja pidentämään kompressorin käyttöikä. Lämpimän käyttöveden kulutuksen heilahtelu aiheuttaa haasteita myös säätöpuolella. [40; 42.]

Poistoilman lämpöpumppujärjestelmien toimintaa, säätöjä ja kytkentöjä on tarkasteltu lähemmin energiapuoleen keskittyvässä, Taavi Verran opinnäytetyössä Poistoilman lämmön talteenotto lämpöpumpulla veden lämmitykseen tai lämmönsiirtimellä tuloilmaan kaukolämpökerrostalossa [42], joka tehtiin rinnakkain tämän työn kanssa.

5 Sisäilmastoon liittyviä määräyksiä ja ohjeita

5.1 Rakennusten sisäilmasto

5.1.1 Normaaliohjeet ja RakMk D2

Helsingin kaupungin rakennustarkastajan laatimat ilmanvaihtoa koskevat määräykset julkaistiin vuonna 1940 Rakentajain kalenterissa. Rakentajain kalenterin mukaan ilmanvaihtoluvuksi suositeltiin asuinhuoneissa 1,0–1,5 1/h, keittiössä 5 1/h ja keittokomeroissa sekä kylpyhuoneissa 8 1/h. Keittiöille ja keittokomeroille annettiin tässä yhteydessä myös vähimmäispoistoilmavirta $30,6 \text{ dm}^3/\text{s}$. Nämä määräykset toimivat perusohjeena koko maassa vuoteen 1954 asti, jolloin ilmestyivät Normaalimääräyskomitean laatimat lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteiden suunnittelun normaaliohjeet. Kyseisestä julkaisusta ilmestyi vuonna 1966 osittain muuteltu uusintapainos, joka toimi yleisesti mitoitushyönteena aina ensimmäiseen RakMk D2:een asti. Normaaliohjeiden mukaisia vähimmäisilmanvaihtomääriä on esitetty alla olevassa taulukossa (taulukko 2). [18, s. 20–21.]

Taulukko 2. Normaali-ohjeiden sekä RakMk D2:n mukaisia ohjearvoja eri vuosina [16; 18; 43].

	Tuloilmavirta, dm ³ /s		Poistoilmavirta, dm ³ /s		
	asuinhuoneet		keittiö	kylpyhuone	WC
Norm.ohjeet 1954	0,8 /m ² tai 5,6 /hlö		27,8	16,7	8,3
Norm.ohjeet 1966	6,9 tai 12,5	alle 8 m ² tai yli 8 m ²	22,2	16,7	8,3
	olohuone	makuuhuone	keittiö	kylpyhuone	WC
D2 1978	0,35 /m ²	0,35 /m ²	22 (12) *	16 (8) *	8 (2) *
D2 1987	0,5 /m ²	0,7 /m ² tai 4 /hlö	50 (20) **	15	10
D2 2012	0,5 /m ² tai 6 /hlö	0,5 /m ² tai 6 /hlö	20 (8/25) ***	15 (10/15) ***	10 (7/10) ***
* sulussa oleva arvo riittää mikäli riittävä tehostus- tai tuuletusmahdollisuus					
** sulussa oleva arvo riittää mikäli liesikupu tai muu vastaava kohdepoisto					
*** sulussa oleva pienempi arvo riittää mikäli tehostusmahdollisuus, tehostukselle oma ohjearvo					

Ensimmäinen RakMk D2 julkaistiin vuonna 1976, mutta siinä ei annettu varsinaisia ohjearvoja esim. ilmavirroille. Karkeasti ilmaistuna siinä vaadittiin vain tyydyttävää sisäilmastoa tiloissa, joissa oleskellaan. Toisaalta sen sisällöstä ilmenee kaikki oleellinen, mitä tämänkin päivän määräykset hakevat takaa, ja ohjearvoja oli annettu muissa määräyksissä ja ohjeissa kuten edellä mainittiin. Pari vuotta myöhemmin vuonna 1978 julkaistiin seuraava RakMk D2, jossa ohjearvot oli otettu mukaan. Minimilmanvaihtuvuusvaatimus oli sama kuin nykyäänkin, 0,35 dm³/s/m², mutta tuossa versiossa oli vielä sallittua esim. ottaa huomioon vuotoilmanvaihdosta 0,1–0,2 1/h ja olettaa, ettei tiloissa tupakoida, vaikka se oli hyvin yleistä. Ensimmäisiä RakMk D2:ssa annettuja ilmavirtojen ohjearvoja on esitetty taulukossa 2. [43.]

2000-luvulla ilmanvaihtoa koskevia määräyksiä on tarkennettu muutamaan otteeseen ja energiatehokkuuteen liittyvät määräykset ovat nousseet ns. perinteisten ilmanvaihdon ohjearvojen rinnalle. Vuoden 2003 ilmanvaihtomääräyksistä alkaen pyrittiin jo terveelliseen, turvalliseen ja viihtyisään sisäilmastoon aikaisemman tyydyttävän sijasta. Tästä lähtien on asetettu vaatimuksia myös esim. puhaltimien ominaissähkötehoille ja poistoilman lämmön talteenotolle. Vuoden 2003 D2 vaati koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän ominaissähkötehoksi (SFP-luku) enintään 1,0 kW/(m³/s) ja 30 %:n poistoilman lämmön talteenottoa ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. Vuoden 2010 määräyksissä vastaava arvo oli noussut 45 %:iin. Molemmissa julkaisuissa annettiin kuitenkin mahdollisuus kompensoida talteen otettavaa lämpömäärää esim. lisäeristyksillä. Tästä eteenpäin energiatehokkuusvaatimukset ovat siirtyneet omaan osaansa D3. Ominaissähköteho vaatimus koneelliselle tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmälle on nykyään korkeintaan 2,0 kW/(m³/s) ja koneelliselle poistolle sama kuin aiemmin mainittu 1,0 kW/(m³/s). [43.]

Edellä mainittujen, lämmön talteenottoa koskevien vaatimusten toteutuminen tulee osoittaa tarvittaessa laskelmin. Tätä varten ympäristöministeriö on julkaissut tasauslaskentaoppaan sekä excel-pohjaisen työkalun ympäristöministeriön internetsivuilla. Lämpöhäviövaatimusten täyttämiseksi on käytössä rajallisesti keinoja. Poistoilman lämmön talteenotossa puhutaan yleensä poistoilmasta tuloilmaan lämpöä siirtävistä lämmöntalteenottolaitteista; muille lämmön talteenottotavoille voidaan käyttää laskentaoppaan liitteessä esitettyä menettelytapaa soveltuvin osin. Tällaisiin epätavallisiin lämmön talteenotto-tapoihin liittyen oppaassa mainitaan seuraavat rajoitukset:

- Tulo- tai poistoilmaikkuna ei ole poistoilman lämmön talteenottoratkaisu, eikä niiden tapauksessa voida yleensä käyttää poikkeavasti laskettua U-arvoa ellei toisin osoiteta.
- Lämmitysvesivaraajaa lämmittävä ilmanvaihdon lämmön talteenottoratkaisu hyväksytään LTO-ratkaisuksi tasauslaskennassa vain siltä osin kuin talteen otettu lämpö käytetään tuloilman tai tilojen lämmitykseen. Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen käytettyä energiaa ei oteta lämpöhäviön tasauslaskelmassa huomioon.
- Jos poistoilman lämmön talteenotossa käytetään lämpöpumppua, otetaan vuosihyötysuhdetta laskettaessa huomioon ainoastaan poistoilmasta höyrystimeen siirtyvä (talteen otettu) lämpöenergia. Kompressorin tekemää työtä ei huomioida. Tuloilmaan, huoneilmaan tai varaajaan siirtyvä lämpömäärä lauhduttimesta on siis suurempi kuin höyrystimellä talteen otettu lämpömäärä.
- Laitesähkönkulutus (esim. puhaltimien ja pumppujen sähkönkulutus) ei kuulu lämmön talteenoton vuosihyötysuhteen määrittämisen ja tasauslaskennan piiriin. [39, s. 44.]

Yleensä laskelmissa käytetään valmistajan ilmoittamaa standardin SFS EN 308:1997 mukaisesti laskettua tuloilman lämpötilahyötysuhdetta. Tällöin hyötysuhde määritetään yhtä suurilla tulo- ja poistoilman massavirroilla, lämmönsiirtimet oletetaan kuiviksi (kosteutta ei tiivisty) ja ilman jäätyminen estoja tai muita rajoituksia. Tällöin tulo- ja poistoilman lämpötilahyötysuhteet ovat yhtä suuria. [39, s. 49.]

5.1.2 Asumisterveysasetus

Keväällä 2015 julkaistiin Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Tämä asumisterveysasetus korvaa päivitettyinä aiemmin (2003) julkaistun asumisterveysohjeen. Uudessa asumisterveysasetuksessa on esitetty toimenpiderajoja

erilaisille sisäilman laatua kuvaaville arvoille asunnoissa, ja sen myötä esim. toistuvasti esiintyvä ja aistinvaraisesti tunnistettava tupakansavu voidaan luokitella terveyshaitaksi ilman todentavia sisäilmamittauksia asunnoissa. Asetuksessa on otettu esille myös mm. vähimmäisilmanvaihto $0,35 \text{ dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$ sekä ilman suurin sallittu virtausnopeus oleskeluvyöhykkeellä (vetokäyrä). Lämpötilojen toimenpiderajat ovat lämmityskaudella $18\text{--}26 \text{ °C}$ ja sen ulkopuolella $18\text{--}32 \text{ °C}$. Lattiapinnan alin sallittu lämpötila on 18 °C , minkä voisi kuvitella alittuvan helposti hatarissa (epätiivessä) kerrostaloissa, joissa vuotoilmanvaihdon määrä on suuri. [44; 45.]

5.2 Rakennusten energiatehokkuus

5.2.1 RakMk D3

Ensimmäinen Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3 (RakMk D3) ilmestyi vuonna 1978, silloin se oli ensimmäisen D2:n tavoin hieman ympärilyöreä ja keskittyi energiatalouteen yleisesti ilman konkreettisia vaatimuksia. Tuolloin eri järjestelmiin liittyviä energiatehokkuusvaatimuksia esitettiin kussakin osassa tilanteen mukaan. Seuraava RakMk D3 julkaistiin vuonna 2007 nykyisellä nimellään *Rakennusten energiatehokkuus* ja edelleen 2012 ilmestyi viimeisin versio, johon on koottu energiatehokkuuteen liittyvät vaatimukset eri osista, kuten D2:sta. Rakennuksen energiatalouteen ja -tehokkuuteen liittyvää laskentaa käsitellään Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5. [43.]

5.2.2 Korjaus- ja muutostyöt

Vuonna 2013 tuli voimaan ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Tämä asetus on merkittävä tekijä mietittäessä, lähdetäänkö esim. ilmanvaihtojärjestelmää kunnostamaan ollenkaan. Toistaiseksi ilmanvaihtosaneeraukseen ryhtyminen on Suomessa vapaaehtoista. [4; 46.]

Energiatehokkuudelle on määritelty vähimmäisvaatimukset, kun kyse on rakennuksen luvanvaraisesta korjaamisesta, käyttötarkoituksen muuttamisesta tai teknisten järjestelmien uusimisesta. Tällaisia ovat esim. laajat peruskorjaukset ja teknisten järjestelmien uusiminen. Ilmanvaihdon saneerauksen osalta vaaditaan teoriassa nykymääräysten täyttämistä, mitä saattaa olla pahimmissa tapauksissa lähes mahdoton saavuttaa. Toi-

saalta korjausrakentamisen energiatehokkuusmääräykset ovat toistaiseksi luonteeltaan joustavia ja tulkinnanvaraisia; energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä ei tarvitse toteuttaa, mikäli ne eivät ole teknisesti, toiminnallisesti tai taloudellisesti mahdollisia. On kuitenkin huolehdittava siitä, etteivät rakennusosia tai muita taloteknisiä järjestelmiä koskevat korjaustoimenpiteet huononna ilmanvaihtoa. [4; 46.]

6 Paremman sisäilmaston potentiaali

Hyväksi tai huonoksi koettuun sisäilmastoon vaikuttavat monet tekijät, kuten ilman määrä, jakautuminen, lämpötila ja liikenopeus, lämpösäteily, henkilöiden aktiiviteettitaso, vaatetus, ikä, kunto ja kokijakohtaiset tunnetekijät. Täten hyvää sisäilmastoa voi olla vaikea määritellä tai todentaa. Yksi tapa määritellä hyvä sisäilmasto on, ettei siihen kiinnitetä huomiota eikä se vaikuta haitallisesti rakennukseen tai siellä oleskeleviin ihmisiin. Hyvälle sisäilmastolle on myös vaikea määritellä rahallista tai muuta selkeästi mitattavissa olevaa arvoa, koska se perustuu suurilta osin subjektiivisiin kokemuksiin ja arvomaailmakäsityksiin, eikä kaikkia sisäilmastotekijöiden vaikutuksia tunneta kunnolla. Esimerkiksi huonon ilmanvaihtuvuuden osuutta erilaisiin sisäilmasto-ongelmiin on vaikea arvioida, koska kyseessä on aina monen tekijän summa.

Tämän ja seuraavan luvun tarkoituksena on hahmottaa aiheeseen liittyvää suurempaa kuvaa sekä paremman sisäilmaston omaavan potentiaalin että huonosta sisäilmastosta aiheutuvien seurausten avulla. Toimiva ilmanvaihto lisää viihtyvyyttä ja asumisen laatua. Ihmisten kiinnostusta koneelliseen ilmanvaihtoon lisääviä ominaisuuksia ovat todennäköisesti tarpeenmukainen ja/tai asuntokohtainen säätömahdollisuus sekä jäähdytys.

6.1 Sisäilmastoluokitus 2008

Teknisempi tapa lähestyä hyvän sisäilmaston määritelmää on sisäilmastoluokitus 2008, jossa tyydyttävän sisäilmaston (S3) lisäksi on myös kaksi parempaa laatutasoa: hyvä (S2) ja yksilöllinen sisäilmasto (S1). Tyydyttävä sisäilmasto vastaa määräysten vaatimukset täyttävää sisäilmastoa, mutta muuten sisäilmastoluokituksen mukaisten tavoitteiden asettaminen on täysin vapaaehtoista. Ensimmäinen nykyistä sisäilmastoluokitusta vastaava ohjeistus ilmestyi jo vuonna 1995 nimellä *Sisäilmaston, rakennustöiden*

ja pintamateriaalien luokitus. Sisäilmastoluokitus on sisäilmayhdistyksen mukaan uusiutumassa jo vuoden 2015 aikana. Erityisesti toimisto- ja liikerakennuksien suunnittelussa sisäilmastoluokitusta on sovellettu laajasti jo vuosia. [21; 47.]

Sisäilmastoluokituksessa on annettu sisäilmaston tavoitearvoja, joista luokitukset S1 ja S2 vaativat jonkin verran suurempia ilmamääriä, parempaa ilmanjakoa ja varsinkin S1-luokituksen tapauksessa säädettävyyttä sekä jäähdytysmahdollisuutta verrattuna määräkset täyttävään tasoon. Käytännössä nämä tarkoittavat yleensä koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa. Sisäilmastoluokituksen mukaisia tavoitearvoja on esitetty taulukossa 3. [21.]

Taulukko 3. Sisäilmastoluokituksen 2008 mukaisia tavoitearvoja asuintiloissa [21].

		S1	S2	S3
Operatiivisen lämpötilan tavoitearvo t_{op}				
- talvella ($t_u \leq 10$ °C)	°C	21,5 *	21,5	21
- kesällä ($t_u \geq 20$ °C)	°C	24,5 *	24,5	25
Operatiivisen lämpötilan t_{op} vähimmäis- ja enimmäisarvot				
- talvella ($t_u \leq 10$ °C)	°C	20-23	20-23	18-25
- kesällä ($t_u \geq 20$ °C)	°C	20-26	20-27	18-($t_{u,max}+5$)
Sallittu poikkeama tavoitearvosta	°C	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$
Hiiidioksidipitoisuus	ppm	<750	<900	<1200
Olosuhteiden pysyvyys käyttöaikana	%	90	80	-
Ulkoilmavirran mitoitusarvot asuintiloissa (makuu- ja olohuoneet)				
- normaali käyttötilanne	dm ³ /s/hlö	12	8	6
- tehostustilanne	%	30	30	-
- käyttöajan ulkopuolinen ilmanvaihto	dm ³ /s/m ²	0,2	0,2	0,15
Suodatusluokka	-	F8 **	F7 **	F6 **

*) S1-luokassa operatiivisen lämpötilan on oltava tila-/huoneistokohtaisesti aseteltavissa $t_{op} \pm 1,5$ °C

**) Viikasilikenteisten teiden ym. hiukkaslähteiden läheisyydessä S1- ja S2- luokissa luokkaa parempi

Sisäilmastoluokitus on tarkoitettu ensisijaisesti uudisrakentamiseen, mutta sitä voidaan soveltaa myös perusparannushankkeissa tavoitteiden asettelussa; tavoitetaso voidaan asettaa tila- tai tilatyypikohtaisesti eli kaikkien tilojen ei tarvitse olla samassa sisäilmastoluokassa. Yhtä tilaa/tilaryhmää koskevista tavoitteista osa voi myös olla eri luokissa: esim. lämpötila luokan S2 mukaan ja ilman nopeus luokan S3 mukaan. Vähimmäisvaatimuksina voidaan pitää alkuperäisten suunnitelmien mukaista tasoa, mutta S3-tasoa ei kuitenkaan tulisi alittaa. [21.]

6.2 Tutkimukset ja hankkeet

Viime vuosina parempaan sisäilmastoon ja varsinkin energiatehokkuuteen liittyviä hankkeita on ollut paljon ja kiinnostus aiheeseen on selkeästi noussut. Ilmanvaihdon korjauskonsepteista on tehty muutamia koosteita, ja useilla ilmanvaihdon järjestelmätoimittajilla on omat tuotteensa saneerauksiin. Tietoa ja käytännön kokemuksia on kuitenkin vielä liian vähän, jotta useampi kiinteistön omistaja uskaltaisi lähteä tältä pohjalta remontoimaan mm. ilmanvaihtojärjestelmää. Kehitystä jarruttavat mahdollisesti myös huonot aikaisemmat kokemukset aiheen saralta. Alla on lueteltu muutamia aiheeseen liittyviä hankkeita ja tutkimuksia.

- INSULAtE (2010–2015), Energiatehokkuuden parantamisen vaikutukset rakennuksen sisäilmaston laatuun ja asukkaiden terveyteen
- ENERSIS (2010–2013), Energiatehokas ja toimintavarma korjauskonsepti
- INNOVA (2010–2012), Kerrostalosta passiivitaloksi
- KIMU (2009–2011), Kerrostalon ilmastonmuutos – energiatalous ja sisäilmasto kuntoon
- AISE (2005–2007), Asuinrakennusten ilmanpitävyys, sisäilmasto ja energiatalous
- RAKET (1993–1998), Rakennusten energiankäytön tutkimusohjelma
- Terve Talo -teknologiaohjelma (1998–2002)
- VTT:n Energiakorjausten teknologiat (2006)
- EPAT (2012) Energiatehokkuuden parantamisen menetelmät olemassa olevassa rakennuskannassa.

6.3 Teollinen korjausrakentaminen

Suuressa osassa edellä mainittuja tutkimuksia ja hankkeita on pyritty ainakin osittain hakemaan toteutettaville sisäilmastoon ja energiatehokkuuteen liittyville toimenpiteille hyväksi todennettuja ratkaisuja. Markkinoille on ilmestynyt paljon nimenomaan korjausrakentamiseen suunniteltuja järjestelmäkokonaisuuksia ja tuotteita. Erilaiset talotekniikka- ja julkisivuelementit tuntuvat tekevän tuloaan, mikäli niistä saadaan hyviä kokemuksia. Tällaisia tuotteistettuja ratkaisuja on kerätty tämän työn lukuun 8. Korjausra-

kentamiseen kehitetyt tuotteet ja teknologiat ovat merkityksettömiä, jos niitä ei hankita ja oteta käyttöön.

6.4 Hyvän sisäilmaston hyödyistä

Suomen ensimmäinen sisäilmastoluokituksen parhaimpaan luokkaan S1 rakennettu Puijonkartanon kerrostalo valmistui vuonna 1997. Puijonkartanon toteutuneet rakennuskustannukset olivat vain 0,5 €/m² suuremmat kuin tavanomaisesti rakennetussa, vastaavassa rakennuksesta. Suuremmat rakentamiskustannukset on kuitenkin saatu täysin katettua kohteessa pienemmällä energiankulutuksella, joten parempaan sisäilmastoon panostaminen oli erittäin kannattavaa myös taloudellisesti. [48, s. 8.]

Suomen ulkopuolella tehdyt kansantaloudelliset tutkimukset ovat osoittaneet, että paremmalla sisäilmastolla voidaan saavuttaa suuria taloudellisia hyötyjä. Tällaisissa arvioissa on huomioitu mm. sisäilmastoon liittyvät allergiset sairaudet, tupakansavun ja radonin aiheuttamat syöpätapaukset, huonon sisäilmaston aiheuttaman työtehon laskun kustannukset, lisääntyneet sairauspoissaolot, ennenaikainen eläköityminen, sisäilman kautta levinneet infektiot sekä kosteusvaurioihin liittyneet oireet ja sairaudet. Kannattavuutta arvioitaessa rakennuksen suunnitteluvaiheessa huomioidaan yleensä vain investointi- ja käyttökustannukset, mutta niiden ohella hyvä sisäilmasto voi olla merkittävä lisäarvo. [49, s. 17.]

7 Huonon sisäilmaston seuraukset

Hyvän sisäilmaston yhteys rakennuksen kuntoon, arvoon ja elinkaareen on merkittävä, kun mietitään varsinaisen sisäilmaongelman kanssa painivia rakennuksia. Huono sisäilman laatu on yksi maamme suurimmista ympäristöterveysongelmista.

7.1 Ilmanvaihdon puutteet

Käytännössä on todettu, että ilmanvaihdon taso ei kerrostaloissa ole rakentamismääräysten edellyttämällä tasolla, vaan selvästi huonompi. Esimerkiksi 1960- ja 1970-luvuilla rakennetuista, koneellisen poistoilmanvaihdon rakennuksista neljässä viidesosassa eivät täyty määräysten ilmanvaihtuvuuden vähimmäisvaatimukset. [4, s. 9.]

Kotitalo-lehden teettämän kyselyn (2015) mukaan jopa 62 % suomalaisista kerrostalossa asuvista pitää kotinsa sisäilmaa ongelmallisena. Tutkimukseen haastateltiin yli 1 500 suomalaista, joiden mielestä yleisimmät ongelmat olivat hajut rappukäytävässä sekä keittiön puutteellinen ilmanvaihto. Myös ilman tunkkaisuus, viemärin haju ja ikkunoiden huurtuminen olivat yleisiä ongelmia. Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdoilla varustetuissa taloissa asuvista 62 % olivat puolestaan tyytyväisiä sisäilman laatuun. Tutkimuksessa kävi myös ilmi, että asukkaiden tietämys ilmanvaihdon perusasioista on huono. [50.]

7.2 Sisäilmaongelmat yleisesti

Kerrostaloissa ja asunnoissa yleisimmät sisäilmasto-ongelmat liittyvät lämpöoloihin, ilman laatuun, ilmanvaihtoon sekä kosteusvaurioihin ja homeeseen. Huonon sisäilman aiheuttamia terveysvaikutuksia ovat erilaisten allergia- ja ärsytysoireiden lisäksi varsinaiset sairaudet kuten astma, toistuvat hengitystietulehdukset, keuhkosityöpä tai homepölykeuhko. Oireilua voi esiintyä myös epäviihtyisyytenä, tuottavuuden laskuna, päänsärkynä, pahoinvointina ja lihas-/nivelsärkynä, joita ei välttämättä osata yhdistää huonon sisäilmastoon. Huonon sisäilmaston aiheuttamiksi kustannuksiksi on vuonna 1997 arvioitu Suomessa 1,5–3 miljardia euroa, mikä on enemmän kuin vuotuiset rakennusten lämmityskustannukset. [24; 49, s. 17.]

7.3 Sairas rakennus -oireyhtymä

Sisäilmaongelmat liitetään usein kosteus- ja homevaurioon, mutta ongelmiin on muitakin mahdollisia syitä. Jos rakennuksessa todetaan sisäilmaongelmia, mutta merkkejä kosteusvauriosta tai homeesta ei ole, kuntotutkimus voi olla tarpeen. Sairas rakennus -oireyhtymä eli SBS (*Sick Building Syndrome*) tarkoittaa joukkoa erilaisia rakennuksessa koettuja epäspesifisiä oireita (mm. silmien ja hengitysteiden ärsytysoireet), jotka kehittyvät vähitellen, pahenevat rakennuksessa ja lievenevät muualla. [24.]

7.4 Kosteusvauriot ja homeongelmat

Rakennusten kosteus- ja homevauriot ovat Suomessa yleisiä ja aiheuttavat varovaisen arvion mukaan vuosittain sekä satojen miljoonien eurojen suuret terveydenhoitokus-

tannukset että vähintäänkin saman verran kiinteistöjen korjauskustannuksia. Kansantaloudelliset kustannukset ovat huomattavasti suurempia, kun huomioidaan myös välilliset kustannusvaikutukset. Hengitysliiton arvion mukaan Suomessa altistuu päivittäin kosteus- ja homevaurioille 600 000–800 000 henkilöä. [29; 51.]

Kosteusvaurioita syntyy, mikäli rakenteen kosteus on liian korkea liian kauan. Rakenteiden kosteus voi johtua esim. vesivahingosta, kondenssivedestä, rakentamisen aikaisesta puutteellisesta kosteuden hallinnasta, kapillaarisesti nousevasta kosteudesta tai sadeveden pääsystä rakenteisiin. Kosteusvauriot aiheuttavat rakenteissa homehtumista, lahoamista, ruostumista, aineiden hajoamista ja emissioita. [19, s. 17; 29.]

Joka toisessa rakennuksessa on havaittavissa ylimääräistä kosteutta ja noin 15–20 %:ssa rakennuksia home aiheuttaa terveyshaittojen vaaraa. Kosteusvaurio- ja home-ongelmat koskevat kaikenlaisia rakennuksia ja samoista ongelmista johtuen jo korjatuissakin kohteissa joudutaan suorittamaan uusintakorjauksia, kun ongelmien syytä ei ole eliminoitu. Eniten kosteusvaurioita esiintyy 1970-luvun kerrostaloissa. Vuosina 1960–1980 rakennettujen elementtikerrostalojen julkisivuissa esiintyy paljon korroosiovaurioita, joiden seurauksena elementtisaumat ovat pettäneet päästäen sadeveden tunkeutumaan rakenteisiin. Rakennusvauriot yhdistettynä puutteelliseen ilmanvaihtoon ovat huomattavasti pahempi ongelma kuin rakennusvauriot itsessään. [29.]

7.5 Ilmansaasteet ja pienhiukkaset

Ilmansaasteet ja etenkin pienhiukkaset ovat erittäin haitallisia ihmisten terveydelle ja niitä esiintyy runsaasti etenkin kaupunkiympäristöissä. Tuoreimpien tutkimusten valossa näyttää siltä, että ilmansaasteiden vaikutuksia ihmisten terveyteen on aliarvioitu ja niiden seurauksena Suomessa kuolee vuosittain enemmän (arviolta 1 300–2 000) ihmisiä kuin liikenneonnettomuuksissa. Ilmansaasteet vaikuttavat herkimmin lapsiin, vanhuksiin sekä hengityselin- ja sydänsairaisiin. Ilmansaasteet aiheuttavat Suomessa arviolta noin 30 000 henkilöllä astmaoireiden pahentumista ja suunnilleen saman verran hengitystieinfektioita lapsilla. [5, s. 87; 28.]

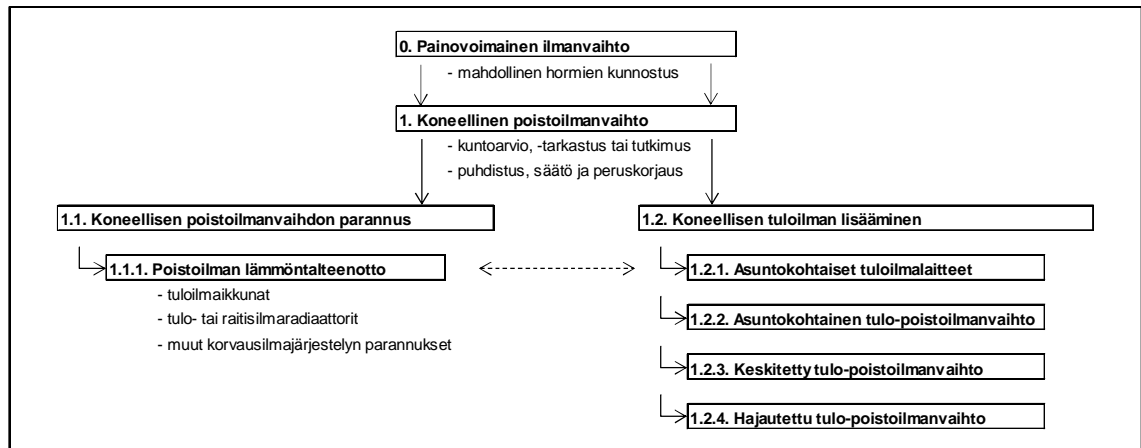
7.6 Tarpeeton energiankulutus

Huono sisäilmasto (useimmiten yllämpö tai tunkkainen sisäilma) johtaa usein ikkunatuuletukseen, joka on usein energiataloudellisesti ja sisäilman laadun kannalta huono ratkaisu. Koneellisen poistoilmanvaihdon kohteissa ikkunatuuletus saattaa olla sinänsä tehokas keino ilmanvaihdon tehostukseen, mutta esim. ulkotiloista kantautuvat äänet tai epäpuhtauskuormat saattavat olla ongelmallisia. Koneellisen tulo-poistoilmanvaihdon rakennuksissa ikkunatuuletuksen tarvetta ei juuri tulisi esiintyä, mikäli kokonaisuus on toimiva. Jos koneellisen tulo-poistoilmanvaihdon kohteessa kuitenkin on jatkuvasti tarpeen turvautua ikkunatuuletukseen, tuhlataan tarpeettomasti energiaa. Ikkunatuuletuksen aiheuttama paikallisesti alhainen lämpötila edistää myös kosteuden tiivistymistä.

8 Poistoilman lämmöntalteenottoratkaisut

Tässä osiossa tarkastellaan jälkiasennuksena tehtäviä poistoilman lämmöntalteenottoratkaisuja, jotka vaikuttavat tai ainakin voivat vaikuttaa sisäilmastoon. Poistoilman lämmön talteenottoratkaisut ovat kokonaisuuksia, joihin sisältyy varsinaisen lämmön talteenottolaitteiston ohella myös tulo- tai korvausilman hallittu tuonti asuintiloihin mahdollisuuksien mukaan. Kaikissa ratkaisuissa tulee lähteä liikkeelle nykytilanteen kartoittamisesta ja mahdollisesti peruskorjata olemassa oleva järjestelmä. Toteutuksen jälkeen tulee ilmanvaihto- ja lämmön talteenottojärjestelmiä myös ylläpitää.

Kun painovoimaiseen tai koneellisen poiston ilmanvaihtojärjestelmään lähdetään lisäämään poistoilman lämmön talteenottoa, voidaan karkeasti ajatella, että painovoimaisesta ilmanvaihdosta on siirryttävä koneelliseen poisto- tai tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmään. Vastaavasti koneellisesta poistoilmanvaihdosta siirrytään koneelliseen tulo-poistoilmanvaihtoon tai tyydytään parantamaan olemassa olevaa järjestelmää. Tämän työn yhteydessä käytettyä luokittelutyöliä on havainnollistettu kuvassa 5.



Kuva 5. Lämmöntalteenottoratkaisuja.

Koska suurin osa tarkasteltavan asuinkerrostalokannan rakennuksista on varustettu koneellisella poistoilmanvaihdolla eikä painovoimaisen ilmanvaihdon järjestelmissä poistoilman lämmöntalteenotto ole helppoa, tässä tekstissä keskitytään lähinnä koneellisen poistoilmanvaihdon lähtökohtaan.

8.1.1 Nykytilanteen kartoitus

Ennen lämmön talteenoton lisäämis- tai muihin ilmanvaihtojärjestelmän korjaus- tai parannustoimenpiteisiin ryhtymistä on tärkeää kartoittaa järjestelmän nykytila. Tämä tehdään suorittamalla ilmanvaihtojärjestelmälle kuntotarkastus- tai tutkimus, jossa tarkistetaan hormien/kanavistojen, venttiilien, puhaltimien ym. kunto ja selvitetään järjestelmän toiminta esim. mittaamalla todelliset ilmavirrat. Koneellisen poistoilmanvaihdon järjestelmissä etenkin korvausilman saanti ja siirtoilmareittien esteettömyys tulee tarkistaa. Vaikka suurempiin toimenpiteisiin tai lämmön talteenoton lisäämiseen ei ryhdyttäisi, voidaan sisäilmastoa parantaa joissakin tapauksissa pienilläkin korjauksilla. [5, s. 90.]

8.1.2 Painovoimaisen ilmanvaihdon parannus

Painovoimaista ilmanvaihtoa käyttävien talojen ilmanvaihtoa voidaan parantaa yleensä suhteellisen pienillä toimilla. Koneelliseen tulo-poistoilmanvaihtoon siirtymisen ongelmana on usein rakennuksen epätiivius ja suuret purku- ja asennustyöt suurine kustannuksineen. Käytännössä kyseessä olisi uuden järjestelmän rakentaminen. Myöskään koneelliseen poistoilmajärjestelmään siirtyminen ei usein ole kokonaisenergiakulutuk-

sen kannalta perusteltu ratkaisu, kun otetaan huomioon laitteistojen energiankulutus ja se, että asennukset ovat yleensä huonosti sovitettavissa painovoimaista ilmanvaihtoa käyttäviin rakennuksiin. Painovoimaisen ilmanvaihdon omaavissa kerrostaloissa voidaan kuitenkin harkita hybridi-ilmanvaihtoa. [13, s. 54; 52.]

8.1.3 Ilmanvaihdon huolto ja peruskorjaus

Ilmanvaihtojärjestelmän puhdistus ja perussäätö on säännöllinen, toistuva huoltotoimenpide, jolla ylläpidetään järjestelmän suunnitelmanmukaista toimintaa. Harvinaisempi, mutta kuten myös säännöllinen toimenpide on poistoilmapuhaltimen uusiminen. Ilmanvaihdon peruskorjauksella tarkoitetaan kerralla suoritettavia toimenpiteitä, joilla järjestelmä saatetaan alkuperäiseen tai suunnitelmien mukaiseen tilaansa. Hyvin vanhojen tai huonokuntoisten järjestelmien peruskorjaus saattaa olla hyvinkin monimutkainen ja työläs operaatio, jolloin saattaa olla kannattavampaa uusia ilmanvaihtojärjestelmä kokonaan.

Näiden toimenpiteiden oletetaan jossain tapauksissa sisältyvän poistoilman lämmön talteenottoratkaisuihin, mikäli vanha poistoilmanvaihtojärjestelmä säilytetään. Kun sisäilmastoon ja/tai energiatehokkuutta parantavien toimenpiteiden vaikutuksia mitataan, tulisi jälkeen-tilannetta verrata nimenomaan puhdistuksen ja perussäädön jälkeiseen tilanteeseen eikä suunniteltua huonompaan, vallitsevaan ennen-tilanteeseen, kuten monissa tapauksissa on tehty. Tämä antaa useimmiten liian positiivisen kuvan saavutettavista hyödyistä.

8.1.4 Puhdistus ja perussäätö

Poistoilmanvaihtokanavistolle tulee suositusten mukaan suorittaa tarkistus ja puhdistus 8–15 vuoden välein. Koneellisen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän suositeltu puhdistusväli on hieman lyhyempi, likaisuuden mukaan noin 3–8 vuotta. Ilmanvaihtokanaviston puhdistus asuinrakennuksissa on paloturvallisuuden ja koneellisen tuloilman järjestelmissä myös sisäilman laadun kannalta erittäin suositeltavaa, muttei pakollista Suomessa. Kanavistoon ja sen laitteisiin sekä varusteisiin kertyvä lika kasvattaa painehäviötä ja vaikuttaa myös puhaltimen tehokkuuteen. [53.]

8.1.5 Puhaltimen uusiminen

Puhdistuksen lisäksi eräs tavallinen toimenpide koneellisen poiston asuinkerrostaloissa on poistoilmapuhaltimen uusiminen tai parannus. Poistoilmapuhaltimen sähkömoottorin tekninen käyttöikä on noin 20 vuotta ja puhallinosan huomattavasti pidempi. Useimmiten uusi puhallin maksaa itsensä nopeasti takaisin pienentyneen sähkönkulutuksen (jopa 50 %) ja huoltotarpeen johdosta. Uudet puhaltimet ovat yleensä myös huomattavasti hiljaisempia kuin edeltäjänsä. [54.]

Koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän puhallinta uusittaessa kannattaa harkita mallia, jossa on vakiopaineohjaus. Vakiopaineohjauksella varustettu puhallin mahdollistaa asuntokohtaisen liesikuvun tehostamisen ruoanlaiton ajaksi. Tämä on varteen otettava vaihtoehto liesikupujen asennuksen tai vaihdon yhteydessä. [5, s. 91.]

8.2 Koneellisen poistoilmanvaihdon parannus

Koneellisen poistoilmanvaihdon parannus pitää sisällään tämän opinnäytetyön aihetta ajatellen vain poistoilman lämmön talteenoton lämpöpumpun avulla, koska poistoilman matalasta lämpötilatasosta johtuen nestekiertoisella systeemillä ei lämpöä voida juuri-kaan hyödyntää. Koneellisen poistoilmanvaihdon parannus on kokonaisuus, jossa poistoilman lämpöpumppujärjestelmä voidaan yhdistää hallittuihin korvausilmaratkaisuihin.

8.2.1 Poistoilman lämmön talteenotto

Poistoilman lämpöpumppu (PILP) vaatii tehokkaasti toimiakseen tietyn vakioilmavirran, minkä vuoksi ilmamääriä saatetaan asennuksen yhteydessä joskus kasvattaa. Toinen asennuksen yhteydessä tehtävä muutos voi olla siirtyminen kello-ohjauksesta vakioilmanvaihtoon painotetulla keskiarvolla. Näiden yhteydessä korvausilman saanti ja käyttäytyminen tulee tarkistaa, ettei aiheuteta negatiivisia sisäilmastovaikutuksia. Huonosti suunniteltuna kasvatetut ilmamäärät voivat aiheuttaa asunnoissa mm. vetoa ja meluhaittoja, ellei korvaus-, raitis- ja siirtoilmareittien toimivuutta varmisteta uudessa tilanteessa. Poistoilman lämpöpumppujärjestelmän jälkiasennus on yleensä suhteellisen edullinen ja vaivaton toimenpide verrattuna muihin lämmön talteenottotapoihin. Säädön kannalta poistoilmalämpöpumppujärjestelmä saattaa olla haasteellinen ja useimmiten oikeiden toimintaparametrien löytymiseen menee hieman aikaa. Sisäänajovaiheessa

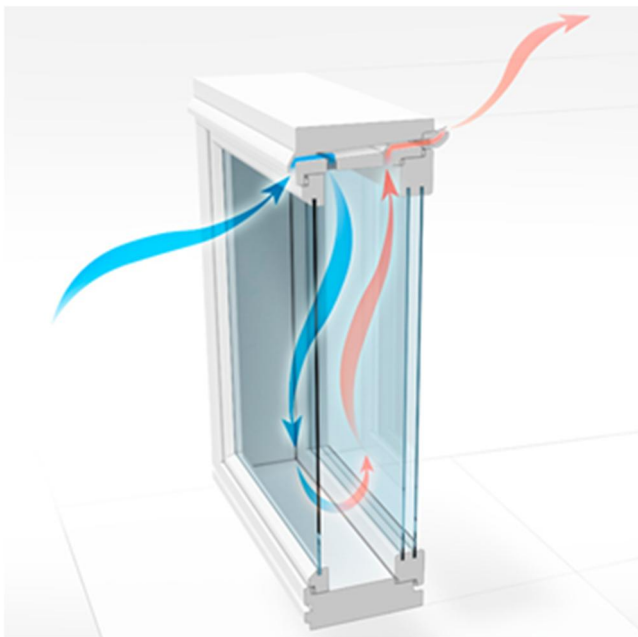
hyötysuhteet voivat jäädä alhaisiksi, ja esim. lämpimän käyttöveden lämpötilassa saattaa esiintyä heilahtelua.

Poistoilmalämpöpumppuja on käytetty runsaasti pientaloissa, joissa myös ilmalämpöpumppu on ollut erittäin yleinen energiansäästökeino. Nämä ovat käytännössä kaksi eri asiaa, vaikka ne perustuvatkin samaan tekniikkaan kuten maalämpöpumput. Kerrostaloihin poistoilmalämpöpumppuja on asennettu arviolta 300–400 kohteeseen Suomessa [42, s. 12]. Ruotsissa poistoilmalämpöpumppujen jälkiasennukset kerrostaloihin ovat määrällisesti ja käyttökokemusten suhteen huomattavasti edellä Suomeen verrattuna. Ruotsissa kerrostaloihin jälkiasennettuja PILP-järjestelmiä on erään arvion mukaan tuhansia. Suomessa poistoilmalämpöpumppujen järjestelmätoimittajia ovat mm. Thereco/ RS Partners, Retermia, Enermix, Senera ja Hydrocell.

8.2.2 Tuloilmaikkunat

Tuloilmaikkuna (kuva 6) on korvausilman tuontiin kehitetty ratkaisu, jossa ulkoilma ohjataan sisätiloihin ikkunalasien välistä. Vaikka yleisesti ja edellä puhutaankin tuloilmaikkunasta, kyseessä on ikkunan ja venttiilin yhdistelmä. Tuloilmaikkunaventtiili saadaan asennettua teoriassa sopivan malliseen ikkunaan myös jälkeinpäin ja näitä venttiilejä myydään myös ikkunoiden lisävarusteina. Tulee kuitenkin muistaa, että tuloilmaikkunan toiminta riippuu merkittävästi myös ikkunan rakenteesta. Ikkunarakenteen läpi virratesaan ulkoilma lämpenee ikkunan kautta siirtyvällä hukkalämmöllä. Tästä johtuen sitä voidaan ajatella myös lämmön talteenottoratkaisuna, vaikkei se periaatteessa hyödynäkään poistoilman lämpösisältöä. Sekä ikkunan puhtauden että korvausilman laadun kannalta on erittäin hyödyllistä, että rakenteeseen on saatu lisättyä myös suodatus. [55, s. 11–16.]

Tuloilmaikkuna on perusidealtaan melko vanha keksintö ja aiheeseen liittyviä tutkimuksia on tehty jo 1950-luvulla. Ensimmäisien tuloilmaikkunoiden ongelmana oli sisäilman takaisinvirtauksesta aiheutuva kosteuden tiivistyminen eli kondenssi, mutta 1990-luvulle mennessä takaisinvirtaus oli onnistuneesti estetty. Nykyiset markkinoilla olevat tuloilmaikkunat ja -venttiilit ovat edelleen kehittyneet mm. säätöjen ja huollettavuuden osalta. Tuloilmaikkunoiden yhteyteen on kehitetty myös jonkin tasoista automatiikkaa. [55, s. 20; 57.]



Kuva 6. Tuloilmaikkuna [56].

Sopivasti yhdisteltynä ja loppuun asti ajateltuna tuloilmaikkunoilla voidaan saada aikaan jopa koneellisen tulo-poisto-järjestelmän kanssa kilpailukykyinen järjestelmä. Ulkoilman sisäänotto ikkunan kautta voi olla hyvinkin kustannustehokas ja yksinkertainen ratkaisu esim. ikkuna- ja ilmanvaihtosaneerauksen yhteydessä. Jossain tapauksissa tuloilmaikkunat saadaan järjestettyä myös vanhoihin ikkunoihin esim. jyrsimällä. [55, s. 9.]

Yleisellä tasolla ilman sanotaan lämpenevän noin 10 °C virratessaan ikkunan välitilassa ja ratkaisun säästävän lämpöhäviöissä 15–30 % verrattuna esilämmittämättömän ulkoilman tuontiin huonetilaan. Huomattavasti positiivisemmän kuvan asiasta antaa esim. Air-In Kameleontti -tuloilmaikkunaventtiilin esite (Dir-Air Oy), jonka mukaan ilma lämpenee välitilassa jopa 20 °C ja vuotuinen hyötysuhde on 60 %. Auringonpaiste huomioitaessa voidaan saavuttaa jopa 1 kW:n teho. Tuloilmaikkunoita ja -venttiileitä sekä niihin liittyviä järjestelmiä markkinoivat myös mm. Inwido (Pihla, Tiivi), Biobe Oy ja Alavus ikkunat Oy. [56; 57.]

8.2.3 Tulo- tai raitisilmaradiaattorit

Tulo- tai raitisilmaradiaattori (kuva 7) on toinen variaatio korvausilman hallittuun tuontiin, joka on kätevästi asennettavissa ikkunoiden yhteyteen tavallisen radiaattorin tilalle.

Raitisilmaradiaattori on tuloilmaikkunan tavoin hyvin vanha keksintö ja sitä suositeltiin korvausilman tuontiin jo Rakentajain kalenterin aikoihin (1940). Myös uudemmissa yhteyksissä tuloilmaradiaattorit saattavat olla pätevä komponentti energiatehokkaassa kokonaisratkaisussa. Esimerkiksi eräässä Niben ja Purmon yhteisessä esitteessä tuloilmaradiaattoria suositellaan matalalämpöjärjestelmiin lämpöpumpun kanssa. Hyviksi puoliksi mainitaan nopea mukautuminen lämpötilan muutoksiin ja reagointi lämpökuormiin. [18, s. 20; 58.]

Purmo Air -raitisilmaradiaattorin tapauksessa ilma voidaan lämmittämisen lisäksi myös suodattaa ja sen määrää voidaan säätää. Ilmavirta on myös suljettavissa. Raitisilmaradiaattorien suodattimet ovat luokkaa F7–F9. Raitisilmaradiaattori soveltuu parhaiten tiiviiden rakennusten ilmanvaihdon toteuttamiseen niin uudis- kuin korjausrakennuskohteissa, ja riittävän ilmavirran takaamiseksi vaaditaan koneellinen poistoilmanvaihto. Raitisilmaradiaattorin suodattimen vaihto ja puhdistaminen on yksinkertaista. [58; 59.]



Kuva 7. Raitisilmaradiaattori [59].

Lämmintä ilmaa voidaan tuoda sisään sijoittamalla uudet venttiilit myös huoneessa olevien lämpöpattereiden taakse, josta ilma nousee lämmitettynä muuhun huonetilaan. Tämä onnistuu suhteellisen vähin kustannuksin, koska pattereita ja ikkunoita ei jouduta samassa yhteydessä vaihtamaan [52]. Vaarana voi kuitenkin olla, että kylmä ilma pääsee valahtamaan lattialle patterin alapuolelta, mikäli esim. patterin teho ei ole riittävä.

8.2.4 Muut korvausilmajärjestelyjen parannukset

Koneellisen poiston järjestelmissä korvausilmaventtiili voidaan asentaa joko ikkunarakenteeseen tai seinään. Yleensä vastaavat venttiilityypit ovat rako- tai lautasventtiili. Jälkiasennuksena seinäventtiilin asentaminen on rakoverteiliin asentamiseen verrattuna raskaampi toimenpide, mutta seinäventtiiliin on helpompi asentaa erilaisia suodatin- ja äänenvaimennusosia. Markkinoilla on myös seinäventtiilimalleja, jotka säätävät tuloilman määrää termostaatin avulla. Tästä huolimatta myös seinään asennettavat venttiilimallit aiheuttavat usein vetoisuusongelmia. Vuonna 2000 markkinoilla olleiden rakomaisten korvausilmaventtiilien teknisten tietojen perusteella ikkunarakenteeseen asennetulla rakoverteiliillä voidaan tuoda huonetilaan vedottomasti raitisilmaa korkeintaan $6\text{--}7\text{ dm}^3/\text{s}$. Lautasmallilla vastaava arvo on $8\text{ dm}^3/\text{s}$. [60, s. 6.]

VTT tutki ulkoilman tuomista vedottomasti oleskeluvyöhykkeelle erilaisten ulkoilmaventtiilien avulla vuonna 1993 julkaistussa *Vedottomien ulkoilmaventtiilien kehittämisperusteet* -tiedotteessaan. Tutkimuksessa etsittiin keinoja tuloilman lämpenemiseen ja virtausnopeuden hidastumiseen oleskeluvyöhykkeen ulkopuolella. Tulosten perusteella oikein sijoitetuilla ja suunnatuilla tuloilmaelimillä on mahdollista tuoda tilaan ainakin $8\text{ dm}^3/\text{s}$ -20 °C :n lämpöistä ilmaa. Tulos perustuu sisäänpuhallusaukkojen oikealla muotoilulla aikaan saatavaan suihkun lähtönopeuteen $2\text{--}3\text{ m/s}$ paine-erolla 10 Pa . Samaisessa tutkimuksessa tutkittiin myös laskennallisesti ilman johtamista erityisen seinä- tai kattorakenteiden kautta. Molemmat keinot todettiin periaatteessa toimiviksi, mutta niiden säädölle tai takaisinvirtauksen estämiselle ei ainakaan tuolloin tiedetty olevan tyydyttävää ratkaisua. [22, s. 4.]

Käytännössä korvaus- ja raitisilmaventtiileillä on siis rajalliset mahdollisuudet vaikuttaa ilmanjakoon. Ulkoseinän tai ikkunoiden sijaintiin tai kokoon on hyvin vaikea vaikuttaa olemassa olevissa kerrostaloissa. Suuri määrä korvaus- ja raitisilmaventtiilejä julkisivussa saattaa olla myös esteettinen ja äänitekninen ongelma tai jopa kiellettyä suojelluissa kohteissa. Vilkasliikenteisten teiden lähistöltä sisään otettavan ulkoilman laatu saattaa olla hyvin huono.

Jos ilmamääriä päätetään kasvattaa koneellisen poiston järjestelmässä, korvausilman hallittu saanti on mietittävä huolella. Epat-loppuraportissa mainittiin tämän olevan yksi korjaustoimenpiteisiin liittyvä aihealue, josta tulisi etenkin urakoitsijoita ym. toimijoita

varten saada enemmän tietoa toimintaperiaatteiden ja toteutuneiden käyttökokemuksien muodossa. [3, s. 34.]

8.3 Koneellisen tuloilman lisääminen

Parhaat mahdollisuudet hyvälaatuiseen sisäilmastoon tarjoaa koneellinen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmä. Täysin koneelliseen järjestelmään on mahdollista asentaa tehokkaat suodattimet, energiatehokas perinteinen lämmön talteenotto ja paikallisiin tarpeisiin vastaavat tuloilman päätelaitteet. Kuten muissakin järjestelmissä, myös koneellisen tuloilman järjestelmissä tulee muistaa varmistaa siirtoilmareittien esteettömyys. Koneellinen tulo-poistoilmanvaihtoratkaisu saattaa aiheuttaa asukkaissa myös ristiriitaisia mielipiteitä. Herkimpiä henkilöitä suurempi ilmanvaihtuvuus tai koneellisen ilmanvaihdon aiheuttama melu saattavat häiritä, vaikka ne olisivatkin määräysten vaatimilla tasoilla.

Suurimpia ongelmia koneelliseen tulo-poistoilmanvaihtoon siirryttäessä ovat kanavointien tilantarpeet ja remontin raskaus. Toteutusvaiheen jälkeen ongelmia saattavat aiheuttaa myös säätö- ja huolto-ongelmat. Tuloilmakanaviston likaisuus voi myös muodostua sisäilmaa pilaavaksi tekijäksi. Koneellisen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän toiminta edellyttää tietyntasoisista ilmatiiviyttä vaipalta, jolloin ratkaisu ei ole niin kannattavaa hatarissa rakennuksissa, ellei rakennuksen ulkovaippaa aiota tiivistää.

Ilmanvaihtomäärien ja sähkönkulutuksen kasvaessa voi primäärienergian säästö olla esim. vain puolet siitä, mitä lämmön talteenottolaitteen vuosihyötysuhteen perusteella voisi päätellä. Tuloksena saadaan kuitenkin entistä selvästi parempi sisäilma. Todennäköisesti parempi sisäilma olisi myöhemmin toteutettu tavalla tai toisella, ellei rakennusta odota esim. purkutuomio. [3, s. 31.]

8.3.1 Asuntokohtaiset tuloilmalaitteet

Asuntokohtaisesti asennettavien tuloilmalaitteiden/-koneiden ja nestekiertoisen lämmön talteenoton yhdistelmällä on teoriassa mahdollista saavuttaa koneellinen tulo-poistoilmanvaihto. Tällöin tuloilmakoneet toimisivat keskitetyn poistoilmanvaihtojärjestelmän rinnalla, ja poistoilman lämpö saataisiin hyödynnettyä tuloilman lämmityksessä. Varsinaisten tuloilmakoneiden asentaminen ilman asuntokohtaista poistoilmaa saattaa

johtaa asunnon ylipaineisuuteen. Myös lämmönsiirtoputkiston rakentaminen saattaa olla hankalaa ja järjestelmän hyötysuhde kyseenalainen. Lähes samalla vaivalla saisi kuitenkin energiatehokkaamman ja yksinkertaisemman asuntokohtaisen tulo- poistoilmanvaihtojärjestelmän. Jossain kohteissa tällainen järjestely voi olla järkevä ratkaisu, jos esim. jäteilman seinäpuhallus ei onnistu ja olemassa oleva poistoilma- kanavisto on hyvässä kunnossa.

Yksinkertaisempiakin asuntokohtaisia tuloilmalaitteita tai -lämmittimiä on olemassa. Esimerkiksi Mobair-tuloilmalaite voi olla potentiaalinen vaihtoehto tavallisille korvaus- tai raitisilmaventtiileille, mikäli veto koetaan erittäin häiritseväksi ja se on runsasta. Lämmön talteenotto on tällöin toteutettava erikseen. Mobair-tuloilmalaite (kuva 8) on teoriassa korvausilmaventtiili, jossa on suodatus ja lämmitys. Mobair-laitteen voi asentaa itse suoraan seinään raitisilmaventtiin päälle tai tarvittaessa seinään tehdään läpivi- enti ilmanottoa varten. Valkoisen puukotelon voi halutessaan esimerkiksi maalata tai tapetoida sisustukseen sopivaksi, mutta sähköjohto on vietävä joka tapauksessa lait- teelta pistorasialle. Tämä saattaa joitain häiritä esteettisistä syistä. [61.]



Kuva 8. Mobair-tuloilmalaitteita [61].

Tuloilmalaitteen toiminta perustuu huoneessa olevaan alipaineeseen, vaikka osassa malleista onkin puhallin. Tavanomaiseen huonetilaan tarkoitettuja malleja on kolme: Mobair 2010, 2020 ja 2030. Kaksi ensimmäistä ovat kapasiteetiltaan vastaavia, mutta toisessa on puhallin. Hatarissa rakennuksissa tämä voi lisätä laitteen kautta tulevan korvausilman osuutta. Tuote-esitysten mukaan näiden mallien ilmavirta on 6–12 dm³/s. Lämmitintä voidaan pitää päällä vain tarvittaessa, ja se säätyy portaattomasti tehovälillä 20–600 W. Tyypillisesti lämmittimellinen Mobair-tuloilmalaite kuluttaa virtaa keskimäärin noin 200 W, mutta tämä kompensoituu jossain määrin pienentyneellä

lämmitysjärjestelmän kulutuksella. Kaikissa mainituissa laitteissa on M5-suodatusluokan ilmasuodatin, joka on saatavilla myös pestävänä. Kolmannessa mallissa 2030 ei ole lämmitintä, vaan tuloilmaa lämmitetään sisäilmalla. Laitteessa on 1,2 W:n tehoinen puhallin, jolla aikaansaadaan huone- ja ulkoilman sekoittuminen. Ulkoilmavirran määrä on esitteen mukaan sama kuin lämmitinmalleissa, mutta kiertoilman kanssa virtaama on 19–28 dm³/s. Jälleenmyyjiltä oli saatavissa työn kirjoitusajan kohtana myös 2030 mallia vastaava tuote 2040, jossa oli parempi suodatin (F5–F9) sekä suuremman painehäviön johdosta tehokkaampi (20 W) puhallin. Mallia 2040 ei kuitenkaan löytynyt valmistajan sivuilta. Mobair-tuloilmalaitteiden hinnat ovat suuruusluokkaa 250–400 €. Suomessa Mobair-laitteita myy ja markkinoi Scanoffice. [61; 62.]

8.3.2 Asuntokohtaiset tulo-poistoilmanvaihtokoneet

Asuntokohtaisessa ilmanvaihdossa jokaiseen asuntoon sijoitetaan oma lämmön talteenotolla varustettu tulo- ja poistoilmanvaihtokone. Asuntokohtaisessa ilmanvaihdossa ulkoilma voidaan useimmiten ottaa ulkoseinältä, mutta vilkasliikenteisten väylien lähistöllä tai suojelluissa kohteissa se ei välttämättä onnistu. Jäteilma puolestaan tulisi periaatteessa johtaa rakennuksen vesikaton yläpuolelle, mutta viime vuosina on puhuttu paljon myös jäteilman seinäpuhalluksesta. Seinäpuhallus voi onnistua tietyin edellytyksin, mutta ulkoseiniin tehtävät läpiviennit huonontavat helposti vaipan tiiveyttä. Asuntokohtaisessa ilmanvaihdossa kanavien ilmamäärät ja siten myös koot ovat pienempiä kuin keskitetyssä järjestelmässä, ja kerrosten välisiä läpivientejä ei välttämättä tarvita. Useimmiten asuntokohtaisen järjestelmän asentaminen vaatii kuitenkin alakattojen laskemista osassa asuntoa, mikä ei aina ole mahdollista tai toivottavaa.

Ilmanvaihtokoneessa on suodatus, lämmöntalteenotto, puhallin ja jälkilämmitys. Koneen jälkeen tulee aina olla tehokas äänenvaimennin, koska asunnon sisällä koneen käyntiäänäni kantautuu hyvin herkästi. Asuntokohtaisella tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmällä on huoneistokohtainen säätömahdollisuus, ja lämmön talteenottolaitteena voidaan käyttää levylämmönsiirrintä tai paremman hyötysuhteen omaavaa regeneratiivista siirrintä. Kun lämmöntalteenotto on riittävän hyvä, ei koneessa välttämättä tarvita jälkilämmitystä. Ja jos jälkilämmitystä tarvitaan, kannattaa aina suosia vesikiertoista patteria mahdollisuuksien mukaan. Huoneistokohtaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä on asennusmielessä paljon etuja, mutta pidemmällä aikavälillä huoltotoimenpiteet ja hyötysuhteet ovat kyseenalaisia. [63.]

Markkinoilla on tarjolla runsaasti erilaisia, asuntokohtaisia koneita ja muutama, varta vasten kerrostalojen ilmanvaihtosaneeraukseen suunniteltu kanavointijärjestelmä. Idealtaan kaikki ovat samantyyppisiä eli pienikokoisia ja helppo asentaa. Useimmiten järjestelmät ovat myös hiljaisia, energiatehokkaita ja mahdollistavat huoneistokohtaisen säädön, mutta halvimmissa malleissa näistä saatetaan joustaa. Esimerkiksi Vallox Blu Sky -ilmanjakojärjestelmä on suunniteltu vähän tilaa vieväksi käyttämällä halkaisijaltaan vain 75 mm:n muovisia ja taipuisia muovikanavia. Kun tarvitaan enemmän ilmaa, voidaan käyttää kahta kanavaa rinnakkain. Ohjeellinen ilmamäärä yhdelle kanavalle on $8,3 \text{ dm}^3/\text{s}$. Kanavan sisäpinta on sileä, antistaattinen, mikrobisuojattu ja hygieeninen (puhtausluokka M1). Erikoisrakenteisen sisäpinnan ansiosta kanavan painehäviö on pieni ja rakenne tiivis. [64.]

Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon kanssa saattaa esiintyä käyttö- ja huolto-ongelmia, jos asukkaat eivät ole tarpeeksi tietoisia tai valveutuneita koneiden toiminnasta ja tarpeista. Mainio ratkaisu tähän ongelmaan voisi olla rappukäytävään sijoitettavat talotekniikkakaapit tai -elementit, joihin huoneistokohtaiset ilmanvaihtokoneet voidaan sijoittaa ja joita kykenee huoltamaan rappukäytävästä käsin. Asunnoissa käynnit ovat yleensä vaikea toteuttaa, ja asukkaiden vastuulla olevat huoltotoimenpiteet saattavat jäädä. Tällaista rappukäytävään sijoitettavaa kaappi-ratkaisua oli hyödynnetty esim. Vaasan asuntomessualueella vuonna 2008. [65.]

Asuntokohtaiset ilmanvaihtokoneet kuluttavat sähköä, ja väärin säädetty kone saattaa jopa kaksinkertaistaa kerrostaloasunnon sähkölaskun. Siksi onkin tärkeää opastaa asukkaita säätämään ja huoltamaan huoneistokohtaista ilmanvaihtokonettaan säännöllisesti. Ilmanvaihtokone tulee säätää vuodenajan mukaan kesä- ja talviasentoon. Kesäasennossa ilmanvaihtokone puhalttaa viileämpää tuloilmaa eikä ota lämpöä talteen poistoilmasta. Kesäasentoon ilmanvaihtokone asetetaan keväällä, ja talviasentoon hyvissä ajoin ennen lämmityskauden alkua. Taloyhtiöissä huoneistokohtaisen ilmanvaihdon huolto ja säätäminen saattaa kuulua joko asukkaalle tai taloyhtiölle. Poistoilma-venttiilit pitää puhdistaa kaksi kertaa vuodessa, mutta venttiilin säätöasentoa ei saa muuttaa. Liesituulettimen rasvasuodatin tulisi kuten myös puhdistaa vähintään kaksi kertaa vuodessa, ja mahdollinen aktiivihiiisuodatin on vaihdettava uuteen suunnilleen vuosittain. [66.]

8.3.3 Ikkunaan integroitu ilmanvaihtokone

Viime vuoden (2014) lopulla kirjoitettiin parissa yhteydessä innovatiivisesta ikkunakonekeksinnöstä. Kyseessä on ikkuna-, ovi- ja lasiratkaisuihin erikoistuneen Skaalan markkinoille tuoma Skaala Alfa Clean -ikkuna, jonka karmiin on integroitu pienikokoinen ilmanvaihtokone lämmön talteenotolla (kuva 9). Aiheeseen liittyvän artikkelin mukaan ikkunaan integroitu lämmön talteenotto laite toimii 80–85 %:n hyötysuhteella ja laitteen kapasiteetti (8 dm³/s) riittää noin 25 m²:n huoneen ilmanvaihtoon. Halutessaan asukas voi hallita itse sisäilman laatua huone- tai huoneistokohtaisesti. Syntyneellä energiansäästöllä voidaan samaisen artikkelin mukaan rahoittaa parempi ilmanvaihto ja ikkunaremontti. Skaala-konsernin kehitysjohtaja lupaa ilmanvaihtojärjestelmän takaisinmaksu-ajaksi 4–5 vuotta, ja Skaala näkee uudelle tuotteelleen suuret markkinat erityisesti kerrostaloissa. [67; 68; 69.]

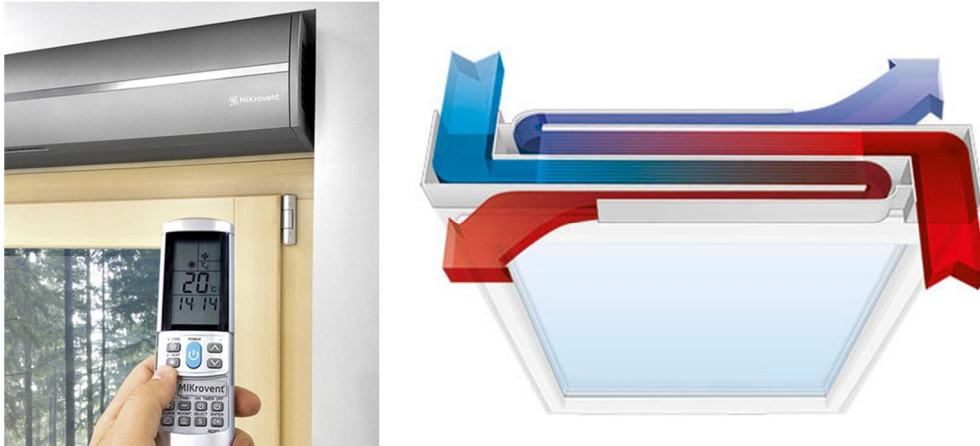


Kuva 9. Ikkunaan integroitu ilmanvaihtokone [68].

Samoihin aikoihin toisessa artikkelissa haastateltiin sisäilmayhdistyksen sisäilmaneuvojaa, joka suhtautui ikkunakoneeseen toiveikkaasti mutta epäilevästi. Huolta aiheuttivat rakenteista johtuvat sisäilmaongelmat, joita ei ikkunalla voida ratkaista ja asukkaan toimesta tapahtuvat hoito-/huoltotoimenpiteet tai niiden laiminlyöminen. Artikkelissa mainittiin myös, että ikkunakoneen virtajohto on helppo irrottaa sähkönsäästön nimissä. Asiantuntijan mukaan ikkunakoneiden kapasiteetti saattaa olla sen verran rajallinen, että rinnalle joudutaan järjestämään poisto- ja korvausilmaa muilla keinoin. [67; 68; 69.]

Ikkunaan integroitua ilmanvaihtokonetta ja muita huoneistokohtaisia ilmanvaihtokoneita muistuttavia innovaatioita löytyy myös Suomen markkinoiden ulkopuolelta. Esimerkiksi slovenialainen MIK International Trading and Production Company, Ltd. on ehtinyt

markkinoida innovatiivista Mikrovent-ilmanvaihtokonettaan jo muutaman vuoden. Kyseessä on ikkunan yhteyteen sen yläpuolelle asennettava ilmanvaihtokone (kuva 10). [70.]



Kuva 10. Mikrovent-ikkuna [70].

Tekniset suoritusarvot Mikrovent-ilmanvaihtokoneella ovat lähellä Skaalan ikkunaan integroitavaa ilmanvaihtokonetta: maksimi-ilmavirta noin $8 \text{ dm}^3/\text{s}$, lämmön talteenoton hyötysuhde 71–87 % ja virrankulutus 4–21 W. Suodatus tässä ilmanvaihtokoneessa on luokkaa F5. Koneeseen on mahdollista liittää myös automaattinen kosteus- tai hiilidioksidiohjaus. Mikrovent-koneen hinta on tuotteen kotisivujen mukaan alkaen 690 € + VAT. Kotisivuilla on esitetty myös eräänlainen kannattavuuslaskelma, jossa verrataan 100 hotellihuoneen ilmanvaihtokorjauksen kustannuksia keskitetyllä ratkaisulla ja Mikrovent-koneilla. Vertailussa Mikrovent-koneilla saatiin puolta pienemmät kustannukset 25 vuoden tarkastelujaksolla. [70.]

8.4 Keskitetty tulo-poistoilmanvaihto

Kokonaisuuden kannalta yksinkertaisin, halvin ja helppohoitaisin (pitkäaikais-) ratkaisu lämmön talteenottoon ja parempaan sisäilmastoon saattaisi olla keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä. Keskitetyllä tulo-poistoilmanvaihdolla voidaan saavuttaa parempi sisäilmasto energiatehokkaammin ja pienemmin käyttö- ja huoltokustannuksin kuin asunto-kohtaisessa järjestelmässä.

Painovoimaisen tai koneellisen poistoilmanvaihdon rakennuksissa keskitetyn tulo- poistoilmanvaihtojärjestelmän rakentaminen voi kuitenkin olla kallis ja raskas toimenpide. Keskitetyssä järjestelmässä kanavien koot ovat suurempia kuin asuntokohtaisessa, ja ne tulee johtaa yleensä korkeussuunnassa alimmasta kerroksesta aina ullakolle asti, mikä saattaa olla jopa rakenneteknisesti haastava toteuttaa. Keskitetyn ilmanvaihtoratkaisun kanavat verottavat usein myös myytäviä asuinneliöitä. Kaikissa tapauksissa keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän kanavoinnin tai koneen vaatimaa tilaa ei yksinkertaisesti ole tai kattorakenne ei kestä konehuoneen painoa. Kaavamääräykset saattavat rajoittaa konehuoneen sijoitusta rakennuksen katolle. Jos kanavointi saadaan vietyä porrashuoneen tai ulkoseinän kautta, ongelmaa ei teoriassa ole. Tilantarpeita arvioitaessa tulee muistaa eristykset ja huoltoreitit. Ulkoseinälle asennettavat kanavaelementit voisivat olla yksi ratkaisu tilantarveongelmiin, mutta toistaiseksi pelkästään IV-kanavia varten elementtejä ei ole käytännössä tuotteistettu.

Säädön ja huollettavuuden kannalta keskitetty järjestelmä on yksinkertaisin ja toimintavarmoin. Huonosti hoidettuun järjestelmään kertyy kuitenkin likaa, joka voi ajan kanssa alkaa haista ja pilata sisäilmaa. Yleensä hajun lähteenä ovat kanavistoon ja/tai suodatimeen kerääntynyt pöly ja hyönteiset. Ilmanvaihtolaitoksen likaantuminen vaikeuttaa myös ilman kulkua kanavistossa ja laskee lämmön talteenoton hyötysuhdetta. Ilmanvaihtolaitoksen säännöllinen puhdistaminen on välttämätöntä sekä hygienia- että toimintasyistä. [24.]

8.4.1 Talotekniikkaelementit

Talotekniikka- eli hormi- tai putkistoelementit ovat uusi lupaava suuntaus korjausrakentamisessa. Talotekniikkaelementtejä on käytännössä sovellettu lähinnä putkiremonteissa, vaikka valmistajat mainitsevat myös ilmanvaihtokanavat mahdollisina komponentteina. Vakiomalleihin ei yleensä ole sisällytetty ilmanvaihtokanavia, mutta tekniikka ja puitteet ovat olemassa. Suomessa talotekniikkaelementtejä valmistavat esim. Silotek Oy ja Moduc Oy. Silotek on markkinoiden ainoa räätälöitävä talotekniikkaelementti. Silotek on Silotek Oy:n rekisteröimä ja patentoima LVIS-innovaatio. [71.]

Hormielementit vievät vähän tilaa ja ovat helposti asennettavissa. Tehdasolosuhteissa valmistetut elementit ovat myös laadultaan parempia, ja laatu on tasaisempaa. Loppu- tulos on yleensä ääniteknisesti parempi kuin perinteinen toteutus paikan päällä. Kaikki tarvittavat lämpö-, kosteus- ja paloeristeet sekä varusteet, kuten venttiilit, voidaan sisäl-

lyttää elementteihin valmiina. Elementeillä toteutettu saneeraus vie huomattavasti vähemmän aikaa ja häiritsee vähemmän asukkaita, jolloin toteutusvaihe on huomattavasti tehokkaampi. Tehdasvalmisteisten elementtien asennukseen ei välttämättä tarvita edes putki- tai iv-asentajia. Lisäksi työturvallisuus paranee ja rakennusvalvonta on helpompaa elementtejä hyödynnettäessä. [71.]

8.4.2 Julkisivuelementit

Vuosina 2008–2009 toteutettiin tutkimushanke TES Energy Facade, jossa pyrittiin kehittämään sovellettavissa oleva puurunkoisiin suurelementteihin perustuva julkisivujen korjausmenetelmä. Lyhenne TES tulee sanoista *Timberbased Element System*. Julkisivuelementeillä voidaan parantaa vaipan ilmatiivyyttä, lämmöneristävyyttä ja ulkonäköä, minkä lisäksi elementteihin voidaan integroida talotekniikkaa (kuva 11). TES-menetelmällä voidaan toteuttaa siis kaikki suurimmat energiatehokkuuteen ja toimivuuteen liittyvät korjaustoimet yhdellä kertaa erittäin tehokkaasti. Esivalmistuksen hyötyjä ovat, kuten hormielementeilläkin, korjauksen siisteys, nopeus ja parempi laatu. TES-menetelmällä korjaukset voidaan toteuttaa jopa niin, ettei asukkaiden tarvitse poistua kodeistaan. Myös kosteuden ja kustannusten hallinta toteutusvaiheessa ovat parempia. [72; 73.]



Kuva 11. Ilmanvaihtokanavia TES-elementissä [72, s. 19].

Suomen ensimmäinen TES-korjaus valmistui Innova-projektin tuloksena Riihimäelle 2012. Parhaimmillaan TES tarjoaa mahdollisuuden toistettavien ratkaisujen käyttöön kokonaisten asuinalueiden peruskorjauksissa. Yleensä tuloilmakanaville on vaikea löytää reittejä ilman laajoja ja kalliita rakennustöitä, joten TES-menetelmä saattaa tarjota mahdollisuuden ilmanvaihdon saneerauksen yleistymiseen. Ilmanvaihtokanavat voidaan asentaa elementteihin, kuten tehtiin Riihimäen kohteessa. Riihimäen kohteesta on kerrottu tarkemmin Innova-hankkeen loppuraportissa. [72, s. 6, 10–12.]

Mikäli rakennuksen julkisivu saneerataan ja samalla halutaan parantaa vaipan lämmöneristystä, elementtitekniikka on varteenotettava vaihtoehto. Tehdasvalmisteisuus asettaa kuitenkin suunnittelulle erityisiä haasteita. Jotta elementit sopivat suunnitelluille paikoilleen rakennuksessa, on vanha rakennus mitattava ja mallinnettava erityisen tarkasti. Nopein ja kustannustehokkain tekniikka luotettavan 3D-mallin aikaansaamiseksi on laserkeilaus. TES-menetelmän haasteena ovat olleet myös elementtien kiinnitykseen liittyvät tekijät. [10, s. 41.]

8.4.3 WISE Apartment Solution

Swegonin tarkoituksena oli luoda uusi ilmanvaihdon saneerausmenetelmä erityisesti 1960–80-luvuilla rakennettuihin kerrostaloasuntoihin, minkä tuloksena kehiteltiin *WISE Apartment Solution* eli WAS. Karkeina reunaehtoina olivat mm. asennusnopeus ja edullisuus. [74.]

WAS on älykäs järjestelmäratkaisu, joka koostuu kolmesta komponentista. Asuntopaketti sisältää päätelaitteet, ilmanjakolaitteen, verhoilun ja asennusosat. Asuntopakettiin sisältyy myös automaattinen mekaaninen palosuojaus sekä tekniikkayksikkö tarveohjattua ja tasapainotettua ilmanvaihtoa varten. Järjestelmän toinen osa on asennusta helpottava jakolaatikko, jolla säästetään tilaa risteävien kanavien kanssa. Suurempiin järjestelmiin kuuluu lisäksi aluepelti, joka mahdollistaa aluekohtaisen paineoptimoinnin. Kolmas osa pitää sisällään koko järjestelmän toimintaan vaikuttavan tiedonsiirtoyksikön, sisäänrakennetun verkkoliittymän valvontaa varten ja ilmankäsittelykoneen vaadittavilla lisävarusteilla. Kaikki kolme komponenttia ovat täysin integroituja ja kommunikoivat keskenään. Järjestelmän ohjaus tapahtuu tarpeenmukaisesti. Ohjaus perustuu hiilidioksidipitoisuuden sijasta VOC-päästöihin. Myös sisäilman kosteutta seurataan ja verrataan ulkoilman kosteuteen. Jos kosteus ero ulko- ja sisäilman välillä kasvaa liian suureksi, lisätään ilmanvaihdon määrää. [74; 75.]

8.5 Hajautettu tulo-poistoilmanvaihto

Hajautetulla ilmanvaihdolla mielletään tässä keskitetyn ja huoneistokohtaisen ilmanvaihtojärjestelmän välimuotoa, jossa saavutetaan parhaassa tapauksessa molempien järjestelmätyyppien edut ja pahimmassa tapauksessa molempien haitat. Esimerkkinä hajautetusta järjestelmästä on porraskäytäväkohtainen ilmanvaihtokone, jolta kanavat johdetaan rappukäytävän kautta asuntoihin. Tällöin yhdessä asuinrakennuksessa voi olla muutama ilmanvaihtokone porrashuoneiden määrän mukaan yhden tai erittäin monen sijasta. Huoneistokohtaiset tuloilmakoneet yhdistettynä keskitettyyn poistoilmanvaihtoon muodostavat myös tällaisen hajautetun välimuotojärjestelmän.

9 Kustannukset ja kannattavuus

Taloudellinen kannattavuus lämmön talteenoton lisäämiselle tai ilmanvaihdon saneeraukselle on hyvin tapauskohtainen asia. Tästä huolimatta on ilmoilla ollut erilaisia väittämiä liittyen energiansäästökorjausten kannattavuuteen. Tällaisia ovat esim. ”vältät lämmön talteenoton rakentamisen lisäeristyksellä” tai ”ilmanvaihto- ja lämmön talteenottojärjestelmien käyttökustannukset mitätöivät järjestelmillä saavutettavat säästöt”. Vaikka tällaiset väittämät saattavat pitää osassa kohteita paikkaansa, ei niitä tulisi ottaa kovinkaan kirjaimellisesti.

Kannattavuudella tarkoitetaan sitä, että korjaus- tai parannustoimenpiteiden tuomat hyödyt ovat suurempia kuin niiden vaatimat investointi- ja käyttökustannukset. Jotta kannattavuutta voitaisiin arvioida, tulee saavutetulle hyödyille ja sen vaatimalle panostukselle määritellä keskenään vertailukelpoiset arvot. Puhtaissa energiansäästötoimenpiteissä tämä on melko yksinkertaista, mutta aineettomat tekijät esim. ilmanvaihdon parannustoimenpiteissä vaikeuttavat arviointia. Myös välillisiä ja kauaskantoisia vaikutuksia on vaikea arvioida.

Tämän työn kanssa rinnakkain tehdyssä, energiapuoleen keskittyvässä Taavi Verran opinnäytetyössä [42] on perehdytty tarkemmin kannattavuuslaskelmiin rahallisessa mielessä. Tässä työssä kannattavuutta käsitellään vain yleisellä tasolla.

9.1 Yleiset periaatteet

Taulukkoon 4 on pyritty koostamaan erilaisten lämmön talteenottoratkaisujen hyviä ja huonoja puolia yhteenvedon tavoin. Tarkasteltuja tekijöitä ovat remontin raskaus, investointikustannukset, sähkön kulutus, lämpöenergian kulutus, muut käyttökustannukset sekä sisäilmastovaikutukset. Annetut arvot ovat suhteellisia ja viitteellisiä.

Taulukko 4. Erilaisten lämmön talteenottoratkaisujen kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä.

	investointi ja remontin raskaus	sähkön kulutus	lämmitysergian kulutus	muut käyttö- kustannukset	sisäilmasto- vaikutukset	muuta huomioitavaa
Koneellinen poistoilmanvaihto (lähtötaso)	o	o	o	o	o	
Poistoilman lämmöntalteenotto lämpöpumpulla						
- yhdistettynä korvausilmajärjestelyjen parannuksiin	--	++	--	--	+	lämmönsiirtoputkisto
- ei ilmamäärien tai korvausilmajärjestelyjen muutoksia	-	++	--	--	o	lämmönsiirtoputkisto
- huolimattomasti kasvatetut ilmamäärät	-	+++	+	--	--	lämmönsiirtoputkisto
Asuntokohtainen tuloilmalaite/-kone						
- erilliset tuloilmalaitteet	-	+	o	o	++	
- nestekiertoainen lämmön talteenotto	--	+	-	--	++	lämmönsiirtoputkisto
Asuntokohtainen tulo-poistoilmanvaihto						
- jälkilämmitys sähköllä	--	+++	---	---	+++	
- jälkilämmitys nestepatterilla	---	++	--	---	+++	lämmönsiirtoputkisto
Keskitetty tulo-poistoilmanvaihto	---	+	--	-	+++	konehuone

Epat-loppuraportin mukaan ilmanvaihtokorjausten säästö- ja päästövähennysvaikutuksia voidaan tehostaa muutamilla peruseriaatteilla. Näiden periaatteiden mukaan sähköllä ei tulisi korvata kaukolämpöä, asukkaiden tietoisuus oleellisilta osin tulee varmistaa, yksittäiset komponentit tulee valita mahdollisimman energiatehokkaiksi (puhallin, lämmön talteenottolaite ja suodatin) ja erillispoistot tulee ohjata lämmön talteenoton kautta. [3, s. 32.]

Koneellisen tulo-poistoilmanvaihdon rakentaminen lämmön talteenotolla kannattaa, jos ilmanvaihtoremontti päätetään tehdä paremman sisäilman saavuttamiseksi. Vanhoissa rakennuksissa päämäärän saavuttamiseen liittyy kuitenkin epävarmuustekijöitä. Nykyiset vanhojen asuinrakennusten koneelliset poistoilmanvaihtojärjestelmät ja jopa painovoimaiset ilmanvaihtojärjestelmät koetaan usein riittävän hyviksi, kun vaihtoehtona on

hankala ja kallis remontti, jonka onnistumisesta ei ole tarpeeksi varmuutta. Pelkästään energiansäästön takia ilmanvaihtoremonttia tuskin kannattaa tehdä. [3, s. 47, 69.]

Jäähdytyksen lisäys rakennukseen ei koskaan ole energiataloudellisesti perusteltavissa, vaan saavutetut hyödyt liittyvät paremman sisäilmaston johdosta parantuneeseen viihtyisyyteen ja työtehoon. Jäähdytykseen voidaan käyttää yöaikaista vapaata jäähdytystä, poistoilman kostutusta ja lämmön talteenottoa tai koneellista jäähdytystä. [13, s. 67.]

9.2 Toimenpiteiden ajoitus

Lisäkustannukset ovat kohtuullisen pienet ja kannattavuus on hyvä, kun energiansäästötoimenpiteet ajoitetaan oikein. Jos pyritään lisäämään energiansäästöä rakennuskannassa enemmän kuin suunnitelmallisten ja tarpeenmukaisten korjausten yhteydessä on pienin lisäkustannuksin tehtävissä, voivat lisäkustannukset nousta moninkertaisiksi. Energiansäästöremontteja voidaan jonkin verran aikaistaa, mutta ennen tällaisia päätöksiä tulee tarkastella rakennuksen koko elinkaarta ja suunnitelmaa rakennuksen tulevista korjauksista elinkaaren aikana. Aikaistaminen ei saa lisätä tarkasteltavien rakennusosien uusimiskertoja rakennuksen elinkaaren aikana. Vaikka kokonaisratkaisujen hakeminen on kallista, on se joka tapauksessa edullisempaa kuin yksittäisten korjaustoimenpiteiden erillinen toteuttaminen kunnossapitojaksojen mukaan [7, s. 21]. Etenkin rakennusteknisiä töitä sisältäviä energiansäästötoimenpiteitä kannattaa tehdä lähinnä muutenkin suoritettavan, tarpeenmukaisen korjaustoimenpiteen yhteydessä. [3, s. 67.]

Laajat perusparannukset ovat erittäin otollinen ajankohta harkita lämmön talteenotolla varustetun ilmanvaihtojärjestelmän rakentamista. Kuntoarvion yhteydessä kannattaa aina arvioida, mitä vaihtoehtoisia keinoja ilmanlaadun parantamiseksi on käytettävissä ja mikä on näiden taloudellinen kannattavuus pitkällä tähtäimellä. Varsinkin 1960–1970-luvun kerrostaloissa koneellisen poistoilmanvaihdon kanavissa on ollut vuotoja alusta alkaen, jolloin olisi helppoa sekä taloudellista uusia kanavat peruskorjauksen yhteydessä. Korjaustoimenpiteet voivat kohdistua yksittäisiin järjestelmän osiin, mutta arvioinneissa tulee aina ajatella rakennusta kokonaisuutena ja huomioida kaikki liitännäisvaikutukset esim. sähkö- ja rakennetekniikkaan [13, s. 47]. Jälkeenpäin huomattavat rajoitukset saattavat tulla kalliiksi.

9.3 Rakennuksen tiiveys

Rakennuksen tiiveys vaikuttaa lämmön talteenoton kannattavuuteen. Mikäli suurin osa ilmanvaihdosta tapahtuu hallitsemattomasti rakenteiden kautta, talteen otetun lämmön hyödyntämismahdollisuudet pienenevät. Aihetta tutkittiin eräässä VTT:n tutkimuksessa ja todettiin, että rakennuksen tiiveyden ollessa huonompi kuin 2–3 1/h (50 Pa), rakennusta on tiivistettävä ennen kuin lämmön talteenotto on yksityis-/energiataloudellisesti kannattavaa. Tässä ei ollut kuitenkaan huomioitu esim. parempaa sisäilman laatua ja vedottomampia lämpöoloja. Hallitsemattomien ilmapuotojen suhteellinen merkitys on kasvanut rakennusten vaipan ja ikkunoiden lämmöneristävyuden parantumisen myötä. Kun halutaan päästä mahdollisimman hyvään sisäilmastoon mahdollisimman pienellä energiankulutuksella, on välttämätöntä hallita rakennuksen läpi virtaavan ilmanvaihtoilman määrä mahdollisimman hyvin. Lämmöntarve tyypillisessä asuinrakennuksessa (ilmanvaihtokerroin noin 4 1/h) on 10–30 % suurempi kuin tiiviissä rakennuksessa (ilmanvaihtokerroin alle 1 1/h). [4, s. 26–29; 10, s. 20.]

9.4 Rakennusten ja järjestelmien tekniset käyttöiät

Rakennuksen ja sen sisältämien järjestelmien tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot määräävät suurilta osin, miten laajasti ja milloin korjaustoimenpiteitä kannattaa tehdä. Yleistäviä, käytännön kokemuksiin sekä erilaisiin tutkimuksiin perustuvia käyttö- ja kunnossapitajaksia on koottu LVI-korttiin 01-10424. Teknisellä käyttöiällä tarkoitetaan käyttöönottamisen jälkeistä aikaa, jona rakennusosan tai järjestelmän toimivuusvaatimukset täyttyvät. [76.]

Asuinrakennusten tekninen käyttöikä on erään lähteen mukaan 50–100 vuotta [77, s. 3]. LVI-kortin 01-10424 mukaan ilmastointi- ja ilmanvaihtojärjestelmien lyhytikäisimpien komponenttien (esim. puhaltimet ja patterit) käyttöiät vaihtelevat välillä 20–25 normaalissa rasitusluokassa. Kanaviston tekninen käyttöikä ei kortin mukaan rajoita järjestelmän käyttöikää. Lämmitysjärjestelmässä tilanne on samantapainen – teräsputkiston käyttöikä ei rajoita järjestelmän käyttöikää. Toisaalta myös vesi- ja viemärintijärjestelmien tekniset käyttöiät ovat tämän LVI-kortin mukaan hyvin pitkiä. Esimerkiksi käyttövesi- ja viemäriputkien tekninen käyttöikä on pääosin vähintään 40 vuotta, mikä kuulostaa hieman optimistiselta. Kortissa annetuissa ikäarvioissa on oletettu, että jär-

jestelmät on asennettu huolellisesti ja niitä ylläpidetään asianmukaisesti. Poistoilman lämpöpumppujärjestelmän käyttöikä on arviolta noin 15–20 vuotta. [76.]

9.5 Investointikustannukset

Korjausrakentamisen kustannuksista ei ole yhtenäistä hintatietoa, ja tarkan kustannusarvion saa vasta tarjouspyyntövaiheessa. Toteutuneiden korjausten kustannuksia voidaan kuitenkin kohtuullisella tarkkuudella käyttää energiakorjausten kustannusten lähtötietoina. Taulukkoon 5 on kerätty eri lähteistä löytyneitä hinta-arvioita sekä toteutuneita investointikustannuksia erilaisille korjaus- ja parannustoimenpiteille. [7, s. 21.]

Vertailumielessä perinteisen linjasaneerauksen kustannukset ovat vuoden 2013 korjausbarometrin mukaan 230–740 € huoneistoneliötä kohden. Pääkaupunkiseudulla putki-remontin mediaanihinta on barometrin mukaan 625 €/m² ja muualla Suomessa 250 €/m². [78.]

Taulukko 5. Hinta-arvioita ja toteutuneita investointikustannuksia erilaisille korjaus- ja parannusvaihtoehdoille [7; 40; 79; 80; 81].

Korjaus- tai parannustoimenpide	Hinta (€/ as.m ²)					
	Lähde ->	7	79	80	40	81
Rakennearausten hormien tiivistys		65				
IV-kanavien nuohous (+ säätö)		1,6		(1-3)		
IV-koneen uusinta		5,5		1-10		
IV-järjestelmän uusinta hajautetuksi		160				
IV-järjestelmän uusinta keskitetyksi		217				
IV-järjestelmän uusinta hajautettu tulo + keskitetty poisto		213				
Ilmanvaihdon rakentaminen (ei aiempaa koneellista tulo-poistoilmanvaihtoa)						
- keskitetty			200-250			
- huoneistokohtainen			250-300			
Ulkoseinän lisäeristäminen						
- julkisivun purku ja uusiminen			150-250			
- lisäeristys vanhan päälle			100-200			
Ikkunoiden ja ovien uusinta			80-100			
Poistoilmalämpöpumppujärjestelmä					21-32	26

Tyypillisissä asuinrakennuskohteissa poistoilman lämpöpumppujärjestelmän investointikustannukset ovat niin laskelmien että toteutuneiden kustannusten pohjalta olleet 50 000–140 000 €. Näillä sekä muilla lasketuilla kannattavuusarvoilla poistoilman lämpöpumppujärjestelmien takaisinmaksuajat ovat enimmäkseen olleet 5–15 vuotta ja

niihin investoiminen energiataloudellisesti kannattavaa. Ilmanvaihtokorjauksista ei toteutuneita investointikustannuksia juurikaan löydy. [81; 82.]

Erilaisten energiansäästötoimenpiteiden tekeminen energiansäästötoimenpiteiden kohteena oleviin rakennusosiin kohdistuvien muiden korjausten yhteydessä lisää korjauskustannuksia tyypillisesti 5–15 %. [3, s. 47.]

9.6 Energiankulutusvaikutukset

Kun verrataan poistoilmalämpöpumppujärjestelmää ilman ilmanvaihtoparannuksia ja perinteisen lämmön talteenottolaitteiston rakentamista ilmanvaihtosaneerauksen yhteydessä, jälkimmäinen on investointikustannuksiltaan huomattavasti suurempi. Energiankulutuksen kannalta tilanne on kyseenalainen.

Energiakustannuksia arvioitaessa tulee huomioida paikalliset kaukolämmön ja sähkön hinnat ja ennakoida niiden muutoksia jopa kymmenien vuosien päähän, mikä on haastavaa. Hinnat ovat noususuhdanteessa, ja niiden vaikutusta elinkaarikustannuksiin voidaan tutkia herkkyyksianalyysin avulla. Herkkyyksianalyysissä vaihdetaan esim. laskentakorkoa tai kaukolämmön hintaa ja tarkastellaan, kuinka paljon lähtöarvojen vaihtelu vaikuttaa lopputulokseen. Joka tapauksessa sähkö on huomattavasti kalliimpaa kuin kaukolämpö ja E-luvun käyttöönoton jälkeen tulee huomioida myös sähkön suurempi energiamuotokerroin. Eri paikkakuntien tai ajanjaksojen erilaisten ulkoympäristön olosuhteista johtuen energiankulutukset tulee normeerata, jotta ne olisivat keskenään vertailukelpoisia.

Poistoilmalämpöpumppujärjestelmä kuluttaa enemmän sähköä kuin perinteinen lämmön talteenottolaitteisto ja tyypillisesti se nostaa kiinteistön sähköenergian kulutusta merkittävästi, jopa kolminkertaiseksi [42, s. 30]. Toisaalta ilmanvaihdon puhaltimet kuluttavat energiaa, joten niiden määrä saattaa olla merkittävä tekijä; asuntokohtaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä puhaltimia voi olla paljon. Puhaltimien energiankulutusta voidaan arvioida ominaissähkötehon avulla. Koneelliselle tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmälle ominaissähköteho on määräysten mukaan $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ja koneelliselle poistoilmanvaihdolle $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Huoneistokohtaisessa koneellisessa tulo-poistoilmanvaihdossa tuloilman jälkilämmitys hoidetaan usein sähköllä ja myös huoltokustannukset (esim. suodattimien vaihdot) tuovat merkittävän lisän käyttökustannuksiin.

Kaikissa ratkaisuissa lämmitysenergiankulutus oletusarvoisesti pienenee, koska yksityistaloudellinen energiansäästö on usein korjausten motiivina. Esimerkiksi energiapuoleen keskittyvässä opinnäytetyössä todettiin kaukolämmönkulutuksen laskeneen jopa kolmannekseen lämpöpumppujärjestelmän myötä [42, s. 30]. Jossain tapauksissa saattaa käydä niin, että lämmitysenergiankulutus kasvaa suurempien ilmamäärien johdosta. Tulee ottaa huomioon, että ilmanvaihdon lämpöhäviöt saattavat lähtötilanteessa olla pienempiä myös huonomman ilmanvaihtuvuuden johdosta. Kun tuloilmaa ei lämmitetä, korvaus- ja vuotoilman vaatima lämpöenergia katetaan rakennuksen varsinaisella lämmitysjärjestelmällä. Lämmittämättömällä tuloilmalla ei siis voida juurikaan säästää.

Energian hinnan ollessa alhainen on energiansäästö lyhyellä tarkastelujaksolla harvoin ratkaiseva syy korjaukseen ryhtymiselle. Energiataloutta parantavilla ratkaisuilla voidaan kuitenkin usein jatkaa rakennusosan teknistä käyttöikää ja parantavaa asumismukavuutta. Kuntoarviossa kannattaa aina punnita vaihtoehtoisten korjaustapojen vaikutuksia kiinteistölle sen koko elinkaaren näkökulmasta eikä lyhytkatseisesti. [13, s. 33.]

Innova-projektissa tähdättiin passiivitalokorjaukseen, jolla raportin mukaan pienennetään kerrostalon energiakuluja kohteesta riippuen 10 000–30 000 € vuodessa. Merkittävä kannustin on mm. omaisuuden arvon nousu. Asuntojen hinnat voivat olla paikakasidonnaisia, mutta remontoidusta huoneistoista saadaan todennäköisesti parempi myyntihinta. [7, s. 22.]

9.7 Paremmen sisäilmaston arvo

Tämä on ehkä koko kannattavuusajattelun vaikein tekijä, koska ihmisten arvostusta on vaikea mitata millään absoluuttisella tai vertailukykyisellä asteikolla. Paremmen sisäilmaston tuomia säästöjä arvioitaessa tulee huomioida mm. tarpeenmukaisuuden aiheuttamat säästöt, kiinteistön eliniän ja arvon kasvu. Terve talo -teknologiaohjelman lopuraportin mukaan sisäilman laatu on selvästi merkittävä päätöskriteeri asunnon valintatilanteessa, mutta parannetusta sisäilman laadusta ei olla juurikaan olla valmiita maksamaan. Toisaalta paremmalla sisäilman laadulla saattaisi olla markkinapotentiaalia hyvätuloisten tai esim. hengityselinsairaiden keskuudessa. [83.]

9.8 Korjauksiin myönnettävät avustukset ja tuet

Asuntokannan korjauksiin ja asuinolojen parantamiseen myönnetään valtion varoista erilaisia avustuksia, joiden pääpainoja ja perusteita päivitetään vuosittain. Avustusten myöntämisestä päättävät kunnat, ARA (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus) tai Valtionkonttori. Korjaus- ja energia-avustuksilla pyritään parantamaan asuntokannan energiatehokkuutta ja niiden myöntämisestä vastaa kunta tai ARA. [84.]

Tämän opinnäytetyön kannalta oleellisin avustuslaji tällä hetkellä (2015) on korjausavustuksiin kuuluva kuntotutkimusavustus kosteusvaurioituneeseen, terveystahittaan aiheuttavaan rakennukseen. Vuosina 2013–2014 haettavissa oli esim. käynnistysavustus perusparannukseen, johon oli budjetoitu 15 miljoonaa euroa vuodelle 2013 ja 100 miljoonaa euroa vuodelle 2014. Päämääränä oli rakennuskannan kunnan kohottamisen ohella työllisyyden lisääminen. Energia-avustuksia myönnetään tällä hetkellä vain harkinnanvaraisesti pientaloille, mutta esim. viisi vuotta sitten niitä myönnettiin myös kerrostaloihin energiakatselmusten tekemiseen, rakennuksen ulkovaipan korjaamiseen, ilmanvaihtojärjestelmiin liittyviin toimenpiteisiin sekä lämmitysjärjestelmiin ja uusiutuviin energialähteisiin liittyviin toimenpiteisiin. [10, s. 6; 84.]

Korjaus- ja energia-avustusten yleisiä myöntämisedellytyksiä ovat, että avustusmäärärahaa on käytettävissä kyseiseen tarkoitukseen ja että kohde on ympärivuotisessa asuinkäytössä oleva asunto tai asuinrakennus. Lisäksi avustettavien toimenpiteiden tulee olla tarkoituksen mukaisia ja kustannuksiltaan kohtuullisia huomioiden rakennuksen asuinkäyttötarve ja -aika. Avustusta myönnetään vain toimenpiteisiin, joiden rahoittamiseksi hakijalla ei ole oikeutta muuhun julkiseen tukeen. Korjaustoimenpiteitä ei saa aloittaa ennen kuin avustuspäätös (tai aloituslupa) on annettu. Kuntotutkimukseen myönnettävä avustus edellyttää terveydensuojeluviranomaisen toteamaa terveystahittaan, ja sen suuruus on enintään 50 % kuntotutkimuksen hyväksytyistä kustannuksista. [84.]

ARA:n lisäksi työ- ja elinkeinoministeriö voi hankekohtaisen harkinnan perusteella myöntää yrityksille, kunnille ym. yhteisöille energiatukea hankkeisiin, jotka edistävät uusiutuvan energian käyttöä, energiansäästöä/energiatehokkuutta tai vähentävät ympäristöhaittoja. Energiatuella pyritään edistämään uuden energiateknologian käyttöönottoa ja markkinoille saattoa. Esimerkiksi lämpöpumppujärjestelmän asennuksen ohjeellinen tukiprosentti vuonna 2015 on 15 % [42, s. 40].

Jos asuinkerrostaloon on lähiaikoina suunnitelmissa suorittaa erilaisia korjaus- tai parannustoimenpiteitä, kannattaa avustusten mahdollisuus tutkia. Jossain tapauksissa avustusten mahdollisuus voi olla kannattava syy korjaus- tai parannustoimenpiteiden aikaistamiselle.

10 Kokemuksia sisäilmastosta - Asukaskyselyt

Tähän opinnäytetyöhön liittyen suoritettiin kaksi asukaskyselyä kohteissa, joihin on jälkiasennettu poistoilman lämpöpumppulaitteisto. Tarkoituksena oli suorittaa vastaava kysely kohteeseen, johon olisi asennettu koneellinen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmä, mutta sopivaa kohdetta ei löytynyt.

Kysely rakennettiin *Green Building Council Finland* -sivustolla [85] annettujen ohjeiden pohjalta seitsenasteisella vastausasteikolla. Tarkoituksena oli kartoittaa, oliko poistoilmalämpöpumpun asennus ja/tai siihen liittyvät muut toimenpiteet aiheuttaneet mitään havaittavia muutoksia sisäilmastossa. Taustatiedoissa kysyttiin asumisaikaa, sukupuolta, ikähaarukkaa, asunnon kokoa sekä asukkaiden määrää. Sisäilmastoon liittyviä kysymyksiä oli 7–8 kpl, joissa kaikissa oli kohdat a) ja b). Kunkin kysymyksen kohta a) viittasi toimenpiteiden jälkeiseen aikaan eli nykyhetkeen ja kohta b) niitä edeltävään aikaan. Näiden lisäksi kyselyssä oli vapaamuotoinen vastauskenttä tarkennuksia, muita havaintoja tai palautetta varten.

Toisessa kyselyssä (Armas Launiksen katu 7) oli yksi kysymys enemmän kuin ensimmäisessä (Soukanahde 6), jonka vastausten perusteella käyttöveden lämpötilaan liittyvän kysymyksen lisääminen koettiin tarpeelliseksi. Molempien asukaskyselyjen kyselylomakkeet jaetussa muodossaan (ilman yhteystietoja) ovat liitteinä 1 ja 2. Kysymysten aiheet ja vastausvaihtoehdot on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Asukaskyselyjen rakenne, kysymysten aiheet ja vastausvaihtoehdot.

KYSYMYKSET	VASTAUSVAIHTOEHDOT						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
1. Tyytyväisyys lämpöoloihin talvella	En ollenkaan tyytyväinen	En juurikaan tyytyväinen	En täysin tyytyväinen	En osaa sanoa / En muistik	Lähies tyytyväinen	Tyytyväinen	Erittäin tyytyväinen
2. Tyytyväisyys lämpöoloihin kesällä	En ollenkaan tyytyväinen	En juurikaan tyytyväinen	En täysin tyytyväinen	En osaa sanoa / En muistik	Lähies tyytyväinen	Tyytyväinen	Erittäin tyytyväinen
3. Tyytyväisyys ilman laatuun/raikkauteen	En ollenkaan tyytyväinen	En juurikaan tyytyväinen	En täysin tyytyväinen	En osaa sanoa / En muistik	Lähies tyytyväinen	Tyytyväinen	Erittäin tyytyväinen
4. Tyytyväisyys ilman laatuun ruoanlaiton, pyykinpesun ja/tai suihkun jälkeen	En ollenkaan tyytyväinen	En juurikaan tyytyväinen	En täysin tyytyväinen	En osaa sanoa / En muistik	Lähies tyytyväinen	Tyytyväinen	Erittäin tyytyväinen
5. Havainnot vedosta	En koskaan	En yleensä	En juurikaan	En osaa sanoa / En muistik	Olen satunnaisesti	Olen silloin tällöin	Olen jatkuvasti
6. Havainnot muista asukkaista johtumattomasta melusta	En koskaan	En yleensä	En juurikaan	En osaa sanoa / En muistik	Olen satunnaisesti	Olen silloin tällöin	Olen jatkuvasti
7. Havainnot vuorokausivaihtelusta sisäilmastossa	En koskaan	En yleensä	En juurikaan	En osaa sanoa / En muistik	Olen satunnaisesti	Olen silloin tällöin	Olen jatkuvasti
8. Havainnot käyttöveden lämpötilan vaihtelusta	En koskaan	En yleensä	En juurikaan	En osaa sanoa / En muistik	Olen satunnaisesti	Olen silloin tällöin	Olen jatkuvasti

Vastausvaihtoehtojen sanallisten kuvauksien muotoilu koettiin hieman ongelmallisena, mikä korostui jossain määrin vastauksia tulkitessa. Lisäksi vastausperusteen eroavaisuudet ensimmäisten (1–4) ja viimeisten (5–8) kysymysten kohdalla aiheuttivat epäilyksiä. Tästä johtuen yksittäisten vastausten kohdalla johtopäätösten tekeminen on hieman haastavaa, minkä lisäksi ennen- ja jälkeen-kysymysten välillä ei huomattu juurikaan eroja. Otannan luonteesta johtuen tulokset päätettiin esittää kunkin vastausvaihtoehdon frekvenssin perusteella. Tämä perustuu ajatukseen siitä, että kun useampi vastaa vastaa tiettyyn kysymykseen muusta aineistosta ja neutraalista mielipiteestä poikkeavasti samoin, se saattaa viestiä jotain.

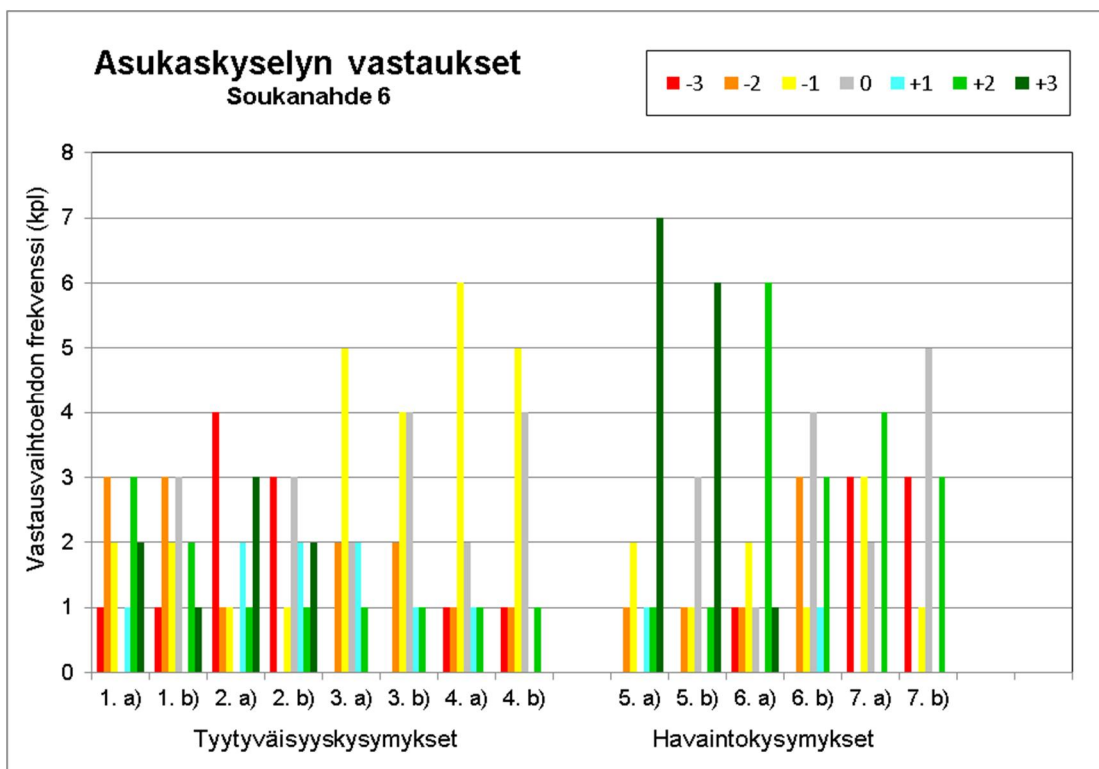
Molempien kohteiden lämpöpumppulaitteistoista sekä kytkennöistä on kerrottu tarkemmin energiapuoleen keskittyneessä opinnäytetyössä [42].

10.1 Soukanahde 6

Soukanahde 6 on Espoon Asunnot Oy:n vuokratiloyhtiö Espoon Soukassa. Kyseessä on 1969 rakennettu 7-kerroksinen pistetalo, jossa on 35 asuntoa. Rakennuksen tilavuus on 8 820 m³ ja huoneistoala 2 100 m². Kohteeseen asennettiin Senera Oy:n toimesta poistoilmalämpöpumppulaitteisto joulukuussa 2012. Asennuksen yhteydessä vaihdettiin poistoilmavaihdon puhallin ja ilmanvaihdon säädössä siirryttiin kello-ohjauksesta vakioilmamäärään painotetulla keskiarvolla 1 200 dm³/s. Kokonaisilmavaihtuvuus pysyi siis muuttumattomana.

Kysely toteutettiin 4.3.–16.3.2015. Kaikkiin huoneistoihin jaettiin 2 vastauslomaketta, koska huoneistojen asukasmäärän arvioitiin olevan noin 2. Kahden vastauslomakkeen toivottiin myös alentavan kynnystä vastaamiseen, mikäli asunnossa asuisi enemmän kuin yksi henkilö. Mahdollisuutena oli myös hakea lisävastauslomakkeita vastauksille tarkoitettulta postilaatikolta, joka sijaitsi rappukäytävän sisääntulokerroksessa. Arvion mukaan asukkaita oli siis noin 70, ja sisällöllisiä vastauksia saatiin 12 kpl, joten vastausprosentti oli 17 %. Vastanneista kolme oli muuttanut kohteeseen vasta asennusajan kohdan jälkeen, eivätkä siten osanneet vastata asennusta edeltävää aikaa koskeviin kysymyksiin. Yhteenveto eri vastausvaihtoehtojen frekvensseistä kussakin kysymyksessä on kuvattu kuvassa 12. Sanalliset, vapaamuotoiset terveiset jätettiin yleisellä tasolla kuvattaviksi, mutta muuten tulokset alkuperäisessä muodossaan ovat liitteessä 3.

Eniten muusta aineistosta ja neutraalista tasosta poikkesivat vetoon liittyvät havainnot, joita esiintyi talvella jatkuvasti seitsemän vastaajan mielestä. Tilanne oli lähes identtinen ennen tehtyjä toimenpiteitä. Silloin tällöin tai jatkuvasti muista asukkaista johtumaton melua oli havainnut toimenpiteiden jälkeen seitsemän vastaajaa, kun vastaava frekvenssi ennen toimenpiteitä oli kolme. Toisaalta neutraalien vastausten määrä tähän kysymykseen ennen toimenpiteitä oli suurempi. Lämpöoloissa oli havaittavissa hieman tyytymättömyyttä niin talvella kuin kesälläkin, mutta hieman enemmän kesällä. Ilman laatuun liittyvissä kysymyksissä 3 ja 4 vastaukset painottuivat vastausvaihtoehtoon ”En juurikaan tyytyväinen”. Havainnot liittyen sisäilmaston vuorokausivaihteluun eivät anna viitteitä siitä, että kello-ohjauksesta luopuminen olisi huomattu asukkaiden keskuudessa. Toimenpiteitä edeltävään aikaan liittyvät kysymykset eli b-kohtat saivat kaikissa kysymyksissä enemmän ”En osaa sanoa / En muista” -vastauksia kuin nykyhetkeä koskevat a-kohtien kysymykset, mikä oli odotettavissa.



Kuva 12. Asukaskyselyn vastaukset, Soukanahde 6.

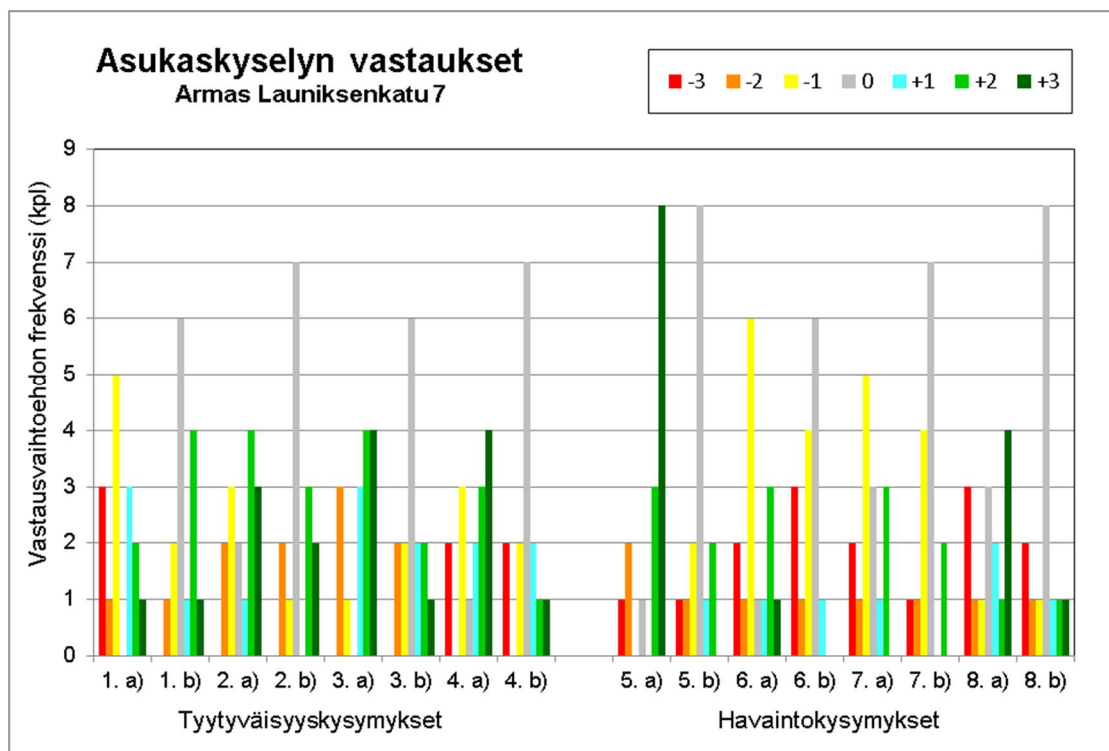
Vapaamuotoisia tarkennuksia tuli 6 kpl, joista suurimmassa osassa mainittiin veto-ongelmat talvella (3 kpl) ja häiritsevä korkea lämpötila kesällä (4 kpl). Muita mainittuja asioita olivat ruoanhaju toisista huoneistoista (1 kpl), tehoton liesituuletin (1 kpl) ja lämpimän käyttöveden lämpötilan heittäily (2 kpl). Viimeksi mainittua ei huomattu edes kysyä, ja ongelma oli ilmennyt vastausten perusteella nimenomaan vasta tehtyjen toimenpiteiden jälkeen.

10.2 Armas Launiksen katu 7

Armas Launiksen katu 7 on myös Espoon Asunnot Oy:n omistama vuokratyöyhtiö. Kohde sijaitsee Espoon Mäkkylässä ja on rakennettu vuonna 1981. Rakennus on 6-kerroksinen ja koostuu 45 asunnosta. Rakennuksen tilavuus on 6 480 m³ ja huoneistoala 1 450 m². Soukanahde 6:n tavoin rakennus on muodoltaan pistemäinen. Kiinteistöön tehtiin perusparannus vuonna 2012, minkä yhteydessä sinne asennettiin poistoilmalämpöpumppu. Perusparannuksessa tehtiin putkiremontti, uusittiin ikkunat ja termostaattiset patteriventtiilit sekä suoritettiin patteriverkoston perussäätö. Ilmamääriä kasvatettiin puhaltimen vaihdon yhteydessä ja ilmanvaihto toimii käyttöajan ilmajärröillä.

aikaohjelman mukaan klo 7.00–21.00, minkä ulkopuolella ilmapirrat ovat 30 % käyttöajan arvoista. Käyttöajan poistoilmamäärä on nykyään 1 140 dm³/s.

Kysely toteutettiin 10.4.–20.4.2015. Kaikkiin huoneistoihin jaettiin yksi vastauslomake, koska huoneistojakauman perusteella asunnot olivat enimmäkseen yhden hengen talouksia. Mahdollisuutena oli tässäkin toteutuksessa hakea lisävastauslomakkeita vastauksille tarkoitettulta postilaatikolta, joka sijaitsi rappukäytävän sisääntulokerroksen tuulikaapissa. Arvion mukaan asukkaita oli talossa yhteensä 47 kpl, ja sisällöllisiä vastauksia saatiin 15 kpl, joten vastausprosentti oli yllättävän korkea 32 %. Vastajista 6 kpl oli muuttanut kohteeseen peruskorjauksen jälkeen eivätkä täten osanneet vastata peruskorjausta edeltävää aikaa koskeviin kysymyksiin. Yhteenveto eri vastausvaihtoehtojen frekvensseistä kussakin kysymyksessä on kuvattu kuvassa 13. Sanalliset, vapaamuotoiset terveiset jätettiin yleisellä tasolla kuvattaviksi, mutta muuten tulokset alkuperäisessä muodossaan ovat liitteessä 4.



Kuva 13. Asukaskyselyn vastaukset, Armas Launiksen katu 7.

Eniten muusta aineistosta ja neutraalista tasosta poikkeava vastausvaihtoehto oli tässäkin otannassa jatkuvasti havaittu veto (8 kpl). Ilman laatuun ja raikkauteen sekä kesäajan lämpöoloihin oltiin tyytyväisiä tai erittäin tyytyväisiä suunnilleen puolissa vasta-

uksista, mutta talvella vastaukset painottuivat tyytymättömyyden puolelle. Neljässä vastauksessa oli havaittu lämpimän käyttöveden lämpötilan vaihtelua jatkuvasti, joista kolmessa etenkin peruskorjauksen jälkeen. Muista asukkaista johtumatonta melua tai vuorokausivaihtelua ei sisäilmastossa ollut juurikaan havaittu. Myös tässä kohteessa neutraaleja vastauksia ”En osaa sanoa / en muista” tuli b-kohdan kysymyksiin huomattavasti.

Vapaamuotoisia tarkennuksia tuli 8 kpl. Yleisin maininta liittyi tupakansavuun, josta mainittiin kolmessa vastauksessa. Korvausilmaventtiilien ja/tai koneellisen poistoilmanvaihdon huminasta sekä asunnon kylmyydestä mainittiin molemmista kahdessa vapaamuotoisessa vastauksessa. Muita mainittuja asioita olivat lämpimän veden pitkä odotusaika (1 kpl), tehoton liesituuletin (1 kpl) ja kesällä liian korkeaksi nouseva sisälämpötila (1 kpl).

10.3 Energiapuolen tuloksia

Energiapuoleen keskittyvässä opinnäytetyössä laskettiin samaisten tarkasteltujen kohteiden normeeratut energiankulutukset vuosilta 2009–2014, joiden pohjalta todettiin ostoennergiankulutuksen vähentyneen toisessa kohteessa noin kolmanneksella ja toisessa noin 40 %. Näissä kohteissa poistoilman lämpöpumppu säästi energiakustannuksissa 6 000–7 500 € vuodessa. Kohteille arvioitiin laskennallisesti myös perinteisen lämmön talteenoton energiankäyttövaikutukset. Arvio perustui investointikustannusten osalta urakoitsijan toiseen kohteeseen tekemään kustannusarvioon. LTO vähensi kohteiden energiankulutusta noin 20 %, mikä säästi kustannuksissa noin 5 000 € vuodessa. [42, s. 47.]

Järjestelmien elinkaarikustannukset laskettiin nettonykyarvo-menetelmällä ja tulosten perusteella poistoilmalämpöpumppu oli molemmissa kohteissa yksityistaloudellisesti kannattava investointi. Järjestelmien takaisinmaksuajat kohteissa olivat noin 7 ja 10 vuotta, mutta perinteisen lämmön talteenoton takaisinmaksuaika venyi yli 20 vuoden. Eniten järjestelmien kannattavuuteen vaikutti kaukolämmön hinta ja sen nousu. [42, s. 47.]

11 Päätelmät

Lähdeaineistoon perehdyttäessä on huomattu energiansäästötoimenpiteiden sekä sisäilmastoasioiden olevan hyvinkin laaja ja ajankohtainen aihe. Toisaalta etenkin sisäilmastoasioiden ja ilmanvaihtokorjausten /-parannusten suhteen käytännön kokemuksia on vähän. Monessa yhteydessä tiedonpuutteen on todettu olevan ongelmana lämmön talteenoton tai ilmanvaihtojärjestelmien rakentamisessa, korjaamisessa tai ylläpidossa. Ilmanvaihtoon liittyvistä korjauksista luovutaan usein ehkä vääristä syistä. Myös asukkaiden ristiriitaiset ajatukset koneellisesta tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmästä johtuvat todennäköisesti tietämättömyydestä, huolimattomasta suunnittelusta ja/tai toteutuksesta sekä ylläpidon laiminlyönnistä. Potentiaalisia ratkaisuja ilmanvaihdon parannuksiin on jo olemassa, ja niistä osa saattaa olla avain kyseisten toimenpiteiden yleistymiseen tulevaisuudessa.

Vaikuttaa todennäköiseltä, että seuraavan 50–100 vuoden aikana tarkasteltujen, ilmanvaihdon osalta korjaamattomien asuinkerrostalojen osuus Suomen rakennuskannasta tulee pienenemään joko poistuman tai laajojen peruskorjausten myötä. Hyvin hatarien tai rakenteellisesti huonokuntoisten rakennusten tapauksessa purku ja kokonaan uuden rakentaminen saattaa olla helpompaa ja taloudellisempaa kuin lukuisat, mahdollisesti hankalat korjaustoimenpiteet. Jos oletetaan, että tarkastellun aikakauden kerrostalon elinkaarta on vähintään puolet jäljellä, olisi järkevää harkita perusparannusta periaatteella kaikki kuntoon kerralla.

Kiinteistönpidon täytyy olla omistajan näkökulmasta kannattavaa. Paremmen sisäilmaston tulisi olla laajemmin ymmärretty ja selkeämpi arvotekijä. Näin myös käy, jos ja kun kokemuksia paremmasta saadaan. Myös minimitason kiinteistöille on varmasti oma kohderyhmänsä, kunhan huonompi viihtyisyystaso näkyy esim. myyntihinnoissa. Mikäli korjaus- ja ylläpitokustannuksiin menee enemmän kuin kussakin tapauksessa ollaan valmiita maksamaan, kannattaa asialle tehdä jotain. Pieni lisäpanostus alkuinvestoinnissa tuo helposti suuren säästön, kun puhutaan pitkistä käyttöajoista. Jos rakennuksessa on varsinaisia sisäilmasto-ongelmia, jotka aiheuttavat terveysvaaraa, ei asiaa tulisi peitellä tai yrittää lykätä. Ylläpidon merkitystä ei voi korostaa liikaa. Hyvin hoidetut järjestelmät toimivat kuten pitää ja ovat pitkäikäisempiä sekä käyttökustannuksiltaan pienempiä.

Mitä pienempiin korjaus- ja parannustoimenpiteisiin tulee, niillä on varmasti jossain tapauksissa saavutettavissa suhteellisen suuria hyötyjä, kunhan toimenpiteiden liitännäisvaikutukset otetaan huomioon ja hankkeet toteutetaan huolella. Koneellisen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän rakentaminen ei kaikissa kohteissa ole kannattavaa. Tästä huolimatta aiheesta tarvitaan ehdottomasti enemmän käytännön kokemuksia, joten toivottavasti erilaiset käynnissä tai käynnistymässä olevat hankkeet johtavat varsinaisiin toteutuksiinkin. Päättäjäpuolella tulisi mahdollisesti suhtautua rohkeammin epävarmoihin, mutta teoriassa lupaaviin ratkaisuihin.

Asukaskyselyjen vastauksissa oli havaittavissa tyypillisiä sisäilmastoon liittyviä ongelmia kuten epäsopivat lämpöolot ja veto, vaikka otanta oli melko pieni ja alun perin toivottuja vertailukohtia ei saatu toteutetuksi. Olisi ollut mielenkiintoista nähdä, mitä ajatuksia koneelliseen tulo-poistoilmanvaihtoon siirtyminen asukkaissa aiheuttaa ja olisiko vastauksissa havaittavissa enemmän tyytyväisyyttä.

Lähteet

- 1 Rakennukset ja kesämökit 2014. 2015. Suomen virallinen tilasto, Asuminen 2015. Verkkodokumentti. Tilastokeskus.
<http://www.stat.fi/til/rakke/2014/rakke_2014_2015-05-28_fi.pdf>. Luettu 15.8.2015.
- 2 Rakennukset (lkm, m²) käyttötarkoituksen ja rakennusvuoden mukaan 31.12.2007. 2008. Tilastokeskuksen PX-Web-tietokannat. Verkkodokumentti. Tilastokeskus.
<http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__asu__rak/010_rak_tau_101_fi.px/table/tableViewLayout1/?rxid=e31c773c-6ad5-4c84-b2e2-8db2f489b3c5>. Luettu 27.10.2015.
- 3 Heljo Juhani, Vihola Jaakko. 2012. Energiansäästömahdollisuudet rakennuskannan korjaustoiminnassa. Verkkodokumentti. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. <www.tut.fi/ee/Materiaalit/Epat/EPAT_loppuraportti.pdf>. Luettu 12.8.2015.
- 4 Säteri Jorma, Kovanen Keijo, Pallari Marja-Liisa. 1999. Kerrostalojen sisäilmaston ja energiatalouden parantaminen. VTT Tiedotteita 1945. RAKET - Rakennusten energiankäytön tutkimusohjelma. Verkkodokumentti. VTT.
<www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1945.pdf>. Luettu 19.6.2015.
- 5 Virta Jari, Pylsy Petri. 2011. Taloyhtiön energiakirja. Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitran julkaisusarja. Sitra 295. Verkkodokumentti. Kiinteistöalan Kustannus Oy. <<http://www.taloyhtio.net/ajassa/energiakirja/>>. Luettu 3.5.2015.
- 6 Parhaat käytännöt, Ratkaisuja energiatehokkuuden parantamiseen. 2015. Verkkodokumentti. Tee parannus! -viestintäohjelma.
<<http://www.teeparannus.fi/parhaatkaytannot/ratkaisuja/>>. Luettu 15.8.2015.
- 7 Nieminen Jyri. 2014. Tietopaketti taloyhtiöille. INNOVA - Kerrostalosta passiivitaloksi. Verkkodokumentti. VTT.
<<http://www.ara.fi/download/noname/%7B5D413470-AF9B-40A8-A287-301786D93D99%7D/22651>>. Luettu 3.5.2015.
- 8 Asumisen energiankulutus 2013. 2014. Suomen virallinen tilasto, Energia 2014. Verkkodokumentti. Tilastokeskus.
<http://www.stat.fi/til/asen/2013/asen_2013_2014-11-14_fi.pdf>. Luettu 9.9.2015.
- 9 Korjausrakentaminen 2013. 2014. Suomen virallinen tilasto, Rakentaminen 2014. Verkkodokumentti. Tilastokeskus.
<https://www.tilastokeskus.fi/til/kora/2013/02/kora_2013_02_2014-11-07_tie_002_fi.html>. Luettu 9.9.2015.

- 10 Lindstedt Tuomo, Junnonen Juha-Matti. 2009. Energiatehokkaat ja teolliset korjausrakentamiskorjaukset Suomessa ja kansainvälisesti. Sitran selvityksiä 11. Verkkodokumentti. Sitra. <<http://www.sitra.fi/julkaisut/Selvityksi%C3%A4-sarja/Selvityksi%C3%A4%2011.pdf>>. Luettu 9.9.2015.
- 11 Kiinteistöliiton korjausrakentamisbarometri: Korjausrakentamisessa epävarmaa kasvua. 2015. Verkkodokumentti. Suomen Kiinteistöliitto. <<http://www.kiinteistoliitto.fi/49397.aspx>>. Luettu 9.9.2015.
- 12 Lehtinen Erkki, Nippala Eero, Jaakkonen Liisa, Nuutila Harri. 2005. Asuinrakennukset vuoteen 2025 – uudistuotannon ja perusparantamisen tarve. Verkkodokumentti. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. <www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2005/asuinrakennukset_vuoteen_2025.pdf>. Luettu 12.8.2015.
- 13 Holopainen Riikka, Hekkanen Martti, Hemmilä Kari, Norvasuo Markku. 2007. Suomalaisien rakennusten energiakorjausmenetelmät ja säästöpotentiaalit. VTT Tiedotteita 2377. Verkkodokumentti. VTT. <www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2377.pdf>. Luettu 27.7.2015.
- 14 Perustietoa sisäilmasta. 2015. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys ry. <<http://www.sisailmayhdistys.fi/paasivuista-toinen/>>. Luettu 9.9.2015.
- 15 Rakennusten energiaterveys. Määräykset ja ohjeet 2012. 2011. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiaterveystasusta. 2/11. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 16 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. 2011. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Ympäristöministeriön asetus rakennusten sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 1/11. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 17 Seppänen Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Suomen LVI-liitto. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 18 Pallari Marja-Liisa, Heikkinen Jorma, Gabrielsson Juha, Matilainen Veijo, Reisbacka Anneli. 1995. Kerrostalojen ilmanvaihdon korjausratkaisut. VTT Tiedotteita 1654. RAKET - Rakennusten energiankäytön tutkimusohjelma. Verkkodokumentti. VTT. <www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1995/T1654.pdf>. Luettu 19.6.2015.
- 19 Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. 2003. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 2003. Helsinki: sosiaali- ja terveysministeriö.
- 20 Palonen Jari. 2011. Kerrostalon ilmastomuutos (KIMU). Talotekniikkajärjestelmät. KIMU-projekti. Verkkodokumentti. Aalto-yliopisto. <<http://www.teeparannus.fi/attachements/2011-05-25T11-37-4114846.pdf>>. Luettu 9.9.2015.

- 21 Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. 2008. LVI-kortti 05-10440. RT-kortisto. Rakennustietosäätiö RTS ja Rakennustieto Oy.
- 22 Heikkinen Jorma, Kovanen Keijo, Ojanen Tuomo, Pallari Marja-Liisa, Piira Kalevi, Siitonen Veijo. 1993. Vedottomien ulkoilmaventtiilien kehittämisperusteet. VTT Tiedotteita 1468. Verkkodokumentti. VTT.
<www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1993/T1468.pdf>. Luettu 19.6.2015.
- 23 Harju Pentti. 2008. Ilmastointitekniiikan oppikirja 1. Anjalankoski: Penan Tieto-Opus Ky.
- 24 Terveelliset tilat -tietojärjestelmä. 2015. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys ry.
<<http://www.sisailmayhdistys.fi/terveelliset-tilat-tietojarjestelma/>>. Luettu 9.9.2015.
- 25 Sisäilman laatu. 2015. Rakentaja.fi. Sosiaali- ja terveysministeriö. Verkkodokumentti. Sanoma Media Finland Oy.
<www.rakentaja.fi/artikkelit/11468/sisailman_laatu.htm>. Luettu 9.9.2015.
- 26 Kukkonen Esko. 2015. Sisäilman radonin pitoisuusarvot tulevat kiristymään. Sisailmauutiset.fi. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys ry.
<<http://www.sisailmauutiset.fi/?p=1715>>. Luettu 9.9.2015.
- 27 M1-vaatimukset ja luokiteltujen tuotteiden käyttö. 2015. Rakennustieto.fi. Verkkodokumentti. Rakennustietosäätiö RTS ja Rakennustieto Oy.
<<https://www.rakennustieto.fi/index/rakennustieto/rakennusmateriaalienpaastoluokitus/m1-vaatimuksetjaluoikiteltujentuotteidenkaytto.html>>. Luettu 9.9.2015.
- 28 Hoffren Jukka. 2008. Ilman pienhiukkaset merkittävä terveysongelma. Julkaistu Tieto&trendit-lehdessä 3/2008. Verkkodokumentti. Tilastokeskus.
<www.stat.fi/artikkelit/2008/art_2008-05-30_007.html?s=0>. Luettu 9.9.2015.
- 29 Hellman Sannamari, Kärki Jukka-Pekka, Säteri Jorma. 2015. Kosteus- ja homevauriot, sisäilma ja terveydelle haitalliset aineet. Korjaustieto.fi. Verkkodokumentti. Valtion ympäristöhallinto. <<http://www.korjaustieto.fi/taloyhtiot/kosteus-ja-homevauriot-sisailma-terveydelle-vaaralliset-aineet.html>>. Luettu 9.9.2015.
- 30 Mikrobilaboratoriot. 2015. Verkkodokumentti. Ositum Oy.
<<http://www.ositum.fi/index.php?p=Mikrobilaboratorio>>. Luettu 9.9.2015.
- 31 Standardeja ja asetuksia, SFS-EN 799:2012 ja EN 1822. 2015. Verkkodokumentti. Camfil Oy. <<http://www.camfil.fi/Suodatintekniikkaa/Standardeja-ja-asetuksia/>>. Luettu 5.9.2015.
- 32 Rakennusten suodattimet. 2015. Verkkodokumentti. Hengitysliitto ry.
<<http://www.hengitysliitto.fi/fi/sisailma/rakennusten-suodattimet>>. Luettu 9.9.2015.

- 33 Railio Jorma. 2007. Teollisuusilmastoinnin hyvät käytännöt, Kemiallisen suodattimen valinta. Verkkodokumentti. Työterveyslaitos. <http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/ilmastointi/teollisuusilmastointi/hyvat_kaytannot/sivut/default.aspx>. Päivitetty 27.11.2014. Luettu 9.9.2015.
- 34 Ilmanpuhdistimet. 2012. Verkkodokumentti. Oxygenium.pro. <<http://oxygenium.pro/ilmanpuhdistimet>>. Luettu 9.9.2015.
- 35 Elixair-kanavasuodin E416 ja E1250 -tuote-esite. 2015. Verkkodokumentti. Elixair Oy. <[www.elixair.fi/attachments/article/56/Elixair_kanavasuodin - esite.pdf](http://www.elixair.fi/attachments/article/56/Elixair_kanavasuodin_-_esite.pdf)>. Luettu 9.9.2015.
- 36 Hautala Mikko, Peltonen Hannu. 2005. Insinöörin (AMK) fysiikka. Osa I. 7. painos. Lahti: Lahden Teho-opetus Oy.
- 37 Timo Sivula, Energia-asiantuntija, Senera Oy. 2015. Suulliset kommentit. Haastattelu 29.1.2015.
- 38 Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto lämpöhäviöiden tasauslaskennassa. 2003. Ympäristöministeriön moniste 122. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 39 Tasauslaskentaopas 2012. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. 2011. Ympäristöministeriö.
- 40 Westman Mindi. 2015. Poistoilman lämmön talteenotto – kannattavuus ja käyttömahdollisuudet kaukolämpökerrostaloissa. Opinnäytetyö. Arcada-ammattikorkeakoulu.
- 41 Lämpöä ilmassa – Lämmitysjärjestelmät, ilmalämpöpumput -opas. 2008. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>. Luettu 9.9.2015.
- 42 Verta Taavi. 2015. Poistoilman lämmön talteenotto lämpöpumpulla veden lämmitykseen tai lämmönsiirtimellä tuloilmaan kaukolämpökerrostalossa. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 43 Kumotut rakentamismääräykset. 2015. Verkkodokumentti. Ympäristöministeriö. <http://www.ym.fi/fi/fi/maankaytto_ja_rakentaminen/lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Kumotut_rakentamismaaraykset>. Luettu 14.8.2015.
- 44 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 545/2015. Helsinki: sosiaali- ja terveysministeriö.

- 45 Asumisterveysasetus selkeyttää asumisolosuhteiden arviointia. 2015. Verkkodokumentti. Sosiaali- ja terveysministeriö. <http://stm.fi/artikkeli/-/asset_publisher/asumisterveysasetus-selkeyttaa-asumisolosuhteiden-arviointia>. Luettu 28.8.2015.
- 46 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. 4/13. 2013. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 47 Kukkonen Esko. 2015. Sisäilmastoluokituksen päivitystyö on alkanut. Sisailmautiset.fi. Verkkodokumentti. Sisäilmayhdistys ry. <<http://www.sisailmautiset.fi/?p=2710>>. Luettu 9.9.2015.
- 48 Vanhapiha Rauno. 2013. Ilmastointilaitoksen puhtaus ja hygienia. Opinnäytetyö. Satakunnan ammattikorkeakoulu.
- 49 Pietikäinen Jorma, Kauppinen Timo, Kovanen Keijo, Nykänen Veijo, Nyman Mikko, Paiho Satu, Peltonen Janne, Pihala Hannu, Kalema Timo, Keränen Hannu. 2007. ToVa-käsikirja. Rakennuksen toimivuuden varmistaminen energiatehokkuuden ja sisäilmaston kannalta. VTT-tiedotteita 2413. Verkkodokumentti. VTT. <www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2413.pdf>. Luettu 21.5.2015.
- 50 Luotola Janne. 2015. Koneellinen ilmanvaihto ei olekaan pahin - Tällaisissa taloissa Suomen kamalin sisäilma, 62 % kärsii. Verkkodokumentti. Tekniikkatalous.fi. <<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/rakennus/2015-03-06/Koneellinen-ilmanvaihto-ei-olekaan-pahin---T%C3%A4llaisissa-taloissa-Suomen-kamalin-sis%C3%A4ilma-62--k%C3%A4rsii-3259280.html>>. Luettu 17.8.2015.
- 51 Homeesta ja sisäilmasta sairastuneet. 2015. Verkkodokumentti. Hengitysliitto ry. <<http://www.hengitysliitto.fi/fi/hengityssairaudet/homeesta-ja-sisailmasta-sairastuneet>>. Luettu 9.9.2015.
- 52 Lukander Martti. 2015. Painovoimaisen ilmanvaihdon tehostaminen asuinkerrostoaloissa. Verkkodokumentti. Rakennusperinto.fi. <http://www.rakennusperinto.fi/Hoito/Korjaus_artikkelit/fi_FI/Painovoimaisen_ilmanvaihdon_tehostaminen_asuinkerrostaloissa/>. Luettu 9.9.2015.
- 53 Kysymyksiä ja vastauksia. 2015. Verkkodokumentti. Ilmanvaihtokanavienpuhdistus.fi. <<http://www.ilmanvaihtokanavienpuhdistus.fi/kysymyksiä-ja-vastauksia>>. Luettu 9.9.2015.
- 54 Ilmanvaihto kuntoon. 2015. Korjaustieto.fi. Verkkodokumentti. Valtion ympäristöhallinto. <<http://www.korjaustieto.fi/taloyhtiot/korjaushankkeet/lvi-korjaukset/ilmanvaihto-kuntoon.html>>. Luettu 9.9.2015.
- 55 Heinonen Ismo, Hemmilä Kari. 2006. Tuloilmaikkunan energiatehokkuus. VTT Tiedotteita 2329. Verkkodokumentti. VTT. <www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2006/T2329.pdf>. Luettu 5.8.2015.

- 56 Tuloilmaikkuna. 2015. Verkkodokumentti. Ikkunawiki.fi. <<http://www.ikkunawiki.fi/ilmanvaihto/tuloilmaikkuna/>>. Luettu 9.9.2015.
- 57 Kameleontti-venttiilit. 2015. Verkkodokumentti. Dir-Air Oy. <<http://www.dir-air.fi/fi/tuotteet/kameleontti-venttiilit/ainutlaatuiset-air-in-kameleontti-venttiilit>>. Luettu 9.9.2015.
- 58 Energiategokkaat lämmitysratkaisut. Maalämpö. Ilmanvaihto. Radiaattorit. 2012. Markkinointiesite. Verkkodokumentti. Rettig Lämpö Oy, NIBE Energy Systems Oy. <http://www.purmo.com/docs/P_Nibe_A4_esite_8p_0212.pdf>. Luettu 9.9.2015.
- 59 Purmo Air. 2015. Purmo.com. Verkkodokumentti. Rettig Lämpö Oy. <<http://www.purmo.com/fi/tuotteet/paneeliradiaattorit/purmo-air.htm>>. Luettu 9.9.2015.
- 60 Ikäheimo M. 2003. Helsingiläisten asuntojen ilmanvaihto-ongelmista. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 6/2003. Verkkodokumentti. Helsingin kaupunki. <<http://www.hel.fi/static/ymk/julkaisut/julkaisu-06-03.pdf>>. Luettu 19.6.2015.
- 61 Mobair.fi. Verkkodokumentti. LVI-Suunnittelu Oy Juha Touronen. <<http://www.mobair.fi/>>. Luettu 9.9.2015.
- 62 Mobair 2040 tuloilmalaite raikastaa ilman. 2015. Verkkodokumentti. Allergia- ja sisäilma-apu. <<http://www.allergia-apu.fi/mobair-2040-tuloilmalaite-takuu-2-vuotta>>. Luettu 9.9.2015.
- 63 Huoneistokohtainen ilmanvaihto kerrostaloon. 2013. Omataloyhtio.fi. Verkkodokumentti. Sanoma Media Finland Oy. <http://www.omataloyhtio.fi/artikkelit/5585/huoneistokohtainen_ilmanvaihto_kerrostaloon_vallox.htm>. Luettu 9.9.2015.
- 64 Ilmanvaihdon saneeraus kerrostaloon. 2015. Verkkodokumentti. Vallox Oy. <<http://www.vallox.com/ilmanvaihdon-saneeraus-kerrostaloon>>. Luettu 9.9.2015.
- 65 Huoneistokohtaiset ilmanvaihtokoneet ja talotekniikka huolletaan porraskäytävästä. 2015. Verkkodokumentti. Vallox Oy. <<http://www.vallox.com/as-oy-vaasan-meri>>. Luettu 9.9.2015.
- 66 Oikein säädetty ilmanvaihto on energiatehokas. 2015. Verkkodokumentti. Isännöinti-tiliitto. <<http://www.isannointiliitto.fi/asuminentaloyhtiössä/asuminentaloyhtiössä/energianeuvontaaasukkaille/oikeinsaadettyilmanvaihtoonenergiatehokas>>. Luettu 9.9.2015.
- 67 Skaala Alfa Clean. 2015. Skaala.com. Verkkodokumentti. Skaala Ikkunat ja Ovet Oy. <<http://www.skaala.com/skaala-alfa-clean.html>>. Luettu 9.9.2015.

- 68 Kuittinen Teppo. 2014. Suomalaisten kekseliäisyydellä ei ole rajoja - Ilmanvaihtokone rakennettiin ikkunaan! Verkkodokumentti. Yrittajat.fi <<http://www.yrittajat.fi/fi-FI/uutisarkisto/a/etusivun-uutiset/suomalaisten-kekseliaisyydella-ei-ole-rajoja-ilmanvaihtokone-rakennettiin-ikkunaan>>. Luettu 9.9.2015.
- 69 Suomalaisfirman ovela keksintö: Ikkunaan yhdistetty ilmanvaihtokone. 2014. Verkkodokumentti. Talouselama.fi. <<http://www.talouselama.fi/uutiset/suomalaisfirman+ovela+keksinto+ikkunaan+yhdistetty+ilmanvaihtokone/a2268998>>. Luettu 9.9.2015.
- 70 MIKrovent. The innovative ventilation system for ventilation with closed windows. 2015. Verkkodokumentti. Mikrovent.si. <<http://mikrovent.si/en/>>. Luettu 9.9.2015.
- 71 Silotek. Sertifioitu talotekniikkaelementti. Tuotekansio 081209. Verkkodokumentti. Silotek Oy. <http://www.silotek.fi/media/silotek_tuotekansio_081209.pdf>. Luettu 9.9.2015.
- 72 Nieminen Jyri, Holopainen Riikka. 2014. Innova. Kerrostalosta passiivitaloksi. VTT Technology 193. Verkkodokumentti. VTT. <<http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2014/T193.pdf>>. Luettu 9.9.2015.
- 73 TES Energy Facade. Energiätehokkuuden parantaminen puurunkoisilla ja esivalmisteisilla julkisivuelementeillä. 2009. Verkkodokumentti. Helsinki: teknillinen korkeakoulu. <http://www.tesenergyfacade.com/downloads/tkk_tes_loppuraportti_2009.pdf>. Luettu 27.10.2015.
- 74 Heikkonen Heikki. 2014. Uusi ratkaisu kerrostalojen ilmanvaihtosaneerauksiin. Talotekniikka 3/2014, s. 26–32. Verkkodokumentti. Saatavilla: Swegon.com. <www.swegon.com/PageFiles/88361/Talotekniikka_WAS%20artikkeli.pdf>. Luettu 9.9.2015.
- 75 WISE Apartment Solution. 2015. Swegon.com. Verkkodokumentti. Swegon AB. <<http://www.swegon.com/fi/Swegon-Home-Solutions/WISE-Apartment-Solution/>>. Luettu 9.9.2015.
- 76 Kiinteistöjen tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot. 2008. LVI-kortti 10424. RT-kortisto. Rakennustietosäätiö RTS ja Rakennustieto Oy.
- 77 Hekkanen Martti. 2005. Rakennuksen ylläpito, kiinteistönpitostrategiat. JUKO - ohjeistokansio julkisivukorjaushankkeen läpiviemiseksi. Verkkodokumentti. Julkisivuyhdistys ry, Tampereen teknillinen yliopisto, VTT. <http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari2/juko/JUKO_pdf_web/Korjaushanke/A_rakennuksen_yllapito/A1%20Kiinteistonpitostrategiat.pdf>. Päivitetty 9/2005. Luettu 4.9.2015.
- 78 Putkiremonttien hinnoissa valtavia eroja. 2013. Verkkodokumentti. Yle.fi. <http://yle.fi/uutiset/putkiremonttien_hinnoissa_valtavia_eroja/6918104>. Luettu 5.9.2015.

- 79 Tiilikainen Pekka. 2014. Asuinkerrostalojen korjausvelan arviointimenetelmän kehittäminen. Diplomityö. Aalto-yliopisto.
- 80 Uotila Ulrika. 2012. Korjaustoimien vaikutukset lähiökerrostalon todelliseen energiankulutukseen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- 81 Matilainen Ari. 2013. Poistoilmalämpöpumpun hyödyntäminen vanhassa kerrostalossa. Opinnäytetyö. Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- 82 Huuhtanen Tero. 2012. Poistoilmalämpöpumppujen ja aurinkokeräinten kannattavuusvertailu kerrostalokiinteistössä. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 83 Rantama Markku, Kettunen Ari-Veikko, Kukkonen Esko, Saarela Kristina, Seppänen Olli. 2003. Terve Talo -teknologiaohjelma 1998–2002. Teknologiaohjelmaraaportti 9/2003. Loppuraportti. Verkkodokumentti. Helsinki: Tekes. <www.tekes.fi/globalassets/julkaisut/terve_talo.pdf>. Luettu 8.8.2015.
- 84 Avustukset. 2015. Ara.fi. Verkkodokumentti. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA. <www.ara.fi/fi-FI/Rahoitus/Avustukset>. Luettu 9.9.2015.
- 85 Sisäympäristöön tyytyväisten käyttäjien osuus. 2015. Verkkodokumentti. Green Building Council Finland. <<http://figbc.fi/elinkaarimittarit/sisaymparistoon-tyytyvaisten-kayttajien-osuus/>>. Luettu 21.1.2015.

Liite 1. Asukaskyselyn kyselylomake, Soukanahde 6

HYVA SOUKANAHDE 6:N ASUKAS!

Teen opinnäytetyötä energiatalouteen sekä sisäilmastoon liittyen ja kaipaisin kokemuksianne asuntonne sisäilmastosta. Asumassanne rakennuksessa on suoritettu energiatehokkuutta ja -taloutta parantavia toimenpiteitä vuoden 2012 lopussa. Tarkoituksena olisi kartoittaa, ovatko kyseiset toimenpiteet aiheuttaneet havaittavia muutoksia sisäilmastossa. Jokaisen sisäilmastoon liittyvän kysymyksen a)-kohta viittaa vuoden 2012 lopun jälkeiseen aikaan ja b)-kohta sitä edeltävään aikaan. Olen yrittänyt laatia kyselyn mahdollisimman nopeasti sekä helposti täytettäväksi ja arvostaisin kovasti mikäli ehditte siihen vastaamaan. Kunkin vastaajan on tarkoitus vastata omakohtaisten kokemuksiansa pohjalta ja jokaiseen asuntoon on jaettu kaksi vastauslomaketta, mikäli asunnostanne löytyy enemmän kuin yksi halukas vastaaja. Jos halukkaita vastaajia on enemmän kuin kaksi, lisälomakkeita on saatavilla vastauksille tarkoitettun postilaatikon yhteydessä olevasta muovitaskusta. Vastauksille tarkoitettu postilaatikko sijaitsee rappukäytävässä alimmassa (sisääntulo-) kerroksessa ja vastaukset voi jättää sinne 15.3.2015 mennessä. Alla on yhteystietoni, mikäli kaipaatte lisätietoja. Kiitos vastauksistanne!

Ystävällisin terveisin

Iina Laxman

Sähköposti:

Puhelin:

TAUSTATIEDOT

Montako vuotta olette asuneet tässä kerrostalossa?

0 - 2 2 - 4 4 -

Oletteko mies vai nainen?

mies nainen

Mihin ikähaarukkaan kuulutte?

- 25 26 - 50 51 -

Minkä kokoinen asuntonne on?

1 H + K 2 H + K 3-4 H + K

Montako henkeä asunnossanne asuu?

1 2 3 -

Liite 2. Asukaskyselyn kyselylomake, Armas Launiksen katu 7

HYVA ARMAS LAUNIKSENKATU 7:n ASUKAS!

Teen opinnäytetyötä energiatalouteen sekä sisäilmastoon liittyen ja kaipaisin kokemuksianne asuntonne sisäilmastosta. Asumassanne rakennuksessa on suoritettu peruskorjaus vuonna 2012 ja tarkoituksena olisi kartoittaa, ovatko tehdyt toimenpiteet aiheuttaneet havaittavia muutoksia sisäilmastossa. Jokaisen sisäilmastoon liittyvän kysymyksen a)-kohta viittaa peruskorjauksen jälkeiseen aikaan ja b)-kohta sitä edeltävään aikaan. Halutessanne voitte vastata vain a)-kohdan kysymyksiin, jos esim. olette muuttaneet taloon vasta peruskorjauksen jälkeen. Olen yrittänyt laatia kyselyn mahdollisimman nopeasti sekä helposti täytettäväksi ja arvostaisin kovasti mikäli ehditte siihen vastaamaan. Kunkin vastaajan on tarkoitus vastata omakohtaisten kokemuksiensa pohjalta ja jokaiseen asuntoon on jaettu yksi vastauslomake. Mikäli asunnostanne löytyy enemmän kuin yksi halukas vastaaja, lisälomakkeita on saatavilla vastauksille tarkoitettun postilaatikon yhteydessä olevasta muovitaskusta. Vastaukset voi jättää porrashuoneen tuulikaapissa sijaitsevaan asukaspalautelaatikkoon, josta käyn noutamassa vastaukset 20.4.2015. Alla on yhteystietoni, mikäli kaipaatte lisätietoja. Kiitos vastauksistanne!

Ystävällisin terveisin

Iina Laxman

Sähköposti:

Puhelin:

TAUSTATIEDOT

Montako vuotta olette asuneet tässä kerrostalossa?

0 - 3 3 - 6 6 -

Oletteko mies vai nainen?

nainen mies

Mihin ikähaarukkaan kuulutte?

-25 26 - 50 51 -

Minkä kokoinen asuntonne on?

1 H + KK 2 H + KK

Montako henkeä asunnossanne asuu?

1 2 3 -

0. Halutessanne voitte lisätä tarkennuksia kääntöpuolella antamiinne vastauksiin, kertoa muista tekemistänne havainnoista tai antaa palautetta alla olevaan tilaan.

Liite 3. Asukaskyselyn vastaukset, Soukanahde 6

	Vastaajano												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Montako vuotta olette asuneet tässä kerrostalossa?	4-	4-	4-	2-4	4-	4-	0-2	0-2	4-	4-	4-	4-	2-4
Oletteko mies vai nainen?	N	M	N	N	N	M	M	M	N	M	M	N	N
Mihin ikähaarukkaan kuulutte?	51-	-25	26-50	51-	51-	51-	-25	-25	51-	26-50	26-50	26-50	-25
Minkä kokoinen asuntonne on?	3-4	3-4	2	2	3-4	2	1	1	2	3-4	3-4	3-4	1
Montako henkeä asunnossanne asuu?	2	2	1	2	2	2	1	1	2	3-	3-	3-	1
1. a) Kuinka tyytyväisiä olette lämpöoloihin talvella?	-2	-2	-3	2	3	-1	3		-1	1	2	2	-2
b) Kuinka tyytyväisiä olette lämpöoloihin kesällä?	-2	-2	-3	0	3	-1			-1	-2	2	2	
2. a) Kuinka tyytyväisiä olette lämpöoloihin kesällä?	-3	-3	-3	-2	3	1	3		1	3	2	-1	-3
b) Kuinka tyytyväisiä olette lämpöoloihin talvella?	-3	-3	-3	0	3	1			1	3	2	-1	
3. a) Kuinka tyytyväisiä olette ilman laatuun/raikkauteen?	-1	-1	-2	0	2	1	1		-2	-1	0	-1	-1
b) Kuinka tyytyväisiä olette ilman laatuun/raikkauteen ennen vuoden 2012 loppua?	-1	-1	-2	0	2	1			-2	-1	0	-1	
4. a) Kuinka tyytyväisiä olette ilman laatuun ruoanlaiton, pyykinpesun jalkain suihkun jälkeen?	-1	-1	-3	0	2	-1	1		-2	-1	0	-1	-1
b) Kuinka tyytyväisiä olette ilman laatuun ruoanlaiton, pyykinpesun jalkain suihkun jälkeen ennen vuoden 2012 loppua?	-1	-1	-3	0	2	-1			-2	-1	0	-1	
5. a) Oletteko havaanneet vedontunnetta talvella?	3	3	3	2	-1	3	-2		3	3	-1	1	3
b) Havaitsitteko vastaavasti vedontunnetta talvella ennen vuoden 2012 loppua?	3	3	3	0	-1	3			3	3	-2	2	
6. a) Oletteko havaanneet muista asukkaista johduttomia melua tai muuta häiritsevää ääntä?	2	2	2	2	-2	-1	0		-1	2	3	2	-3
b) Havaitsitteko vastaavasti muista asukkaista johduttomia melua tai muuta häiritsevää ääntä ennen vuoden 2012 loppua?	2	2	2	0	-2	1			-1	0	-2	-2	
7. a) Oletteko havaanneet sisällmastossa vuorokausivaihtelua?	-3	-3	2	-1	-3	2	0		2	-1	2	0	-1
b) Havaitsitteko vastaavasti sisällmastossa vuorokausivaihtelua ennen vuoden 2012 loppua?	-3	-3	2	0	-3	2			2	0	-1	0	
8. Halutessanne voitte lisätä tarkennuksia vastauksiinne, kertoa muista tekemistänne havainnoista tai antaa palautetta alla olevaan tilaan.		x	x				x				x	x	x

ASUKASKYSELYN VASTAUKSET, SOUKANAHDE 6

Liite 4. Asukaskyselyn vastaukset, Armas Launiksen katu 7

	Vastaajano →															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Mistä vuodelta olette asuneet tässä kerroksessa?	6- mies	6- mies	6- mies	6- nainen	6- nainen	6- nainen	6- mies	6- nainen	3-6 nainen	6- mies	0-3 nainen	0-3 mies	0-3 mies	0-3 nainen	6- nainen	0-3 nainen
Oletteko mies vai nainen?	51- 1H+KK	51- 1H+KK	51- 1H+KK	26-50 1H+KK	51- 2H+KK	51- 1H+KK	51- 1H+KK	51- 1H+KK	26-50 2H+KK	51- 1H+KK	26-50 1H+KK	51- 1H+KK	51- 1H+KK	51- 1H+KK	51- 1H+KK	51- 1H+KK
Mihin ikävuorokauden kuulutte?	1H+KK	1H+KK	1H+KK	1H+KK	2H+KK	1H+KK	1H+KK	1H+KK	2H+KK	1H+KK	1H+KK	1H+KK	1H+KK	1H+KK	1H+KK	1H+KK
Minkä kokonaisen asunonno on?	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mistä henkilöä asunnossanne asuu?																
0. Hallussanne voitte lisätä tarkennuksia vastauksenne, kerroa muista tekemistänne havainnoista tai antaa palautetta alla olevaan tilaan.		x		x		x	x	x	x				x			x
1. a) Kuinka tyytyväisiä olette lämpöolosuhteisiin talvella? b) Kuinka tyytyväisiä olette lämpöolosuhteisiin kesällä?	2 -3	3 -3	1 -1	-1 -2	-1 -2	-2 -2	-2 -2	1 -1	1 -1	-1 -1	-3 -3	2 -1	3 -1	-1 -1	-1 -1	-3 -3
2. a) Kuinka tyytyväisiä olette lämpöolosuhteisiin kesällä? b) Kuinka tyytyväisiä olette lämpöolosuhteisiin talvella?	2 -2	3 -3	2 -2	3 -3	2 -2	2 -2	3 -3	2 -2	3 -3	-1 -1	-1 -1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
3. a) Kuinka tyytyväisiä olette ilman laatuun/raikkauteen? b) Kuinka tyytyväisiä olette ilman laatuun/raikkauteen ennen peruskorjausta?	2 -2	3 -3	1 -1	1 -1	3 -3	2 -2	3 -3	2 -2	2 -2	1 -1	-2 -2	3 -3	3 -3	2 -2	1 -1	2 -2
4. a) Kuinka tyytyväisiä olette ilman laatuun/raikkauteen, pyykinpesun ja/tai suihkun jälkeen? b) Kuinka tyytyväisiä olette ilman laatuun/raikkauteen, pyykinpesun ja/tai suihkun jälkeen ennen peruskorjausta?	2 -2	3 -3	1 -1	-1 -1	-1 -1	3 -3	3 -3	-3 -3	0 -1	-1 0	2 -2	3 -3	3 -3	2 -2	1 -1	-3 -3
5. a) Oletteko havainneet vedontunnetta talvella? b) Havaitteko vastaavasti vedontunnetta talvella ennen peruskorjausta?	-2 -2	3 -3	0 0	3 -3	3 -3	3 -3	3 -3	3 -3	3 -3	2 -2	3 -3	-2 -2	-3 -3	2 -2	3 -3	2 -2
6. a) Oletteko havainneet muista asukkaista johtumatonta melua tai muuta häiritsevää ääntä? b) Havaitteko vastaavasti muista asukkaista johtumatonta melua tai muuta häiritsevää ääntä ennen peruskorjausta?	-3 -3	0 (*) -3	-1 -1	2 -2	1 -1	3 -3	3 -3	-1 -1	-1 -1	-1 -1	-1 -1	-2 -2	-3 -3	2 -2	2 -2	-1 -1
7. a) Oletteko havainneet sisäilmastossa vuorokausvaihtelua? b) Havaitteko vastaavasti sisäilmastossa vuorokausvaihtelua ennen peruskorjausta?	-1 -1	-1 -1	-1 -1	2 -2	2 -2	-3 -3	3 -3	2 -2	-1 -1	0 0	-1 -1	-2 -2	-3 -3	0 0	0 0	0 0
8. a) Oletteko havainneet lämpimän käyttöveden lämpötilassa vaihtelua? b) Havaitteko vastaavasti lämpimän käyttöveden lämpötilassa vaihtelua ennen peruskorjausta?	0 (*) -3	3 -3	0 0	1 -1	2 -2	-3 -3	3 -3	3 -3	3 -3	-2 -2	-3 -3	-1 -1	-3 -3	0 0	3 -3	1 -1

(* vastaus oletettu neutraaliksi (0) tulkitavatekijöiden johdosta