

Maria Mård

KESKITETYN, KERROSKOHTAISEN
JA HUONEISTOKOHTAISEN
ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄN
KOKONAISKUSTANNUSTEN
VERTAILU ASUINKERROSTALOSSA

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Talotekniikan koulutus

2024



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

| | |
|-----------------|--|
| Tutkintonimike | Insinööri (AMK) |
| Tekijä/Tekijät | Maria Mård |
| Työn nimi | Keskitetyn, kerroskohtaisen ja huoneistokohtaisen ilmanvaihtojärjestelmän kokonaiskustannusten vertailu asuinkerrostalossa |
| Toimeksiantaja | FläktGroup Finland Oy |
| Vuosi | 2024 |
| Sivut | 36 sivua, liitteitä 2 sivua |
| Työn ohjaaja(t) | Tero Lahikainen (XAMK), Juho Kääriäinen (FläktGroup) |

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyössä vertailtiin kolmella eri tavalla toteutetun ilmanvaihtojärjestelmäratkaisun kustannuksia. Pää tavoite oli selvittää kokonaiskustannuksiltaan paras ilmanvaihtoratkaisu asuinkerrostalorakentamiseen. Lisäksi työssä selvitettiin, mitä elinkaarikustannuksilla tarkoitetaan ja miten elinkaarikustannuksia lasketaan. Työssä keskityttiin vertailemaan tulo- ja poistoilmajärjestelmiä niiden investointi-, huolto- ja energiankulutuskustannuksien pohjalta. Vertailu toteutettiin keskitetyn, kerroskohtaisen ja huoneistokohtaisen ilmanvaihtojärjestelmän välillä. Työn toimeksiantajana toimii FläktGroup Finland Oy.

Opinnäytetyössä käytettiin kvantitatiivista tutkimusmenetelmää. Tutkimusaineistoa kerättiin artikkeleista, asetuksista, standardeista, oppaista, liittojen sivuilta ja tuotevalmistajan tiedoista. Tutkimuksessa kerättiin tietoa ilmanvaihtojärjestelmien kustannuksista ja koottiin numeerinen data Excel-taulukkoon. Laskenta suoritettiin nykyarvomenetelmää käyttäen siirtämällä tulevaisuudessa muodostuvat kustannukset samaan aika-arvoon. Ilmanvaihtojärjestelmien kustannusvertailun luotettavuutta tarkasteltiin työssä herkkyyksianalyysin avulla muuttamalla laskentakorkoa suuremmaksi sekä tarkastelemalla kustannuksia ilman laskentakorkoa. Kustannuksien tulokset esitettiin taulukon ja viivakaavioiden avulla vertailevaa tapaa käyttäen.

Työssä selvitettiin komponenttien määrät ja järjestelmien painehäviöt mallintamalla eri ilmanvaihtojärjestelmät MagiCAD Revit -ohjelmalla. Mallinnuskohdeeksi valikoitui asuinkerrostalo, joka koostui viidestä asuinkerroksesta ja ullakkokerroksesta. Rakennuksessa oli 29 asuntoa, joiden yhteenlaskettu asuinpinta-ala oli 2200 m² ja rakennuksen kokonaispinta-ala oli 2600 m². Ilmanvaihtojärjestelmien lämmitysenergian ja puhaltimien sähköenergian kulutukset selvitettiin käyttäen energiastimulointiohjelmaa Riuskaa. Työssä käytettiin asuinkerrostalosta valmiiksi luotua IFC-mallia, josta rakenteiden tiedot, seinät, ikkunat, ovet, u-arvot ja muut lähtötiedot rakennuksesta pystyttiin siirtämään Riuskaan.

Elinkaarikustannuksien vertailussa kokonaiskustannuksiltaan edullisimmaksi järjestelmäksi muodostui tämän opinnäytetyön tarkastelussa keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä. Tarkasteluajanjakson pituutena käytettiin 50 vuotta. Keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä oli investointi- ja huoltokustannuksiltaan edullisin, kun taas energiankulutus kustannuksiltaan huoneistokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä oli tarkastelussa edullisin.

Asiasanat: ilmanvaihto, ilmanvaihtojärjestelmät, elinkaari, kustannukset

| | |
|------------------|--|
| Degree title | Bachelor of Engineering |
| Author (authors) | Maria Mård |
| Thesis title | Comparison of the total cost of a centralized, semi-centralized and decentralized ventilation system in a residential apartment building |
| Commissioned by | Fläkt Group Oy |
| Time | 2024 |
| Pages | 36 pages, 2 pages of appendices |
| Supervisor | Tero Lahikainen (XAMK), Juho Kääriäinen (FläktGroup) |

ABSTRACT

In this thesis, the costs of a ventilation system solution implemented in three different ways were compared. The main goal was to find the best ventilation solution in terms of total costs for the construction of apartment buildings. In addition, the study investigated what life cycle costs mean and how life cycle costs are calculated. The work focused on comparing supply and exhaust air systems, their investment, maintenance and energy consumption based on costs. A comparison was made between a centralized, semi-centralized and decentralized ventilation system. The thesis was assigned by FläktGroup Finland Oy.

A quantitative research method was used in the thesis. The research material was collected from articles, regulations, standards, guides, union websites and product manufacturer information. Data was collected on the cost of ventilation systems and numerical data was compiled into an Excel spreadsheet. The calculation was carried out using the present value method by transferring future costs to the same time value. The reliability of the cost comparison of ventilation systems was examined in the work by means of a sensitivity analysis, by changing the calculation rate higher and by examining costs without the calculation rate. The cost results were presented using a table and line charts using a comparative method.

The number of components and pressure drops in the systems were determined by modelling different ventilation systems with MagiCAD Revit. A residential apartment building consisting of five residential floors and an attic floor was selected as the modelling site. The building had 29 apartments with a total living area of 2200 m² and a total building area of 2600 m². The heating energy consumption of the ventilation systems and electric energy consumption of fans were determined using the energy stimulation program Riuska. The work used a pre-created IFC model of a residential apartment building, from which the data of the structures, walls, windows, doors, u-values and other initial data from the building could be transferred to Riuska.

The comparison of life cycle costs revealed that the most affordable system in terms of total costs was the centralized ventilation system. The length of the review period was 50 years. The centralized ventilation system was the most economical in terms of investment and maintenance costs, while the decentralized ventilation system was the most economical in terms of energy consumption.

Keywords: ventilation, ventilation systems, life cycle, costs

SISÄLLYS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | JOHDANTO..... | 5 |
| 2 | ILMANVAIHTO JA ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄT..... | 6 |
| 2.1 | Ilmanvaihto ja sisäilmasto..... | 6 |
| 2.2 | Koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä..... | 7 |
| 2.2.1 | Huoneistokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä..... | 8 |
| 2.2.2 | Keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä..... | 8 |
| 2.2.3 | Kerroskohtainen ilmanvaihtojärjestelmä..... | 9 |
| 2.3 | Ilmanvaihtojärjestelmien huolto..... | 9 |
| 2.4 | Ilmanvaihtojärjestelmien energiatehokkuus..... | 11 |
| 3 | ELINKAARIKUSTANNUKSET..... | 13 |
| 3.1 | Elinkaarikustannusten sisältö..... | 13 |
| 3.2 | Elinkaarikustannusten laskeminen..... | 14 |
| 4 | TUTKIMUKSEN TAVOITTEET..... | 17 |
| 5 | MENETELMÄT JA AINEISTOT..... | 18 |
| 6 | ILMANVAIHTOJÄRJESTELMIEN KUSTANNUSTEN SELVITTÄMINEN..... | 19 |
| 6.1 | Ilmanvaihtojärjestelmien komponenttien määrät..... | 20 |
| 6.2 | Ilmanvaihtojärjestelmien energiankulutus..... | 23 |
| 6.3 | IV-koneet..... | 24 |
| 7 | TULOKSET..... | 26 |
| 7.1 | Alkuinvestointikustannukset..... | 27 |
| 7.2 | Käyttö- ja ylläpitokustannukset..... | 28 |
| 7.3 | Yhteenvedo kustannuksista..... | 29 |
| 8 | POHDINTA..... | 32 |
| | LÄHTEET..... | 35 |

LIITTEET

Liite 1. Kuvaluettelo

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihe sai alkunsa FläktGroupin tarpeesta saada selville kokonaiskustannuksiltaan paras ilmanvaihtojärjestelmäratkaisu asuinkerrostalo rakentamiseen. Opinnäytetyössä vertaillaan kolmella eri tavalla toteutettua koneellista tulo- ja poistojärjestelmää niiden investointi-, huolto- ja käyttökustannusten pohjalta. Ilmanvaihtojärjestelmät valikoituivat toimeksiantajan toiveiden mukaan, ja vertailu toteutettiin keskitetyn, kerroskohtaisen ja huoneistokohtaisen ilmanvaihtojärjestelmän välillä. Ilmanvaihtojärjestelmien vertailussa haluttiin keskittyä pääosin rakentamiskustannusten ja elinkaarikustannusten vertailumiseen. Työssä vertailtavat järjestelmän komponentit ja ilmanvaihtokoneet ovat FläktGroupin tuotteita. Vertailusta saatuja tuloksia on tarkoitus hyödyntää FläktGroupin markkinoinnissa vertailtaessa eri toteutustapoja.

Opinnäytetyössä perehdytään aluksi ilmanvaihtojärjestelmien perusteisiin, huoltamiseen, energiatehokkuuteen ja elinkaarikustannuksiin teorian pohjalta. Työssä on keskeistä selvittää, mistä elinkaarikustannukset muodostuvat ja miten niitä lasketaan. Kustannuksien selvittämiseksi työssä mallinnetaan esimerkkiratkaisut kolmesta vertailtavasta ilmanvaihtojärjestelmästä käyttäen samaa asuinkerrostalon arkkitehtipohjakuvaa. Järjestelmien mallinnuksessa käytetään MagiCAD Revit -ohjelmaa, jota hyödyntäen pystytään selvittämään järjestelmien painehäviöt ja komponenttien kappalemäärät. Ilmanvaihtojärjestelmien energiankulutusten selvittämisessä käytettiin energiastimulointiohjelma Riuskaa. Lähtötietoina hyödynnettiin asuinkerrostalosta luotua IFC-mallia, josta saatiin rakenteiden tiedot ja u-arvot siirrettyä Riuskaan. Työn toteutusta ja kustannuksien selvittämistä avataan tarkemmin menetelmät ja aiheet -osioissa sekä ilmanvaihtojärjestelmien kustannuksien selvittäminen -osioissa.

2 ILMANVAIHTO JA ILMANVAIHTOJÄRJESTELMÄT

2.1 Ilmanvaihto ja sisäilmasto

Rakennuksen sisäilmasto koostuu erilaisista olosuhde- ja kuormitustekijöistä, joita ilmanvaihdon avulla pyritään hallitsemaan. Ilmanvaihdon tarkoitus on luoda rakennukseen terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilma. Ilman kosteudella ja lämpötilalla on suuri vaikutus siihen, millaisena ihminen kokee sisäilman laadun. Viihtyisään sisäilmaan vaikuttaa myös lämpötilaerot ja -vaihtelut, pintalämpötilat, ilman suhteellinen kosteus ja ilman liikenopeus. Vaikka lämpötila koetaan yksilöllisesti, on huomioitava, että liian matala tai korkea lämpötila saattaa aiheuttaa terveysongelmia. Huonelämpötila suunnitellaan pääsääntöisesti 21 celsiusasteella, jollei tilan käyttötarkoitus edellytä erilaisia lämpötiloja. (Hengitysliitto s.a; Ympäristöministeriön asetus 1009/2017, 4.§.)

Sisäilman kosteus on suunnitteleva tilan käytön perusteella, niin ettei kosteusvaurioita, mikrobikasvustoa ja sen myötä terveysongelmia pääse syntymään (Ympäristöministeriön asetus 1009/2017, 6.§). Asuinrakennusten ilmanvaihdossa on erityisesti kiinnitettävä huomiota märkätilojen kosteuden ja ruoanvalmistuksesta aiheutuvien epäpuhtauksien poistoon, joiden ilmanvaihtoa olisi hyvä pystyä tehostamaan. Kosteutta muodostuu sisäilmaan esimerkiksi peseytyessä, saunoessa, ruoanvalmistuksessa, pyykinpesussa sekä lemmekeistä ja huonekasveista. Kosteuskuormien ja epäpuhtauksien siirtymistä oleskelutiloihin pyritään hallitsemaan ilmanjaon avulla toteuttamalla se niin, että ilma virtaa puhtaimmista tiloista kohti likaisempia tiloja. (Hengitysliitto s.a.) Tuloilmaa tuodaan asuinrakennuksissa pääasiassa makuuhuoneisiin, olohuoneeseen ja saunoihin. Ilmaa poistetaan märkätiloista, saunoista, wc:stä, keittiöstä, vaatehuoneista, varastoista ja teknisistä tiloista. (Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen 2019.)

Sisäilman laadulla on vaikutusta ihmisten terveyteen ja liiallisissa määrin hengitettynä hiukkasmaiset epäpuhtaudet, mikrobit ja kemikaalit voivat aiheuttaa esimerkiksi hengitystiesairauksia. Tämän vuoksi ilma ei saa sisältää liiallisessa määrin hiukkasmaisia epäpuhtauksia, fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä. Ilman mukana kulkeutuvia hajuja ei myöskään saa esiintyä jatkuvasti sisäilmassa. Ilmassa olevaa hiilidioksidia muodostuu myös ihmisen aineenvaihdunnan mukana. Suurina pitoisuuksina se kuitenkin on terveydelle

haitallista, ja sille on asetettu raja-arvo, jonka mukaan sisäilman hiilidioksidipitoisuus saa lyhytkestoisesti ylittää ulkoilman pitoisuuden enintään 800 ppm. Suomen sisäilman radonpitoisuudet ovat keskiarvoa isompia verrattuna muiden maiden pitoisuuksiin. Raadonkaasu on terveydelle haitallista ja voi jopa aiheuttaa syöpää. Uusissa asunnoissa radonpitoisuuden vuosikeskiarvo saa enintään olla 200 Bq/m³. Sisäilman laatuun voidaan vaikuttaa monella tapaa kuten esimerkiksi oikein toteutetulla ilmanvaihdolla, huolehtimalla tilojen siisteystestä, puhdistamalla ilmanvaihtolaitteistot säännöllisesti ja käyttämällä M1-luokan vähäpäästöisiä materiaaleja. (Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas 2019, 5; Sisäilmayhdistys s.a.)

2.2 Koneellinen tulo- ja poistojärjestelmä

Suurin osa uusista asuinrakennuksista toteutetaan koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmällä. Koneellisessa tulo- ja poistojärjestelmässä huone-tiloihin tuotua ja sieltä poistettua ilmaa ohjataan puhaltimien avulla ilmanvaihtokoneen läpi. Ulkoa otettu ilma kulkee suodattimien kautta ilmanvaihtokoneelle, jossa ilmaa lämmitetään tai jäädytetään haluttuun lämpötilaan ennen huone-tiloihin jakamista. Ilman suodatuksella pystytään torjumaan esimerkiksi katu- ja siitepölyn kulkeutumista sisäilmaan. Huoneista poistettu ilma johdetaan ilmanvaihtokoneelle, jossa se kulkee suodattimen ja lämmöntalteenottolaitteen läpi ulos rakennuksesta. Tuloilman lämmittämiseen hyödynnetään lämmöntalteenottolaitteen avulla poistoilman mukana kulkeutuvaa lämpöenergiaa. (Hengitysliitto s.a.)

Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmällä pystytään kontrolloimaan huone-tiloihin tuotavan ja poistettavan ilman määrää sekä pitämään ilmanvaihtuvuuden tasaisena. Kerrostaloissa voidaan koneellinen tulo-poistojärjestelmä toteuttaa erilaisilla ratkaisuilla, kuten keskitetysti, kerroskohtaisesti tai huoneisto-kohtaisesti. (Hengitysliitto s.a.) Asuinrakennusten keittiön poistoilma voidaan viedä erillispoistona vesikatolle, tai se voidaan yhdistää asunnon muihin poistoilmakanaviin. Kerrostaloissa poistoilma usein liitetään ilmanvaihtokoneelle menevään poistoilmakanavistoon, jottei katolle tarvitsisi viedä niin useita poistoilmakanavia. (Vallox 2015.)

2.2.1 Huoneistokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä

Huoneistokohtaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä jokaista huoneistoa palvelee oma ilmanvaihtokone ja järjestelmän osat. Ulkoilma tuodaan ilmanvaihtokoneelle ulkoseinästä, ja ulospuhallusilma johdetaan pois vesikaton tai ulkoseinän kautta. Vesikatolle menevien ilmanvaihtokanavien tulee olla paloeristettyjä, eikä tulipalo saa päästä leviämään seinäeristeisiin ilmavaihtokanavien läpivienneistä. (Ilmanvaihtolaitosten paloturvallisuus -opas 2019, 7.2.) Ulkoa tuotu ilma ja ulospuhallusilma johdetaan erillisiä kanavareittejä pitkin ilmanvaihtokoneelle eivätkä kanavat yhdisty muiden asuntojen ilmanvaihtokanaviin. Hyvänä puolena on se, etteivät äänet ja hajut pääse leviämään ilmanvaihtokanavien kautta asunnosta toiseen. Järjestelmän painesuhteiden hallinta myös helpottuu, ja lyhyet kanavareitit pienentävät kanavistossa syntyvien painehäviöiden määrää. Ilmanvaihtokone on kooltaan pienehkö, ja se asennetaan usein asuinkerrostalossa kylpy- tai kodinhoitohuoneeseen pesutornin päälle. (FläktGroup Finland Oy s.a; Swegon s.a.)

Huoneistokohtaisella ilmanvaihtojärjestelmällä asukas pystyy itse säätämään ilmanvaihdon tehokkuutta ja lämpötilaa. Säädettävyys on tärkeää asumisviihtyvyyden ja terveyden kannalta, sillä jokainen tuntee ilmanvaihdon veitoisuuden ja lämpöolosuhteet yksilöllisesti. Asukas pystyy vaikuttamaan järjestelmän energiatehokkuuteen pienentämällä ilmanvaihtoa asunnon ollessa tyhjiään sekä tehostamaan ilmanvaihtoa tarvittavan tilanteen mukaan kuten kosteuskuormien lisääntyessä, ruoanlaiton yhteydessä tai vieraiden tullessa kylään. (FläktGroup Finland Oy s.a; Swegon s.a.) Asuntokohtainen järjestelmä on allergia ystävällinen ja ilman laatuun pystytään vaikuttamaan tehostamalla ilman suodatusta (Uponor s.a).

2.2.2 Keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä

Asuinkerrostaloissa ilmanvaihto voidaan toteuttaa keskitetysti, jolloin yksi ilmanvaihtokone palvelee useampaa kuin yhtä asuntoa. Asuntojen välillä on palo-osastoja, joiden vaikutuksesta yli yhtä palo-osastoa palveleva ilmanvaihtokone on asennettava palo-osastoituu konehuoneeseen tai katolle, jossa se ei edistä tulipalon leviämistä. (Ilmanvaihtolaitosten paloturvallisuus -opas 2019, 11.1.) Keskitetty ilmanvaihto voidaan kerrostaloissa toteuttaa yhdistämällä asuntojen ilmanvaihtokanavat toisiinsa vaaka tai pystyosuuksilla, jolloin

asunnon seinästä läpi vietäviin kanaviin on asennettava sulkeutuvat palopellit. Asunnoista voidaan myös erilliset eristetyt kanavat konehuoneeseen asti, jossa ne yhdistyvät muiden asuntojen kanaviin. (Ilmanvaihtolaitosten paloturvallisuus -opas 2019, 7.2.)

Keskitettyssä ilmanvaihtojärjestelmässä hoitotoimenpiteet pystytään suorittamaan ilman asuntoihin menemistä. Lisäksi huollettavien ilmanvaihtokoneiden ja huoltotoimenpiteiden määrä kerrostaloissa vähenee. Järjestelmän säädöt pysyvät tasapainossa ja asuntoihin äänitasot matalina, kun ilmanvaihtokone ja sen hallintajärjestelmät ovat pääosin sijoitettuna konehuoneeseen. Keskitetyllä ilmanvaihdolla pystytään toteuttamaan tuloilman jäähdytys ja hallitsemaan rakennuksen lämpökuormia kesäisin. Ilmanvaihdon asuntokohtainen säädettävyys on myös mahdollista toteuttaa keskitetyssä ilmanvaihtojärjestelmässä. (FläktGroup Finland Oy s.a; Swegon s.a.) Asuntoihin voidaan esimerkiksi asentaa säätöpellit tai ilmavirtasäätimet, joiden avulla ilmanvaihtoa voidaan tehostaa keittiön liesituulettimen tai erilliskytkimen kautta (Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas 2019, 10).

2.2.3 Kerroskohtainen ilmanvaihtojärjestelmä

Kerroskohtainen ilmanvaihtojärjestelmä toimii samalla periaatteella kuin keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä. Erona keskitettyyn järjestelmään on kuitenkin se, että kerroskohtaisella ilmanvaihtokoneella palvellaan enintään kahden kerroksen asuntoja. Tällä tavoin korkeuseroista aiheutuvien painesuhteiden hallinta helpottuu etenkin korkeissa kerrostaloissa ja ilmanvaihtojärjestelmästä saadaan tasapainoisempi. Kerroskohtaiset ilmanvaihtokoneet ovat usein kooltaan pieniä eivätkä vie suurta tilaa kerroksen pinta-alasta. Ilmanvaihtokoneiden ja sitä myötä huolto- ja kunnossapitotoimenpiteiden määrä kuitenkin kasvaa verrattuna keskitettyyn ilmanvaihtokoneeseen. (FläktGroup Finland Oy s.a; Swegon s.a.)

2.3 Ilmanvaihtojärjestelmien huolto

Suunnitellessa ilmanvaihtojärjestelmiä on huomioitava, että osat on jälkikäteen helppo puhdistaa, huoltaa ja vaihtaa. Ilmanvaihtokoneiden huoltopuolelle on jätettävä vähintään huollettavien komponenttien ja suodattimien kokoinen

tila, jotta niiden huoltaminen ja vaihtaminen on mahdollista toteuttaa. (Ympäristöministeriön asetus 1009/2017, 2.4§.) Ilmanvaihtojärjestelmän avulla tiloihin tuotu ilma pitäisi olla vähintään ulkoilman veroista ja likainen ilma kulkea poistoilman avulla pois oleskelualueelta. Suodattimien tehtävänä on poistaa ulkoilman mukana kulkeutuvaa katu- ja siitepölyä, hyönteisiä ja muita epäpuhtauksia. (Hengitysliitto s.a.) Poistoilmasuodattimen tehtävä on puhdistaa sisäilmasta kulkeutuvia epäpuhtauksia ennen lämmöntalteenottolaitetta, jottei tuloilman sekaan pääse vuotoilman mukana siirtymään epäpuhtauksia (Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas 2019, 8).

Suodatuksen taso valitaan ulkoilman puhtauden ja sisäilman tavoitteiden perusteella. Sisäilman laatua voidaan kuvata sisäilmaluokituksen 2018 mukaan, jossa S1- ja S2-luokka kertoo hiukkaspitoisuuden vuorokauden keskiarvolla. Ulkoilman laatuluokka ODA P (outdoor air, particulate matter) määrittelee hiukkasmaisten epäpuhtauksien raja-arvot 24 tunnin ja vuoden keskiarvoilla. Asuinrakennukset lasketaan yleensä SUP 2 -luokkaan, jonka määrittelynä on, että tiloja käytetään jatkuvasti. Suodattimille on määritelty energiatehokkuusluokat, ja valinnoilla pystytään vaikuttamaan myös elinkaarikustannuksiin. Puhaltimien aiheuttama sähköenergiankulutus kasvaa, jos suodattimen painehäviö on suuri ja ilmanvirtaus suodattimen läpi heikkenee. Suodattimet ja etenkin ulkoilmasuodattimet tulee suojata kastumiselta, sillä kostea suodatin erottelee hiukkaset huonommin, kasvattaa painehäviötä sekä siihen voi alkaa muodostumaan mikrobikasvustoa. (Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas 2019, 12.)

Ilmanvaihtokanavat keräävät pölyä, ja niitä olisi hyvä puhdistaa noin 5 vuoden välein (Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas 2019, 5). Kanaviin ja sen komponentteihin kertynyt lika voi heikentää ilmanvaihtojärjestelmän toimintaa ja sisäilman laatua. Suodattimiin kertyvät epäpuhtaudet alkavat muodostamaan hajua ja siten heikentämään tuloilman laatua muuttaen sen tunkkaiseksi. Suodattimet olisi hyvä vaihtaa vähintään 2 kertaa vuodessa. Puhtaat suodattimet edistävät myös muiden järjestelmän osien puhtaana pysymistä pidempään. (Sisäilmayhdistys s.a.)

LVIA-järjestelmien ja komponenttien käyttöikä, tarkastus- ja huoltovälit voidaan arvioida RT-kortin 18–10922 mukaan ottaen huomioon, että ohjekortti on vuodelta 2008 ja järjestelmien osat kehittyvät jatkuvasti sekä käyttöiät ovat

voineet muuttua. Ilmastointi- ja ilmanvaihtojärjestelmien komponenttien käyttöikään vaikuttaa niiden käyttöaste ja rasitusluokka. Ilmanvaihtojärjestelmien osilla keskimääräinen käyttöikä on yleisesti 20–25 vuotta normaalin käytön mukaan ja ilmavirran hallinta- ja mittauslaitteilla 20–30 vuotta. Osalle järjestelmän komponenteista ei ole määritely käyttöikää, ja uusimistarve syntyy vasta käyttötarkoituksen muutoksen seurauksena. Järjestelmän osia, joille ei ole määritely käyttöikää, ovat esimerkiksi ilmanvaihtokanavat, äänenvaimentimet, päätelaitteet, puhdistus- ja tarkastusluukut sekä sulku-, säätö- ja palopellit. Ilmanvaihtojärjestelmien puhaltimia ja suodattimien puhtautta tulee tarkastella säännöllisesti, minkä lisäksi vuoden välein olisi hyvä tarkastaa LTO-laitteen huurtumisen esto, kondenssivesiviemäröinnin toiminta, sulku-, säätö- ja mittalaitteiden toiminta sekä puhdistaa poistoilmalaitteet. Huoltotoimenpiteinä ohjeistetaan tarkastamaan sulakkeet, puhdistamaan poistoilmakanavat palomääräysten mukaan ja tuloilmakanavat vähintään 10 vuoden välein. Suodattimien vaihto/puhdistus tulisi suorittaa 1–2 kertaa vuodessa tai useammin. (RT-18-10922: 2008.)

2.4 Ilmanvaihtojärjestelmien energiatehokkuus

Energiatehokkuus on tällä hetkellä pinnalla oleva ja puhuttu aihe Suomessa sekä Euroopassa. Energiankäyttöä ja valmistusta ohjeistetaan muun muassa uudistetussa 20.9.2023 voimaan tulleessa energiatehokkuusdirektiivissä (EU/2023/1791) ja 20.10.2023 virallisesti voimaantulleessa uusiutuvan energian direktiivissä (EU/2023/2413). Lisäksi rakennusten energiatehokkuusdirektiiviä (EPBD) ollaan parhaillaan uudistamassa, ja sen säädöksistä ja tavoitteista käydään paljon keskustelua. Euroopan parlamentti ja neuvosto ovat päässeet väliaikaiseen sopuun 7.12.2023 EPBD:n tavoitteista. (REHVA s.a.)

Tuotteiden energiatehokkuuden edistämiseen pystytään parhaiten vaikuttamaan ekosuunnitteludirektiivin ja energiamerkintöjen avulla. Ekosuunnitteludirektiivissä määritellään minimitasot tuotteiden energiatehokkuudelle, joihin on ehdotonta päästä. Nykyistä voimassa olevaa ekologisen suunnittelun direktiiviä 2009/125/EY ollaan parhaillaan uudistamassa, ja sitä korvaamaan on tulossa kestävän tuotteen ekologisesta suunnittelusta annettu asetus ESPR. Vaatimustason tavoitteita täydennetään energiamerkintöjen puiteasetuksella

(EU/2017/1369) sekä Euroopan energiamerkintöjen tuoterekisterin (EPREL) mukaan. (REHVA s.a.)

Ilmanvaihto käyttää energiaa ilman lämmittämiseen ja puhaltimien sekä säätölaitteiden toimintaan. Ilmanvaihto on yksi suurimmista rakennuksen energiaa kuluttavista tekijöistä, ja sillä on suuri vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen. Rakennuksen lämmitykseen kuluu paljon energiaa ja huoneista poistuu ilmanvaihdon mukana lämpöä ulos rakennuksesta. Tehokas tapa parantaa ilmanvaihdon ja koko rakennuksen energiatehokkuutta on hyödyntää mahdollisimman hyvin poistoilman mukana kulkeutuva lämpöenergia. Lämpöä saadaan siirrettyä tuloilman lämmittämiseen lämmöntalteenottolaitteen avulla, mikä vähentää tuloilman jälkilämmityspatterin energiankulutusta. (Aaltonen 2022.)

Ilmanvaihdon energiankulutukseen vaikuttaa ilmavirtojen ja lämpötilojen säädöt sekä järjestelmän kunto ja puhtaus. Ilmanvaihtokanaviin, suodattimiin, lämmöntalteenottoon, pääte- ja säätölaitteisiin kertynyt pöly ja lika heikentävät ilmanvirtausta sekä lisäävät painehäviöitä järjestelmässä. Tämän seurauksena puhaltimet joutuvat käyttämään enemmän kierroksia ilmanvirtauksen ylläpitämiseksi, mikä lisää järjestelmän energiankulutusta. Ilmanvaihtojärjestelmän toimivuutta ja komponenttien kuntoa on hyvä tarkastella ulkoapäin sekä seuraamalla energiankulutusta. Lisääntyneestä energiankulutuksesta voidaan saada selville, ettei järjestelmä ole kunnossa. (Ilmastoinfo s.a; Varmista energiatehokkuus — Vinkit ilmanvaihdon tarkistuksiin 2022.)

Huonetiloihin tuotavan ilman lämpötilalla voidaan vaikuttaa energiankulutukseen. Ilmanvaihdolla ei kannata lämmittää tiloja kokonaan, vaan tilojen lämmitys kannattaa hoitaa lämmitysverkostoa käyttäen. Liian alhainen tuloilman lämpötila puolestaan viilentää tilaa lisäten huonetilojen lämmitysjärjestelmän energiankulutusta. Ilmanvaihdon oikeanlaisella säädöllä ja säätölaitteilla pystytään vähentämään energiankulutusta hallitsemalla huonetilojen ilman vaihtuvuutta. Ilmanvaihtoa voidaan tehostaa tai pienentää esimerkiksi kosteuden, hiilidioksidipitoisuuden ja käytön mukaan. Ilmanvaihtoa ei saa kytkeä kokonaan pois päältä, vaan se on pidettävä vähintään minimitasolla, jotta epäpuhtaudet pääsevät poistumaan rakennuksesta. (Aaltonen 2022; Varmista energiatehokkuus — Vinkit ilmanvaihdon tarkistuksiin 2022.)

3 ELINKAARIKUSTANNUKSET

Investointipäätöstä tehdessä muut ostohinnan jälkeiset kustannustekijät monesti unohtuvat tai ne arvioidaan mielikuvan perusteella. Edullisin ratkaisu ei aina ole laadukkain, ja pitkällä aikavälillä se saattaa tuottaa suuriakin käytön-aikaisia kustannuksia. Hinnakkaampi ratkaisukaan ei välttämättä ole aina järkevämpi vaihtoehto, eikä maksa käytön aikana itseään takaisin. Taloudellisesta näkökulmasta vertailtuna kannattavimman ratkaisun valinnassa voi suuri merkitys olla vuosien aikana kertyneillä energia- ja kunnossapitokustannuksilla. Energiatehokkuuteen ja elinkaarikustannuksiin kiinnitetään jatkuvasti entistä enemmän huomiota ja uudistuvalla lainsäädännöllä ohjeistetaan energiaa ja ympäristöä säästäviin valintoihin. (A-insinöörit s.a.)

3.1 Elinkaarikustannusten sisältö

Elinkaarikustannuksista käytetään englannin kielestä tulevaa lyhennettä LCC, joka on lyhenne sanoista life cycle costing. Euroopan komission sivuilla on määritelty, että LCC tarkoittaa työn, tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikana muodostuneita kustannustekijöitä. Kustannuksia muodostuu ostohetkellä, omistuksen aikana ja hävittämisprosessissa. Ostohinnan lisäksi kustannuksia voi muodostua esimerkiksi toimituksesta, asennuksesta ja vakuutuksesta. Käytön aikaisia kustannuksia voi muodostua esimerkiksi veden käytöstä, energiankulutuksesta, polttoaineista, varaosista ja huollosta. Kustannuksia voi myös syntyä, kun tuote poistetaan käytöstä tai hävitetään. Tuotteella voi myös olla jäännösarvoa eli voidaan saada tuloja myymällä tuote eteenpäin. (European commission s.a.)

Elinkaarikustannuksia voidaan arvioida ja vertailla kahdesta eri näkökulmasta, joko käyttäjälle ja hankintayksikköön kohdistuvien kustannusten tai ulkoisten ympäristövaikutuksien kautta. Hankintayksikölle muodostuvia hankinta-, käyttö-, huolto-, kierrätys- ja jätekustannuksia kutsutaan kokonaisuudessaan elinkaarikustannuksiksi. (Julkisten hankintojen neuvontayksikkö 2016.) Elinkaarikustannuksiin voidaan laskea myös ympäristövaikutuksista ja kasvihuonepäästöistä aiheutuneita kustannuksia. Tämän edellytyksenä on kuitenkin, että kustannusten rahallinen arvo on voitava määrittää ja tarkastaa direktiivin

2014/25/EU 83 artiklan kohdan 1 mukaan, tarkoituksena varmistaa menetelmien oikeudenmukaisuus ja avoimuus. Direktiivin 2014/25/EU 83 artiklan 2 kohdassa sanotaan: *”Ulkoisista ympäristövaikutuksista aiheutuvien kustannusten arviointimenetelmän on täytettävä kaikki seuraavat ehdot:*

a) se perustuu puolueettomasti todennettavissa oleviin ja syrjimättömiin perusteisiin. Erityisesti silloin, jos sitä ei ole laadittu sovellettavaksi toistuvasti tai jatkuvasti, se ei saa aiheuttomasti suosia tai saattaa epäedulliseen asemaan tiettyjä talouden toimijoita;

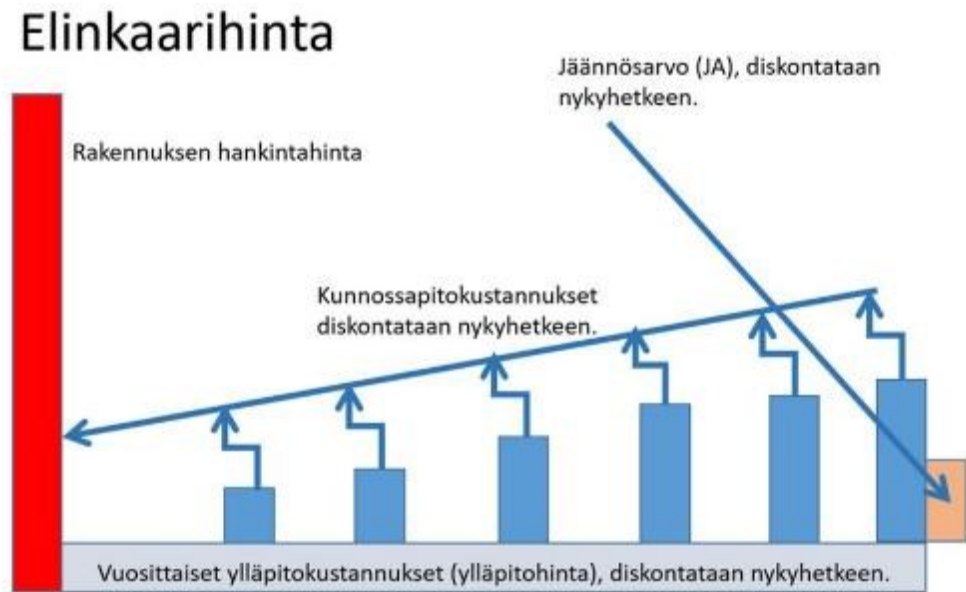
b) se on kaikkien asianomaisten osapuolten saatavilla ja käytettävissä;

c) vaadittavien tietojen toimittaminen ei vaadi kohtuuttomia ponnistuksia tavanomaista huolellisuutta noudattavilta talouden toimijoilta, mukaan lukien kolmansien maiden talouden toimijat, jotka ovat osapuolina GPA-sopimuksessa tai muissa kansainvälisissä sopimuksissa, jotka sitovat unionia.”

3.2 Elinkaarikustannusten laskeminen

Elinkaarikustannuksien laskemista hyödynnetään tarjouksia vertailtaessa ja arvioidessa, jolloin laskennassa käytetyt parametrit ja tiedot on oltava selkeästi esitettyjä. Laskettaessa elinkaarikustannuksia on ensin selvitettävä lähtötietoihin vertailtavien laitteiden ja tuotteiden lukumäärät sekä niiden ostohinnat. (Motiva 2013, 1–2.) Kaikki kustannukset lasketaan alv 0 % hintoja käyttäen. Elinkaarikustannuksia kuvataan tuloksissa 1000 € tarkkuudella käyttäen enintään kolmea merkitsevää numeroa. Lisäksi tuloksissa esitetyt kustannukset eivät voi olla tarkemmin esitettyjä kuin alkutietojen kustannukset. Elinkaari-laskennalle määritellään ajanjakso, miltä ajalta kustannuksia arvioidaan ja mikä on esimerkiksi järjestelmän tai laitteen suunniteltu käyttöikä. Koko rakenuksen elinkaarilaskenta suoritetaan yleisesti 100 tai 50 vuoden ajanjaksolle. Erona tässä on se, ettei 50 vuoden tarkastelussa tarvitse huomioida purkukustannuksia. Laskennassa käytettävältä ajanjaksolta kootaan kaikki vertailussa huomioitavat kustannustekijät, kuten investointi-, energia-, käyttö-, huolto- ja uusimiskustannukset. Investointikustannuksissa on hyvä huomioida ostohinnan lisäksi myös rakentamis-, suunnittelu- ja tilakustannukset, jos vertailtavat vaihtoehdot vaativat erilaisia tilaratkaisuita. Suurimmat kustannustekijät on pyrittävä ajoittamaan oikeille vuosille, ja pienimmät kustannustekijät voidaan jakaa tasaisesti tarkastelujaksolle. (Tampereen tilapalvelut 2022, 24–26.)

Elinkaarikustannuksia lasketaan yleisesti nykyarvomenetelmää käyttäen, jossa tulevaisuudessa syntyvät kustannukset ja jäännösarvo diskontataan samaan ajanhetkeen (Tampereen tilapalvelut 2022, 24). Kuvassa 1 on havainnollistettu kustannuksien diskonttaus nykyhetkeen.



Kuva 1. Kustannuksien diskonttaaminen nykyhetkeen (Pitsinki 2021)

Kustannuksien siirtäminen samaan ajanhetkeen on oleellista, koska rahan aika-arvo muuttuu eikä tämän päivän euro ole arvoltaan sama tulevaisuudessa. Kustannuksista saadaan vertailukelpoisia, kun ne siirretään nykyhetkeen diskonttauskorkokantaa käyttäen. (Valtiokonttori 2022.) Tulevaisuudessa muodostuvan kustannuksen nykyarvo voidaan määrittää yhtälöstä 1.

$$k = \frac{K}{(1+i)^n} \quad (1)$$

| | | | |
|-------|-----|------------------------------|-----|
| jossa | k | alkuperäinen pääoma | [€] |
| | K | kasvanut pääoma | [€] |
| | i | korkokanta desimaalimuodossa | [-] |
| | n | korkojakso vuosina | [-] |

Toistuvasti muodostuvien kustannuksien yhteinen alkuarvo voidaan määrittää yhtälöstä 2.

$$K = k * \frac{(1 + i)^n - 1}{i * (1 + i)^n} \quad (2)$$

| | | | |
|-------|-----|------------------------------|-----|
| jossa | K | yhteinen alkuarvo | [€] |
| | k | toistuva kustannus | [€] |
| | i | korkokanta desimaalimuodossa | [-] |
| | n | korkojakso vuosina | [-] |

Nykyarvon laskennassa korkokantana voidaan käyttää reaalikorkoa, jossa huomioidaan inflaation vaikutus korkoprosenttiin. Reaalikorko saadaan laskettua nimelliskoron ja inflaatio korkomuutoksen avulla käyttäen yhtälöä 3.

$$i = \frac{(a - b)}{(1 + \frac{b}{100})} \quad (3)$$

| | | | |
|-------|-----|---------------|-----|
| jossa | i | reaalikorko | [%] |
| | a | nimelliskorko | [%] |
| | b | inflaatio | [%] |

Elinkaarikustannusten diskonttauskoron oletusarvona käytetään 3 % vuodessa. Laskennassa käytettävien vesi-, jäte-, lämmitys-, ja sähkökustannusten hinnat lasketaan tämän hetken hintatietojen mukaan. Hintojen laskua tai nousua ei huomioida laskennassa muuten kuin energian hinnan osalta. Lisäksi huolto- ja ylläpitokustannuksille voidaan käyttää 2 % hinnan korotusta vuodessa. Energian hinnan nousun arvona käytetään 4,6 % vuodessa, jollei tarkempia tietoja ole saatavilla. (Tampereen tilapalvelut 2022, 24.) Määrittely perustuu EU:n Energia trendi vuodelle 2030 referenssi skenaarioon, jonka mukaan on laskettu keskiarvo energianhintojen muutokselle (Green Building Council Finland 2013, 58).

Herkkyyshanalyysi

Tuloksien todenmukaisuutta voidaan tarkastella herkkyyshanalyysin avulla. Elinkaarikustannusten kokonaistulokseen voi vaikuttaa suuresti energiankulu-

tus ja siitä syntyvät kustannukset, joiden hinnat elävät ja muuttuvat. Energia- kulutuksen vaikutusta elinkaarikustannuksiin on hyvä tarkastella eri hintatietojen avulla, jotta tuloksista saataisiin luotettavampi käsitys. Tuloksiin vaikuttaa myös arvioitu käyttöikä, jonka perusteella määritellään tuotteen kannattavuus ja ostohinnan merkitys pitkällä aikavälillä. Elinkaarilaskennassa diskonttauskorolla on suuri vaikutus tuloksiin, ja sitä muuttamalla saadaan käsitys koron vaikutuksesta kustannuksiin. Laskenta voidaan suorittaa käyttämällä nimelliskorkoa, jolloin inflaation vaikutus otetaan huomioon. Toinen vaihtoehto on käyttää reaalikorkoa jättäen inflaation vaikutukset pois laskuista. (Motiva 2013, 4.) Tuloksia voidaan tarkastella myös käyttämällä eri korkoprosentteja tai laskemalla kustannukset ilman diskonttaus korkoa (Green Building Council Finland 2013, 41).

4 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää ja vertailla kolmen eri ilmanvaihtojärjestelmän elinkaarikustannuksia asuinkerrostalorakennuksessa. Työ toteutetaan FläktGroupin toiveiden mukaan, ja tavoitteena on selvittää taloudellisesti kannattavin ratkaisu asuinkerrostalorakentamiseen. Vertailussa tarkastellaan kolmea eri koneellisella tulo- ja poistojärjestelmällä toteutettua ilmanvaihtoratkaisua, joita ovat keskitetty, kerroskohtainen ja huoneistokohtainen järjestelmä. Työssä on olennaista selvittää, mitä elinkaarikustannuksilla tarkoitetaan ja miten elinkaarikustannuksia lasketaan. Laskennalla selvitetään ilmanvaihdon käytöstä ja kunnossapidosta muodostuvien kustannuksien vaikutus valittaessa kokonaiskustannuksiltaan edullisinta ilmanvaihtojärjestelmää.

Aiheena elinkaarikustannus on laaja käsite, eikä laskennassa ole vain yhtä tiettyä tapaa arvioida ja laskea eri kustannustekijöitä. Kustannuksien laske- mista sovelletaan tarjousten vertailussa tai jonkun tietyn osa-alueen arvioimiseen. Elinkaarikustannuksien tarkastelun tarkkuuden mukaan voidaan lasken- nassa huomioida esimerkiksi materiaalin valmistuskustannukset, kuljetuskus- tannukset, vakuutusmaksut ja ympäristöön vaikutuksista aiheutuvat kustan- nukset. Lisäksi elinkaarikustannuksien laskemisessa on muuttuvia tekijöitä, kuten hintojen nousu ja lasku, joiden huomioiminen laskennassa on haasta- vaa. Tämän vuoksi työssä on tärkeä tehdä selkeät rajaukset elinkaarilasken- nassa huomioitavista kustannustekijöistä. Tuloksien luotettavuuden kannalta

on tärkeä tuoda esiin, mistä laskennoissa käytetyt kustannukset ja muut lähtötiedot, kuten korkoprosentit, ovat peräisin. Laskukaavat on hyvä esittää selkeästi, ja tuloksia tulee tarkastella esimerkiksi herkkyyksianalyysin avulla muuttamalla korkoprosenttia ja vertailemalla muutosten vaikutusta lopputulokseen.

Ilmanvaihtojärjestelmien vertailussa haluttiin keskittyä pääosin rakentamisaikaisen investointien, energiankulutuksen ja huoltotoimenpiteiden muodostamien kustannuksien selvittämiseen. Työssä jätetään huomioimatta ilmanvaihtojärjestelmien, ilmanvaihtokoneiden sekä vesikatolle menevien ilmanvaihtokanavien hormeista muodostuvat hukkaneliöiden kustannukset. Neliöhintojen ja järjestelmän tilaratkaisuiden tarkastelu lähtee sivuamaan lvi-suunnittelun alaa, joten eri järjestelmien tilantarpeita ei lähdetä työssä arvioimaan. Laskennoissa ei myöskään huomioida muuntojoustavuuden näkökulmasta mahdollisia asuntomuutoksia, sillä eri toteutustapojen kustannusvaikutuksia on haastava arvioida vertailukelpoisesti. Ilmanvaihtojärjestelmien sähkötoita ei huomioida laskennassa, ja työssä vertailtavat ilmanvaihtokoneet valitaan vakiovarusteltuina.

5 MENETELMÄT JA AINEISTOT

Opinnäytetyössä käytetään kvantitatiivista tutkimusmenetelmää, jonka aineisto koostuu pääasiassa erilaisista lähdedokumenteista. Tutkimusaineistoa kerätään artikkeleista, asetuksista, standardeista, oppaista, liittojen sivuilta ja tuotevalmistajan tiedoista. Työssä käytetään suomalaisia ja kansainvälisiä lähteitä. Teoriaosassa perehdytään taustatietoon ilmanvaihdosta, sisäilmasta, ilmanvaihtojärjestelmistä, ilmanvaihdon huoltamisesta ja energiatehokkuudesta sekä elinkaarikustannuksista ja niiden laskennasta. Lähteiden luotettavuuteen ja laatuun on opinnäytetyössä pyritty vaikuttamaan hyödyntäen mahdollisimman tuoreita julkaisuja ja oppaita sekä käyttäen voimassa olevia asetuksia ja säädöksiä. Artikkeleiden käyttö lähteinä on harkittua, ja tiedonlähteinä on käytetty alan lehtiä ja tuoreimpia julkaisuja sekä tarkasteltu, löytyykö kirjoittajalta muitakin julkaisuja.

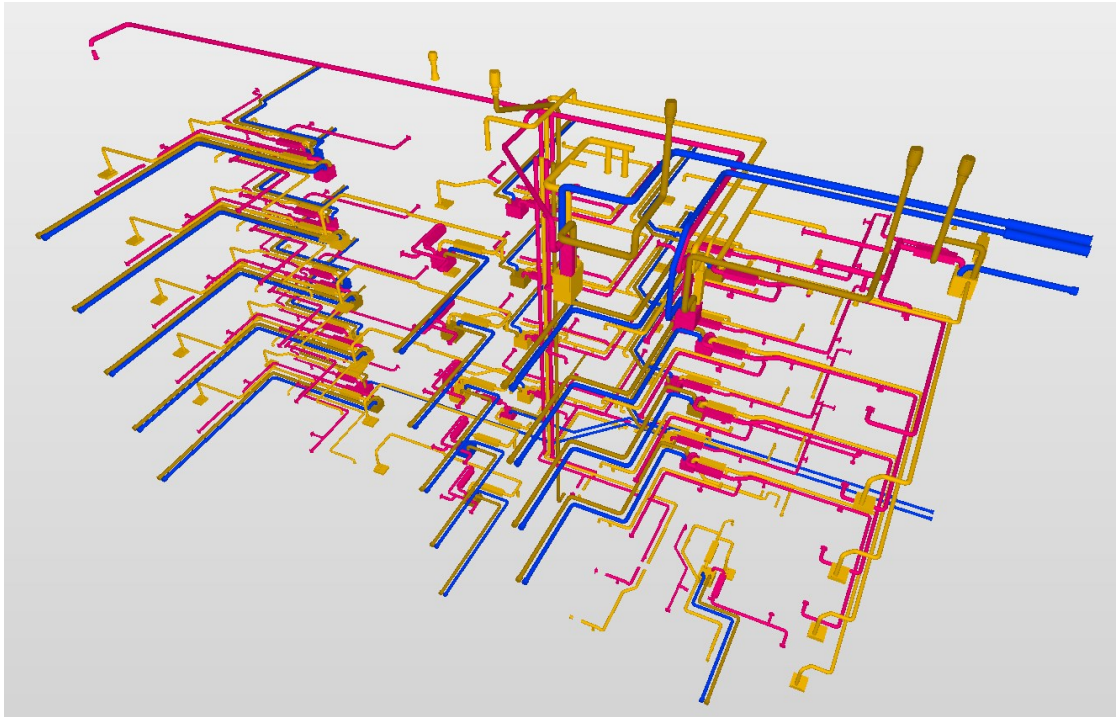
Työssä selvitetään vertailuanalyysimenetelmää käyttäen elinkaarikustannuksiltaan edullisin ilmanvaihtojärjestelmä asuinkerrostaloon. Tutkimuksessa ke-

rätään tietoa kolmen eri ilmanvaihtojärjestelmän kustannuksista ja kootaan numeerinen data Excel-taulukkoon. Kustannusten tulokset esitetään taulukoiden ja viivakaavioiden avulla vertailevaa tapaa käyttäen. (Kvantitatiivisen tutkimuksen verkkokäsikirja 2021; Menetelmäpolku 2015.)

Kustannuksissa lähdetään selvittämään käyttäen MagiCAD Revit -ohjelmaa. Jokaisesta järjestelmästä luodaan malliratkaisut asuinkerrostalon arkkitehtipohjalle, jonka avulla saadaan komponenttien määrät ja järjestelmäratkaisujen painehäviöt. Asuinkerrostalon luotua IFC-mallia hyödynnetään energiastimulointiohjelma Riuskan lähtötietoina. Riuska on olosuhde ja energiastimulointiohjelma, jonka avulla voidaan selvittää muun muassa rakennuksen energiankulutustietoja, kuten ilmanvaihtojärjestelmien lämmitysenergiankulutusta ja puhaltimien sähkönkulutusta. Energiastimuloinnin kannalta on työssä oleellista tietää ilmanvaihtokoneiden vuosihyötysuhde ja SFP-luku. Ilmanvaihtokoneiden mitoitustiedot saadaan selville FläktGroupin ACON- ja RAHU-valintaohjelmia käyttäen.

6 ILMANVAIHTOJÄRJESTELMIEN KUSTANNUSTEN SELVITTÄMINEN

Ilmanvaihtojärjestelmien elinkaarikustannuksien selvitys lähti liikkeelle sopivan mallirakennuksen etsimisellä. Kerrostaloksi pyrittiin löytämään 4–6-kerroksinen asuinkerrostalo, johon olisi mahdollista toteuttaa ilmanvaihto kaikilla kolmella ilmanvaihtojärjestelmän ratkaisuvaihtoehdolla. Mallinnuskohteeksi valikoitui asuinkerrostalo, joka koostui viidestä asuinkerroksesta ja ullakkokerroksesta. Rakennuksen kokonaispinta-ala on n. 2600 m², joista asuntojen yhteenlaskettu pinta-ala on 2200 m². Ullakkokerroksessa on erillinen saunaosasto, jonka ilmanvaihto toteutettiin erillisellä ilmanvaihtokoneellaan. Käytävien ja hissin ilmanvaihtoa palveleva ilmanvaihtokone sijoitettiin ullakkokerrokseen. Ensimmäisessä kerroksessa oli rakennuksen pohjankuvan mukaan lämmönjakohuone, väestönsuoja, spk/atk-, tk- ja lvv-huone. Tiloja palveleva ilmanvaihtokone sijoitettiin myös ullakkokerrokseen. Asuntokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä näkyy mallinnettuna kuvassa 2.

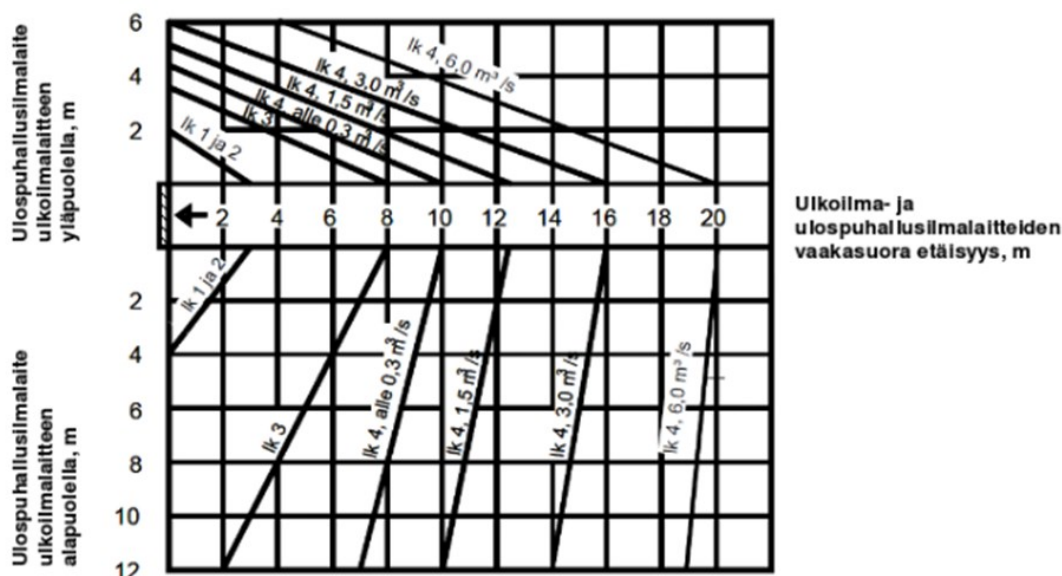


Kuva 2. Huoneistokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä asuinkerrostalossa

Vertaillen ilmastointijärjestelmien eri toteutustapoja porrashuoneen, hissien, varastojen ja saunaosaston ilmanvaihto toteutettiin omilla ilmastointikoneilla, eikä niiden toteutustavoissa tapahtunut muutoksia vertailtaessa eri asuntoilmanvaihtojärjestelmien ratkaisuja. Ilmanvaihtojärjestelmien suunnittelussa mitoituservoina käytettiin Oppaan asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoituksista 2018 mukaisia ilmavirtoja.

6.1 Ilmanvaihtojärjestelmien komponenttien määrät

Ilmanvaihtojärjestelmien komponenttien määriä lähdettiin selvittämään mallintamalla valitut järjestelmäratkaisut Revit-ohjelmaa käyttäen. Huoneistokohtaisen ja kerroskohtaisen järjestelmän suunnittelussa valittiin, että ulkoilmalaitteet sijoitetaan ulkoseinälle. Ilmanvaihtokoneelle tuleva ulkoilma sekä ulospuhallusilma johdetaan tällöin ulkoseinän kautta, eikä vesikatolle tarvitse tällöin johtaa useita ulospuhallusilma kanavia. Suunnittelussa otettiin huomioon ulkoilmalaitteiden ja ulospuhallusilmalaitteiden sijoittaminen sekä vähimmäisetäisyydet alla olevan kuvan 3 mukaisesti.



Kuva 3. Ulkoilma- ja ulospuhalluslaitteiden vähimmäisetäisyydet toisiinsa (Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas 2019, 14)

Ulkoilmalaitteiden ja ulospuhallusilmalaitteiden sijoittamisen etäisyyksiin vaikuttavat muun muassa ulospuhallusilmavirran nopeus ja poistoilmaluokka. Lisäksi on etäisyyttä kasvatettava, jos ulospuhalluslaite on sijoitettuna ulkoilmalaitteen alapuolelle. Suunnittelussa oli huomioitava seinäpuhalluslaitteiden välisiä etäisyyksiä muihin seinäpuhalluslaitteisiin sekä etäisyyksiä muiden asuntojen parvekkeisiin, avattaviin ikkunoihin ja maanpintaan. Vähimmäisetäisyyksiä seinäpuhalluslaitteille on esitetty kuvassa 4.

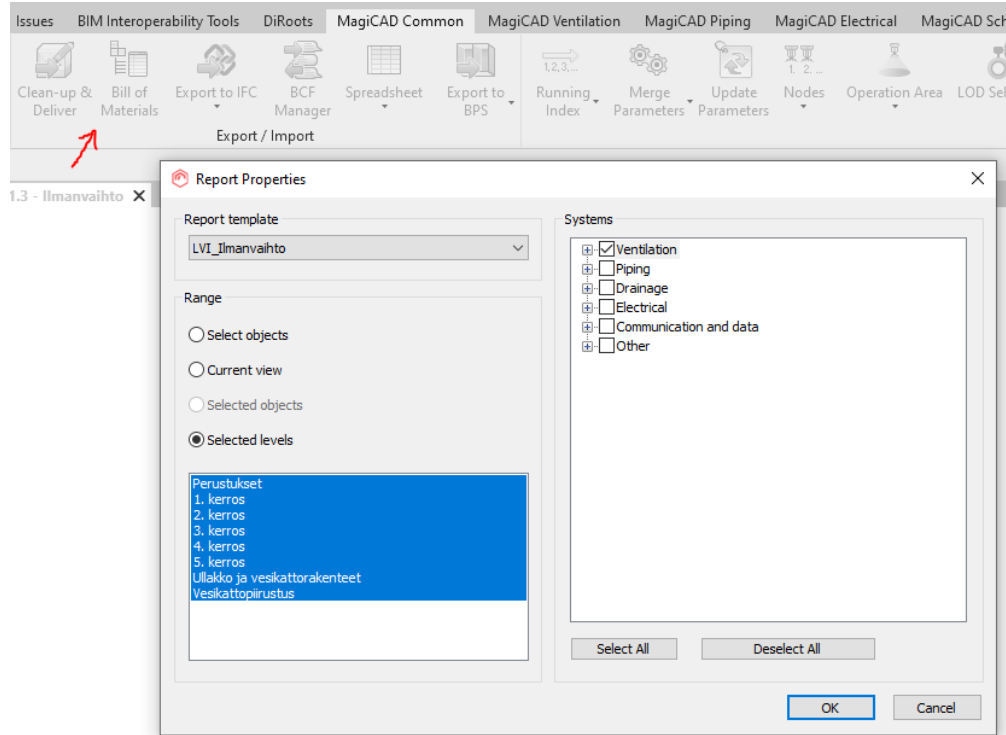
| Vaatimus | Vaatumuksen täytyminen |
|--|---|
| Seinäpuhalluslaitteen etäisyys toisten huoneistojen ulkoilmalaitteista, parvekkeista ²⁾ ja erikseen määritellyistä avattavista ikkunoista ²⁾ | vähintään 3 m |
| Seinäpuhalluslaitteen vapaan ulospuhallusaukon keskimääräinen virtausnopeus käyttöajan tehostamattomalla ilmavirralla | vähintään 5 m/s |
| Seinäpuhalluslaitteen etäisyys viereisistä seinistä | vähintään 3 m |
| Seinäpuhalluslaitteen etäisyys naapuritontista | vähintään 4 m |
| Seinäpuhalluslaitteen etäisyys vastapäisestä seinästä tai rakennuksesta | vähintään 15 m |
| Seinäpuhalluslaitteen sijoitus | ei sijoiteta umpinaisten sisäpihojen puoleisille julkisivuille |
| Seinäpuhalluslaitteen sijoitus | ei sijoiteta julkisivussa oleviin syvennyksiin tai nurkkauksiin |
| Seinäpuhalluslaitteen toimivuus | varmistettu suunnitellussa käyttötarkoituksessa ¹⁾ |

Kuva 4. Seinäpuhalluslaitteiden vähimmäisetäisyyksiä (Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas 2019, 14)

Kerroskohtaisessa ja keskitetyssä ilmanvaihtojärjestelmässä keittiön poistoilmakanavistot tuotiin erillään ulos asunnoista. Asuntojen yleispoistokanavat koottiin käytävällä yhteen samoin kuin tuloilmakanavat. Yhdistyneet pääkanavat ohjattiin ilmanvaihtokoneelle. Asuntojen keittiöpoistokanavat puolestaan koottiin käytävällä yhteen muiden asuntojen keittiöpoistokanavistojen kanssa. Keittiöpoistokanavista yhteen koottu kanava yhdistettiin yleispoistokanavaan vasta juuri ennen ilmanvaihtokonetta. Tällä tavoin pyritään helpottamaan poistoilmakanaviston painesuhteiden hallittavuutta.

Keskitetyssä ja kerroskohtaisessa toteutustavassa jokaisesta asunnosta tuotiin käytävälle kolme ilmanvaihtokanavaa, joihin jokaiseen tuli omat palopellit, säätöpellit ja äänenvaimentimet. Palopeltejä tuli jokaista asuntoa kohti 3 kpl, ja niiden määrä kasvoi koko rakennuksessa 87 kpl. Poistoilmakanavistoihin tuli IRIS-säätöpellit ja tuloilmakanavistoihin ULSA-ilmamääräsäädin, jonka avulla ilmavirtojen suhde pysyy tasapainossa myös poistoilman tehostustilanteissa. Kerroskohtaisessa ja keskitetyssä ilmanvaihtojärjestelmässä ilmamääräsäätimiä tuli jokaista asuntoon yksi kappale eli koko rakennukseen yhteensä 29 kappaletta ja IRIS-säätöpeltejä kaksi kappaletta jokaista asuntoa kohden eli 58 kappaletta lisää koko rakennukseen. Äänenvaimentimia oli huoneistokohtaisessa järjestelmässä tuloilmakanavistossa sekä poistoilmakanavistossa ennen ilmanvaihtokonetta. Kerroskohtaisessa ja keskitetyssä järjestelmässä äänenvaimentimien määrä kasvoi 29 kappaletta huoneistokohtaiseen järjestelmään verrattuna, sillä keittiöpoistoilmakanavistoihin tarvitsi lisätä omat äänenvaimentimet.

Revit-ohjelmassa komponenttien määrä lista saadaan selville MagiCAD Common -välilehdeltä, josta löytyy kohta Bill of Materials. Listaan voidaan valita halutut järjestelmät ja kerrokset kuvan 5 mukaisesti.



Kuva 5. Määräluettelon ottaminen MagiCAD Revit -ohjelmasta

Työssä oli tarkoituksena selvittää ilmanvaihtojärjestelmien määrät, joten listan järjestelmät kohdasta valittiin ainoastaan ilmanvaihtojärjestelmät. Listaan valittiin rakennuksen kaikki kerrokset, mukaan lukien perustukset ja vesikatto. Järjestelmäratkaisuiden mallintamisen avulla pystyttiin selvittämään eri ilmanvaihtojärjestelmien painehäviöt, minkä avulla pystyttiin mitoittamaan ilmanvaihtokoneet ja sitä kautta selvittämään ilmanvaihtokoneiden SFP-luvut.

6.2 Ilmanvaihtojärjestelmien energiankulutus

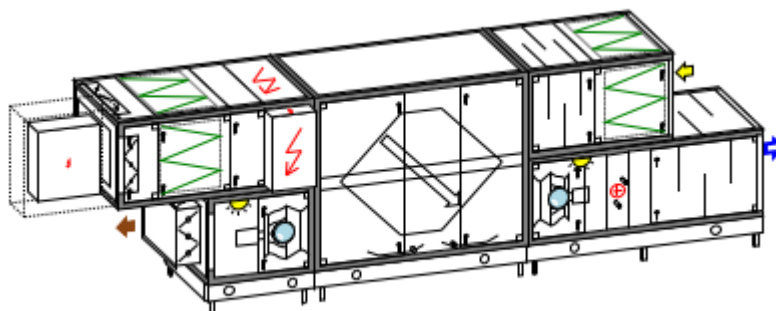
Kerrostalosta oli valmiiksi luotu IFC-malli, jota oli lupa hyödyntää energiastimulointi ohjelma Riuskan lähtötiedoiksi. Uutta projektia luodessa Riuskaan voidaan valita haluttu IFC-mallitiedosto, josta rakenteiden tiedot, seinät, ikkunat, ovet, u-arvot ja muut lähtötiedot rakennuksesta siirtyivät Riuskaan. Paikkakunnan lähtötietoina käytettiin Helsingin säätietoja, koska vertailusta haluttiin luoda mahdollisimman yleinen kuva.

Työssä keskityttiin tarkastelemaan ilmanvaihtojärjestelmien energiankulutus-tietoja. Aluksi lähdettiin jakamaan rakennus kullekin ilmanvaihtokoneille kuuluviin palvelualueisiin. Tilatyypinä rakennukselle valittiin asuinkerrostalolle 2018 määritellyjä tietoja, joiden perusteella asuntojen ilmamäärät ja laatutaso määräytyivät. Palvelualueiden ilmanvaihtokoneiden tiedoista valittiin haluttu

järjestelmätyyppi, käytön aikataulut, lämmöntalteenoton hyötysuhde tasailma-
virroilla ja puhaltimien SFP-luku. Ilmanvaihtokoneissa ei käytetty jäähdytyspat-
tereita, joten jäähdytystehoksi oli muistettava vaihtaa 0 W. Tietojen tarkastuk-
sen ja muokkaamisen jälkeen tilaryhmille tehdään energiastimulointi klikkaa-
malla palvelualueiden päällä hiiren vasenta ja valitsemalla tilaryhmien ener-
giastimulointi. Laskennan tulokset saadaan avattua tulokset -kohdasta, josta
voidaan valita kohta Energia (Excel) ja tallentaa tiedosto rakennuksen ener-
giastimuloinnin tuloksista. Tuloksista oleellisimpia tietoja ilmanvaihtojärjestel-
mien energiankulutuksen selvittämiseksi olivat ilmanvaihtojärjestelmien lämmi-
tysenergiankulutus ja puhaltimien sähköenergiankulutus.

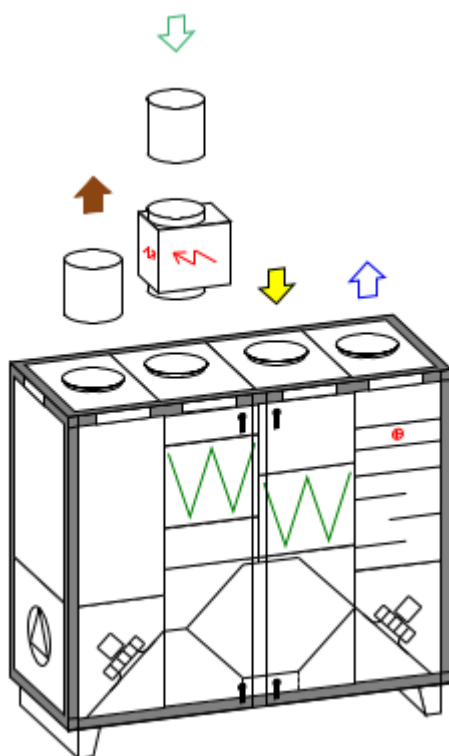
6.3 IV-koneet

Keskitettyssä ilmanvaihtojärjestelmässä ilmanvaihtokoneeksi valikoitui ilman-
käsittelykone eQ-014, joka valikoitui asuntojen yhteenlasketun ilmamäärän
perusteella. Asuntojen yhteenlaskettu tuloilmavirta oli n. 0,94 m³/s ja poistoil-
mavirta 1 m³/s. Ilmankäsittelykoneessa on vastavirtalevylämmönsiirrin, jonka
lämpötilahyötysuhde EN 308 standardin mukaan on 86,1 %. Keskitetyn ilman-
käsittelykoneen mitoituksessa tulo- ja poistoilman painehäviönä käytettiin Re-
vit ohjelmasta saatua painehäviö tietoa, joka oli n. 200 Pa. Ulko- ja ulospuhal-
lusilman painehäviönä käytettiin ulkoilmalaitteille varattavaa 50 Pa painehä-
viötä. Ilmankäsittelykoneen SFPv hyötysuhde oli konemitoituksen perusteella
1,26 kW/(m³/s). Koneeseen valittiin vesikiertoinen ilmanlämmitin, jonka meno-
ja paluueden lämpötilat ovat 50/30°C ja teholtaan ilmanlämmitin on 23,4 kW.
Ilmankäsittelykone eQ-014 on esitetty alla olevassa havainnollistavassa ku-
vassa 6.



Kuva 6. Ilmankäsittelykone eQ-014 (FläktGroup Finland Oy 2024)

Kerroskohtaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä käytettiin ilmapuhdistuslaitetta eCO top. Asuntojen yhteenlaskettu tulo- ja poistoilmamäärä oli jokaisessa kerroksessa n. 0,2 m³/s, jonka perusteella päädyttiin ilmapuhdistuslaitteeseen eCO top-03. Lämmöntalteenottolaitteena koneessa toimii vastavirtalevyilmänsiirrin lämpötilahyötysuhteeltaan 82,5 % EN-standardin 308 mukaan. Kerroskohtaisen ilmapuhdistuslaitteen mitoituksessa tulo- ja poistoilman painehäviönä käytettiin 150 Pa, joka perustui Revit ohjelmasta saatuun painehäviö tietoon. Ulko- ja ulospuhallusilman painehäviönä käytettiin ulkoilmalaitteille varattavaa 50 Pa painehäviötä. Konemitoituksen perusteella koneen SFP-luku oli 1,48 kW/(m³/s). Ilmanlämmitykseen valittiin vesikiertoinen ilmanlämmitin, jonka meno-paluuveden lämpötilat ovat 50/30°C ja teholtaan ilmanlämmitin on 2,9 kW. Ilmapuhdistuslaitteeseen eCO top-03 on esitetty alla olevassa havainnollistavassa kuvassa 7.



Kuva 7. Ilmapuhdistuslaitteeseen eCO top-03 (FläktGroup Finland Oy 2024)

Huoneistokohtaisessa järjestelmässä jokaisessa asunnossa käytettiin ILOX 59PLUS -ilmanvaihtokoneita, jotka soveltuvat 10–50 l/s ilmavirroille. Ilmanvaihtokoneet on varusteltu Plus-automaattilla, jota pystytään ohjaamaan kosketusnäyttöpaneelin avulla. Huoneistokohtaisissa ilmanvaihtokoneissa käytettiin sähköistä esilämmityspatteria ilman lämmitykseen, sillä vesikiertoisessa

järjestelmässä lämmitysputkien vieminen jokaisen asunnon ilmanvaihtokoneille tulisi kustannuksiltaan hinnakkaammaksi. Ilmanvaihtokone ILOX 59PLUS on esitetty alla olevassa havainnollistavassa kuvassa 8.



Kuva 8. Ilmanvaihtokone ILOX 59PLUS (FläktGroup Finland Oy 2024)

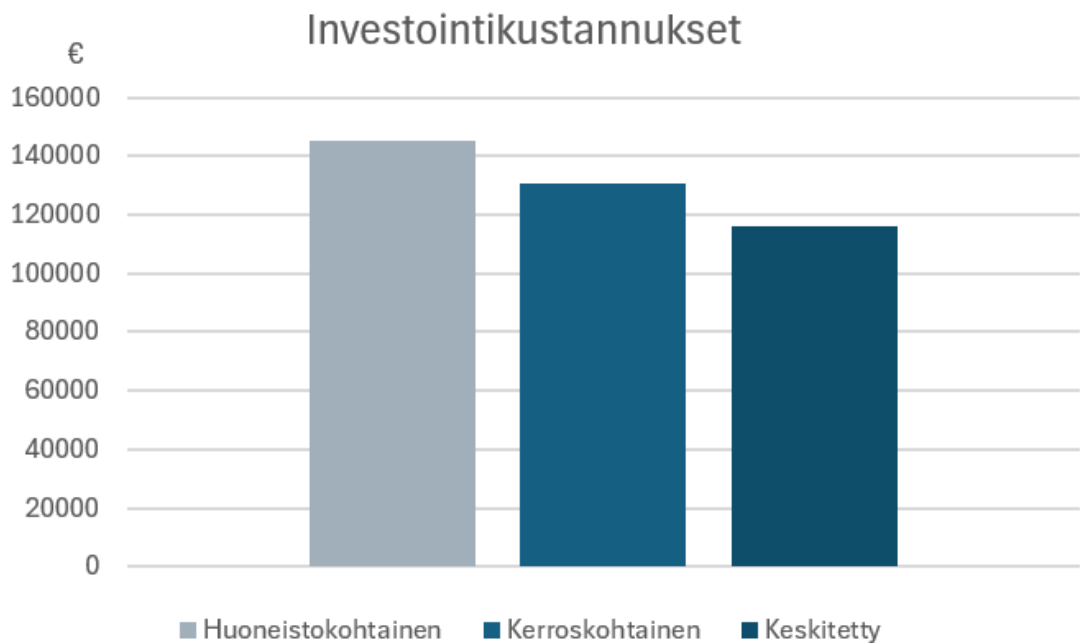
Asuntojen ilmanvaihtokoneiden ilmavirta oli keskiarvoltaan n. 35 l/s, jota käytettiin tämän opinnäytetyön asuntokohtaisen ilmanvaihtokoneen mitoitus tietona. Asuntokohtaisen ilmanvaihtokoneen mitoituksessa käytettiin 70 Pa painehäviötä, joka perustui Revit ohjelmasta saatuun painehäviö tietoon ja ulkoilmalaitteiden painehäviöön. Ilmavirran ja painehäviön mitoitus tietojen mukaan ilmanvaihtokoneen SFP-luku oli 0,97 kW/(m³/s). Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on 85,5 %.

7 TULOKSET

Tuloksissa esitetään ilmanvaihtojärjestelmien elinkaarikustannuksia havainnollistavien kaavioiden avulla. Tuloksissa tarkastellaan ilmanvaihtojärjestelmien investointi-, energiankulutus-, huolto- ja uusimiskustannuksia. Tarkastelu suoritettiin 50 vuoden ajanjaksolle, ja kaavioissa on kuvattu kustannuksien kasvua viiden vuoden aikaväleillä. Laskuissa on käytetty nykyarvomenetelmää, jossa kustannukset siirretään diskonttaamalla nykyhetkeen kaavan 1 ja 2 mukaisesti. Laskuissa käytettävä laskentakorko on 0,98 %. Laskentakorko on laskettu kaavan 3 mukaan, jossa diskonttauskorkona eli nimelliskorkona on käytetty 3 % ja huomioon on otettu 2 % energian ja huoltokustannuksien hintojen nousu vuositasolla. Tuloksien luotettavuutta tarkastellaan käyttäen suurempaa laskentakorkoa sekä laskien kustannukset ilman nykyarvomenetelmää.

7.1 Alkuinvestointikustannukset

Investointikustannuksissa keskityttiin vertailemaan ilmanvaihtojärjestelmien komponentti- ja asennuskustannuksia. Tarkastelussa ei ole huomioitu kuljetuksista, sähkötoista tai tilavarauksista muodostuvia kustannuksia. Määrällistä saatujen tietojen perusteella pystyttiin vertailemaan komponenteista muodostuvia kustannuksia eritellysti, mutta kokonaiskustannuksien arvioinnissa käytettiin pinta-alaan perustuvaa kustannusarvioita eri järjestelmäratkaisuille. Keskitetyn, kerroskohtaisen ja huoneistokohtaisen ilmanvaihtojärjestelmien investointikustannukset on esitetty kuvassa 9.

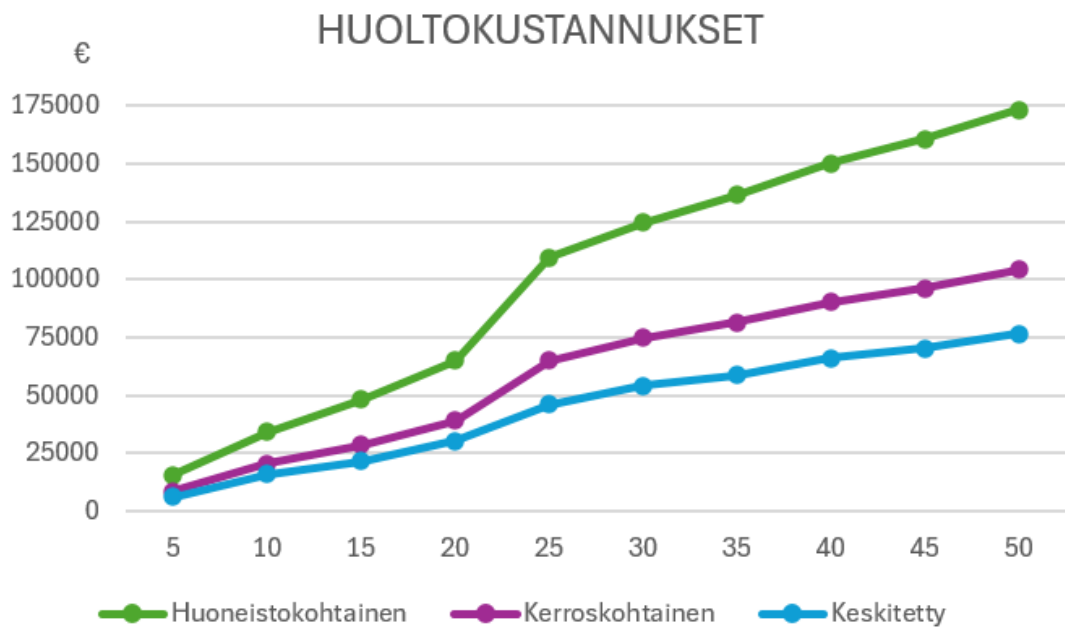


Kuva 9 Ilmanvaihtojärjestelmien alkuinvestointikustannukset

Ilmanvaihtojärjestelmien investointikustannuksien arvioinnissa käytettiin keskitetyille, kerroskohtaiselle ja huoneistokohtaiselle ilmanvaihtojärjestelmälle asunnon pinta-alaan pohjalta määritettyä hinta-arvioita. Hinta-arvioon on laskettu mukaan kaikki järjestelmään kuuluvat osat, kuten ilmanvaihtokone, kanavaosat, päätelaitteet ja muut järjestelmään kuuluvat komponentit sekä asennuskustannukset. Yhden asunnon investointikustannukset huoneistokohtaisella järjestelmällä ovat n. 5000 €, kerroskohtaisella järjestelmällä n. 4500 € ja keskitetyllä järjestelmällä n. 4000 €. (Kääriäinen 2024.)

7.2 Käyttö- ja ylläpitokustannukset

Ilmanvaihtojärjestelmien huoltokustannuksissa on huomioitu suodattimien vaihto kahdesti vuodessa ja ilmanvaihtokanavien nuohous 10 vuoden välein. Huoltotoimenpiteenä laskennassa on huomioitu puhaltimien ja automaatiojärjestelmien uusiminen keskitetyssä ja kerroskohtaisissa ilmapuhaltimikoneissa 25 vuoden käytön jälkeen. Vastaavasti huoneistokohtaiset ilmanvaihtokoneet on ajateltu uusittavan n. 25 vuoden käytön jälkeen. Huoltokustannukset on laskettu 0,98 % laskentakorolla, jossa on huomioitu 3 % diskonttaus korko ja huoltokustannuksien 2 % nousu. Ilmanvaihtojärjestelmien huoltokustannukset 50 vuoden ajalta on esitetty kuvassa 10.

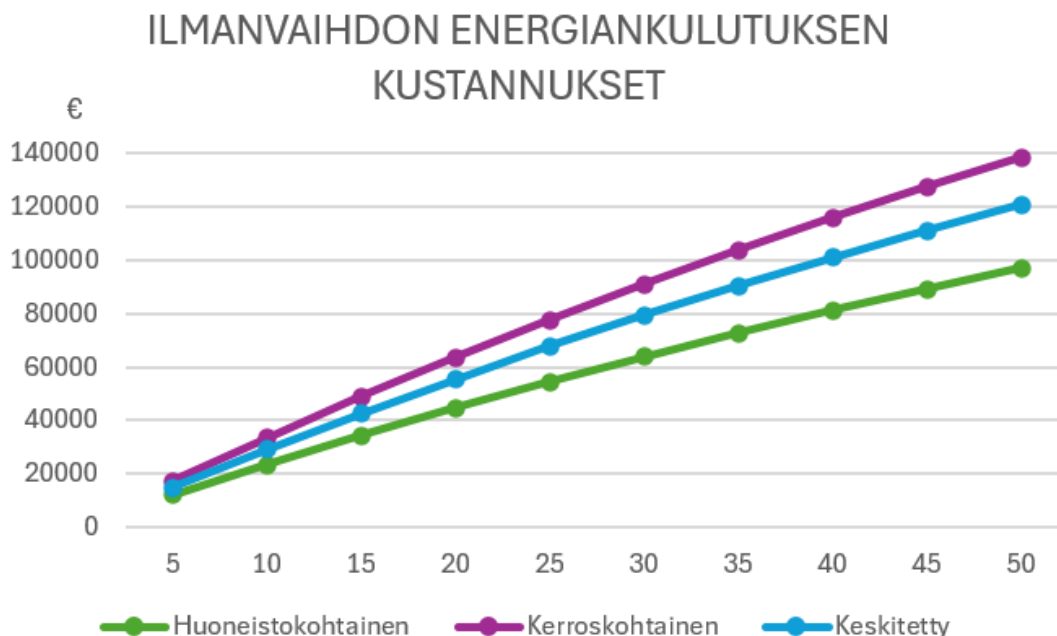


Kuva 10 Ilmanvaihtojärjestelmien huoltokustannukset nykyarvomenetelmää käyttäen

Huoltokustannuksiltaan keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä on koko tarkasteluajan ajalta edullisin, kun taas huoneistokohtaisessa ilmanvaihtojärjestelmässä kustannukset kasvavat suhteessa nopeammin. Huoneistokohtaisen järjestelmän huoltokustannuksiin vaikuttaa se, että ilmanvaihtokoneita on enemmän ja vaihdettavien suodattimien määrä kasvaa. Lisäksi huoneistokohtaisten ilmanvaihtokoneiden uusiminen vaikuttaa kustannuksien kasvuun.

Ilmanvaihtojärjestelmien lämmitys- ja sähköenergiankulutus selvitettiin energiastimulointiohjelma Riuskan avulla. Energiastimuloinnin tuloksiin oli paljon vaikutusta ilmanvaihtokoneille määritellyillä lämmöntalteenotonhyötysuhteen

ja SFP-luvun tiedoilla, jotka selvitettiin ilmanvaihtokoneiden mitoitus ohjelmia käyttäen. Kuvassa 11 on esitetty ilmanvaihtojärjestelmien energiankäyttökustannukset 50 vuoden ajanjaksolle



Kuva 11. Ilmanvaihtojärjestelmien energiankulutuksen kustannukset nykyarvomenetelmää käyttäen

Ilmanvaihtojärjestelmien energiankulutus on laskettu 0,98 % laskentakorolla, jossa on huomioitu 3 % diskonttauskorko ja energiakustannusten nousu 2 % (Hilpinen 2024). Sähköenergiankulutus on laskettu käyttäen sähköenergian hintana 6,14 snt/kWh ja sähköverollisen siirron hintana 6,79 snt/kWh. Hinnat eivät sisällä arvolisäveroa ja sähkön hinta perustuu vuoden keskihintaan aikavälillä 1.5.2023-1.5.2024. (Elenia 2024; Lumme-energia 2024.) Tässä työssä lämmitysenergiana käytettiin kaukolämpöä, jonka hinta koostui energiamaksusta ja tehomaksusta. Kaukolämmön kokonaishintana käytettiin 79 €/MWh, josta on vähennetty arvolisäveron osuus. (Energiateollisuus 2024.)

7.3 Yhteenveto kustannuksista

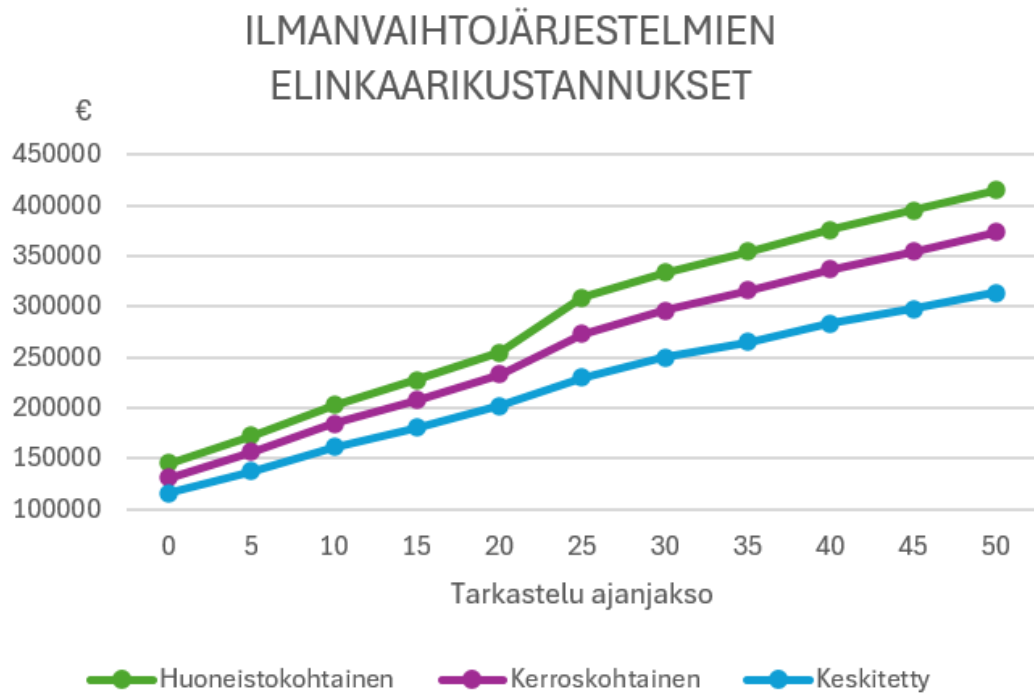
Elinkaarikustannuksien vertailussa kokonaiskustannuksiltaan edullisimmaksi järjestelmäksi muodostui tässä opinnäytetyön tarkastelussa keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä. Laskenta suoritettiin nykyarvomenetelmää käyttäen eli siirtämällä tulevaisuudessa muodostumat kustannukset nykyarvoon. Laskuissa

käytettiin kaavoja 1, 2 ja 3. Ilmanvaihtojärjestelmien 50 vuoden aikana muodostuneita kustannuksia on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Ilmanvaihtojärjestelmien elinkaarikustannuksia 50 vuoden ajanjaksolta

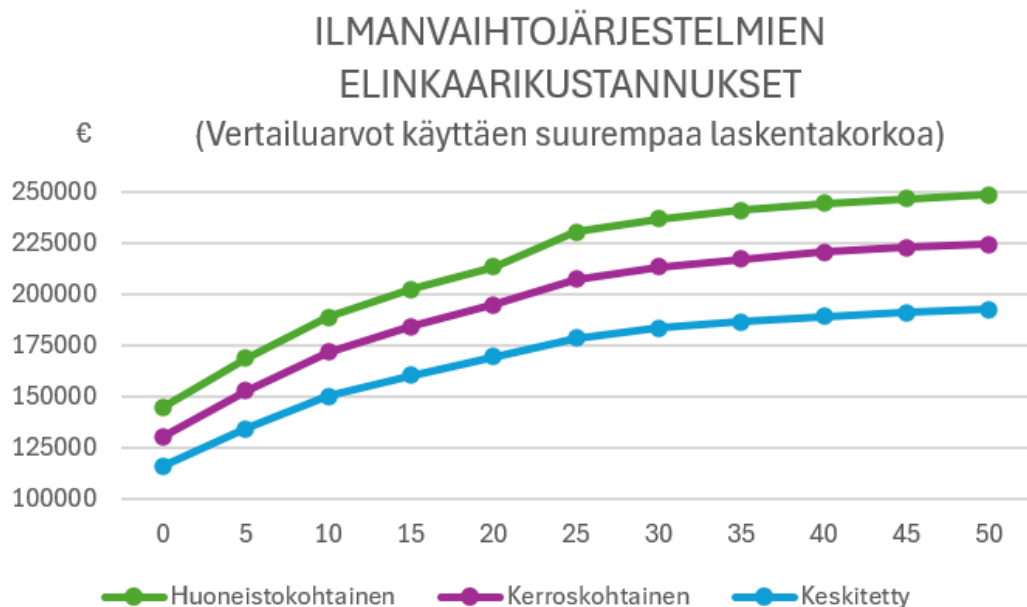
| Kustannukset | Huoneistokohtainen | Kerroskohtainen | Keskitetty | alv. 0 % |
|----------------------------|--------------------|-----------------|---------------|-------------|
| Alkuinvestointi | 145000 | 130500 | 116000 | € |
| Suodattimet +vaihto työ | 126158 | 70403 | 50715 | € |
| Nuohous | 15068 | 15068 | 15068 | € |
| Uusiminen/ korjaus | 31914 | 18727 | 10891 | € |
| Energiankulutus | 97012 | 138586 | 120739 | € |
| Yhteensä | 415152 | 373284 | 313413 | € |

Ilmanvaihtojärjestelmien elinkaarikustannusten tarkastelussa keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä on kokonaiskustannuksiltaan edullisin. Tarkastelusta voidaan huomata, että huoneistokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä muodostaa suurimmat alkuinvestointi ja huoltokustannukset. Energiankulutuskustannuksiltaan huoneistokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä oli kuitenkin edullisin ja eniten energiaa kulutti kerroskohtaisesti toteutettu ilmanvaihtojärjestelmä. Kerroskohtaisena ilmapuhdistuskoneena oli alun perin työssä tarkoitettu käyttää FläktGroupin uutta kerroskohtaista ilmapuhdistuskonetta. Sen julkaisu kuitenkin viivästyi, eikä se ehtinyt mukaan opinnäytetyön tarkasteluun. Kerroskohtaisen ilmanvaihtojärjestelmän investointi- ja huoltokustannukset sijoittuivat huoneistokohtaisen ja keskitetyn ilmanvaihtojärjestelmän välille. Ilmanvaihtojärjestelmien kustannuksia havainnollistava viivakaavio on esitetty kuvassa 12.



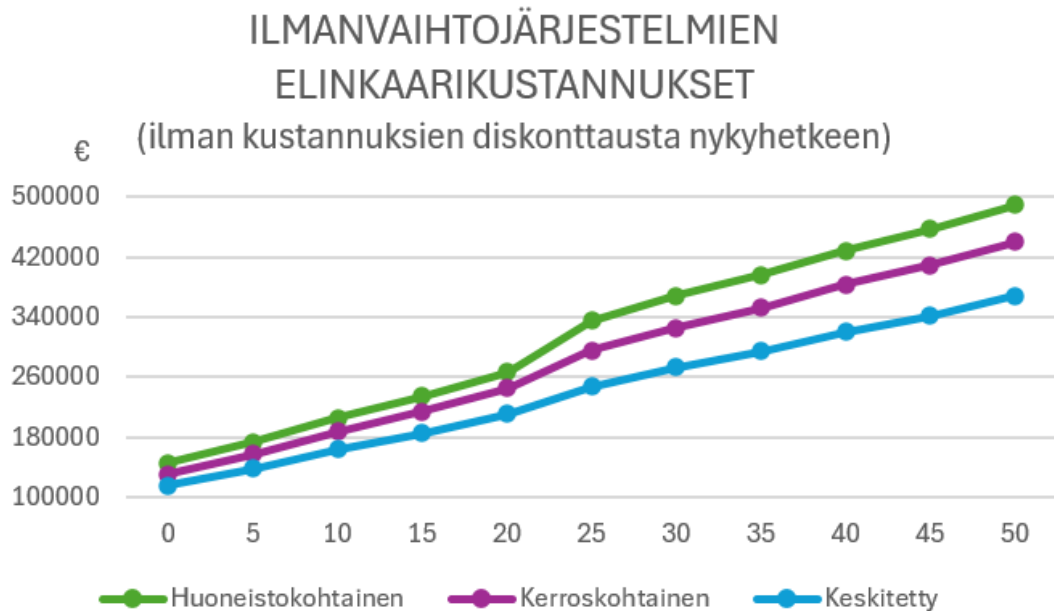
Kuva 12. Ilmanvaihtojärjestelmien elinkaarikustannukset nykyarvomenetelmällä

Ilmanvaihtojärjestelmien elinkaarikustannus vertailun luotettavuutta lähdettiin tarkastelemaan herkkyysanalyysin avulla. Kustannuksien tarkastelua tehtiin muuttamalla laskentakorkoa suuremmaksi. Tämän avulla saatiin selvitettyä vaikuttaako suuremman laskentakoron käyttö lopputulokseen ja siten edullisimman järjestelmäratkaisun löytämiseen. Herkkyystarkastelussa laskentakorkona käytettiin 6 %, jota on käytetty kuvan 13 kustannuksien laskennassa.



Kuva 13. Ilmanvaihtojärjestelmien elinkaarikustannuksien vertailuarvot suurempaa laskentakorkoa käyttäen

Tuloksien luotettavuutta tarkasteltiin lisäksi ilman kustannuksien diskonttausta nykyhetkeen, jolloin rahan aika-arvoa ei oteta huomioon. Ilmanvaihtojärjestelmien kustannukset on esitetty kuvassa 14 ilman nykyarvomenetelmää.



Kuva 14. Ilmanvaihtojärjestelmien elinkaarikustannukset ilman nykyarvomenetelmää

Tuloksien vertailusta voidaan todeta, että mitä suurempaa laskentakorkoa nykyarvomenetelmällä laskiessa käytetään, sitä pienempi vaikutus energiankulutuksella ja huoltokustannuksilla on lopputulokseen. Tällöin suurin painoarvo lopputulokseen on alkuinvestointikustannuksilla. Laskennan lopputulos pysyy samana herkkyyksanalyysistä huolimatta, ja voidaan todeta, että keskitetysti toteutettu ilmanvaihtoratkaisu on kokonaisuudessaan edullisin vaihtoehto.

8 POHDINTA

Opinnäytetyön tarkoituksena oli vertailla ilmanvaihtojärjestelmien kustannuksia asuinkerrostalorakennuksessa. Työssä vertailtiin kolmella eri tavalla toteutettua koneellista tulo- ja poistojärjestelmää niiden investointi-, huolto- ja energiankulutus kustannusten pohjalta. Opinnäytetyön päätavoitteena oli selvittää kokonaiskustannuksiltaan paras ilmanvaihtoratkaisu asuinkerrostalorakentamiseen. Työssä oli tärkeää selvittää, mistä tekijöistä ilmanvaihtojärjestelmien kustannukset muodostuvat ja mistä luotettavaa tietoa saadaan kerättyä. Tavoitteena oli myös selvittää eri ilmanvaihtojärjestelmien energiankulutuskustannukset hyödyntäen Riuskan energiastimulointiohjelman.

Tässä opinnäytetyössä selvitettyjen tietojen perusteella kokonaiskustannuksiltaan edullisin ratkaisu oli keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä. Työn tavoitteisiin päästiin ja saatiin selvitettyä kustannustehokkain ilmanvaihtojärjestelmä 5 asuinkerroksen kerrostalorakennukseen. Rakennuksessa oli 29 asuntoa, joiden yhteenlaskettu asuinpinta-ala oli 2200 m². Tuloksiin vaikutti suuresti alkuinvestointikustannukset, joiden perusteella keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä oli tuotteiden hintojen ja asennuksen perusteella edullisin. Työssä tarkasteltaviin energiankulutuskustannuksiin vaikutti vertailussa käytetyt ilmanvaihtokoneet ja niiden mitoitus tiedot, kuten ilmavirta ja painehäviö. Mitoituksesta saatujen tietojen perusteella erityisesti lämmöntalteenoton hyötysuhteella ja SFP-luvulla oli suuri vaikutus energiastimuloinnista saatuihin tuloksiin. Energianhinta on tällä hetkellä korkealla, ja energian hintaa tulevaisuudessa on hankala lähteä arvioimaan. Energiankulutuskustannusten tarkastelua ajatellen työssä oli alun perin tarkoitus käyttää FläktGroupin uutta kerroskohtaista ilmankäsittelykonetta. Sen julkaisu kuitenkin viivästyi, eikä se ehtinyt mukaan opinnäytetyön tarkasteluun.

Tuloksien tarkastelun ja vertailtavuuden kannalta työssä oli tärkeä tehdä selkeät rajaukset siitä, mitä kustannuksia työssä on tutkittu ja mitkä osa alueet jätettiin laskennan ulkopuolelle. Tutkimuksessa ei lähdetty selvittämään ilmanvaihtojärjestelmien purkukustannuksia, muuntojoustavuuden näkökulmasta tai ilmanvaihtojärjestelmien tilaratkaisuiden muodostamia kustannuksia. Opinnäytetyössä keskityttiin vertailemaan ilmanvaihtojärjestelmien investoinnin, energiankulutuksen, huollon ja ylläpidon kustannuksia. Korjaus- ja uusimiskustannuksissa on huomioitu puhaltimien ja automaatiojärjestelmän uusiminen asennuskustannuksineen keskitetyille ja kerroskohtaisille ilmanvaihtokoneille. Huoneistokohtaisessa järjestelmässä todettiin järkevämmäksi uusia ilmanvaihtokone n. 25 käyttövuoden jälkeen. Huoltotoimenpiteitä tarkastellessa ilmanvaihtokoneiden määrällä oli suuri vaikutus kustannuksiin, sillä huoneistokohtaisessa järjestelmässä vaihdettavien suodattimien määrä moninkertaistui, kerroskohtaiseen ja keskitettyyn ilmanvaihtojärjestelmään nähden. Toki asunto-kohtaisen ilmanvaihtojärjestelmän suodattimien vaihto on nopeampaa ja suodattimet ovat edullisempia, mutta 50 vuoden tarkastelussa erot suodattimien vaihtokustannuksien välillä kasvoivat huomattavan suuriksi. Tulevaisuudessa muodostuvien kustannuksien arvioinnissa käytettiin nykyarvomenetelmää, jota

hyödyntämällä tulevaisuudessa syntyvät kustannukset siirrettiin diskonttaamalla nykyhetkeen. Kustannuksien siirtäminen samaan ajanhetkeen on oleellista, koska rahan aika-arvo muuttuu eikä tämän päivän euro ole arvoltaan sama tulevaisuudessa.

Omalta osaltani pohjatietoa elinkaarikustannuksien laskennasta ei ollut ja haastavinta oli saada yleiskäsitys siitä, miten elinkaarikustannuksia lähdetään laskemaan ja mitä elinkaarikustannuksilla tarkoitetaan. Aiempaa kokemusta energiastimulointiohjelma Riuskan käytöstä ei ollut, mikä voi vaikuttaa tulosten luotettavuuteen. Ohjelma itsessään oli kuitenkin selkeä, ja tarvittavat tiedot saatiin selvitettyä. Opin työssä, miten elinkaarikustannuksia lasketaan, ja sen, miten suuri painoarvo laskennassa käytettävillä korkoprosenteilla on kustannuksien eroja arvioidessa. Sain myös hyvää yleiskäsitystä ilmanvaihtojärjestelmien muodostamista kustannuksista.

Opinnäytetyön tuloksista on hyötyä vertaillaessa eri ilmanvaihtojärjestelmien kustannusvaikutuksia. Opinnäytetyön jatkotutkimusta voisi tehdä selvitystä ilmanvaihtojärjestelmien käyttöiän päätyttyä, purkamisessa syntyvistä kustannuksista sekä kierrätysmahdollisuuksista. Toinen jatkotutkimusaihe ilmanvaihtojärjestelmien vertailussa voisi olla hiilijalanjäljen selvittäminen niin valmistuksen kuin käytön ajalta. Hiilijalanjäljen laskenta kasvaa jatkuvasti, ja siihen kiinnitetään entistä enemmän huomiota. Uusista rakennuksista pyritään tekemään vähäpäästöisempiä, sekä korjausrakentamispuolella pyritään pienentämään nykyisten rakennusten hiilijalanjälkeä.

LÄHTEET

Aaltonen A. 2022. Kuinka paljon ilmanvaihto kuluttaa energiaa? Blogi. Päivitetty 15.09.2022. Saatavissa: <https://www.vallox.com/kuinka-paljon-ilmanvaihto-kuluttaa-energiaa/> [viitattu 23.2.2024].

Elenia. 2024. Verkkopalveluhinnasto.PDF-dokumentti Saatavissa: <https://www.elenia.fi/files/4b64456f332a7edebed13a1c0570c72f69cca3ca/elenia-pienasiakkaat-hinnasto-2024-fi.pdf> [viitattu 1.5.2024].

Energiateollisuus. 2024. Kaukolämmön hintatilasto. WWW-dokumentti. Päivitetty 21.2.2024. Saatavissa: <https://energia.fi/tilastot/kaukolammon-hintatilasto/> [viitattu 1.5.2024].

European commission. s.a. Life cycle costing. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://green-business.ec.europa.eu/green-public-procurement/life-cycle-costing_en [viitattu 17.1.2024].

FläktGroup Finland Oy. s.a. Asuntoilmanvaihdon ratkaisuja. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.flaktgroup.com/fi/ratkaisut/asuntoilmanvaihto/asuntoilmanvaihdon-ratkaisuja/> [viitattu 16.2.2024].

Green Building Council Finland. 2013. Rakennusten elinkaarimittarit. PDF-dokumentti. Päivitetty 16.1.2013. Saatavissa: https://media.sitra.fi/app/uploads/2017/02/Rakennusten_elinkaarimittarit_2013-2.pdf [viitattu 13.2.2024].

Hengitysliitto. s.a. Kodin sisäilma ja kunnossapito. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/> [viitattu 12.1.2024].

Hilpinen, J. Kestävän ja älykkään rakentamisen kehityspäällikkö. Teams keskustelu. 14.3.2024. Sweco Finland Oy.

Ilmanvaihtolaitosten paloturvallisuus -opas. 2019. Talotekniikkainfo. WWW-dokumentti. Päivitetty 2.11.2023. Saatavissa: <https://talotekniikkainfo.fi/ilmanvaihtolaitosten-paloturvallisuus-opas> [viitattu 16.2.2024].

Ilmastoinfo. s.a. Ilmanvaihdon energiatehokas käyttö ja ylläpito. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ilmastoinfo.hsy.fi/verkkokurssit/energiaekspertti/lessons/ilmanvaihto/topics/ilmanvaihdon-energiatehokas-kaytto-ja-yllapito/> [viitattu 23.2.2024].

Kvantitatiivisen tutkimuksen verkkokäsikirja. 2021. Tampereen yliopisto. Tietotarkisto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menestelmaopetus/kvanti/> [viitattu 22.1.2024].

Kääriäinen, J. Asiakkuuspäällikkö. Sähköpostikeskustelu. 06.01.–18.4.2024. FläktGroup Finland Oy.

Lumme-energia. 2024. Sähkön hintakatsaus. WWW-dokumentti Saatavissa: <https://www.lumme-energia.fi/sahkon-hintakatsaus> [viitattu 1.5.2024].

Menetelmäpolku. 2015. Jyväskylän yliopiston Koppa. WWW-dokumentti. Päivitetty 23.4.2015. Saatavissa: <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku> [viitattu 22.1.2024].

Motiva. 2013. LCC käyttöohje. PDF-dokumentti. Päivitetty 10.10.2013. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/14953/Motivan_kayttoohje_LCC-taulukoille_\(10.10_\(1\)\).pdf](https://www.motiva.fi/files/14953/Motivan_kayttoohje_LCC-taulukoille_(10.10_(1)).pdf) [viitattu 13.2.2024].

Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen. 2019. Finvac ry. PDF-dokumentti. Päivitetty 30.11.2019. Saatavissa: https://finvac.org/wp-content/uploads/2020/06/Opas_asuinrakennusten_ilmanvaihdon_mitoitukseen_2019.pdf [viitattu 17.1.2024].

REHVA. s.a. Politiikkaan liittyvät ongelmat. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rehva.eu/eu-policy/policy-issues> [viitattu 23.2.2024].

RT-18-10922. 2008. Rakennustieto. Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitojaksot.

Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas. 2019. Talotekniikkainfo. WWW-dokumentti. Päivitetty 7.6.2023. Saatavissa: <https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas> [viitattu 16.2.2024].

Swegon. s.a. Ilmanvaihto kerrostaloissa ja pientaloissa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.swegon.com/fi/oppaat/rakennustyytit/asuntoilmanvaihto-opas/> [viitattu 16.2.2024].

Tampereen tilapalvelut. 2022. Elinkaarisuunnitteluohje. PDF-dokumentti. Päivitetty 17.6.2022. Saatavissa: https://tampereentilapalvelut.fi/materiaalit/suunnitteluohjeet/2022-06-17_Elinkaarisuunnitteluohje.pdf [viitattu 13.2.2024].

Uponor. s.a. Ilmanvaihtojärjestelmä rivi- tai kerrostaloissa. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.uponor.com/fi-fi/tuotejarjestelmat/ilmanvaihto/ilmanvaihto-kerrostaloissa> [viitattu 16.2.2024].

Vallox. 2015. Asuntokohtainen ilmanvaihto uuteen kerrostaloon. WWW-dokumentti. Päivitetty 5.2.2024. Saatavissa: <https://www.vallox.com/asuntokohtainen-ilmanvaihto-uuteen-kerrostaloon/> [viitattu 16.2.2024].

Valtiokonttori. 2022. Investointien suunnittelu ja seuranta -ohje. WWW-dokumentti. Päivitetty 1.1.2022. Saatavissa: <https://www.valtiokonttori.fi/maaraykset-ja-ohjeet/investointien-suunnittelu-ja-seuranta-ohje-2/> [viitattu 13.2.2024].

Varmista energiatehokkuus — Vinkit ilmanvaihdon tarkistuksiin. 2022. Talotekniikka-lehti 20.10.2022. Verkkolehti. Saatavissa: <https://talotekniikka-lehti.fi/varmista-energiatehokkuus-vinkit-ilmanvaihdon-tarkistuksiin/> [viitattu 23.2.2024].

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017.

KUVALUETTELO

Kuva 1. Kuvakaappaus Oulun ammattikorkeakoulun julkaisusta. Rakentamisen ilmastoja lki ja elinkaarikustannukset. Pitsinki V. 22.12.2021. Saatavissa: <https://vanha.oamk.fi/oamkjournal/2021/rakentamisen-ilmastoja-lki-ja-elinkaarikustannukset/> [viitattu 13.2.2024].

Kuva 2. Kuvankaappaus. Huoneistokohtaisen ilmanvaihtojärjestelmän IFC-malli. 2024.

Kuva 3. Kuvankaappaus Talotekniikkainfon sivuilta. 2024. Ulkoilmalaitteiden ja ulospuhallusilmalaitteiden sijoittaminen. Saatavissa: <https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/14-ulkoilmalaitteiden-ja-ulospuhallusilmalaitteiden-sijoittaminen> [viitattu 9.4.2024].

Kuva 4. Kuvankaappaus Talotekniikkainfon sivuilta. Ulkoilmalaitteiden ja ulospuhallusilmalaitteiden sijoittaminen. Saatavissa: <https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas/14-ulkoilmalaitteiden-ja-ulospuhallusilmalaitteiden-sijoittaminen> [viitattu 9.4.2024].

Kuva 5. Kuvankaappaus. Määräluettelon valikko MagiCAD Revit -ohjelmasta. 2024.

Kuva 6. Kuvankaappaus yrityksen sivuilta. FläktGroup Finland Oy. 2024. Ilmankäsittelykoneiden valintaohjelma ACON. Saatavissa: <https://www.flaktgroup.com/fi/tuki/valintaohjelmat> [viitattu 16.4.2024].

Kuva 7. Kuvankaappaus yrityksen sivuilta. FläktGroup Finland Oy. 2024. Ilmankäsittelykoneiden valintaohjelma ACON. Saatavissa: <https://www.flaktgroup.com/fi/tuki/valintaohjelmat> [viitattu 16.4.2024].

Kuva 8. Kuvankaappaus yrityksen sivuilta. FläktGroup Finland Oy. 2024. ILOX 59PLUS -ilmanvaihtokone. Saatavissa: <https://www.flaktgroup.com/fi/products/ilmankasittelykoneet/iloxair-asuntoilmanvaihtokoneet/ilox-59plus-ilmanvaihtokone/> [viitattu 16.4.2024].

Kuva 9. Ilmanvaihtojärjestelmien alkuinvestointikustannukset. 2024.

Kuva 10. Ilmanvaihtojärjestelmien huoltokustannukset nykyarvomenetelmää käyttäen. 2024.

Kuva 11. Ilmanvaihtojärjestelmien energiankulutuksen kustannukset nykyarvomenetelmää käyttäen. 2024.

Kuva 12. Ilmanvaihtojärjestelmien alkuinvestointikustannukset. 2024.

Kuva 13. Ilmanvaihtojärjestelmien elinkaarikustannuksien vertailuarvot suurempaa laskentakorkoa käyttäen. 2024.

Kuva 14. Ilmanvaihtojärjestelmien elinkaarikustannukset ilman nykyarvomenetelmää. 2024.