

Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Mikko Virtanen

Ilmanvaihdon energiatekniset ratkaisut saneerauskohteissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Rakennusmestari, LVI (AMK)

Rakennusalan työnjohto

Opinnäytetyö

12.2.2020

Tekijä Otsikko	Mikko Virtanen Ilmanvaihdon energiatekniset ratkaisut saneerauskohteissa
Sivumäärä Aika	48 sivua + 3 liitettä 12.2.2020
Tutkinto	rakennusmestari, LVI (AMK)
Tutkinto-ohjelma	rakennusalan työnjohto
Ammatillinen pääaine	LVI-tekniikka
Ohjaajat	lehtori Aamos Lemström suunnittelupäällikkö Aku Vikblom
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena on laskea hajautetulle, keskitetyille sekä poistoilmalämpöpumppujärjestelmälle hankinta-, huolto- ja käyttökustannukset sekä arvioida niiden potentiaalisia säästöjä kaukolämmön kulutukseen. Opinnäytetyö on rajattu tarkastelemaan saneerattavia asuinkerrostaloja, joissa painovoimaisesta tai yleiskanavapoistojärjestelmästä päivitetään lämmön talteenotolla varustettu järjestelmä. Laskukaavoja voidaan käyttää jokaiseen rakennustyyppiin.</p> <p>Työn kohderakennuksena on vuonna 1970 rakennettu asuinkerrostalo, johon tehdään kokonaisvaltainen putkiremontti. Rakennuksessa on ennestään koneellinen yhteiskanavapoisto katolle, joka päivitetään kaukolämmön alajakokeskuksen yhteydessä poistoilmalämpöpumppujärjestelmäksi.</p> <p>Tavoitteena oli selvittää takaisinmaksuajat ja ilmanvaihtojärjestelmien investointien kannattavuus, joita taloyhtiöt voisivat käyttää apunaan remontin ajankohdan lähestyessä. Yleinen perusolettamus on, että koneellinen ilmanvaihto puhaltimiseen ja säätölaitteeseen lisää energiankulutusta enemmän kuin sen lämmön talteenotolla on mahdollista saada.</p> <p>Laskennallisesti todettiin, että poistoilmalämpöpumppujärjestelmän lämmön talteenotolla säästetty energia maksaa investoinnin 12 vuodessa takaisin. Koneellisen tulo-poistoilmavaihdon takaisinmaksuaika on yli 40 vuotta johtuen suurista investointikustannuksista.</p>	
Avainsanat	ilmanvaihto, saneeraus, energia, talteenotto

Author Title	Mikko Virtanen Energy Choices in Ventilation Renovation
Number of Pages Date	48 pages + 3 appendices 12 February 2020
Degree	Bachelor of Construction Management
Degree Programme	Construction Site Management
Professional Major	HVAC Engineering
Instructors	Aamos Lemström, Senior Lecturer Aku Vikblom, Project Manager
<p>The aim of this project was to establish the amount of energy that can be saved by replacing an old gravity-based ventilation system or a roof-installed extractor with an electricity-powered ventilation system with a heat exchanger in apartment buildings built between 1960 and today. However, the used formulas can be used for any type of building.</p> <p>The thesis described the directives behind housing energy regulations in Finland, as well as how the ventilation systems used in this project work. Furthermore, the installation and operating costs of the suggested systems were calculated, and the potential savings gained by reusing the energy from the extract air were estimated.</p> <p>The calculations indicated that replacing an old gravity-based or roof-extractor system with a system equipped with a heat exchanger saves more energy than required by the new system to operate. The exhaust air heat pump was the most profitable choice because the installation costs were significantly lower than the costs of other systems.</p> <p>When considering investing in energy efficiency in buildings, a wide angle of view is required. This thesis can be used as a source of information about various ventilation systems when determining the correct solution for a housing cooperative.</p>	
Keywords	ventilation, heat exchanger, renovation, energy

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	4
2	Rakennuksen energiatehokkuus	5
2.1	Syyt ja tavoitteet rakennuksien energiatehokkuuden parantamiselle	5
2.2	Rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen korjaus- ja muutostöissä	6
3	Rakennuksen sisäilmasto	10
4	Rakennuksen ilmanvaihtotapoja	11
4.1	Painovoimainen ilmanvaihto	11
4.2	Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto	13
4.2.1	Hajautettu ilmanvaihtojärjestelmä	14
4.2.2	Keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä	15
4.3	Koneellinen poistoilmanvaihto ja PILP-järjestelmä	16
5	Tutkimus	18
5.1	Esimerkkikohde	18
5.2	Ilmanvaihtojärjestelmien elinkaaritarkastelu	18
6	Poistoilmalämpöpumppujärjestelmän hankintakustannukset ja säästöt	20
6.1	Hankintakustannukset	20
6.2	PILP-järjestelmän sähkönkulutuksen ja huoltokustannusten arviointi	20
6.3	PILP-järjestelmän tuottaman säästön arviointi lämmitysverkostoon	22
6.3.1	Lämmitysverkoston lämpötilojen määrittäminen	22
6.3.2	Rakennuksen lämmitysenergian laskenta	24
6.3.3	PILP-siirtimen nostama lämpötilaero lämmitysverkostoon	25
6.3.4	PILP-järjestelmän tuottama energia lämmitysverkostoon	26
6.4	PILP-järjestelmän tuottaman säästön arviointi käyttövesiverkostoon	27
7	Tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän hankintakustannukset ja säästöt	31

7.1	Hankintahinnat	31
7.1.1	Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän hankintakustannukset	31
7.1.2	Asuntokohtaisen ilmanvaihtojärjestelmän hankintakustannukset	32
7.2	Huoltokustannukset	33
7.3	Koneellisen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus	34
7.4	Energiatekninen tarkastelu ja järjestelmien arvioitu säästö	35
8	Investoinnin elinkaari ja takaisinmaksuaika	40
8.1	PILP-järjestelmän elinkaaritarkastelu	42
8.2	Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän elinkaaritarkastelu	44
8.3	Hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän elinkaaritarkastelu	46
9	Pohdinta	48
	Lähteet	50
	Liitteet	
	Liite 1. Poistoilmalämpöpumpun arvioitu vuosihuoltokustannus	
	Liite 2. Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän koneajo	
	Liite 3: Hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän koneajo	

Lyhenteet

LTO lämmön talteenotto

PILP poistoilmalämpöpumppu

1 Johdanto

Suomessa on suuri määrä 1960- ja 1970-luvuilla valmistuneita asuinkerrostaloja, joissa on painovoimainen tai koneellinen poistoilmanvaihto. Kyseisten ilmanvaihtomuotojen takia rakennuksesta hukkuu huomattavat määrät energiaa, joka on nykyjärjestelmillä mahdollista kerätä talteen [1].

Rakennusten energiatehokkuuteen kiinnitetään nykypäivänä paljon huomiota. Pitkään nousussa olleet energiahinnat ovat tulleet taloyhtiön asukkaiden tietoon, ja sen myötä energian säästämistä on tullut eräänlainen muoti-ilmiö. Remontin ollessa ajankohtainen keskittyminen kiinnittyy rakennuksen lämmitysmuodon valintaan ja ulkovaipan eristävyyskysymyksiin. Tästä syystä ilmanvaihdon kautta häviävä lämpöenergia jää usein vähemmälle huomiolle.

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii VisioPlan Talotekniikka Oy. Yritys tarjoaa talotekniikan asiantuntijapalveluita kuten LVI-suunnittelua ja projektinjohtoa niin uudis- kuin saneerauskohteisiin. Aiheena on tarkastella ilmanvaihdon energiateknisiä ratkaisuja kerrostalosaneerauskohteissa. Esimerkkikohteena on käytetty Helsingissä sijaitsevaa vuonna 1970 rakennettua 47 asunnon kerrostaloa. Tarkoituksena on vertailla poistoilmalämpöpumppujärjestelmää, keskitettyä sekä hajautettua ilmanvaihtojärjestelmää ja tehdä niiden elinkaaritarkastelu.

Elinkaaritarkastelussa huomioidaan investointi-, huolto- ja käyttökustannukset ja energiasäästöt. Tarkastelussa on huomioitu siihen vaikuttavat tekijät mahdollisimman laajalti, jolloin saatuja tuloksia voidaan pitää realistisena lähtötietona kerrostaloyhtiöille, joille linjasaneeraus on ajankohtainen.

2 Rakennuksen energiatehokkuus

2.1 Syyt ja tavoitteet rakennuksien energiatehokkuuden parantamiselle

Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto laativat vuonna 2010 direktiivin 2010/31/EU rakennusten energiatehokkuudesta. Rakennukset aiheuttavat 40 prosenttia unionin kokonaisenergiankulutuksesta. Tämä ala laajenee, joka väistämättä nostaa sen energiankulutusta. Energiankulutuksen vähentäminen ja uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käyttö rakennusallalla ovat näin ollen tärkeitä toimenpiteitä, joita tarvitaan unionin energiariippuvuuden ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Keskeisiä sitoumuksia ovat mm. kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen 20 prosentilla, energiatehokkuuden parantaminen 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä ja uusiutuvien energialähteiden osuuden nostaminen 20 prosenttiin energian loppukulutuksesta. [2.] Energian loppukulutus eroaa kokonaiskulutuksesta siten, että siitä on vähennetty energian siirto- ja muuntohäviöt [3].

Direktiivin 2010/31/EU 7 artiklassa olemassa olevista rakennuksista määrätään, että jäsenvaltioiden on toteutettava tarvittavat toimenpiteet sen varmistamiseksi, että kun rakennuksiin tehdään laajamittaisia korjauksia, rakennuksen tai sen korjatun osan energiatehokkuutta parannetaan siten, että ne täyttävät energiatehokkuutta koskevat vähimmäisvaatimukset sikäli kuin tämä on teknisesti, toiminnallisesti ja taloudellisesti toteutettavissa [2].

2.2 Rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen korjaus- ja muutostöissä

Euroopan unionin direktiivistä on johdettu ympäristöministeriön antama asetus 4/13, rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Asetuksessa määrätään seuraavasti: korjaus- tai muutostyöhankkeeseen ryhtyvän on lupaan tarvittavan suunnittelun yhteydessä esitettävä toimenpiteet, joilla rakennuksen energiatehokkuutta aiotaan parantaa rakennusosittain, järjestelmittäin tai koko rakennuksesta hankkeen laajuuden ja päättämänsä tavan mukaisesti [4]. Asetuksessa 4/13 on energiatehokkuuden parantamiseen annettu kolme vaihtoehtoa: Ensimmäinen on vähentää rakennuksen ulkovaipan lämmönläpäisykertoimia eli U-arvoa vaatimuksien mukaiselle tasolle [kuva 1].

1) Ulkoseinä: Alkuperäinen U-arvo x 0,5, kuitenkin enintään $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä alkuperäinen U-arvo x 0,5, kuitenkin $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ tai parempi.

2) Yläpohja: Alkuperäinen U-arvo x 0,5, kuitenkin enintään $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä alkuperäinen U-arvo x 0,5, kuitenkin $0,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ tai parempi.

3) Alapohja: Energiatehokkuutta parannetaan mahdollisuuksien mukaan.

4) Uusien ikkunoiden ja ulko-ovien U-arvon on oltava $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ tai parempi. Vanhoja ikkunoita ja ulko-ovia korjattaessa on lämmönpitävyyttä parannettava mahdollisuuksien mukaan.

Kuva 1. Lämmönläpäisykertoimien vaatimukset rakennusosakohtaisesti [4].

Toinen vaihtoehto on parantaa rakennuksen energiatehokkuutta, kun suunnittelu ja toteutus tapahtuu standardikäyttöön perustuvaa energiankulutusta pienentämällä [kuva 2]. Energiatehokkuudella tarkoitetaan laskettua tai mitattua energiamäärää, joka tarvitaan rakennuksen tyyppilliseen käyttöön liittyvän energiatarpeen täyttämiseen ja johon sisältyy muun muassa lämmitykseen, jäähdytykseen, ilmanvaihtoon, veden lämmitykseen ja valaistukseen käytetty energia, joka jaetaan rakennuksen pinta-alaa kohden. Saatu energiamäärä pinta-alaa kohden on tarkasteltu vuositasolla. Suomen ympäristöministeriön julkaisemassa ohjeessa Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta [5] on kerrottu laskentamenetelmistä lisää.

- 1) Pien-, rivi- ja ketjutalo $\leq 180 \text{ kWh/m}^2$
- 2) Asuinkerrostalo $\leq 130 \text{ kWh/m}^2$
- 3) Toimisto $\leq 145 \text{ kWh/m}^2$
- 4) Opetusrakennus $\leq 150 \text{ kWh/m}^2$
- 5) Päiväkoti $\leq 150 \text{ kWh/m}^2$
- 6) Liikerakennus $\leq 180 \text{ kWh/m}^2$
- 7) Majoitusliikerakennus $\leq 180 \text{ kWh/m}^2$
- 8) Muu liikuntahalli kuin jää- ja uimahalli $\leq 170 \text{ kWh/m}^2$
- 9) Sairaala $\leq 370 \text{ kWh/m}^2$

Kuva 2. Energiankulutusvaatimukset rakennusluokittain [4].

Kolmantena vaihtoehtona on laskea rakennukselle ominainen sähköenergiankulutus E-lukuna ja pienentää sitä vaatimusten mukaiselle tasolle [kuva 3].

- 1) Pien-, rivi, ja ketjutalo: E-vaadittu $\leq 0,8$ x E-laskettu
- 2) Asuinkerrostalo: E-vaadittu $\leq 0,85$ x E-laskettu
- 3) Toimisto: E-vaadittu $\leq 0,7$ x E-laskettu
- 4) Opetusrakennus: E-vaadittu $\leq 0,8$ x E-laskettu
- 5) Päiväkoti: E-vaadittu $\leq 0,8$ x E-laskettu
- 6) Liikerakennus: E-vaadittu $\leq 0,7$ x E-laskettu
- 7) Majoitusliikerakennus: E-vaadittu $\leq 0,7$ x E-laskettu
- 8) Muu liikuntahalli kuin jää- ja uimahalli: E-vaadittu $\leq 0,8$ x E-laskettu
- 9) Sairaala: E-vaadittu $\leq 0,8$ x E-laskettu

Kuva 3. E-lukuvaatimus rakennusluokittain [4]. Huomaa aiemmin käsitellyt Euroopan parlamentin tavoitteet rakennusten energiatehokkuudesta.

Rakennuksen E-luku ($\text{kWh}_E/(\text{m}^2\text{vuosi})$) lasketaan ensiksi laskemalla rakennuksen normaalilla käytöllä käyttämä ostoenergian kulutus rakennuksessa käytettävien primäärienergiakertoimien avulla [kuva 4] ja jaetaan se rakennuksen lämmitettyä nettoalaa kohden vuodessa. Energiamuotojen kertoimia säädetään maankäyttö- ja rakennuslain nojalla annetussa valtioneuvoston asetuksessa rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista

sähkö	1,2
kaukolämpö	0,5
kaukojäähdytys	0,28
fossiiliset polttoaineet	1,0
rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

Kuva 4. Primäärienergiakertoimet Suomessa vuodelle 2018 [6].

Ympäristöministeriön antamassa asetuksessa 4/13 [4] pykälässä 5 on määrätty rakennuksen teknisistä järjestelmistä seuraavaa:

Kun rakennuksen teknisiä järjestelmiä peruskorjataan, uudistetaan tai uusitaan, on noudatettava seuraavia vaatimuksia;

- 1) Rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä eli lämmön talteenoton vuosihyötysuhteen on oltava vähintään 45 %.
- 2) Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään 2,0 kW/(m³/s).
- 3) Koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään 1,0 kW/(m³/s).
- 4) Ilmastointijärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään 2,5 kW/(m³/s).
- 5) Lämmitysjärjestelmien hyötysuhdetta parannetaan laitteiden ja järjestelmien uusimisen yhteydessä mahdollisuuksien mukaan.
- 6) Vesi- ja/tai viemärijärjestelmien uusimiseen sovelletaan, mitä uudisrakentamisesta säädetään.

Edellä mainittu ominaissähköteho eli SFP-luku kertoo sen, kuinka paljon sähköä ilmanvaihtojärjestelmä käyttää yhden litran ilmamäärän poistamiseen talosta. Esimerkiksi jos koneellisen poistoilmajärjestelmän poistoilmamäärä on 1 000 l/s, saa sen liikuttamiseen käyttää maksimissaan 1 kW sähkötehoa. Nykyisillä ilmanvaihtojärjestelmillä pääsee helposti 45 %:n lämmön talteenoton vuosihyötysuhteeseen, Etelä-Suomessa on mahdollista päästä yli 100 %:n lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteeseen. Tehokkaissa lämmöntalteenottolaitteissa on huonona puolena se, että ne tuottavat kanavistoon suuria painehäviöitä. Tämän seurauksena puhaltimien sähkönkulutus nousee, mikä nostaa järjestelmän SPF-lukua. Ilmanvaihdon suunnittelijalla on monia vaihtoehtoja, miten järjestelmä saadaan tuottamaan hyvä ja terveellinen sisäilmasto rakennukseen pitäen järjestelmän ottama ominaissähköteho taloudellisena.

Lisäksi §12:ssä määrätään, että rakennuksen taloteknisten järjestelmien oikea ja energiatehokas toiminta on varmistettava aina, kun ilmanvaihto- tai lämmitysjärjestelmiä uusitaan tai rakennuksen vaipan energiatehokkuutta parannetaan.

3 Rakennuksen sisäilmasto

Ihminen viettää nykypäivänä suurimman osan ajastaan sisätiloissa, liki 90 %. Normaali henkilö hengittää noin 15 000 litraa ilmaa vuorokaudessa. Huono sisäilma vähentää viihtyisyyttä ja alentaa työtehoa, mutta se voi myös aiheuttaa terveyshaittoja, jopa sairastuttaa vakavasti. Siksi ei ole samantekevää, millaista ilma rakennuksessamme on. Terveellinen sisäilmasto on mahdollisimman hajutonta, pölytöntä, vedotonta, lämpötilaltaan miellyttävää ja melutonta. [7.]

Sisäilman tuomia terveyshaittoja voivat aiheuttaa monet asiat, esimerkiksi puutteellinen ilmanvaihto tai hiukkasmaiset epäpuhtaudet. Kosteusvaurioihin liittyvien terveyshaittojen epäillään johtuvan altistumisesta erilaisille mikrobeille. Ihmiset ovat erilaisia, ja he oireilevat yksilöllisesti altistuessaan puutteelliselle sisäilmalle. Tyypillisimpiä oireita ovat mm. nuha ja yskä, hengenahdistus ja huimaus. [7.]

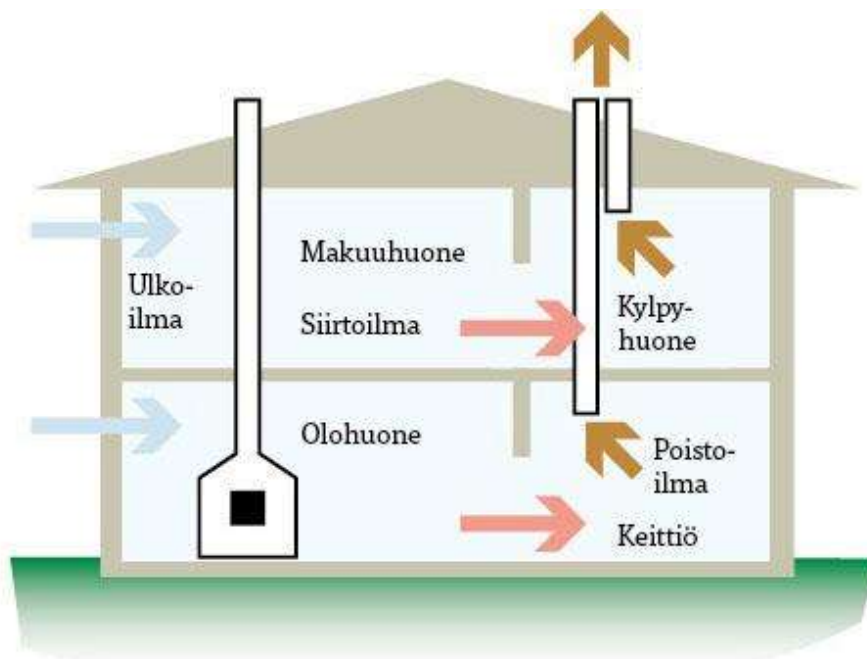
Ilmanvaihdon tärkeimpänä tehtävänä on hyvien sisäolosuhteiden luominen. Se myös oikein suunniteltuna parantaa rakenteiden elinkaarta, koska rakennuksen ilmavirrat liikkuvat hallitummin rakennuksen ja eri huonetilojen välillä. Siksi onkin erityisen tärkeää huomioida rakennuksen käyttäjät ja erityistarpeet niin hankesuunnittelun kuin ilmanvaihtosuunnittelun aikana. Mitä enemmän lähtötietoja tilojen käyttäjistä ja erityistarpeista suunnittelijalla on, sitä tarkemmin hän voi suunnitella toimivan ja käyttäjäystävällisen järjestelmän.

Huono sisäilma ja sen tuomat ongelmat liittyvät hyvin usein ilmanvaihtoon. Esimerkiksi painovoimaisessa ilmanvaihdossa, jossa rakennuksen tuloilmaa ei ole suodatettu, koirun siitepöly aiheuttaa oireiluja rakennuksen käyttäjissä. Ihminen myös tuottaa aineenvaihdunnan tuloksena hiilidioksidia huoneilmaan, ja sen arvon kasvaessa ihminen tuntee mm. väsymystä ja huimausta. Tämä on noussut suureksi ongelmaksi pääkaupunkiseudun peruskouluissa, jossa luokkakokoja on kasvatettu luokan alkuperäisen käyttötarkoituksen yli. [8.]

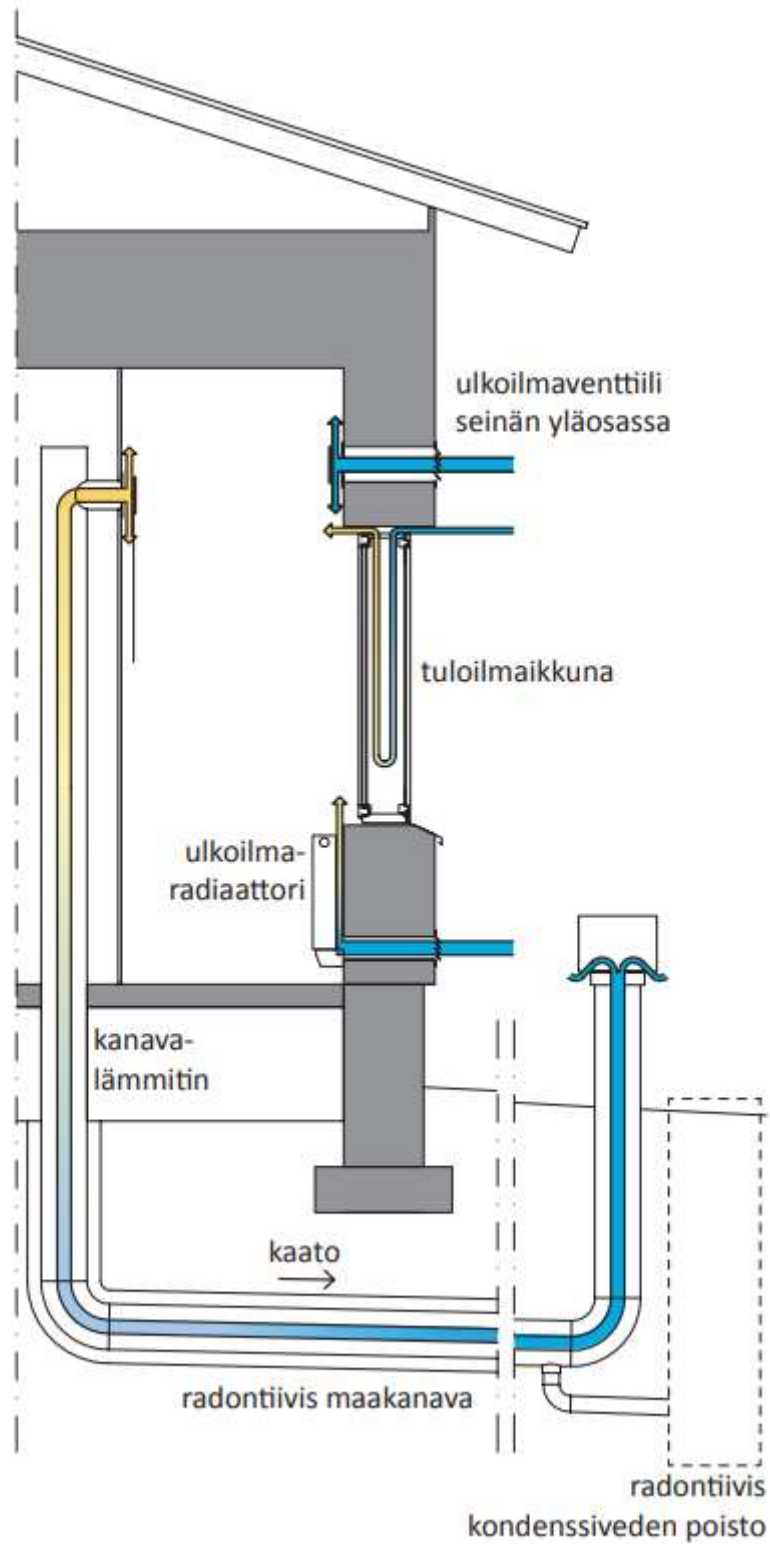
4 Rakennuksen ilmanvaihtotapoja

4.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimainen ilmanvaihtojärjestelmä on järjestelmä, jonka toiminta perustuu korkeus- ja lämpötilaerojen sekä tuulen aiheuttamiin paine-eroihin. Tästä syystä ilmavirta vaihtelee sääolosuhteiden mukaan sekä vuorokauden että vuodenajan mittaan. Painovoimaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä asuinrakennuksessa on keittiö- ja märkätiloista johdettu erillinen kanava tai hormi ulkoilmaan vesikaton yläpuolelle [kuva 5]. Järjestelmän toimivuuden edellytyksenä on, että poistoilmakanavan on oltava mahdollisimman pystysuora. Jokaiseen huonetilaan WC-tiloja lukuun ottamatta johdetaan ulkoilmaa oman erillisen ulkoilmareitin kautta [kuva 6]. Painovoimaisen ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa voidaan tehostaa ikkunatuuletuksella. [9.]



Kuva 5. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaperiaate [9].



Kuva 6. Esimerkkejä ulkoilmalaitteista [9].

Painovoimainen ilmanvaihto on yleisin vanhojen rakennusten ilmanvaihtotapa. Sitä käytettiin suomalaisissa rakennuksissa pääsääntöisesti viime vuosisadan puoleenväliin saakka. [9.] Asunnot ja asuminen ovat muuttuneet niistä vuosista: poistoilmahormeja lämmittäviä tulisijoja rakennetaan vähemmän, niitä käytetään satunnaisesti tai hyvin harvoin päälämmitysmuotona. Vesieristettyjen tilojen pinta-alat ja niiden vedenkäytön aiheuttama kosteuskuorma ovat kasvaneet. Sähkölaitteiden määrän kasvun aiheuttamat lämpökuormat ovat kasvaneet, erilaiset allergiat ja yliherkkyydet ovat yleistyneet ja ajoneuvoliikenteen määrän kasvu kuormittaa ulkoilmaa etenkin kaupunkiympäristössä. [9.]

Painovoimainen ilmanvaihto ei ole rakenteiden kuin myös ihmisen terveyden sekä energiatehokkuuden kannalta paras vaihtoehto, sillä ulkoilma virtaa epäpuhtauksineen suodattamattomana epätiivisiin rakennuksen vaipan läpi sieltä, mistä on helpoin reitti kulkea. Myös rakennuksen alapohja voi toimia ulkoilmareittinä, joka voi aiheuttaa kosteusvaurioita. [10.]

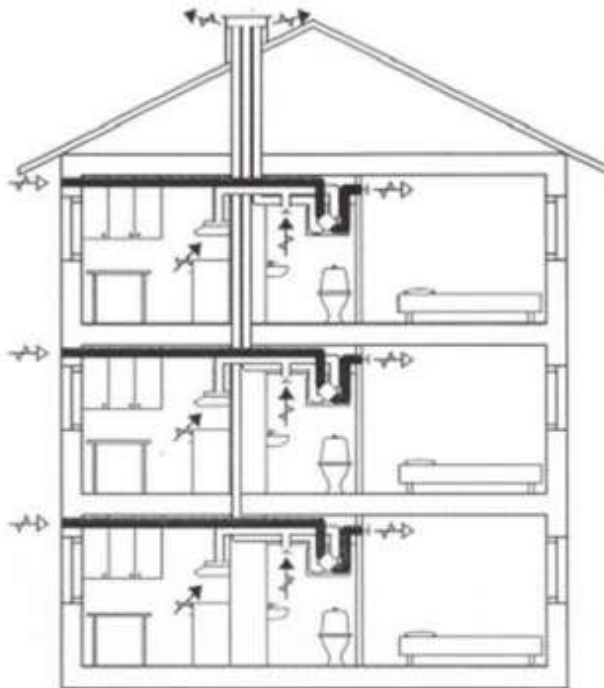
4.2 Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto

1970-luvun puolivälissä öljykriisin seurauksena energian hinta nousi voimakkaasti ja sen seurauksena alettiin pien- ja rivitaloihin kehittää lämmöneristeiden lisäksi ilmanvaihtojärjestelmiä, joissa oli poistoilman lämmöntalteenottolaite. 1970-luku oli merkittävä edistysaskel kohti nykyisiä järjestelmiä, sillä lämmön talteenotolla tuloilman lämmitys tuli ratkaisevasti edullisemmaksi. Poistoilman avulla lämmitettyä tuloilmaa oli mahdollista jakaa huonetiloihin vedottomasti, ja sitä oli helppo suodattaa verrattuna painovoimaiseen ja koneelliseen poistoilmanvaihtojärjestelmään nähden. [10, s. 116.]

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto voidaan jakaa pääsääntöisesti kahteen ryhmään: hajautettuun ja keskitettyyn järjestelmään. Hajautetussa järjestelmässä [kuva 7] käytetään asuntokohtaisia ilmanvaihtokoneita, ja keskitetyssä järjestelmässä käytetään yhteistä porrashuonekohtaista ilmanvaihtokonetta. Järjestelmissä ilma poistetaan rakennuksesta koneellisesti puhaltimen avulla ja tilalle tuodaan lämmitettyä tai jäähdytettyä ja suodatettua ulkoilmaa puhaltimen avulla. [10, s. 123–125.]

4.2.1 Hajautettu ilmanvaihtojärjestelmä

Kerrostalon hajautetussa ilmanvaihtojärjestelmässä jokainen huoneisto varustetaan omalla ilmanvaihtokoneella. Kone sijaitsee yleensä asunnon kylpyhuoneessa, sillä laitteen sisälle kondensoitua vesi on helppo johtaa kylpyhuoneen lattiakaivoon. Raitisilma tuodaan ilmanvaihtokoneelle kondenssieristettynä ulkoseinästä lyhintä reittiä pitkin, ei kuitenkaan parvekkeelta [10, s. 125]. Jäteilmakanavat johdetaan jokaisesta asunnosta erillisinä vesikatolle saakka. Jäteilmaa voi myös joissakin erityistapauksissa puhaltaa rakennuksen seinästä, kun ilmanvaihtosuunnittelija huomioi mm. etäisyydet lähellä sijaitsevista avattavista ikkunoista. Jäteilman seinäpuhalluksen saa harvoin hyväksytettyä Helsingin rakennusvalvonnassa, Espoon rakennusvalvonnassa kyseinen ratkaisu hyväksytään helpommin [11]. Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon hyviä puolia ovat koneiden pieni koko ja tilantarpeen vähyyys. Ilmanvaihtoa pystytään myös säätämään huoneistosta käyttäjän toimesta tarpeen mukaan. Huoltokustannukset kasvavat keskitettyyn järjestelmään verrattaessa, sillä rakennuksessa olevien, vaihdettavien suodattimien ja huollettavien lämmöntalteenottolaitteiden määrä kasvaa. Myös kanavametrit ja siitä syystä niiden nuohouskustannukset ovat kalliimmat.



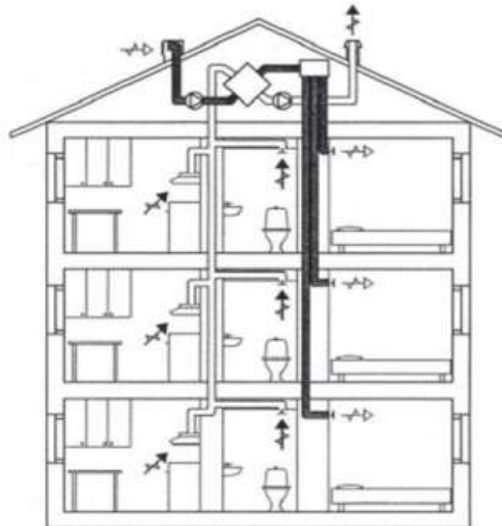
Kuva 7. Hajautettu eli asuntokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä [12].

4.2.2 Keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä

Keskitetyssä ilmanvaihtojärjestelmässä [kuva 8] kerrostalossa on vain yksi ilmanvaihtokone, josta jaetaan tulo- ja poistoilmakanavat jokaiseen asuntoon. Keskitetty ilmanvaihtokone sijaitsee yleensä kerrostalon katolla erillisessä konehuoneessa. Keskitetyn ilmanvaihtokoneen pakettiin sisältyvät yleensä äänenvaimentimet, lämmitys- ja jäähdytyspat-terit, lämmön talteenotto, suodattimet sekä automatiikka. Järjestelmä toteutetaan yleensä kahdella vaihtoehdoisella tavalla: huoneistokohtaisella, tarpeenmukaisella säädöllä tai keskitetysti yhteisellä säädöllä.

Huoneistokohtaisella tarpeenmukaisella säädöllä varustetussa järjestelmässä huoneistoissa on tulo- ja poistoilmapuolella ilmavirtasäätimet, joita ohjataan liesikuvulta siten, että ruoanlaiton ja pesuhuoneen kosteuskuormituksen aikana ilmavirtoja tehostetaan ja poissaoloaikana niitä vähennetään. Katolla sijaitsevaa taajuusmuuttajalla varustettua puhallinta ohjataan kanavapaineen mukaan. Kuvassa 8 on keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä huoneistokohtaisella tarpeenmukaisella säädöllä.

Keskitetysti yhteisellä säädöllä toimivassa järjestelmässä käytetään usein yhteiskanavia koneellisen poistoilmajärjestelmän tapaan, jossa suurista runkokanavista on jaettu ilmanvaihtokanavien haarat huoneistoihin. Kanaviston säätö suoritetaan päätelaitteista.



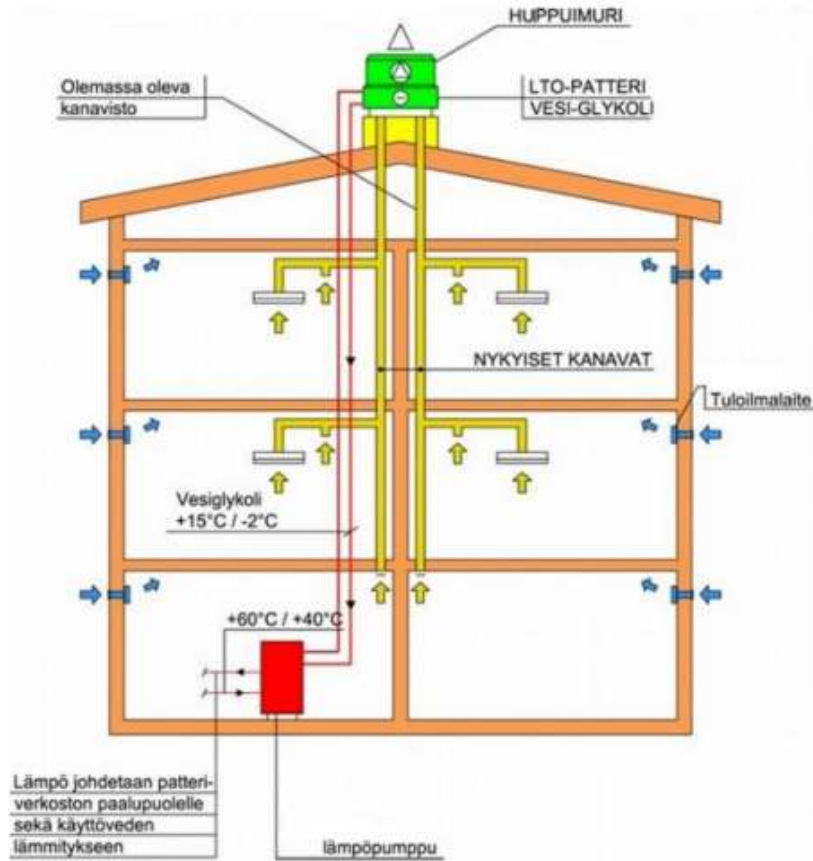
Kuva 8. Keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä [12].

4.3 Koneellinen poistoilmanvaihto ja PILP-järjestelmä

Koneellinen poistoilmajärjestelmä on järjestelmä, jolla ilma poistetaan rakennuksesta koneellisesti puhaltimen avulla ja tilalle tulee ulkoilmaa sekä ulkoilmalaitteiden kautta että rakenteiden ilmavuotoina. Koneellista poistoilmajärjestelmiä asennettiin vuosisadan vaihteeseen asti. Järjestelmässä yleensä keittiö, pesuhuone, WC, sauna ja vaatehuone varustettiin poistoilmaventtiileillä, joista ilma johdettiin vesikatolle sijaitsevalle huippuimurille. [10, s. 115.] Kanavaan oli oleellista asentaa myös äänenvaimennin huippuimurin tuottavien meluhaittojen takia. Järjestelmän toimimiselle on tärkeää, että ulkoilmalaitteilla [ks. kuva 6] varustettujen tilojen ja huippuimurin palvelevien tilojen välisiin oviin asennetaan oviraot, jotta ilma pääsee siirtymään näiden tilojen välillä [10, s. 115].

Kuten painovoimaisessakin järjestelmässä, ulkoilma virtaa epäpuhtauksineen suodattamattomana epätiivisiin rakennuksen vaipan läpi sieltä, mistä on helpoin reitti kulkea. Myös rakennuksen alapohja voi toimia ulkoilmareittinä, joka voi aiheuttaa kosteusvaurioita. Kovi- ja talvipakkasilla järjestelmä aiheuttaa vedon tunnetta. [10, s. 116.]

Koneelliseen poistoilmajärjestelmään liitettyä lämmön talteenottoa kutsutaan poistoilmalämpöpumpuksi. Opinnäytetyössä poistoilmalämpöpumpusta [kuva 9] käytetään myös lyhennelmää PILP.



Kuva 9. Koneellisen poistoilmajärjestelmän lämpöpumpun toimintaperiaate [13].

Yleiskanavoituihin poistoilmajärjestelmiin kerrostaloissa poistoilmanvaihdon lämmöntalteenotto on vartenotettava vaihtoehto, jos se on mahdollista toteuttaa. Suurimpana ongelmana kerrostalojen linjasaneerauksissa on rakentaa liuospiiri rakennuksen ylimmästä kerroksesta lämmönjakohuoneeseen, joka sijaitsee yleisimmin kellari- tai ensimmäisessä kerroksessa. Kerrostalon pystyhormeissa ei löydy tilaa putkille eristyksineen, sillä niihin on rakennusvaiheessa sijoitettu vain käyttövesi- ja viemäriinjat sekä ilmanvaihtokanavat. [11.] Lämmöntalteenotosta saatu hyöty suurenee sen mukaan, mitä suuremmat ilmamäärät poistoilmanvaihdossa on. Järjestelmää voidaan hyödyntää rinnakkaislämmönlähteenä kaukolämmityksen rinnalla, esimerkiksi lämpimän käyttöveden esilämmityksessä [14].

5 Tutkimus

5.1 Esimerkkikohte

Tämän opinnäytetyön esimerkkikohteena on Helsingin Konalassa sijaitseva 1970-luvulla rakennettu asuinkerrostalo. Kerroksia on kellarin lisäksi neljä ja asuntoja yhteensä 47. Kellarikerros sisältää sauna- ja pesuosaston, kylmävarastot, pesulan ja kuivaushuoneen sekä lämmönjakohuoneen.

Tällä hetkellä taloyhtiön lämmitys tapahtuu vesikiertoisella patterilämmityksellä, jonka energia tuotetaan kaukolämmöllä. Kohteessa on koneellinen poistoilmanvaihto yhteiskanavajärjestelmällä, jossa korvausilma tuodaan huoneisiin ikkunoissa sijaitsevista korvausilmaventtiileistä.

Asuinkerrostaloon tehdään ns. kokonaisvaltainen putkiremontti, jossa lämmitysverkosto tasapainotetaan ja linjasäätöventtiilit sekä termostaattiset patteriventtiilit vaihdetaan. Rakennuksen vesi-, viemäri- ja sähköjärjestelmät uusitaan ja kaukolämmön alajakokeskus vaihdetaan ja siihen liitetään poistoilman lämmöntalteenotto eli PILP-järjestelmä.

5.2 Ilmanvaihtojärjestelmien elinkaaritarkastelu

Vaikka kohteeseen on suunnitteilla PILP-järjestelmä, opinnäytetyön kannalta on tärkeää tarkastella muiden nykyaikaisten ilmanvaihtojärjestelmien kannattavuutta samasta kohteesta. Vaihtoehtona PILP-järjestelmälle on hajautettu eli asuntokohtainen sekä keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä, joissa poistoilmasta talteen saatu lämpöenergia siirretään asuntoon puhallettavaan tuloilmaan.

Jotta elinkaaritarkastelu olisi mahdollisimman todenmukainen, järjestelmien hankintakustannuksissa on huomioitu aina haalaus- ja nostotöistä kuulujen rakennuksiin ja eristetöihin asti. Kustannukset perustuvat urakoitsijoiden antamiin hinta-arvioihin ja vertailemalla niitä toteutuneisiin kohteisiin.

Käyttökustannukset koostuvat järjestelmien sähkönkulutuksesta ja huoltokustannuksista. PILP-järjestelmässä sähkönkulutus pääsääntöisesti muodostuu kompressorin käytöstä, ja tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmissä puhaltimet käyttävät eniten sähköä [15]. Taulukoiden teossa on käytetty laitevalmistajalta saatuja lähtötietoja.

Pääsääntöisesti sähkön hinta muodostuu sähköenergian sekä siirtopalvelun hinnasta. Sähkönsiirrosta vastaa aina paikallinen siirtoyhtiö, kun taas sähkön myynnin osuuden voi kilpailuttaa. Siirtoyhtiö on vastuussa siitä, että ostettu sähkö voidaan siirtää kohteeseen ja sähköverkko toimii aina ja kaikissa olosuhteissa. [16.] Järjestelmien käyttämän sähköenergian määrän lisäksi taloyhtiölle koituihin kustannuksiin vaikuttaa sähkön hinta. Sähköenergian hinnaksi on valittu 11,1 snt/kWh, sillä sähköenergian keskihinta pääkaupunkiseudulla on lähivuosien keskiarvona ollut 11 snt/kWh. Vuotuinen kustannuskehitys valittiin 4,5 %, joka on laskettu sähkön hinnanmuutoksen keskiarvoisesta noususta vuodesta 2006 lähtien. [17.] Hinnan muutokset lähivuosisikymmeninä huomioidaan elinkaarilaskuissa luvussa 8.

Säästöjen arvioimisessa on käytetty apuna laitevalmistajilta saatuja lähtötietoja sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa D3, rakennusten energiatehokkuus, ja D5, rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Laskelmien lähtökohtana on, että asuinkerrostalossa on painovoimainen tai koneellisella poistokanava-järjestelmällä toteutettu ilmanvaihto, jolloin asuntoihin tuleva siirtoilma ulkoa lämmitetään kaukolämmöllä. Opinnäytetyössä käsitellyt järjestelmät säästävät eri tavoilla kaukolämmöstä otettua energiaa, minkä vuoksi ne on eroteltu lukuihin 6 ja 7. Kaukolämmön hinnaksi on valittu 0,06 €/kWh, sillä kaukolämmön keskihinta pääkaupunkiseudulla on lähivuosien keskiarvona ollut 0,06 €/kWh. Vuotuiseksi kustannuskehitykseksi valittiin 4,5 %, joka on laskettu kaukolämmön hinnanmuutoksen keskiarvoisesta noususta vuodesta 2016 lähtien. [18.] Hinnan muutokset lähivuosisikymmeninä huomioidaan elinkaarilaskuissa luvussa 8.

6 Poistoilmalämpöpumppujärjestelmän hankintakustannukset ja säästöt

Jotta PILP-järjestelmän elinkaaritarkastelu olisi mahdollisimman todenmukainen, on selvitettävä sen hankinta-, huolto- ja käyttökustannukset esimerkkikohteessa. Lasketut arvot vaikuttavat laitteiston takaisinmaksu-aikaan.

6.1 Hankintakustannukset

PILP-järjestelmän hankkimisesta Konalassa sijaitsevaan asuinkerrostaloon on kuvattu taulukossa 1. Järjestelmän kustannus 131 800 € perustuu urakoitsijoilta pyydettyjen arviohintojen keskiarvoon, ja se kattaa koko järjestelmän saamisen toimintakuntoon.

Taulukko 1. Högforsin PILP-järjestelmän arvioidut asentamiskustannukset asuinkerrostaloon [15].

Arvioidut urakkahinnat	Tarkennus	Kustannukset (alv. 0 %)
PILP	HögforsGST HybridHEAT	80 000 €
LVI-tekniset materiaalit	Ilmastointikanavat, putket, automaatiikka ja lämmönjakohuoneen laitteistot	22 800€
Asennus- ja rakennustyö	Asennus- ja rakennustekniset työt (esim. läpiviennit)	29 000 €
Kokonaisurakkahinta	PILP-järjestelmän saaminen toimintakuntoon	131 800 €

6.2 PILP-järjestelmän sähkönkulutuksen ja huoltokustannusten arviointi

Kohteen rakennuksesta on joka tapauksessa poistettava ilmaa, joten puhaltimien kuluttamaa sähköä ei oteta laskuissa huomioon. PILP-järjestelmän ja tavallisen koneellisen poistoilmanvaihdon huippuimureiden arvioidaan kuluttavan yhtä paljon sähköä [15].

Taulukossa 2 on arvioitu PILP-järjestelmän sähkönkulutusta vuoden aikana. Arvot perustuvat arvioituihin laitteiston käyttöaikoihin ja laitevalmistajalta saatuihin tietoihin. Poistoilmaa tehostetaan 6 h vuorokaudessa ja 18 h on normaalia käyttöä.

Saattolämmityskaapeli kytketään kiinteistön rakennusautomaatioon, ja sen käyttötunnit on arvioitu termisen talven pituuden perusteella pääkaupunkiseudulla [19].

Taulukko 2. PILP-järjestelmän arvioitu sähkönkulutus vuoden aikana [15].

PILP-laitteiston komponentti	Teho (1/1)	Arvioitu käyttö-aika (1/1)	Teho (1/2)	Arvioitu käyttö-aika (1/2)	Arvioitu käyttö-aika vuodessa	Arvioitu energian kulutus vuodessa	Arvioitu energian hinta vuodessa
	[kW]	[h/vrk]	[kW]	[h/vrk]	[h / a]	[kWh/a]	€/a
Kompressorit (1/1 teho)	15,8	6			2190	34602	3840,8
Kompressorit (1/2 teho)			7,8	18	6570	51246	5688,3
Kiertopumppu 1	0,9	24			8760	7884	875,1
Kiertopumppu 2	0,12	5			1825	219	24,3
Sähkösaatto	0,05	24			3120	156	17,3
Puhallin (1/1 teho)	1,23	6			2190	2693,7	299,00
Puhallin (1/2 teho)			0,5	18	6570	3285	364,64
[Ei huomioida laskennassa]							
					Yhteensä:	94107	[kWh/a]
Sähköenergian hinta	11,1	snt/ kWh		Sähkön kulutus	Yhteensä:	10445,9	€/a

Järjestelmän oletetaan kuluttavan ensimmäisenä vuotenaan 10 446 €:n verran sähköenergiaa. Energian hinnanmuutos tulevaisuudessa on arvioitu elinkaarilaskelmassa.

PILP-järjestelmän vuosittaiset huoltokustannukset on pyydetty laitevalmistajalta, ja ne sisältävät pääsääntöisesti kompressorin vaihdon ja vika- ja hälytyskoodien kuittauksen [liite 1]. Huoltokustannukset on huomioitu järjestelmän elinkaarilaskennassa, luvun 8 taulukossa 16.

6.3 PILP-järjestelmän tuottaman säästön arviointi lämmitysverkostoon

Helsingissä sijaitsevassa projektissa poistoilmalämpöpumpun tehtävänä on vähentää kaukolämmöstä otettua energiaa. Pumpusta saatavaa energiaa käytetään mm. kylmän veden esilämmityksessä, uima-altaan veden lämmityksessä sekä lämmitysverkoston paluveden esilämmityksessä. Jos lämpöä jää käyttämättä, esimerkiksi keskikesän helteillä, se ohjataan lämpimän käyttöveden kierronpaluuseen. Taulukossa 3 on laskettu poistoilmajärjestelmän tuottamaa energiaa ja sen säästöjä lämmitysverkostossa

Taulukko 3. PILP-laitteiston tuottama arvioitu energia rakennuksen lämmitysverkostoon [15].

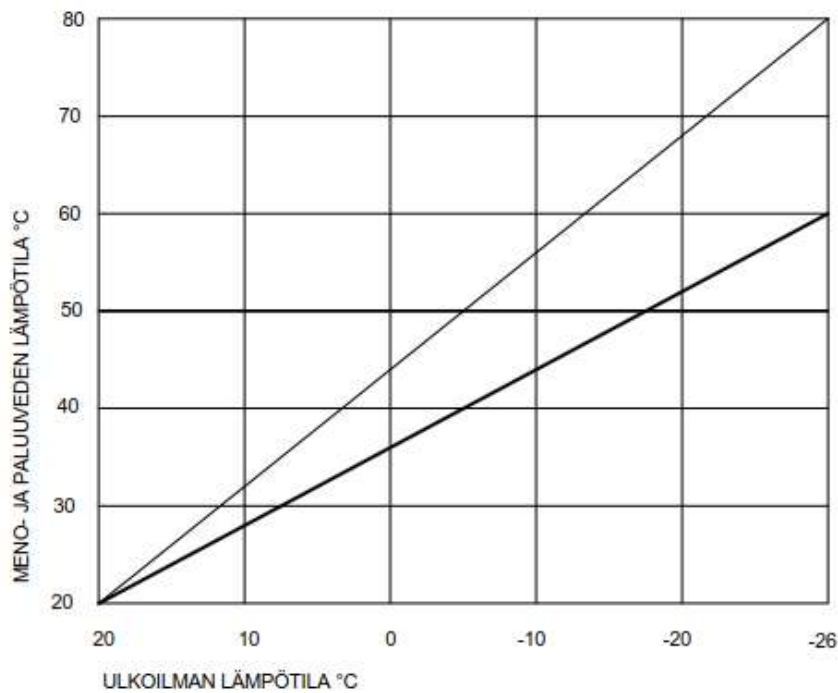
	Kk:n	Lämmitys	Lämmitys		Rakennuksen	PILP-siirtimen	PILP-piirin	PILP-piirin
	keski-	meno-	paluu-	lämmitys-	lämmitys-	nostama	energia (1/1)	energia (1/2)
Kuukausi	lämpötila	vesi	vesi	teho	energia	lämpötilaero	paluuveteen	paluuveteen
	[°C]	[°C]	[°C]	[kW]	[kWh/kk]	[°C]	[kWh/kk]	[kWh/kk]
Tammikuu	-4,0	51,3	40,8	114,6	85291,5	4,2	3077	5859
Helmikuu	-4,5	52,0	41,3	117,2	78740,9	3,7	2471	4705
Maaliskuu	-2,6	49,5	39,6	108,0	80345,5	5,4	3972	7562
Huhtikuu	4,5	40,2	33,5	74,1	53373,9	6,7	4828	9192
Toukokuu	10,8	32,1	28,0	44,2	32878,3	4,0	2974	5663
Kesäkuu	14,9	26,6	24,4	24,3	Kesäsulku	Kesäsulku	Kesäsulku	Kesäsulku
Heinäkuu	18,7	21,7	21,1	6,3	Kesäsulku	Kesäsulku	Kesäsulku	Kesäsulku
Elokuu	17,0	23,9	22,6	14,3	Kesäsulku	Kesäsulku	Kesäsulku	Kesäsulku
Syyskuu	10,5	32,4	28,2	45,3	32609,7	4,1	2950	5616
Lokakuu	6,2	38,0	32,0	66,0	49104,0	6,0	4442	8457
Marraskuu	0,5	45,4	37,0	93,3	67147,8	8,0	5762	10972
Joulukuu	-2,2	48,9	39,3	106,1	78957,8	5,7	4223	8040
Yhteensä:					558450		34698	66066

Laskuissa ei ole huomioitu rakennuksen lämpökuormia, kuten henkilöiden tai valaistuksen luovuttamat lämpökuormat tai auringon säteilyenergiaa. Kuukauden keskilämpötila on haettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 liitteestä 2 [20]. Taulukon 3 laskenta on avattu seuraavissa alaosioissa.

6.3.1 Lämmitysverkoston lämpötilojen määrittäminen

Pääkaupunkiseudulla, säävyöhykkeellä 1, mitoittavan ulkolämpötilan ollessa -26 °C Konalassa sijaitsevan kohteen patteriverkoston meno- ja paluulämpötiloilla 80 °C ja 60 °C patteriverkoston mitoittava teho on 220 kW . Ulkolämpötilan lämmitessä

patteriverkoston menoveden lämpötilaa säädetään sille asetetun säätökäyrän mukaan [kuva 10].



Kuva 10. Lämmitysverkoston säätökäyrä

Säätökäyrä voidaan myös määrittää kulmakertoimena, jolloin menoveden lämpötila saadaan määritettyä tarkemmin ihmissilmän epätarkkuuden poistuessa. Kulmakertoimet lämmitysverkoston meno- ja paluulämpötilakäyrille k_m ja k_p lasketaan kaavalla 1 [15].

$$k_{m/p} = \frac{T_{m/p} - T_k}{T_u - T_k} \quad , \quad (1)$$

jossa

$k_{m/p}$ on kulmakerroin, laskun tuloksena saatava vakio

$T_{m/p}$ on patteriverkoston meno- ja paluulämpötila mitotuslämpötilassa [°C]

T_k on ulkolämpötila, jolloin patteriverkoston virtaus kytkeytyy päälle [°C]

T_u on paikkakunnan mitotusulkolämpötila [°C]

Huonelämpötilan tavoitearvon ollessa +21 °C oletetaan lämmitysverkoston kytkeytyvän päälle +20 °C:n ulkolämpötilassa, sillä ulkoisia lämpökuormia ei oteta huomioon. Syötämällä kaavaan 2 säävyöhykkeen 1 mitoitusulkolämpötila –26°C ja patteriverkoston meno- ja paluulämpötiloiksi 80 °C ja 60 °C, saadaan kulmakertoimiksi $k_m = -1,3$ ja $k_p = -0,9$.

Kaavan 1 arvojen mukaan voidaan laskea lämmitysverkoston meno- ja paluuveden lämpötilat eri kuukausina kaavan 2 mukaan [15].

$$T_{m/p} = k_{m/p} * (T_{u,ka} - T_k) + T_k \quad , \quad (2)$$

jossa

$T_{m/p}$	on patteriverkoston meno- tai paluuveden lämpötila [°C]
$k_{m/p}$	on kulmakertoimet meno- ja paluuveden käyrille
$T_{u,ka}$	on kuukauden keskilämpötila säävyöhykkeellä [°C]
T_k	on ulkolämpötila, jolloin patteriverkoston virtaus kytkeytyy päälle [°C]

6.3.2 Rakennuksen lämmitysenergian laskenta

Saneerauskohteeseen hankittavan poistoilmalämpöpumpun potentiaalisen säästön arvioimisessa huomioidaan aiemman lämmöntuotantotavan huipputeho, josta voidaan laskea kaavan 3 mukaan lämmitysenergian kulutus jokaiselle kuukaudelle erikseen [15]. Kertomalla kyseinen lämmitysteho sen kuukauden tunneilla, saadaan rakennuksen käyttämä lämmitysenergian kulutus kuukausi- ja vuositasolla.

$$\phi_{mit} = \frac{Q}{H} \quad , \quad (3)$$

$$Q = \phi_{mit} * H$$

$$Q = \phi_{mit} * \frac{S}{T_s - T_u}$$

$$Q = \phi_{mit} * \frac{T_s - T_{u,ka}}{T_s - T_u}$$

jossa

Φ_{mit}	on lämmitystehon huipputarve paikkakunnan mitotuslämpötilassa [kW]
Q	on kuukauden lämmitysteho, [kW]
H	on lämmityshuippu tarkasteluaikana, $H = \frac{S}{T_s - T_u}$
S	on paikkakunnan lämmitystarveluku kyseisenä kuukautena, [°C]
T_s	on sisäilman lämpötila, [°C]
T_u	on paikkakunnan mitotusulkolämpötila, [°C]
$T_{u,ka}$	on kuukauden keskilämpötila säävyöhykkeellä, [°C]

Lämmitystehon huipputarpeen voi selvittää esimerkiksi kiinteistön kaukolämmön kytkentäkaaviosta, ja laskussa käytettävät säätiedot ovat Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 liitteessä 2.

6.3.3 PILP-siirtimen nostama lämpötilaero lämmitysverkostoon

Säävyöhykkeen 1 mitotusulkolämpötilassa -26 °C Helsingin kohteen lämmitysverkoston teho on 220 kW ja virtaus 2,68 l/s ($T_m/T_p = 80\text{ °C}-60\text{ °C}$). Poistoilmalämpöpumpun ollessa 59,7 kW tehostuksella 6 h vuorokaudesta, laitevalmistaja on ilmoittanut sen pysyvän nostamaan lämmitettävän nesteen aina 45 °C :n lämpötilaan riippumatta ulkolämpötiloista, joissa järjestelmä on säädetty toimimaan. Poistoilman ollessa normaali 18 h vuorokaudessa ja PILP-järjestelmän tuottaessa 42.1 kW lämmitysverkostoon sen oletetaan nostavan paluueden lämpötilan 90-prosenttisesti 45 °C :n lämpötilaan riippumatta ulkolämpötiloista, joihin järjestelmä on säädetty toimimaan. PILP-siirtimen nostama lämpötilaero lasketaan kaavalla 4.1 tai 4.2.

$$T_m > 45\text{ °C}, \quad T_n = 45\text{ °C} - T_p, \quad (4.1)$$

$$T_m \leq 45\text{ °C}, \quad T_n = T_m - T_p, \quad (4.2)$$

jossa

T_n	on PILP:n nostama lämpötila lämmitysverkoston paluuveteen [°C]
T_m	on lämmitysverkoston menolämpötila [°C]
T_p	on lämmitysverkoston paluulämpötila [°C]

6.3.4 PILP-järjestelmän tuottama energia lämmitysverkostoon

Teho, jolla PILP-järjestelmä tuottaa lämpöenergiaa lämmitysverkostoon, lasketaan kaavalla 5.

$$\Phi_{\text{PILP}} = T_n * c * q_{\text{LTO}} \quad , \quad (5)$$

jossa

Φ_{PILP}	on teho, jolla PILP lämmittää lämmitysverkoston paluuvettä [kW]
T_n	on PILP: n nostama lämpötila lämmitysverkoston paluuveteen [°C]
c	on veden ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]
q_{LTO}	on PILP: n LTO- piirin virtaama [l/s]

Kaavan 5 PILP-järjestelmän lämmön talteenottopiirin virtaama m_{LTO} lasketaan kaavalla 6.

$$q_{\text{LTO}} = \frac{P_L}{\Delta T_{\text{PILP}} * c} \quad , \quad (6)$$

jossa

q_{LTO}	on PILP: n LTO- piirin virtaama [l/s]
P_L	on PILP: n teho tehostettuna [59.7 kW] tai normaalina [42.1 kW]
c	on veden ominaislämpökapasiteetti [4,19 kJ/kgK]
ΔT_{PILP}	on PILP: n LTO- piirin meno- ja paluulämpötilat [(45- 30)°C]

Kaavasta 5 laskemalla kyseisen kuukauden PILP-piirin teho paluuveteen, voi sen kertoa kuukauden kyseisen tehon käyttötunneilla (kaava 7).

$$Q_{\text{PILP,kk}} = \Phi_{\text{PILP}} * t_d * X_{\text{kk}} \quad , \quad (7)$$

jossa

$Q_{\text{PILP,kk}}$	on PILP- piirin energia lämmitysverkoston paluuveteen [kWh/kk]
Φ_{PILP}	on teho, jolla PILP lämmittää lämmitysverkoston paluuvettä [kW]
t_d	on käyttöaika vuorokaudessa kyseisellä teholla [h/24h]
X_{kk}	on vuorokausien lukumäärä kyseisellä kuukaudella

Taulukossa 4 on eritelty Konalassa sijaitsevan asuinkerrostalon lämmitysverkoston energiankulutus, PILP-järjestelmän tuottama lämpöenergia ja rahallinen säästö siihen. Kaavoilla 1–7 on laskettu myös uima-allasverkoston (15,1 kW. $T_p - T_m = 30-40$ °C) sekä lattialämmitysverkoston (12,1 kW. $T_p - T_m = 30-35$ °C) lämmitysenergian tarve.

Taulukko 4. PILP-järjestelmän arvioitu säästö lämmitysverkostoon [15].

Rakennuksen arvioitu lämmitysverkoston energiankulutus vuodessa	558,4	MWh/a
Rakennuksen arvioitu lattialämmitysverkoston energiankulutus vuodessa	32,5	MWh/a
Rakennuksen arvioitu uima-allasverkoston energiankulutus vuodessa	32,5	MWh/a
Rakennuksen arvioitu lämmitysverkoston energiankulutus yhteensä vuodessa	623,5	MWh/a
LTO-laitteen tuottama energia patteriverkostoon vuodessa	101	MWh/a
LTO-laitteen tuottama energia lattialämmitysverkostoon vuodessa	38	MWh/a
LTO-laitteen tuottama energia uima-allasverkostoon vuodessa	80	MWh/a
LTO-laitteen tuottama energia lämmitysverkostoon yhteensä vuodessa	220	MWh/a
LTO-laitteen osuus lämmityksen energian tuotosta	35	%
Säästön tuottama hyöty kaukolämmön kuluissa (ilman PILP-järjestelmän sähkönkulutusta), 60€/MWh	13174	€

6.4 PILP-järjestelmän tuottaman säästön arviointi käyttövesiverkostoon

Järjestelmän tuottaman energian arvioimisessa käytetään apuna Suomen rakentamismääräyskokoelman osaa 5. Rakennuksen kuluttama käyttöveden lämmitysenergia lasjetaan kaavalla 8. [21.]

$$Q_{lkv,netto} = \rho_v \times c_{pv} \times V_{lkv} \times (T_{lkv} - T_{kv}) \div 3600 \quad , \quad (8)$$

jossa

$Q_{lkv,netto}$	on käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia [kWh]
ρ_v	on veden tiheys, [1000 kg/m ³]
c	on veden ominaislämpökapasiteetti [4.19 kJ/kgK]
V_{lkv}	on lämpimän käyttöveden kulutus [m ³]
T_{lkv}	on lämpimän käyttöveden lämpötila, [°C]
T_{kv}	on kylmän käyttöveden lämpötila, [°C]
3600	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Lämpimän käyttöveden kulutus V_{lkv} arvioidaan kaavalla 9 [15].

$$V_{lkv} = V_{lkv,omin} \times A_{brm} / 1000 \quad , \quad (9)$$

jossa

V_{lkv}	on lämpimän käyttöveden kulutus vuodessa [m^3/a]
$V_{lkv,omin}$	on lämpimän käyttöveden kulutus bruttoneliometriä kohti [l/m^2]
A_{brm}	on rakennuksen bruttopinta – ala [m^2]
1000	on kerroin, jolla muutetaan litra kuutiometriksi

Sijoitettuna kaavaan 8 Helsingissä sijaitsevan kohteen bruttopinta-alan $5\,645\,m^2$ ja lämpimän käyttöveden kulutuksen oletusarvon $600\,l/brm^2$ sekä $T_{lkv} - T_{kv} = 50^\circ C$, saadaan lämpimän käyttöveden lämmitykseen käytettävän energian arvoksi

$$Q_{lkv,netto} = 1000\,kg/m^3 \times 4,19\,kJ/kgK \times \frac{5645m^2 \times 600l/m^2}{1000} \times (50^\circ C) \\ \div 3600$$

$$Q_{lkv,netto} = 197105\,kWh/a$$

Kohteen PILP-järjestelmä pystyy normaalilla teholla esilämmittämään lämmintä käyttövettä $45\,^\circ C$:seen arviolta 90 % käyttöajasta niillä lämpötiloilla, joihin järjestelmä on asetettu toimimaan. Lämpötilaero $T_{PILP(1/2)} - T_{kv} = 35\,^\circ C$. Ilmanvaihdon tehostuksella järjestelmä pystyy esilämmittämään lämpimän käyttöveden $50\,^\circ C$:seen noin 10 %:ssa käyttöajasta niillä lämpötiloilla, joihin järjestelmä on asetettu toimimaan. Lämpötilaero $T_{PILP(1/1)} - T_{kv} = 40\,^\circ C$. Kaukolämmön on nostettava lämmin käyttövesi $10\,^\circ C$:sta noin $60\,^\circ C$:seen legionellabakteerin itämisen välttämiseksi. $T_{lkv} - T_{kv} = 50\,^\circ C$. Järjestelmän lämmittämä lämpötila teholla 1/1 on 80 % $50\,^\circ C$:n lämpötilaerosta ja teholla 1/2 on 70 % $50\,^\circ C$:n lämpötilaerosta, jonka kaukolämpö ennen PILP-järjestelmää lämmitti.

PILP-järjestelmän tuottaman lämpöenergian käyttövesiverkoston vuoden aikana laske-
taan kaavalla 10 [15].

$$Q_{\text{PILP,lkv}} = Q_{\text{lkv,netto}} * Q_{\%} \quad , \quad (10)$$

jossa

$Q_{\text{PILP,kv}}$ on PILP: n tuottama lämpömäärä käyttövesiverkoston [kWh/a]

$Q_{\text{lkv,netto}}$ on käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia [kWh/a]

$Q_{\%}$ on PILP: n tuottama lämpömäärän suhde kokonaiskulutukseen [%]

$$Q_{\%} = \frac{V_{\text{PILP,kv}}}{V_{\text{lkv}}} \quad , \quad (11)$$

Suhdeluvun selvittämiseen pitää laskea kaavalla 12, paljonko järjestelmä pystyy esiläm-
mittämään käyttövettä haluttuun lämpötilaan vuoden aikana.

$$V_{\text{PILP,lkv}} = V_{\text{lkv}} * t_{\%(1/1)} * \frac{T_{\text{PILP}(1/1)} - T_{\text{kv}}}{T_{\text{lkv}} - T_{\text{kv}}} + V_{\text{lkv}} * t_{\%(1/2)} * \frac{T_{\text{PILP}(1/2)} - T_{\text{kv}}}{T_{\text{lkv}} - T_{\text{kv}}} \quad (12)$$

jossa

$V_{\text{PILP,lkv}}$ on PILP: n lämmittämä käyttövesi kokonaiskulutuksesta [m^3/a]

V_{lkv} on lämpimän käyttöveden kulutus vuodessa [m^3/a]

$t_{\%(1/1)}$ on aika, jolla PILP kykenee lämmittämään veden tavoitearvoonsa [10 %]

$t_{\%(1/2)}$ on aika, jolla PILP kykenee lämmittämään veden tavoitearvoonsa [90 %]

$T_{\text{PILP}(1/1)}$ on lämpötila, johon PILP lämmittää käyttöveden ko. teholla [50 °C]

$T_{\text{PILP}(1/2)}$ on lämpötila, johon PILP lämmittää käyttöveden ko. teholla [45 °C]

T_{lkv} on lämpimän käyttöveden tavoitearvo laskuissa [60 °C]

T_{kv} on kylmän käyttöveden lämpötila laskuissa [10 °C]

Syöttämällä arvot kaavaan 12 saadaan PILP-järjestelmän lämmittämäksi käyttöveden määräksi

$$V_{\text{PILP,lkv}} = V_{\text{lkv}} * t_{\%(1/1)} * \frac{T_{\text{PILP}(1/1)} - T_{\text{kv}}}{T_{\text{lkv}} - T_{\text{kv}}} + V_{\text{lkv}} * t_{\%(1/2)} * \frac{T_{\text{PILP}(1/2)} - T_{\text{kv}}}{T_{\text{lkv}} - T_{\text{kv}}}$$

$$V_{\text{PILP,lkv}} = \frac{5645\text{m}^2 * 600\text{l/m}^2}{1000} * 0,10 * \frac{50 - 10}{60 - 10} + \frac{5645\text{m}^2 * 600\text{l/m}^2}{1000} * 0,90 * \frac{45 - 10}{60 - 10}$$

$$V_{\text{PILP,lkv}} = 271\text{m}^3/\text{a} + 2134\text{m}^3/\text{a} = 2405\text{m}^3/\text{a}$$

Syöttämällä saadut arvot kaavaan 10 saadaan PILP-järjestelmän tuottamaksi lämpöenergian määräksi käyttövesiverkostoon

$$Q_{\text{PILP,lkv}} = Q_{\text{lkv,netto}} * Q_{\%}$$

$$Q_{\text{PILP,lkv}} = Q_{\text{lkv,netto}} * \frac{V_{\text{PILP,lkv}}}{V_{\text{lkv}}} = 197105 \text{ kWh/a} * \frac{2405\text{m}^3/\text{a}}{\frac{5645^2 * 600\text{l/m}^2}{1000}}$$

$$Q_{\text{PILP,lkv}} = 139958 \text{ kWh/a}$$

Taulukkoon 5 on koottu kaavoilla 10, 11 ja 12 lasketut arvot. PILP-järjestelmä tuottaa vuosittain Konalassa sijaitsevan asuinkerrostalon lämpimään käyttöveteen noin 140 MWh.

Taulukko 5. PILP-järjestelmän arvioidut säästöt käyttövesiverkostoon.

PILP:n lämmittämä käyttövesi kokonaiskulutuksesta [m ³ /a]			Säästö	
Tehoilla 1/1 sekä 1/2				
Yhteensä:	2405	[m ³ /a]	8397	€/a
PILP- järjestelmän tuottama lämpömäärän suhde kokonaiskulutukseen			71	%
PILP- järjestelmän tuottama säästö vuodessa käyttövesiverkostoon			139944	kWh / a
Kaukolämmön hinta			0,06	€/kWh

7 Tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän hankintakustannukset ja säästöt

Jotta tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän elinkaaritarkastelu olisi mahdollisimman todennukainen, on selvitettävä sen hankinta-, huolto- ja käyttökustannukset esimerkkikohteessa. Lasketut arvot vaikuttavat laitteiston takaisinmaksu-aikaan.

7.1 Hankintahinnat

Investointi eli hankintakustannukset koostuvat eri laitteiden hankinnoista sekä asennuksista. Niitä ovat esimerkiksi iv-kone, kanavien tarvitsemat hormit, ilmanvaihtokanavisto ja siihen liitettävät osat sekä päätelaitteet. Kustannuksiin huomioidaan edellä mainittujen tarvikkeiden asennus- ja eristetyöt kuin myös rakennus-, sähkö-, automaatio- ja putki-työt. Investointikustannukset ovat vain osa koko järjestelmän elinkaarikustannuksia, joten on tärkeää varmistaa järjestelmän energiatekninen toimivuus suunnittelun aikana.

7.1.1 Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän hankintakustannukset

Taulukossa 6 on arvioitu kahden keskitetyn ilmanvaihtokoneen investointikustannuksia Helsingissä sijaitsevaan esimerkkikohteeseen. Raskaan ilmanvaihtokoneen sijoittaminen rakennuksen vesikatolle voi tuottaa huomattavat lisäkustannukset asuntokohtaiseen ilmanvaihtojärjestelmään verrattuna, sillä vanha katto ei välttämättä kestä koneen tuottamaa useiden tonnien lisäpainoa. Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän asennus vesikatolle sisältää myös pahojen työtapaturmien riskin, sillä katolla työskentely ja rakennustarvikkeiden nosto sinne lisääntyy. Mitä korkeampi asuinkerrostalo kyseessä on, sitä suuremmat kuilut täytyy rakentaa, jolloin myös kerrostalon käyttöpinta-ala pienenee. Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän asuntokohtainen ilmavirtojen säätö vaatii kanavistoon säätöpellit, mikä tuo lisäkustannuksia muihin järjestelmiin verrattuna.

Taulukko 6. Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän arvioitu hankintakustannus asuinkerrostaloon [15].

Keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä arvioidut investointikustannukset		
	Tarkennus	Hinta alv. 0 %
Konepaketti	2 kpl Fläktwoods eQ Prime 008 + automaatiikka, lämmitetty konehuone, kanavointi vesikatolla sekä eristys	150 000,00 €
Vesikaton uusiminen	Katon purku, huputus ja uusiminen	175 000,00 €
Hormien asentaminen	Valmiiden nousuelementtien asennus, jotka sisältävät kaksi IV-kanavaa, kaapelireitit, viemäri-, sadevesi- sekä käyttövesilinjat. Täysin valmiina asennettuna kanavalähtöineen asuntoihin.	80 000,00 €
Ilmanvaihtourakka	Kanavointi, osien esim. äänenvaimentimien asentaminen nousuelementtien asunnon sisälle + kanaviston koepaineistus ja päätelaitteiden säätö	100 000,00 €
Muut urakat	Rakennusmateriaalit, esim. alakatot, koteloinnit ja otsat. Putkiasennukset ilmanvaihtokoneen jälkilämmityspatterille	50 000,00 €
Yhteensä		555 000,00 €

7.1.2 Asuntokohtaisen ilmanvaihtojärjestelmän hankintakustannukset

Hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän 47 ilmanvaihtokoneen hankintakustannukset ovat huomattavasti pienemmät kuin keskitetyssä järjestelmässä. Rakennustyömaan aikaisia työvaiheita on vähemmän, ja katolla työskentely vähenee huomattavasti. Asuntokohtaisen ilmanvaihtokoneen asennus on hyvä tehdä täyden linjasaneerauksen yhteydessä, sillä koneen kondenssiviemäröinnin piiloasennuksen takia kylpyhuoneen vedeneristys täytyy uusida. Taulukossa 7 on arvioitu hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän hankintakustannuksia.

Taulukko 7. Hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän arvioitu hankintakustannus saneerauskoh-teissa [15].

Hajautettu ilmanvaihtojärjestelmä arvioidut investointikustannukset		
	Tarkennus	Hinta alv. 0 %
IV-kone	Swegon Casa W3 Smart, 47 kpl	117 500,00 €
Ilmanvaihtourakka	Liesikupu, kanavistot ja sen osat, päätelaitteet, eristeet, kanaviston koepaineistus ja päätelaitteiden säätö	332 000,00 €
Muut urakat	Rakennusmateriaalit, esim. alakatot, koteloinnit ja otsat. Sähkösyötön asennus koneille, kondenssiviemäröinti	30 000,00 €
Yhteensä		479 500,00 €

7.2 Huoltokustannukset

Taulukossa 8 on eritelty asuntokohtaisen ja keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän huoltokustannukset. Asuntokohtaiset ilmanvaihtokoneet aiheuttavat suuret huoltokustannukset vuositasona, sillä huoltokohteiden määrä kasvaa verrattuna keskitettyyn järjestelmään. Ilmanvaihtojärjestelmään tehdään isompi huolto aina kymmenen vuoden välein, jolloin mm. kanavisto nuohotaan, IV-kone ja sen lämmöntalteenottolaite pestään. Keskitetyssä järjestelmässä hyvänä puolena on se, että suurin osa huoltotoimenpiteistä tehdään katolla sijaitsevassa ilmanvaihtokonehuoneessa tai ullakkotiloissa. Näin ollen myös rakennuksen asukkaille aiheutuu vähemmän vaivaa.

Taulukko 8. Tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmien arvioidut huoltokustannukset [15].

Huoltokustannukset, alv. 0 %						
	Hajautettu järjestelmä			Keskitetty järjestelmä		
	Hinta [€]	Määrä	yht. [€]	Hinta [€]	Määrä	yht. € [€]
Nuohous	172	47	8084	2000	2	4000
LTO-puhdistus	18	47	846	200	2	400
IV-koneen puhdistus	46	47	2162	300	2	600
Venttiilien pesu	32	47	1504	32	47	1504
Mittaus+säätö	64	47	3008	64	47	3008
Suodattimet	18	47	846	75	4	300
/vuosi			846			300
/10 vuosi			16450			9812

Ilmanvaihtokoneen puhaltimien rikkoutumista ei otettu huoltokustannuksissa huomioon, sillä niitä ei vaihdeta säännöllisesti ja niiden tarkkaa käyttöikää on vaikea ennustaa.

7.3 Koneellisen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän sähkönkulutus

Helsingissä sijaitsevassa esimerkkikohteeseen suunniteltujen ilmanvaihtokoneiden sähkönkulutus lasketaan suunnitellun ominaissähkötalon, ilmavirran ja käyntiajan tulona kaavan 13 mukaan [5].

$$W_{ilmanvaiht} = \sum SFP * q_v * \Delta t \quad , \quad (13)$$

jossa

$W_{ilmanvaihto}$ on ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergian kulutus [kWh]

SFP on puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ominaissähkötalo [kW/(m³/s)]

q_v on puhaltimen tai ilmanvaihtokoneen ilmavirta [m³/s]

Δt on käyttöaika laskentajaksolla [h]

Syöttämällä laitevalmistajien koneajoista (liitteet 2 ja 3) ilmavirrat ja ominaissähkötalat kaavaan 13 saadaan taulukoihin 9 ja 10 keskitetyn ja hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien käyttämä sähköteho vuoden tarkastelujakson aikana. Poistoilmapuhaltimien sähkönkulutusta ei otettu laskuissa huomioon, sillä rakennuksesta pitää poistaa ilmaa joka tapauksessa. Sähköenergian hinnaksi on valittu 11,1 snt/kWh, ja sen hinnan muutokset lähivuosisikymmeninä huomioidaan elinkaarilaskuissa luvussa 8.

Taulukko 9. Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän arvioitu vuotuinen sähkönkulutus [15].

Ilmanvaihto [m ³ /s]	0,7	SFP kW/(m ³ /s)	Käyttö-	Sähkö	Käyttö-	Energiankulu-	Energian hinta
			aika	teho	aika	tus	
			[h/vrk]	[kW]	vuodessa	vuodessa	vuodessa
					[h/a]	[kWh/a]	[€/a]
Tuloilmapuhallin		1,06	24	0,74	8760	6500	721,5
Yhteensä						6500	721,5
Yhteensä, koneita 2 kpl						12999,8	1443,0

Taulukko 10. Hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän arvioitu vuotuinen sähkönkulutus [15].

Ilmanvaihto [m ³ /s]	0,03	SFP kW/(m ³ /s)	Käyttö-	Sähkö	käyttö-	energiankulu-	käyttökustan-
			aika [h/vrk]	teho [kW]	aika vuodessa [h/a]	tus vuodessa [kWh/a]	nus vuodessa [€/a]
Tuloilmapuhallin	0,96	24	0,03	8760	252	28,0	
Yhteensä					252	28,0	
Yhteensä, koneita 47 kpl					11857,5	1316,2	

7.4 Energiatekninen tarkastelu ja järjestelmien arvioitu säästö

Tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmässä lämmön talteenoton tehtävänä on nimensä mukaisesti ottaa talteen rakennuksen koneellisen ilmanvaihdon poistoilmasta lämpöenergiaa ja käyttää sitä huoneilmaan puhallettavan raittiin ulkoilman esilämmitykseen.

Taulukoissa 11 ja 12 on laskettu hajautetun eli asuntokohtaisen sekä keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän talteen ottama lämpöenergia ja sen säästöt kuukausittain. Laskuissa ei ole huomioitu rakennuksen lämpökuormia, kuten henkilöiden tai valaistuksen luovuttamia lämpökuormia tai auringon säteilyenergiaa. Huonetilaan puhallettavan tuloilman jälkilämmitystarvetta haluttuun huonelämpötilaan ei oteta elinkaarilaskuissa huomioon, sillä asuinkerrostalokohteeseen ulkoa tullut siirtoilma lämmitettiin vesikiertoisilla lämmityspattereilla. Näin ollen lisäkustannuksia ei synny. Kuukauden keskilämpötila on haettu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 liitteestä 2 [20]. Puhaltimen tuottamaa lämpöenergiaa tuloilmaan ei laskuissa otettu huomioon, sillä sen vaikutus matemaattisesti todistettiin vähäiseksi.

Taulukko 11. Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän arvioitu vuotuinen säästö [15].

Keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä									
	Kk:n	LTO:n	IV	Jälki-	Jälki-	LTO:lla	LTO:lla	LTO säästöä	
	keski-	jälkeinen	käyttö-	lämmitys-	lämmitys-	saatu	saatu	vähennettyä	
Kuukausi	lämpötila	lämpötila	aika	nettotarve	kustannus	energia	säästö	jälkilämmitys-	
	[°C]	[°C]	[h/kk]	[kWh/kk]	[€/kk]	[kWh]	[€/kk]	kustannukset	
Tammikuu	-4,0	17,4	744	2231,6	133,9	13373,7	802,4	668,5	
Helmikuu	-4,5	17,4	672	2058,4	123,5	12335,9	740,2	616,6	
Maaliskuu	-2,6	17,6	744	2107,3	126,4	12629,2	757,8	631,3	
Huhtikuu	4,5	18,6	720	1427,0	85,6	8552,2	513,1	427,5	
Toukokuu	10,8	19,5	744	915,1	54,9	5484,4	329,1	274,2	
Kesäkuu	14,9	20,1	720	LTO kesäasento					
Heinäkuu	18,7	20,7	744						
Elokuu	17,0	20,4	744						
Syyskuu	10,5	19,5	720						905,5
Lokakuu	6,2	18,9	744	1322,7	79,4	7926,7	475,6	396,2	
Marraskuu	0,5	18,1	720	1773,0	106,4	10625,4	637,5	531,1	
Joulukuu	-2,2	17,7	744	2072,5	124,3	12420,3	745,2	620,9	
Yhteensä /kone				14813,0	888,8	88774,7	5326,5	4437,7	
Yhteensä, koneita 2kpl				29626,1	1777,6	177549,4	10653,0	8875,4	

Ilmanvaihdon lämmön talteenottoa ei käytetä kesäkuukausina, jotta huoneilmaan pääsee viileämpää tuloilmaa. Jälkilämmityskustannus on laskettu keskitetylle ilmanvaihtojärjestelmälle kaukolämmön hinnalla 0,06 €/kWh ja hajautetulle järjestelmälle sähkön hinnalla 0,111 €/kWh.

Taulukko 12. Hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän arvioitu vuotuinen säästö [15].

Hajautettu ilmanvaihtojärjestelmä									
	Kk:n	LTO:n	IV	Jälki-	Jälki-	LTO:lla	LTO:lla	LTO säästöä	
	keski-	jälkeinen	käyttö-	lämmitys-	lämmitys-	saatu	saatu	vähennettynä	
Kuukausi	lämpötila	lämpötila	aika	nettotarve	kustannus	energia	säästö	jälkilämmitys-	
	[°C]	[°C]	[h/kk]	[kWh/kk]	[€/kk]	[kWh]	[€/kk]	kustannukset	
Tammikuu	-4,0	16,5	744	120,4	13,4	548,4	32,9	19,5	
Helmikuu	-4,5	16,4	672	111,0	12,3	505,9	30,4	18,0	
Maaliskuu	-2,6	16,8	744	113,7	12,6	517,9	31,1	18,5	
Huhtikuu	4,5	18,0	720	77,0	8,5	350,7	21,0	12,5	
Toukokuu	10,8	19,2	744	49,4	5,5	224,9	13,5	8,0	
Kesäkuu	14,9	19,9	720	LTO kesäasento					
Heinäkuu	18,7	20,6	744						
Elokuu	17,0	20,3	744						
Syyskuu	10,5	19,1	720						48,8
Lokakuu	6,2	18,3	744	71,4	7,9	325,1	19,5	11,6	
Marraskuu	0,5	17,3	720	95,6	10,6	435,7	26,1	15,5	
Joulukuu	-2,2	16,8	744	111,8	12,4	509,3	30,6	18,1	
Yhteensä /kone				799,1	88,7	3640,4	218,4	129,7	
Yhteensä, koneita 47kpl				37557,9	4168,9	171097,3	10265,8	6096,9	

Lämmöntalteenoton jälkeinen kuukauden keskimääräinen tuloilman lämpötila lasketaan kaavalla 14 [5]. Keskitetylle järjestelmälle Fläktwoods ilmoitti pyörivän lämmönsiirtimen vuosihyötysuhteeksi 85,7 % ilmamäärällä 0,7 m³/s ja Swegon asuntokohtaisten ilmanvaihtokoneiden vastavirtalevylämmönsiirtimille 82 % ilmamäärällä 0,03 m³/s.

$$T_{LTO} = T_{u,ka} + \frac{\phi_{LTO}}{t_d \cdot t_v \cdot \rho_i \cdot c_{pi} \cdot Q_{v,tulo}}, \quad (14)$$

jossa

T_{LTO} on tuloilman lämpötila lämmön talteenoton jälkeen [°C]

$T_{u,ka}$ on kuukauden keskilämpötila säävyöhykkeellä [°C]

ϕ_{LTO} on lämmön talteenottolaitteen vuosihyötysuhde [%]

t_d on käyttöaika vuorokaudessa [h/24h]

t_v on viikoittainen käyttöaikasuhte [vrk/7 vrk]

ρ_i on ilman tiheys [1,2 kg/m³]

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti [1 kJ/kgK]

$Q_{v,tulo}$ on tuloilmavirta [m³/s]

Tutkimuksen kannalta tärkeä aihe on, kuinka paljon ilmanvaihdon lämmöntalteenotto pystyy keräämään energiaa poistoilmasta ja esilämmittämään sillä huoneilmaan puhallettavaa tuloilmaa. Lämmön talteenotolla talteen saatu energia lasketaan kaavalla 15 [5].

$$Q_{LTO} = t_d * t_v * p_i * c_{pi} * q_{v,tulo} * (T_{LTO} - T_{u,ka}) \quad , \quad (15)$$

jossa

Q_{LTO}	on lämmön talteenotolla talteen saatu lämpöenergia [kWh]
t_d	on käyttöaika vuorokaudessa [h/24h]
t_v	on viikoittainen käyttöaikasuhte [vrk/7 vrk]
p_i	on ilman tiheys [1,2 kg/m ³]
c_{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti [1 kJ/kgK]
$q_{v,tulo}$	on tuloilmavirta [m ³ /s]
T_{LTO}	on tuloilman lämpötila lämmön talteenoton jälkeen [°C]
T_s	on kuukauden keskilämpötila säävyöhykkeellä [°C]

Opinnäytetyön lähtökohtana on, että saneerattavissa asuinkerrostaloissa on painovoimainen tai huippuimurilla toteutettu yhteiskanavapoisto. Helsingin Konalassa sijaitsevassa esimerkkikohteessa ilmanvaihto on toteutettu yhteiskanavapoistona, täten kaavalla 15 saatu lämmön talteenoton säästämä lämpöenergia on suoraan pois kaukolämmön lämmitysenergian kulutuksesta ja kaavalla saatua säästöä käytetään avuksi investoinnin elinkaarilaskelmissa luvussa 8.

Kaavojen 16 ja 17 tuloksia ei oteta tämän opinnäytetyön elinkaaritarkastelussa huomioon, sillä tarkasteltavassa esimerkkikohteessa jälkilämmitys kompensoidaan asuntojen vesikiertoisilla lämmityspattereilla. Tieto on silti olennainen, kun tässä luvussa esitetyjä kaavoja sovelletaan kohteeseen, jossa lämmitys on tarkoitus toteuttaa täysin ilmalla.

Kun tiedetään lämmöntalteenoton jälkeinen kuukauden keskimääräinen tuloilman lämpötila, voidaan kaavalla 16 laskea ilmanvaihdon lämmitysenergian nettotarve eli energiamäärä, jolla ilmanvaihtokone lämmittää tuloilman haluttuun 21 °C:n lämpötilaan.

$$Q_{IV} = t_d * t_v * p_i * c_{pi} * q_{v,tulo} * (T_s - T_{LTO}) \quad , \quad (16)$$

jossa

Q_{IV}	on ilmanvaihtokoneen jälkilämmitysenergian nettotarve [kWh]
t_d	on käyttöaika vuorokaudessa [h/24h]
t_v	on viikoittainen käyttöaikasuhte [vrk/7 vrk]
p_i	on ilman tiheys [1,2 kg/m ³]
c_{pi}	on ilman ominaislämpökapasiteetti [1 kJ/kgK]
$q_{v,tulo}$	on tuloilmavirta [m ³ /s]
T_{LTO}	on tuloilman lämpötila lämmön talteenoton jälkeen [°C]
T_s	on haluttu sisälämpötila [°C]

Lämmön talteenotolla talteen saadun energian rahallisesta arvosta [Kaava 16] pitää vähentää ilmanvaihtokoneen lämmitysenergian rahallinen arvo [Kaava 15], jotta saadaan selville lämmön talteenoton vuosittainen säästö. Kaavassa 17 on huomioitava huoneilmaan puhallettavan tuloilman jälkilämmityspatterin käyttämä energiamuoto. Keskiteytyssä ilmanvaihtojärjestelmässä tuloilma lämmitetään kaukolämmöllä, hajautetussa eli asuntokohtaisessa ilmanvaihdossa jälkilämmitys tehdään usein sähkövastuksella.

$$S_{IV} = S_{LTO} - K_{IV} \quad , \quad (17)$$

jossa

S_{LTO}	on tulo- poistoilmanvaihdon tuottama säästö lämmityskuluihin [€]
S_{LTO}	on lämmön talteenoton tuottama säästö lämmityskuluihin [€]
K_{IV}	on ilmanvaihtokoneen jälkilämmityksen kulut [€]

8 Investoinnin elinkaari ja takaisinmaksuaika

Investoinnin elinkaaren taloudellisuustarkastelun tavoitteena on selvittää, kuinka kannattavaa mikäkin investointi on. Investointi on pitkäaikainen meno, jolta odotetaan tulevaisuudessa tuottoja. Ilmanvaihdon lämmön talteenotolla tuotto koostuu pääosin energiakustannusten vähenemisestä. Opinnäytetyössä käsitellyissä esimerkeissä investoinnin elinkaari käsittää

- hankintakustannukset
- energiakustannukset
- käyttö, huolto- ja korjauskustannukset.

Merkittävimmät päätökset investoinnin elinkaaren aikaisista ympäristö- sekä taloudellisista vaikutuksista tehdään suunnitteluvaiheessa. Investoinnin hyvä suunnittelu on tärkeää, sillä suunnitteluvaiheessa tehtyjä valintoja ja päätöksiä ei välttämättä pystytä muuttamaan enää rakentamis- tai käyttövaiheessa ja muuttaminen voi koitua kalliiksi. Esimerkiksi keskitettyyn ilmanvaihtokoneeseen kannattaa tehdä jäähdytyspatterille varaus, vaikkei siihen ilmanvaihtokonetta hankkiessa investoitaistakaan. Jos jäähdytyspatteri lisätään jälkeempään, kanava pitää kondenssieristää, mikä on hyvä huomioida jättämällä asennustilaa kanaviston rakentamisvaiheessa. Rakennuksen teknisten ominaisuuksien parantaminen saattaa esimerkiksi kasvattaa kustannuksia ja päästöjä valmistusvaiheessa, mutta sen ansiosta talon elinkaaren aikainen energiankulutus, ympäristökuormitus ja kustannukset voivat pienentyä huomattavasti. [22.]

Kannattavuuslaskelmissa huoltokustannuksiin huomioidaan 1 %:n vuotuinen hinnan nousu. Kaukolämmön ja sähkön keskimääräinen vuotuinen kustannuskehitys lasketaan 4,5 %:n nousuna [17; 18]. Huolto- ja energian kustannuskehitykset vaikuttavat vuotuisiin säästöihin sekä menoihin. Hyvänä investoinnin takaisinmaksuaikana voidaan pitää 15 vuotta tarkasteltuna taloudellisesta näkökulmasta.

Investoinnin tuotto vuonna a voidaan ilmaista kaavalla 18:

$$T_a = W_a * H_{kl} * (1 + r_{kl})^a \quad , \quad (18)$$

jossa

T_a	on investoinnin tuotto vuonna a	[€]
W_a	on laitteiston tuottama säästö kaukolämmön lämmityskuluihin [kWh]	
H_{kl}	on kaukolämmön ostohinta [0,06 €/kWh]	
r_{kl}	on kaukolämmön vuosittainen kustannuskehitys [4,5 %]	
α	on kyseinen vuosi	

Investoinnin menot, eli huoltokustannukset ja järjestelmän sähkönkulutus vuonna a voidaan ilmaista kaavalla 19:

$$M_a = H_1 * (1 + r_h)^a + W_{iv} * H_s * (1 + r_s)^a \quad , \quad (19)$$

jossa

M_a	on investoinnin menot vuonna a [€]
H_1	on huoltokustannus ensimmäisenä vuotena hankinnasta [€]
r_h	on huoltokustannuksen vuosittainen kustannuskehitys [1%]
W_{iv}	on ilmanvaihtolaitteiston kuluttama sähkö vuoden aikana [kWh]
H_s	on sähkön ostohinta [0,111 €/kWh]
r_s	on sähkön vuosittainen kustannuskehitys [4,5 %]
α	on kyseinen vuosi

Investointien kannattavuuslaskelmat on tehty nykyarvoyhtälöllä, joka on kuvattu alla:

$$N = \sum_{a=1}^n \frac{1}{(1+r)^a} * T_a - \sum_{a=1}^n \frac{1}{(1+r)^a} * M_a - H \quad (20)$$

jossa

N	on investoinnin nykyarvo n vuoden päästä
a	on kyseinen vuosi
n	on n: s vuosi
r	on laskentakorko [3 %]
T _a	on investoinnin tuotto vuonna a [€]
M _a	on investoinnin menot vuonna a [€]
H	on investoinnin hankintahinta [€]

8.1 PILP-järjestelmän elinkaaritarkastelu

Luvussa 6 lasketut PILP-järjestelmän energiansäästöt on kerätty taulukkoon 13.

Taulukko 13. PILP-järjestelmän arvioidut säästöt vuodessa [15].

Rakennuksen arvioitu lämmitysverkoston energiankulutus vuodessa	623489	kWh/a
Rakennuksen arvioitu lämpimän käyttöveden energiankulutus vuodessa	197105	kWh/a
Rakennuksen arvioitu kaukolämmitysenergian käyttö yhteensä vuodessa	820593	kWh/a
Kaukolämmön kuluttama energian osuus euroina	49236	€
LTO-laitteen tuottama energia uima-allas-, lattialämmitys- ja patteriverkostoon vuodessa	219571	kWh/a
LTO-laitteen tuottama energia lämpimään käyttöveteen vuodessa	139944	kWh/a
LTO-laitteen tuottama energia rakennuksen lämmitykseen yhteensä	359516	kWh/a
LTO-laitteen tuottama energian osuus kaukolämmöstä euroina	21571	€
LTO-järjestelmän kuluttama sähköenergia vuodessa	94116	kWh/a
LTO-järjestelmän kuluttama sähköenergian osuus euroina	8941	€

Syöttämällä kaavaan 20 arvot $W_a = 359516 \text{ kWh}$, $H_1 = 531 \text{ €}$, $W_{iv} = 94116 \text{ kWh}$ ja $H = 131\,800 \text{ €}$ voidaan Excel-taulukkolaskentaohjelmalla luoda PILP-järjestelmälle kassavirtalaskelma (taulukko 14). Kun diskontoitu kassavirta on positiivinen, investointi on maksanut itsensä takaisin ja alkaa tuottamaan.

Taulukko 14. PILP-järjestelmän laskettu kassavirta tuleville vuosikymmenille [15].

PILP-JÄRJESTELMÄ										
	Hankinta H [€]	Huolto/ vuosi [€]	Sähkön kulutus [€/a]	Huolto+ sähkö yht. M [€]	PILP- järjestelmän tuotto T [€]	Kassa- virta vuodessa T-M	Laskenta- korko r%	Diskon- noinnin kerroin DK	Jäännös- arvo [€] (T-M)*DK	Kumulatiivinen diskonsoitu kassa- virta [€]
0	131800					-131800	3 %	1,00	-131800	-131800
1		536	10917	11453	22542	11088	3 %	0,97	10765	-121035
2		542	11408	11950	23556	11606	3 %	0,94	10940	-110095
3		547	11922	12469	24616	12147	3 %	0,92	11117	-98978
4		553	12458	13011	25724	12713	3 %	0,89	11295	-87683
5		558	13019	13577	26881	13305	3 %	0,86	11477	-76206
6		564	13605	14168	28091	13923	3 %	0,84	11660	-64546
7		569	14217	14786	29355	14569	3 %	0,81	11846	-52700
8		575	14857	15432	30676	15245	3 %	0,79	12034	-40666
9		581	15525	16106	32056	15951	3 %	0,77	12225	-28441
10		587	16224	16810	33499	16689	3 %	0,74	12418	-16023
11		592	16954	17546	35006	17460	3 %	0,72	12614	-3409
12		598	17717	18315	36582	18267	3 %	0,70	12812	9402
13		604	18514	19118	38228	19110	3 %	0,68	13013	22415
14		610	19347	19957	39948	19991	3 %	0,66	13216	35632
15		610	20218	20818	41746	20878	3 %	0,64	13428	48960
16		623	21127	21750	43624	21874	3 %	0,62	13631	62591
17		629	22078	22707	45588	22880	3 %	0,61	13843	76634
18		635	23072	23707	47639	23932	3 %	0,59	14058	91292
19		642	24110	24751	49783	25031	3 %	0,57	14275	106567
20		648	25195	25843	52023	26180	3 %	0,55	14495	122462
21		654	26329	26983	54364	27381	3 %	0,54	14719	138881
22		661	27513	28174	56810	28636	3 %	0,52	14945	155726
23		668	28752	29419	59367	29948	3 %	0,51	15174	173099
24		674	30045	30720	62038	31319	3 %	0,49	15407	190906
25		682	31397	32079	64830	32751	3 %	0,48	15642	209148
26		691	32810	33501	67747	34247	3 %	0,46	15880	227828
27		700	34287	34987	70796	35809	3 %	0,45	16121	246949
28		711	35830	36541	73982	37441	3 %	0,44	16365	266514
29		723	37442	38165	77311	39146	3 %	0,42	16612	286526
30		6000	39127	45127	80790	35663	3 %	0,41	14693	272035

PILP-järjestelmän investoinnin 12 vuoden takaisinmaksuaika vaikuttaa kannattavalta. Lyhyeen takaisinmaksu-aikaan vaikuttaa suuresti laitteiston pieni hankintahinta sekä huoltokustannukset.

Järjestelmän pieni hankintahinta verrattuna tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmiin perustuu pääosin ilmanvaihto- ja rakennusurakan töiden vähyyteen. PILP-järjestelmä ei vaadi vaativia muutoksia asuntojen ulkoilmalaitteisiin, sillä Konalan kohteessa oli jo ennestään koneellinen poistoilmanvaihto. Poistoilman päätelaitteet voidaan uusia entisten tilalle eikä tuloilman kanavointi vaadi alakaton koteloiteja, kuten koneellisessa tulo-poistoilmajärjestelmässä. Vuosittainen huoltokustannus on pyydetty laitevalmistajalta [liite 1].

8.2 Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän elinkaaritarkastelu

Luvussa 7 lasketut keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän investointi-, huolto- ja käyttökustannukset sekä arvioidut säästöt kaukolämmön kulutukseen on tiivistetty taulukkoon 15.

Taulukko 15. Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän arvioidut säästöt vuodessa [15].

Keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä			
Rakennuksen arvioitu korvausilman lämmityksen tarve painovoimaisessa tai yhteiskanavapoistojärjestelmässä	222413	kWh/a	
LTO-laitteen keräämä lämpöenergia vuodessa	177549	kWh/a	
LTO-laitteen keräämä lämpöenergia vuodessa euroina	10653	€	
Jälkilämmitykseen käytetty energia	29626	kWh/a	
Jälkilämmitykseen käytetty energia euroissa	1778	€	
Ilmanvaihtokoneen kuluttama sähköenergia vuodessa	13000	kWh/a	
Ilmanvaihtokoneen kuluttama sähköenergian osuus euroina	1443	€	
Ilmanvaihtokoneen tuottama säästö lämmitysenergiassa euroina	8875	€	

Syöttämällä kaavaan 20 arvot $W_a = 177549 \text{ kWh}$, $H_1 = 300 \text{ €}$, $W_{iv} = 13000 \text{ kWh}$ ja $H = 535\,000 \text{ €}$, voidaan Excel-tilukkolaskentaohjelmalla luoda keskitetylle ilmanvaihtojärjestelmälle kassavirtalaskelma (taulukko 16). Kun diskontoitu kassavirta on positiivinen, investointi on maksanut itsensä takaisin ja alkaa tuottamaan.

Taulukko 16. Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän laskettu kassavirta tuleville vuosikymmenille [15].

KESKITETTY ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄ										
a	Hankinta hinta H [€]	Huolto/ vuosi [€]	Sähkön kulutus [€/a]	Huolto+ sähkö yht. M [€]	LTO- järjestelmän tuotto T [€]	Kassa- virta vuodessa T-M	Laskenta- korko r%	Diskonnoinin kerroin DK	Jäännös- arvo [€] (T-M)*DK	Kumulatiivinen diskonsoitu kassa- virta [€]
0	555000					-555000	3 %	1,00	-555000	-555000
1		606	1508	2114	11132	9018	3 %	0,97	8756	-546244
2		612	1576	2188	11633	9445	3 %	0,94	8903	-537341
3		618	1647	2265	12157	9892	3 %	0,92	9053	-528288
4		624	1721	2345	12704	10359	3 %	0,89	9204	-519085
5		631	1798	2429	13276	10847	3 %	0,86	9356	-509728
6		637	1879	2516	13873	11357	3 %	0,84	9511	-500217
7		643	1964	2607	14497	11890	3 %	0,81	9668	-490549
8		650	2052	2702	15150	12448	3 %	0,79	9826	-480723
9		656	2144	2801	15831	13031	3 %	0,77	9987	-470736
10		11059	2241	13300	16544	3243	3 %	0,74	2413	-468323
11		669	2342	3011	17288	14277	3 %	0,72	10314	-458009
12		676	2447	3123	18066	14943	3 %	0,70	10481	-447528
13		683	2557	3240	18879	15639	3 %	0,68	10649	-436878
14		690	2672	3362	19729	16367	3 %	0,66	10820	-426058
15		697	2793	3489	20616	17127	3 %	0,64	10993	-415065
16		704	2918	3622	21544	17922	3 %	0,62	11169	-403896
17		711	3050	3760	22514	18754	3 %	0,61	11346	-392550
18		718	3187	3904	23527	19622	3 %	0,59	11526	-381024
19		725	3330	4055	24586	20530	3 %	0,57	11708	-369316
20		12339	3480	15819	25692	9873	3 %	0,55	5467	-363849
21		739	3637	4376	26848	22472	3 %	0,54	12080	-351769
22		747	3800	4547	28056	23509	3 %	0,52	12269	-339500
23		754	3971	4726	29319	24593	3 %	0,51	12461	-327039
24		762	4150	4912	30638	25726	3 %	0,49	12656	-314383
25		769	4337	5106	32017	26911	3 %	0,48	12853	-301531
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44		930	10009	10938	73890	62952	3 %	0,27	17146	-25761
45		939	10459	11398	77215	65817	3 %	0,26	17405	-8356
46		948	10930	11878	80690	68812	3 %	0,26	17667	9311
47		958	11422	12379	84321	71942	3 %	0,25	17932	27243

Keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän arvioidut investointikustannukset olivat suurimmat oppinäytetyössä käsitellystä kolmesta vaihtoehdosta. Hankintahinnan suuruuteen vaikutti rakenteelliset ja asennustekniset työt. Vesikaton purku- ja uusimiskustannuksiin vaikuttavat esim. katon materiaali, kantokyky ja mahdollinen lisäeristäminen rakennusvaiheessa. Vuosittaiset huoltokustannukset osoittautuivat kaikista halvimmaksi suodattimien vähäisen määrän ansiosta.

8.3 Hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän elinkaaritarkastelu

Luvussa 7 lasketut hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän investointi-, huolto- ja käyttökustannukset sekä arvioidut säästöt kaukolämmön kulutukseen ovat tiivistettynä taulukossa 17.

Taulukko 17. Hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän arvioidut säästöt vuodessa [15].

Hajautettu ilmanvaihtojärjestelmä			
Rakennuksen arvioitu korvausilman lämmityksen tarve	222413	kWh/a	
painovoimaisessa tai yhteiskanavapoistojärjestelmässä			
LTO-laitteen keräämä lämpöenergia vuodessa	171097	kWh/a	
LTO-laitteen keräämä lämpöenergia vuodessa euroina	10266	€	
Jälkilämmitykseen käytetty energia	37558	kWh/a	
Jälkilämmitykseen käytetty energia euroissa	4169	€	
Ilmanvaihtokoneen kuluttama sähköenergia vuodessa	11858	kWh/a	
Ilmanvaihtokoneen kuluttama sähköenergian osuus euroina	1316	€	
Ilmanvaihtokoneen tuottama säästö lämmitysenergiassa euroina	6097	€	

Syöttämällä kaavaan 20 arvot $W_a = 171097 \text{ kWh}$, $H_1 = 846\text{€}$, $W_{iv} = 11858 \text{ kWh}$ ja $H = 480\,000 \text{ €}$, voidaan Excel-tilukkolaskentaohjelmalla luoda hajautetulle ilmanvaihtojärjestelmälle kassavirtalaskelma (taulukko 18). Kun diskontoitu kassavirta on positiivinen, investointi on maksanut itsensä takaisin ja alkaa tuottamaan.

Taulukko 18. Hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän laskettu kassavirta tuleville vuosikymmenille [15].

ASUNTOKOHTAINEN ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄ										
a	Hankinta	Huolto/	Sähkön	Huolto+	LTO-	Kassa-	Laskenta-	Diskon-	Jäännös-	Kumulatiivinen
	hintaa	vuosi	kulutus	sähkö	järjestelmän	virta	korko	noinnin	arvo	diskonsoitu
	H [€]	[€]	[€/a]	M [€]	T [€]	T-M	r%	DK	(T-M)*DK	virta [€]
0	479500					-479500	3 %	1,00	-479500	-479500
1		1709	1375	3084	10728	7643	3 %	0,97	7421	-472079
2		1726	1437	3163	11211	8047	3 %	0,94	7585	-464494
3		1743	1502	3245	11715	8470	3 %	0,92	7751	-456743
4		1761	1570	3330	12242	8912	3 %	0,89	7918	-448825
5		1778	1640	3419	12793	9375	3 %	0,86	8087	-440738
6		1796	1714	3510	13369	9859	3 %	0,84	8256	-432482
7		1814	1791	3605	13970	10365	3 %	0,81	8428	-424054
8		1832	1872	3704	14599	10895	3 %	0,79	8601	-415453
9		1851	1956	3806	15256	11450	3 %	0,77	8775	-406678
10		18916	2044	20960	15943	-5018	3 %	0,74	-3734	-410412
11		1888	2136	4024	16660	12636	3 %	0,72	9129	-401283
12		1907	2232	4139	17410	13271	3 %	0,70	9308	-391975
13		1926	2333	4258	18193	13935	3 %	0,68	9489	-382486
14		1945	2438	4382	19012	14629	3 %	0,66	9672	-372814
15		1964	2547	4512	19867	15356	3 %	0,64	9856	-362958
16		1984	2662	4646	20761	16116	3 %	0,62	10043	-352915
17		2004	2782	4785	21696	16910	3 %	0,61	10231	-342684
18		2024	2907	4931	22672	17741	3 %	0,59	10421	-332263
19		2044	3038	5082	23692	18610	3 %	0,57	10613	-321650
20		20895	3174	24070	24758	689	3 %	0,55	381	-321269
21		2085	3317	5402	25872	20470	3 %	0,54	11004	-310265
22		2106	3466	5572	27037	21464	3 %	0,52	11202	-299063
23		2127	3622	5749	28253	22504	3 %	0,51	11402	-287661
24		2148	3785	5934	29525	23591	3 %	0,49	11605	-276055
25		2170	3956	6126	30853	24728	3 %	0,48	11810	-264245
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43		2595	8736	11332	68139	56807	3 %	0,28	15937	-26622
44		2621	9129	11751	71205	59454	3 %	0,27	16194	-10428
45		2648	9540	12188	74409	62222	3 %	0,26	16454	6026
46		2674	9969	12643	77758	65114	3 %	0,26	16717	22743

Asuntokohtaisen ilmanvaihtojärjestelmän huoltokustannukset ovat suurimmat kaikista kolmesta tarkastellusta ilmanvaihtojärjestelmästä. Ilmanvaihtokone on halvin, mutta asuntokohtaisen ilmanvaihdon tuomat rakennustekniset ongelmat nostavat investointikustannukset melkein keskitetyn järjestelmän tasolle. Suurimmat rakennustekniset ongelmat ovat jäteilman vienti paloeristettynä vesikatolle sekä alakaton kotelointi asunnossa. Koneen kondenssiviemäroinnin piiloasennus vaatii kylpyhuoneen vedeneristeen uusimisen. Pääkaupunkiseudulla ulkoseinästä alimmissa kerroksissa imetty koneen rai-tilma voi olla hyvinkin liikaista ja rasittaa suodattimia entisestään.

9 Pohdinta

Suomessa on suuri määrä vanhoja asuinkerrostaloja, joissa lämmitysenergiaa menee harakoille painovoimaisen tai koneellisen poistoilmanvaihtojärjestelmän kautta. Tässä opinnäytetyössä todistettiin ilmanvaihdon lämmön talteenoton pystyvän ottamaan siitä talteen suurimman osan ja kierrättämään sen takaisin kiinteistön käyttöön.

Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin neuvosto laativat vuonna 2010 direktiivin 2010/31/EU rakennusten energiatehokkuudesta. Direktiivin tarkoituksena on vähentää rakennusten energiankulutusta unionin alueella. Suomessa ympäristöministeriö julkaisi sen pohjalta asetuksen 4/13, Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Tämän opinnäytetyön kannalta oleelliset määräykset ovat pykälässä 5, jossa määrätään, että ilmanvaihdon lämmön talteenoton vuosihyötysuhteen on oltava vähintään 45 %, koneellisen poistoilmajärjestelmän SFP-luku saa olla enintään 1,0 kW/(m³/s) ja koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän SFP-luku enintään 2,0 kW/(m³/s). Laitevalmistajilta saaduista koneajoista näkee, että ilmanvaihdon uusimisella nykyaikaiseksi tavoitearvoihin on helppo päästä [liitteet 1–3]. Vaikka tavoitearvot ovat helposti saavutettavissa, energiahintojen jatkuvan nousun takia asiantuntija-asemassaan erityissuunnittelijoiden on tärkeää olla vastuunkantajina ja nostaa energiatehokkuutta esiin tavallisten kuluttajien tietoisuuteen.

Koneellisen tulo-poistoilmanvaihdon saneeraus painovoimaisen tai koneellisen poistoilmanvaihdon asuinkerrostaloon ei taloudellisuustarkastelun mukaan vaikuta houkuttelevalta. Syynä on liian suuri hankintahinta investoinnille. Koneellisen tulo-poistoilmanvaihtoon ei kannata päivittää pelkästään energiansäästösyistä, rakennuksen käyttäjiä on monenlaisia, jotka arvostavat erilaisia arvoja. Joillekin investoinnin perusteina ovat pikemminkin terveellinen ja puhdas sisäilmasto ja joillekin sen säädeltävyys. Laajenevan ajoneuvokannan tuovat melut ja saasteet eivät ajaudu huoneilmaan yhtä helposti kuin PILP-järjestelmässä tuloilman suodatuksen ja äänenvaimentamisen vuoksi. Hyvin rakennettu ilmanvaihtojärjestelmä parantaa myös rakennuksen elinkaarta, sillä hallitsemattomat ilmapirtaukset rakenteiden välillä vähenee.

Yleisesti 10–15 vuoden välille asettava takaisinmaksuaika on koettu taloudellisessa tarkastelussa rajana investoinnin toteutuksella. Investointia voidaan suositella harkittavan,

mutta pelkästään taloudellisessa mielessä tarkasteltuna se ei välttämättä ole houkuttelevaa.

Taloudelliset perusteet ovat yleensä suurin tekijä investointia mietittäessä. Myös muita näkökulmia, kuten päästövaikutuksia voidaan huomioida investointia päätettäessä. Sähkö- ja kaukolämpöenergian tuotto aiheuttavat eri määrän päästöjä, yleisesti sähkön tuotantoon käytetään enemmän primäärienergiaa kuin kaukolämmön tuotantoon [23]. PILP-järjestelmällä varustettu rakennus kuluttaa enemmän sähköenergiaa mutta vastavasti laskee kaukolämmön kulutusta. Edellä tehtyjen elinkaarilaskelmien perusteella PILP-järjestelmät ovat energiatehokkaampia verrattuna täysin kaukolämmitteiseen rakennukseen, sillä kaukolämmityksen osuus pienenee lämpöpumpulla selkeästi enemmän verrattuna sähkönkulutuksen kasvuun.

PILP-järjestelmien tarjoajia on markkinoilla useita, ja kullakin tarjoajalla on oma tapansa laskea ja perustella investoinnin kannattavuutta. Eriävät kannattavuuslaskelmat heikentävät niiden vertailtavuutta keskenään. Mikäli PILP-hanketta päätetään viedä eteenpäin, laskelmat kannattaa arvioida kolmannen osapuolen toimesta.

Energian hintojen muodostumisiin vaikuttavat esimerkiksi poliittinen ohjaus, kuten paikalliset ja kansainväliset päästösopimukset sekä maailmantalouden tilanne yleensä. Nykyaikana tehtävät hintakehitystä ohjaavat poliittiset päätökset perustuvat eri asioihin kuin historiassa tehdyt ohjaavat päätökset. Tämän takia hintakehitysten ei voida olettaa noudattavan historiassa nähtyä kehitystä. Oletettavaa on, että tulevaisuudessa hintatasoja ohjaavien päätösten takana on asioita, joita ei vielä nykyaikana osata huomioida.

Luvussa 8 tehdyt laskut osoittavat, että niin PILP-järjestelmä kuin myös koneelliset tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmät säästävät energiaa enemmän kuin kuluttavat sitä. Nykyaikaisien lämmöntalteenottolaitteiden vuosihyötysuhteet ovat yli 80 %, jolloin järjestelmä kykenee ottamaan poistoilmasta enemmän energiaa talteen kuin järjestelmän sähkölaitteet sitä kuluttavat. PILP-järjestelmän arvioitu takaisinmaksuaika oli reilu 10 vuotta, kun taas koneellisen tulo-poistoilmanvaihtojärjestelmän yli 40 vuotta. Takaisinmaksuaikojen suureen vaihteluun pääsääntöisesti vaikuttivat investointi- ja huoltokustannukset, jotka PILP-järjestelmässä olivat huomattavasti pienemmät.

Lähteet


- 1 Lämmitysenergian kulutus. 2016. Verkkoaineisto. Motiva.
<https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/tieto_energian_ja_vedenkulutuksesta/lammitysenergiankulutus>. Päivitetty 25.11.2016. Luettu 9.9.2019.
- 2 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU. 2010. Verkkoaineisto. Euroopan unionin virallinen lehti. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=FI>>. Päivitetty 18.6.2010. Luettu 9.9.2019.
- 3 Energian loppukäyttö. Verkkoaineisto. Tilastokeskus.
<https://www.stat.fi/meta/kas/energian_loppuk.html>. Luettu 9.9.2019
- 4 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. 4/13. 2013.
- 5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2013. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5.
- 6 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. 2017. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa 1048/2017.
- 7 Sisäilma haltuun. Verkkoaineisto. Hengitysliitto.
<https://www.hengitysliitto.fi/sites/default/files/oppaat/sisailma_haltuun_opas.pdf>. Luettu 18.9.2019.
- 8 Laitinen, Santtu. 2018. Sisäilman hiilidioksidipitoisuusmittaus opetustilojen ja päiväkotien lepohuoneiden ilmanvaihdon riittävyyden arvioinnissa. Opinnäytetyö. Itä-Suomen yliopisto. Aducate-tietopalvelu.
- 9 Painovoimainen ilmanvaihto. 2018. Verkkoaineisto. Suomen LVI-liitto.
<<https://sulvi.fi/wp-content/uploads/2018/04/Painovoimaisen-ilmanvaihdon-ohjeluonnos-2018.pdf>>. Luettu 16.9.2019.
- 10 Sandberg, Esa. 2016. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Toinen painos. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 11 Vikblom, Aku. 2019. Suunnittelupäällikkö, VisioPlan Talotekniikka Oy, Helsinki. Keskustelu 16.9.2019.
- 12 Valkonen, Henri. 2016. Keskitetyn ja hajautetun ilmanvaihtojärjestelmän vertailu. Opinnäytetyö. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

- 13 Lepola, Ristomatti. 2016. Poistoilmalämpöpumppujärjestelmän mitotus ja valinta. Opinnäytetyö. Mikkelin Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 14 Vikblom, Aku. 2011. Lämmön talteenotto poistoilmalämpöpumpulla asuinrakennusten yhteiskanavajärjestelmällä. Insinööriö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 15 Suunnittelutoimistossa tehtyjä laskentoja ja laitevalmistajilta saatuja tietoja. Vuosi 2019.
- 16 Sähkönsiirto Helsingissä. Verkkoaineisto. Helen Oy.
<<https://www.helen.fi/sahko/kodit/helen-sahkoverkko>>. Luettu 25.10.2019.
- 17 Sähkön tarjoushintojen kehitys. 2019. Verkkoaineisto. Energiavirasto. Energiaviraston internet-sivuilta ladattu Excel-taulukko.
<<https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>>. Luettu 12.1.2020.
- 18 Kaukolämmön hinnat 1.1.2016 ja 1.7.2019. Verkkoaineisto. Energiateollisuus.
<https://energia.fi/julkaisut/tilastot/kaukolampotilastot/kaukolammon_hinta>. Luettu 12.1.2020.
- 19 Talvisään tilastoja. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos.
<<https://ilmatieteenlaitos.fi/talvivilastot>>. Luettu 14.1.2020.
- 20 Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta D3. 2011.
- 21 Laskukaavat: lämmin käyttövesi. Verkkoaineisto. Motiva
<[https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian_kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi)>. Päivitetty 6.2.2019. Luettu 15.9.2019.
- 22 Rakennuksen elinkaari kestävän rakentamisen lähtökohtana. Verkkoaineisto. Rakennusteollisuus.
<<https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Ilmasto-ymparisto-ja-energia/Kestava-rakentaminen/Rakennuksen-elinkaari/>>. Luettu 13.12.2019.
- 23 Keto, Matias. 2010. Energiamuotojen kerroin. Aalto-yliopiston teknillinen korkeakoulu

Liite 1. Poistoilmalämpöpumpun arvioitu vuosihuoltokustannus



Liite 2. Keskitetyn ilmanvaihtokoneen koneajo

FläktGroup			
ILMANKÄSITTELYKONE eQ Prime			
Projekt	36010 (JM2.9.2019) / VisioPlan 2.9.2019	Acon 2.42.16114.18880	
ACON-tunnus	ACON-02502844		
Kone	1 () / eQ Prime-008	2019-09-03	
Konekoko	008	Sivu 5/14	
Asiakas			
Asiakkaan viite			
Oma viite	Jari Malinen		
Tuloilmavirta	0,70 m ³ /s	Poistoilmavirta	0,70 m ³ /s
Ulkoinen painehäviö	300 Pa	Ulkoinen painehäviö	300 Pa
Jännite	3x400VAC±10%+N+PE, 50Hz	Paino	756 kg
	2,02 kW/(m ³ /s)	Mitoittavan toimintapisteen mukaan	
Ilman tiheys	1,2 kg/m ³	Korkeus mpy	0 m
LYHYT TEKNINEN ERITTELY			
Kone			
Tuloilmavirta	0,70 m ³ /s	Asennus	Sisäasennus, vaakasuora
Ulkoinen painehäviö	300 Pa	Materiaali	Aluzink teräs
Sisäinen painehäviö	417 Pa	Lämpöeristys	T3
Poistoilmavirta	0,70 m ³ /s	Kondenssieristys	TB3
Ulkoinen painehäviö	300 Pa	Tiivysluokka	L2 (CEN B)
Sisäinen painehäviö	249 Pa	Vaipan lujuusluokka	CEN D2
Mitoittava lämpötila kesällä	25 °C	Yhdistetty suodatusluokka, tuloilma	ePM1 - 55,0%
Mitoittava kosteus kesällä	60 %	Yhdistetty suodatusluokka, poistoilma	ePM10 - 50,0%
Mitoittava lämpötila talvella	-26 °C		
Mitoittava kosteus talvella	89,9 %		
Lämpötila sisään, tuloilma/kesä	16 °C	Lämpötila sisään, poistoilma/kesä	22 °C
Kosteus sisään, tuloilma/kesä	50 %	Kosteus sisään, poistoilma/kesä	55 %
Lämpötila sisään, tuloilma / talvi	20 °C	Lämpötila sisään, poistoilma / talvi	22 °C
Kosteus sisään, tuloilma / talvi	40 %	Kosteus sisään, poistoilma / talvi	20 %
Sekoitussuhde mitoittavassa ulkolämpötilassa	0 %		
Lämpötilahyötysuhde (EN308)	85,7 %	Lämmön talteenoton teho	38,1 kW
SFP tuloilma	1,06 kW/(m ³ /s)	Kokonaispaino	756 kg
SFP poistoilma	0,95 kW/(m ³ /s)		
SFP yhteensä	2,02 kW/(m ³ /s)	Suurimman lohkon paino	450 kg
Ekosuunnittelusetus ()			
 Täyttää asetuksen vaatimuksen vuodelle: 2018			
Koneen tyyppi: NRVU BVU			
SFPint (2016: 1657 W/(m ³ /s), 2018: 1377 W/(m ³ /s))			597 W/(m ³ /s)
Lämpötilahyötysuhde tasailmavirroilla (EN308) (2016: 67 %, 2018: 73 %)			85,7 %
Vaipan vuoto			0,5 %
Sisäinen vuoto			0,0 %
	Tuloilma	Poistoilma	Yksikkö
Lämmön talteenotto painehäviö	114	114	Pa
Suodatin energialuokitus	C	E	
Suodatin alkupainehäviö	59	36	Pa
Suodatin ala	0,3	0,3	m ²
Suodatin otsapintanopeus	2,2	2,4	m/s
Nopeusluokka			
Ilmavirta	0,70	0,76	m ³ /s
Paine	645	494	Pa
Puhallin liitäntähäviö	12	14	Pa
Puhallin kokonaishyötysuhde	60,4	56,2	%

Liite 3. Hajautetun ilmanvaihtokoneen koneajo

9.1.2020

Tulosta ProCASA

ProCASA v7.5.1
2020-01-09

Projektin tiedot

Projekti

Asiakas

Suunnittelija

osoite

Tuloilmavirta

30 l/s

108 m³/h

Painehäviö tuloilmakanavistassa

60 Pa

Poistoilmavirta

30 l/s

108 m³/h

Painehäviö poistoilmakanavistassa

60 Pa

Keittiökuvun ilmavirta

0 l/s

0 m³/h

Käyttöaika vuorokaudessa

24 h/d

Laitetiedot

Laitte

W3 Smart

Kytkeväteho

1240 W

Puhaltimien ottotehot

Tuloilma

14 W

Poistoilma

15 W

SFP

0,96 kW / (m³/s)

Puhaltimien vuotuinen sähkönkulutus

251 kWh

SPI

0,27 W / (m³/h)

Äänitiedot

Taajuuskaista (Hz)

63,	125,	250,	500,	1k,	2k,	4k,	8k,	L _{wa}
L _w	L _w	L _w	L _w	L _w	L _w	L _w	L _w	
dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB(A)
67	58	56	49	42	37	30	25	52
49	55	45	37	31	23	11	0	42
56	48	46	39	31	27	20	14	41
67	58	56	49	42	37	30	25	52
55	52	48	41	37	32	25	10	44
45	45	42	30	25	21	12	10	36
								32

Koneen asennus keittiökaappien väliin vähentää ääntä 2 dB

ProCASA v7.5.1

2020-01-09

**Lämmitysenergian nettokulutus**

Ilmanvaihdon lämmitystarve ilman LTO:ta

Lämmönsäilytimen lämpötilahyötysuhde

Mittaukset EN-13141-7:2010 ja EN-308:1997 mukaan.

FIN - Helsinki**4694 kWh****82 %****Ilmanvaihdon lämmitystarve LTO:lla**

Etulämmitys

Jälkilämmitys 17 °C

Korvausilman lämpeneminen 21 °C

296 kWh**36 kWh****108 kWh**

Tulolman lämpeneminen tilassa 21 °C

Kulutettu kokonaisenergia ilman lämmittämiseen 21°C

765 kWh**1205 kWh**

Energiankulutuksen vuosihyötysuhde

74 %