

Tuomo Peltola

Kauppakeskuksen ilmanvaihdon energiasaneeraus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (ylempi AMK)

Talotekniikka

Opinnäytetyö

2.5.2018

Tekijä Otsikko	Tuomo Peltola Kauppakeskuksen ilmanvaihdon energiasaneeraus
Sivumäärä Aika	37 sivua + 1 liite 2.5.2018
Tutkinto	Insinööri (ylempi AMK)
Koulutusohjelma	Talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka
Ohjaajat	toimitusjohtaja Pertti Ihalainen lehtori Seppo Inanen
<p>Opinnäytetyössä tarkasteltiin kauppakeskusrakennuksen ilmanvaihtosaneerauksen kannattavuutta ja tutkittiin kustannustehokkainta ratkaisua, jolla saneeraus saadaan tehdyksi. Työn tavoitteena oli luoda jatkosuunnittelua ohjaava menettelytapa, jolla vastaavanlainen saneeraus pystytään suunnittelemaan läpi. Työ tehtiin todellisen suunnitteluprojektin yhteydessä.</p> <p>Työssä tutkittiin seitsemää ilmanvaihtokonetta, joiden käyttöikä alkaa lähestyä loppuaan. Ilmanvaihtokoneet ovat yksi osa kauppakeskusrakennuksen ilmanvaihtokokonaisuutta. Olemassa olevien koneiden tekniset tiedot selvitettiin ja tehtiin ensimmäinen energiasimulointi, jolloin koneiden vuosittaiset energiankulutukset saatiin selvitettyä. Tämän jälkeen suoritettiin uusia simulointeja eri lähtöarvoilla olettaen, että ilmanvaihtokoneet uusitaan. Lopulta päädyttiin ratkaisuun, jota voidaan esittää toteutettavaksi. Tähän sisältyivät koneiden uusinnat, huippuimureiden liittäminen lämmöntalteenottojen taakse sekä kahden koneen palvelualueen yhdistäminen.</p> <p>Työn tuloksena voidaan todeta, että tässä tapauksessa ilmanvaihtolaitteiden uusiminen vaikuttaa kannattavalle. Saavutettu energiansäästö lämmitysenergiassa oli peräti 67 % ja puhallinsähkössäkin 33 %. Tämä tarkoittaa noin 18 000 euron vuosittaisia säästöjä energiakustannuksissa. Investointikustannusten ollessa 170 000 euroa saavutetaan noin 9,5 vuoden yksinkertainen takaisinmaksuaika materiaalien osalta.</p> <p>Työssä tehtiin johtopäätöksiä ainoastaan ilmanvaihtokoneiden osalta. Ilmanvaihtojärjestelmä on kuitenkin paljon suurempi kokonaisuus ja tarkasteltavaa olisi enemmänkin. Esimerkiksi ilmamäärien tarpeenmukaistaminen sekä kanaviston painehäviön pienentäminen olisivat tehokkaita keinoja pienentää energiankulutusta. Olemassa olevan rakennuksen kohdalla edellä mainittujen seikkojen muuttaminen on kuitenkin haastavaa.</p>	
Avainsanat	kauppakeskus, ilmanvaihto, energiansäästö, ilmanvaihtokone

Author Title	Tuomo Peltola Energy Renovation of a Ventilation System in a Shopping Mall
Number of Pages Date	37 pages + 1 appendix 2.5.2018
Degree	Master of engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Building services engineering
Instructors	Pertti Ihalainen, CEO Seppo Innanen, Senior Lecturer
<p>The purpose of this master's thesis was to investigate the renovation of ventilation units in a shopping mall. The main goal was to establish the most cost-efficient solution for the renovation.</p> <p>Seven ventilation units were investigated. First, the technical data of old ventilation units were examined and an energy simulation made. The result established the annual energy consumption of each unit. In further simulations, the initial values were changed. Finally, the best combination was found and presented as a plan that suggested the renewal of six ventilation units, and an addition of separately powered roof ventilators behind the main ventilation units.</p> <p>Renewing the ventilation units seemed profitable with annual savings of 67 % in the heat energy consumption and 33 % in the electricity consumption of the fans, a total of 18,000 euros annually in energy. The payback time would be around nine and a half years at 170,000 euros per unit.</p> <p>The thesis can be used as general instructions when planning similar renovations in the future.</p>	
Keywords	shopping mall, ventilation, energy conservation, ventilation unit

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Rakennuksen energiatehokkuus ja lainsäädäntö	2
2.1	Direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta	2
2.2	Kansallinen lainsäädäntö	3
2.3	Rakennuksen energiantarpeen määräytyminen	4
2.4	Energiatehokkuus saneerattaessa	7
3	Kauppakeskuksen ilmanvaihtolaitteisto	8
3.1	Ilmanvaihtojärjestelmän osien vaikutus energiatehokkuuteen	8
3.2	Yleistä ilmanvaihtokoneista	9
3.3	Ilmanvaihtokoneen rakenne ja osat	10
4	Ilmanvaihtojärjestelmän energiasimulointi	17
4.1	Tarkasteltavan ilmanvaihtokokonaisuuden kuvaus	17
4.2	Laskentamenetelmä	20
4.3	Olemassa olevien ilmanvaihtokoneiden simulointi	22
4.4	Uusien ilmanvaihtokoneiden simulointi	23
5	Tulokset	28
5.1	Laskentatapausten vertailu	28
5.2	Investointien takaisinmaksuaika	31
6	Yhteenveto	34
	Lähteet	36

Liite 1. Tarkasteltavan ilmanvaihtojärjestelmän pystykaavio

1 Johdanto

Alati kiristyvät energiamääräykset ja paine pienentää rakennusten lämmityksestä aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä ajavat rakennuksia ja niiden teknisiä järjestelmiä kohti energiatehokkaampaa suuntaa. Nykyään rakennettavat uudisrakennukset alkavat olla jo erittäin energiatehokkaita, mutta maassamme on valtavasti vanhaa rakennuskantaa, jonka energiatehokkuus ei ole lähimainkaan toivottua tasoa. Tämän johdosta korjausrakentamisen energiamääräykset astuvat kuvioon myös vanhojen rakennusten kohdalla, kun rakennuksille ryhdytään tekemään saneerauksia tai kattavampia peruseräparannuksia.

Tämä on ajankohtaista kuitenkin vain silloin, kun toimiin on tarkoitus ryhtyä. Mikäli rakennukselle ei tehdä mitään, saa se kuluttaa energiaa toistaiseksi niin paljon kuin tarvetta on. Tällä hetkellä vaikuttaa sille, että kansallisella tasolla ollaan saavuttamassa vuoden 2020 tavoitteet, mutta lisätoimia tarvitaan, jotta vuoden 2030 tavoitteisiin yllätään. Tämä voi tulevaisuudessa vaikuttaa myös olemassa oleviin rakennuksiin vaikka näihin ei toistaiseksi olisikaan suunniteltu energiasaneerauksia. [1.]

Työn tavoitteena oli tutkia kauppakeskusrakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän saneerauksen kannattavuutta. Pää tavoitteena oli löytää kustannustehokkain ratkaisu ilmanvaihtolaitteiden saneeraukseen ja samalla parantaa mahdollisimman paljon rakennuksen energiatehokkuutta. Työssä tehtiin energiasimulointeja Riuska-nimisellä ohjelmistolla. Simuloinnit aloitettiin nykyisellä, olemassa olevalla ilmanvaihtolaitteistolla ja tästä lähdettiin tilannetta parantamaan asteittain päätyen lopulliseen ratkaisuun, jota ehdotetaan myös toteutettavaksi. Työhön valikoitiin kauppakeskuksen osa, jonka tuloksia voidaan yleistää myös muissa kauppakeskuksen ilmanvaihtokokonaisuuksissa.

Tutkittavaksi kohteeksi valikoitui Lahdessa sijaitseva kauppakeskus Trio. Trio on Lahden keskusta-alueen merkittävin kauppakeskittymä. Sillä on yhteensä noin 46 000 m² vuokrattavaa pinta-alaa ja vuosittainen kävijämäärä on noin 5,6 miljoonaa asiakasta. Kauppakeskuksessa tehtiin kattava peruskorjaus vuosina 2007–2008, jolloin myös kauppakeskuksen osat Forum, Opaali ja Aleksanteri liitettiin yhteen. Tällöin kaikkea tekniikkaa ei kuitenkaan uusittu, jonka johdosta mm. osa ilmanvaihtokoneista on nyt tulossa uusinnan alle. Työ on osa meneillään olevaa suunnitteluprojektia ja se tehdään yhteistyössä Granlund Lahti Oy:n kanssa.

2 Rakennuksen energiatehokkuus ja lainsäädäntö

Tässä luvussa käsitellään rakennuksen energiatehokkuutta yleisesti sekä perehdytään energiatehokkuutta koskeviin lakeihin niin EU:n tasolla kuin kansallisesti.

2.1 Direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta

Euroopan unionin alueella 40 % käytetystä energiasta kuluu rakennuksiin. Näin ollen energiankulutuksen pienentäminen sekä uusiutuvien energialähteiden käyttö rakennusalailla ovat tärkeitä toimenpiteitä ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja energiaomavaraisuuden lisäämiseksi. Yhdistyneiden kansakuntien puitesopimukseen liitetyn Kioton pöytäkirjan mukaisesti Euroopan unioni on sitoutunut pienentämään kasvihuonekaasujen kokonaispäästöjä 20 % vuoden 1990 tasosta ja säilyttämään maailmanlaajuisen ilmaston lämpötilan nousun alle 2 celsiusasteessa verrattuna esiteolliseen aikaan. [2, s. 1.] Vaatimukset ovat verraten kovia. Etenkin maailmanlaajuisen lämpötilan nousun kahlitseminen tulee olemaan valtava haaste, johon osaltaan pyritään vaikuttamaan rakennusten energiatehokkuuden parantamisella.

Vuonna 2015 sovittiin uudesta kattavasta YK:n ilmastosopimuksesta, joka on myös oikeudellisesti jäsenvaltioita sitova. Sopimuksesta sovittiin Pariisin ilmastokokouksen yhteydessä, jolloin sopimus sai nimekseen Pariisin ilmastosopimus. Kyseisen sopimuksen myötä lähes kaikki maailman maat ovat kertoneet olevansa valmiita ilmastonmuutoksen vastaiseen työskentelyyn. [3.] Pariisin ilmastosopimuksen ratifioineet jäsenvaltiot sitoutuvat pitämään maailmanlaajuisen ilmaston lämpötilan nousun selvästi alle 2 celsiusasteessa verrattuna esiteolliseen aikaan sekä pyrkivät toimiin joilla lämpötilan nousu saataisi rajattua 1,5 celsiusasteeseen. Tämän lisäksi jäsenvaltioiden tulee varautua tuleviin ilmastonmuutoksesta aiheutuviin haittavaikutuksiin sekä pyrkiä edistämään kehitystä kohti alhaisempia kasvihuonekaasupäästöjä kuitenkin siten, ettei ruoan tuotanto vaarannu. [4, s.3.]

Suomessa määrätietoisien työn tuloksena on saatu fossiilisten polttoaineiden polttamisesta johtuvat kasvihuonepäästöt kääntymään laskuun 2000-luvulla. Osaltaan tähän ovat vaikuttaneet myös rakentamismääräysten muutokset 2000-luvun loppupuolella, jolloin etenkin rakennusten kuluttamaan primäärienergian määrään kiinnitettiin huomiota ja määräyksiä tältä osin kiristettiin. Poikkeuksen kuvassa 1 näkyvään kuvaajaan te-

kee vuosi 2010, jolloin oli poikkeuksellisen pitkiä ja kylmiä pakkaskausia ja näin ollen fossiilisia polttoaineita jouduttiin polttamaan energiantarpeen kattamiseksi [5].



Kuva 1. Polttoaineiden kokonaiskasvihuonekaasupäästöt Suomessa vuosina 1990–2015 [6].

Osaltaan hiilidioksidipäästöjen vähenemiseen on vaikuttanut rakennusten energiatehokkuuden parantumisesta johtuva energiansäästö.

2.2 Kansallinen lainsäädäntö

Vuoden 2017 lopussa ympäristöministeriö julkaisi suuren nipun uusia asetuksia ja ohjeita, joilla korvataan vanhat rakentamismääräyskokoelman osat. Aikaisemmin energiatehokkuutta on käsitelty rakentamismääräyskokoelman osassa D, joka on pitänyt sisällään myös määräykset rakennuksen vesi- ja viemärlaitteistoa sekä ilmanvaihtoa koskien. Nyt nämä vanhat rakentamismääräykset on korvattu erillisillä asetuksilla, joista rakennuksen energiatehokkuutta käsitellään taulukossa 1 esitetyissä asetuksissa. Taulukossa olevien asetusten lisäksi vanha rakentamismääräyskokoelman osa *D5 (2012) rakennuksen energiankulutuksen ja lämmöntarpeen laskenta* on korvattu vastaavan sisältöisellä ohjeella, johon on tehty asetusten muutoksista aiheutuneet muutokset. [7.]

Taulukko 1. Rakennuksen energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö [7].

Asetus	Voimaantulo
Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta.	1.1.2018
Valtioneuvoston asetus rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista	1.1.2018
Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta	1.1.2018
Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä annetun ympäristöministeriön asetuksen muuttamisesta	1.7.2017
Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä	2013

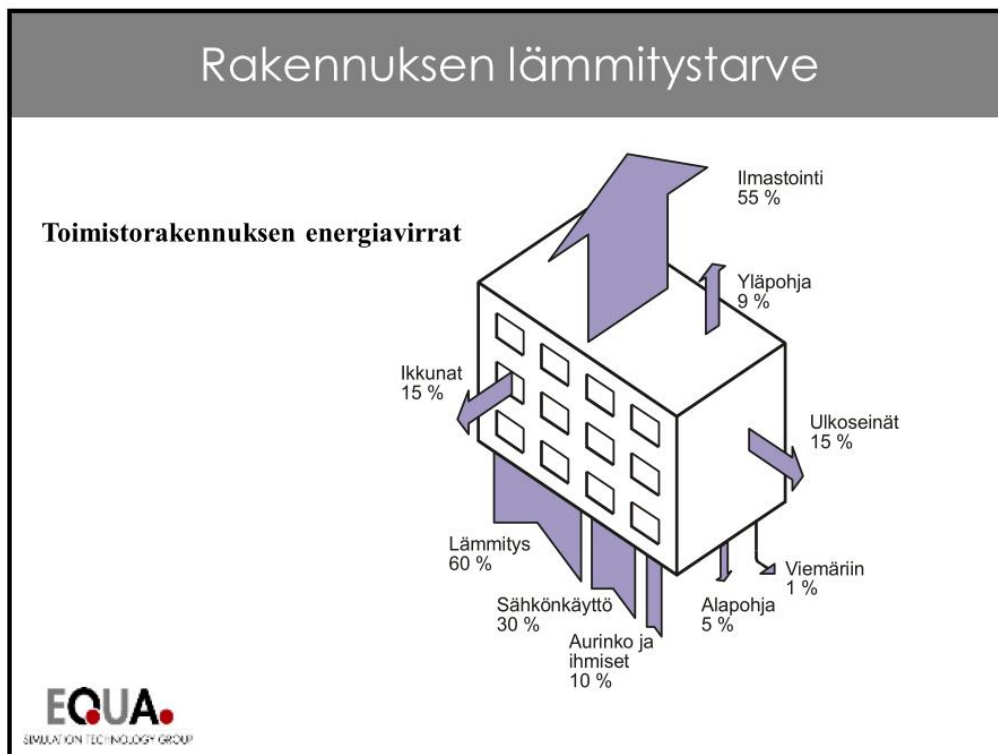
Suurin muutos asetusten myötä tuli määräysten rakenteeseen. Aikaisemmin varsinainen määräys ja ohje ovat olleet samassa kokoelmassa. Nyt määräysteksti annetaan asetuksen muodossa ja tarvittaessa asetuksille annetaan erillisiä ohjeita, mikäli se katsotaan tarpeelliseksi. Sisällöllisesti energiamääräysten muutokset jäivät pieniksi. Suurin muutos koskee rakennuksen laskennallisen energiatehokkuuden vertailuluvun, E-luvun, raja-arvojen kiristymistä. Esimerkiksi luokan 4 rakennusten, joihin myös kauppakeskus kuuluu, aikaisempi E-luvun raja-arvon oli 240 kW/(m²,a). Uuden voimassaolevan asetuksen mukainen raja-arvo on 135 kW/(m²,a), jolloin pudotus E-luvun raja-arvossa on noin 44 %. [8; 9.] Äkkiseltään E-luvun kiristys tuntuu melko kovalle, mutta kun otetaan samanaikaisesti huomioon, että energiamuotojen kertoimia on kaukolämmön osalta laskettu 0,5:een (aikaisemmin 0,7) ja sähkön osalta 1,2:een (aikaisemmin 1,7), voidaan todeta kiristysten olevan hiukan matillisempi [10]. Kummankin kertoimen pudotus on prosentuaalisesti noin 29 %. Kauppakeskuksissa käytetty pääasiallinen primäärienergia on juuri sähköä tai kaukolämpöä, jolloin myös energiamuotojen kertoimien pieneneminen on eduksi laskettaessa rakennuksen E-lukua.

2.3 Rakennuksen energiantarpeen määräytyminen

Rakennusten elinkaari on yleensä pitkä, joten niiden vaikutus myös energiankulutukseen on pitkä. Tästä syystä uusien ja laajamittaiseen saneeraukseen joutuvien rakennusten tulee täyttää paikallisen ilmaston mukaan laaditut vähimmäisvaatimukset. Olemassa olevien rakennusten saneeraus tarjoaa mahdollisuuden tehdä kustannustehokkaita toimenpiteitä rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseksi. Kustannustehok-

kaiden korjaustoimenpiteiden tulisi kohdistua niihin rakennuksen osiin, joilla on suurin merkitys rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen kannalta. [1, s. 3.] Ilmanvaihtolaitteistot ovat yksi merkittävä tekijä rakennuksen energiatehokkuuden kannalta ja siksi onkin tärkeä kiinnittää huomiota ilmanvaihtolaitteiston energiatehokkuuden parantamiseen, mikäli saneeraukseen päätetään ryhtyä.

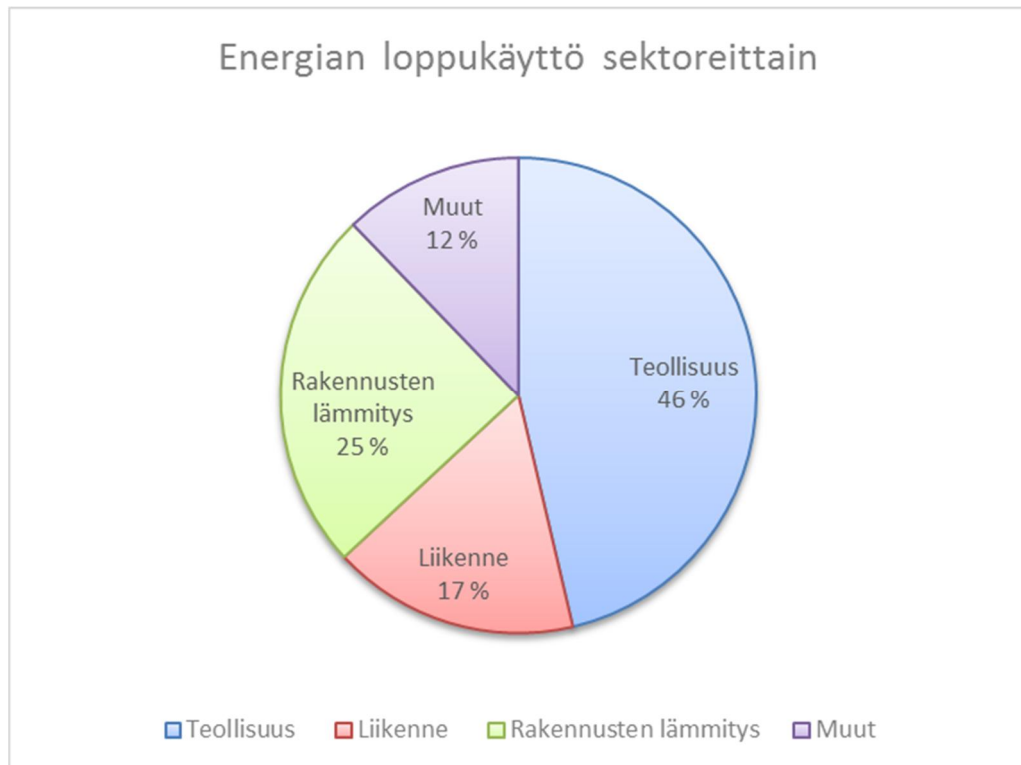
Kuvassa 2 on esitetty toimistorakennuksen energiatase. Kuvasta on nähtävissä, että suurin yksittäinen osa-alue, johon lämmitysenergiaa kuluu, on ilmanvaihto. Tämän osuus koko rakennuksessa kuluva lämmitysenergiasta on yli 50 %, joten voidaan puhua merkittävästä osuudesta rakennuksen energiankulutuksessa. Kuva esittää tilannetta toimistorakennuksen osalta, mutta sitä voidaan soveltaa hyvin myös kauppakeskusrakennukseen, koska ilmanvaihdon ilmamäärät ja käyttöprofiilit ovat lähellä toisiaan. [11.]



Kuva 2. Toimistorakennuksen energiatase [11].

Tilastojen mukaan 25 % prosenttia kaikesta Suomessa kulutetusta energiasta kului rakennusten lämmittämiseen vuonna 2015. Kuvasta 3 nähdään, että rakennusten lämmittäminen on ollut teollisuuden jälkeen suurin yksittäinen osa energian loppukäytöstä vuonna 2015. [12.] Näin ollen onkin ymmärrettävää, että rakennusten energiate-

hokkuuteen kiinnitetään nykyään entistä tarkempaa huomiota. Rakennusten elinkaari on pitkä ja Suomen rakennuskanta verraten nuorta, joten rakennuskannan uusiutumista ei voida jäädä odottelemaan. Siispä vuonna 2013 Ympäristöministeriö julkaisi asetuksen rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Asetuksen mukaisesti kaikissa rakennuksissa, joissa suoritetaan rakennusluvan alaisia korjaus- tai muutostöitä, tulisi samalla tarkastella ja mahdollisuuksien mukaan parantaa rakennusten energiatehokkuutta. [13.]



Kuva 3. Energian loppukäyttö sektoreittain vuonna 2015 [12].

Asetus antaa mahdollisuuden valita kolmesta eri energiatehokkuutta parantavasta vaihtoehdosta. Ensimmäinen vaihtoehto on rakennusosakohtainen energiatehokkuuden parantaminen [13, s. 2]. Esimerkiksi uusittaessa ikkunoita, uusien ikkunoiden tulee täyttää energiatehokkuusasetuksen ja ohjeiden vaatimukset. Toisena vaihtoehtona on rakennusten teknisten järjestelmien energiatehokkuuden parantaminen. Käytännössä tämä tarkoittaa ilmanvaihtojärjestelmän parantamista siten, että lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on suurempi kuin 45 % ja koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho on korkeintaan 2,0 kW/(m³/s). [13, s. 2–3.] Kolmas tapa on pienentää lähtötilanteessa rakennuksen standardikäyttöön perustuvaa, laskettua E-lukua ra-

kennustyypeittäin. Esimerkiksi liikerakennuksissa saneerauksen jälkeinen standardikäyttöön perustuva E-luku saa olla korkeintaan 70 % lähtötilanteen lasketusta E-luvusta. [13, s. 3.]

2.4 Energiatehokkuus saneerattaessa

Saneerattaessa olemassa olevan rakennuksen tekniikkaa kohdataan usein enemmän haasteita kuin uudisrakennusten järjestelmiä suunniteltaessa. Usein mitä vanhempi rakennus on kyseessä, sitä haastavampaa on saneerauksen suunnittelu ja toteutus. Tämä johtuu siitä, että nykyaikana tekniikan tarvitsema tila on paljon suurempi kuin aikaisemmin ja yleensä suurimmaksi haasteeksi muodostuukin juuri riittävän tilan löytäminen tekniikalle. Peruskorjaushankkeissa olemassa olevan järjestelmän tai tekniikan, niiden osien tai yksittäisten laitteiden säilyttäminen vaikuttaa suunniteltaviin järjestelmiin ja mitoituksiin. Tästä syystä peruskorjaushankkeissa ei yleensä voida päästä yhtä hyvään energiatehokkuuden tasoon kuin uudisrakentamisessa. [14, s.131.]

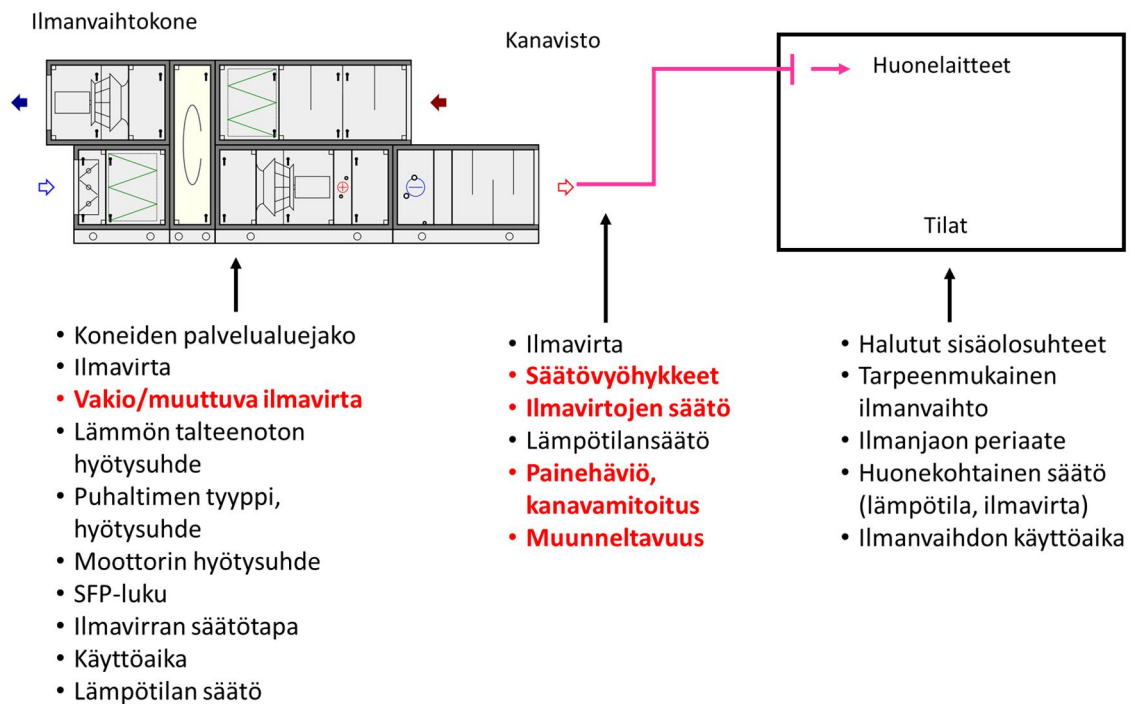
Ilmanvaihtokonehuoneet ovat saneerauskohteissa usein ahtaampia kuin uudisrakennuksissa. Tästä, ja kuilutilojen ahtaudesta, johtuen joudutaan usein tekemään kompromisseja konejakojen ja ilmanvaihdon palvelualueiden kanssa. Myös tehokkaamman lämmöntalteenottoratkaisun sovittaminen ahtaaseen konehuoneeseen voi olla haasteellista, jolloin usein joudutaan käyttämään tehottomampaa, mutta tilankäytöltään joustavampaa ratkaisua. Tällainen järjestelmä on esimerkiksi vesi-glykoliliuoksella toteutettu lämmöntalteenottoratkaisu, jolloin tulo- ja poistokoneiden ei tarvitse sijaita samassa tilassa. Tilanahtaus konehuoneessa ja kuiluissa johtaa usein myös siihen, että ilmanvaihtokoneet ja kanavat joudutaan tekemään tiukoilla mitoituksilla. Tästä johtuen painehäviöt kanavistossa ja koneen sisällä pääsevät nousemaan, jolloin myös puhaltimelta vaaditaan enemmän sähköenergiaa ilman liikuttamiseen. Näin ollen ilmanvaihtokoneiden SFP-lukua (Specific Fan Power) ei saada suunniteltua optimaaliselle tasolle ja puhallinsähkön kulutus kasvaa. Peruskorjauskohteissa puhallinsähkön kuluttama osuus on usein suurempi verrattuna uudisrakennuksen vastaavaa. [14, s.132.]

3 Kauppakeskuksen ilmanvaihtolaitteisto

Tässä luvussa käsitellään ilmanvaihtolaitteistoa ja sen osia yleisesti ja perehdytään erityisesti kauppakeskusrakennuksen erityispiirteisiin ilmanvaihdon kannalta.

3.1 Ilmanvaihtojärjestelmän osien vaikutus energiatehokkuuteen

Alla olevaan kuvaan 4 on koottu keskeisimmät ilmanvaihtojärjestelmän energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät. Tässä kuvassa ilmanvaihtojärjestelmä on jaettu karkeasti kolmeen eri kategoriaan: ilmanvaihtokoneeseen, kanavistoon ja tiloihin. Kuten kuvasta havaitaan, on näistä ensimmäisessä kategoriassa eniten energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä. Ilmanvaihtokoneiden saneerauksella tai uusimisella voidaan siis vaikuttaa merkittävästi koko järjestelmän energiankulutukseen.



Kuva 4. Keskeisimmät ilmanvaihtolaitteiston energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät [14].

Kuvassa on **punaisella** värillä korostettu ne tekijät, joita on vaikea muuttaa korjaushankkeissa. Nämä ominaisuudet painottuvat pääasiassa kanavistoon. Näiden ominaisuuksien muutos vaatii jo suurempaa saneerausta koko rakennuksessa. Koska kana-

vistot kulkevat usein rakenteiden ja koteloiden sisällä, joudutaan menemään pintaa syvemmälle, jotta näitä osa-alueita voidaan uusida ja siltikin tilan ahtaus voi tulla ongelmaksi.

3.2 Yleistä ilmanvaihtokoneista

Nykyisin rakennuksen vaippa pyritään tekemään mahdollisimman tiiviiksi, jolloin luonnollista ja hallitsematonta sisäilman vaihtumista ei pääse tapahtumaan. Tämän takia rakennukset varustetaan tänä päivänä ilmanvaihtokoneilla, jotka puhaltimien avulla puhaltavat raitista suodatettua ulkoilmaa sisälle ja vastaavasti poistavat sisältä hajuja ja mahdollisia epäpuhtauksia sisältävää ilmaa ulos. Näin ilmanvaihto pysyy hallittuna ja sitä voidaan tarpeen mukaan säätää. Tavanomaisissa rakennuksissa ilmanvaihtolaitteiston tärkein tehtävä on taata terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilma. Teollisuusrakennuksissa erinäiset prosessit mitoittavat useimmiten ilmanvaihdon tarpeen. [15, s.21.]

Ilmavaihtokoneet voidaan jaotella useiden eri ominaisuuksien mukaan. Tämä johtuu siitä, että vuosikymmenten aikana on ollut käytössä monenlaisia laitteita. Nykyisin käytetään usein kuvassa 5 näkyvää jaottelua, jossa ilmanvaihtokoneet jaetaan neljään pääkategoriaan jotka ovat: pienet ilmanvaihtokoneet, koteloidut ilmanvaihtokoneet, toimintavalmiit ilmanvaihtokoneet ja erilliset puhaltimet. [15, s. 155.]

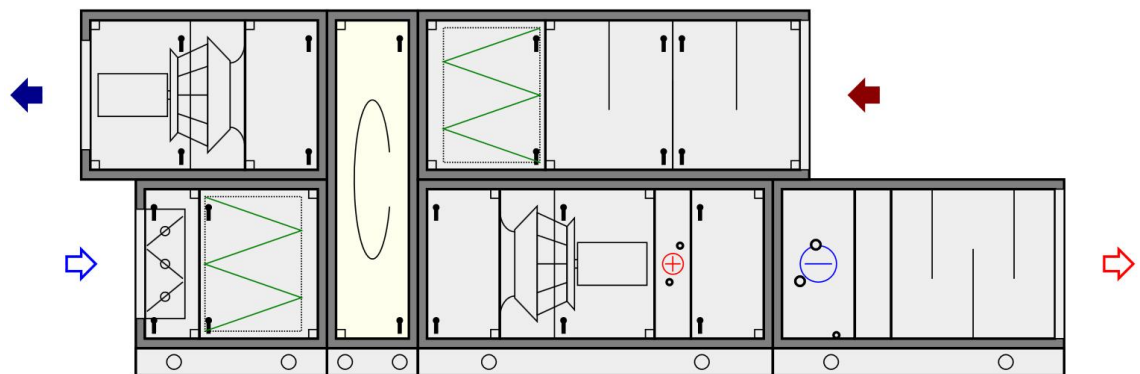


Kuva 5. Usein käytetty ilmanvaihtokoneiden jaottelu [15].

Kauppakeskusrakennuksessa voi olla laitteita kaikista kuvassa 5 esitellyistä kategori-
oista. Kuitenkin useimmiten kauppakeskukseen valitaan toiminnallisista syistä koteloi-
tuvia koneita, koska näistä saadaan rakennettua kauppakeskuksen tarvetta vastaava
ilmanvaihtokone. Usein, etenkin vanhemmissa kauppakeskusrakennuksissa, on käy-
tössä laajalti myös erillisiä puhaltimia, jotka poistavat ilmaa likaisista tiloista, kuten wc-
tiloista. Nykyisin lämmöntalteenottovaatimusten kiristyessä korvataan wc-tilojen erilliset
puhaltimet usein pienillä tulo-poisto ilmanvaihtokoneilla.

3.3 Ilmanvaihtokoneen rakenne ja osat

Etenkin suurimmissa rakennuksissa ilmanvaihtokoneina käytetään nykyisin lähes poik-
keuksetta tehdasvalmisteisia nk. koteloituvia ilmanvaihtokoneita. Koteloidulla ilmanvaiht-
okoneella tarkoitetaan sitä, että koneen eri komponentit ovat vakiomittaisen eristetyn
kotelon sisällä. Näitä eri komponentteja voidaan asentaa peräkkäin ja yhdistellä halut-
tujen ilmankäsittelyprosessien mukaisesti. [15, s. 164.] Kuvassa 6 on esitetty tyypillinen
koteloidun koneen rakenne. Eri komponenttien paikat voivat vaihdella rakennuskohteen
sekä LVI-suunnittelijan määritysten mukaisesti.



Kuva 6. Koteloidun ilmanvaihtokoneen perusrakenne [16].

Seuraavassa esitellään tyypillisimmät ilmanvaihtokoneen osat, jotka ovat käytössä
kauppakeskusrakennuksessa.

Sulkupelti

Sulkupeltiä käytetään ilmanvaihtokoneessa usein ensimmäisenä osana raitisilmapuolella. Myös jäteilmapuolella tulee käyttää sulkupeltiä. Sulkupellit sulkeutuvat koneen pysähtyessä, ja niiden tehtävä on sulkea ilmavirta mahdollisimman tiivistii ja siten ehkäistä haitallinen lämpövuoto. Ilmanvaihtokoneen sulkupellissä käytetään lämpöeristettyjä säleitä, jolloin suljetun pellin lämmönhukka on mahdollisimman pieni. Pellin pinta-ala tulee olla riittävän suuri, jotta se ei aiheuttaisi läpivirtaavaan ilmaan ylimääräistä painehäviötä. [15, s. 166.]

Suodatinosa

Suodattimien tehtävä on poistaa virtaavasta ilmasta haitallisia epäpuhtauksia. Raitisilmapuolella suodatin poistaa ulkoilmaan sisältyviä epäpuhtauksia kuten pölyä, itiöitä ja liikenteestä aiheutuvia pienhiukkasia. Tämä suodatin sijaitsee heti raitisilmapellin jälkeen, jolloin ulkoa kulkeutuvat epäpuhtaudet eivät pääse kulkeutumaan ilmanvaihtokoneeseen ja sitä kautta huoneilmaan. Tarvittaessa tuloilmapuolella käytetään toista suodatinta, joka voi poistaa entistä pienempiä partikkeleita virtaavasta ilmasta. Esimerkiksi sairaaloissa käytetään usein HEPA (High Efficiency Particulate Air filter) -suodattimia ilmanlaadun takaamiseksi. Jäteilmapuolella käytetään myös suodatinta. Tämän suodattimen tehtävänä on poistaa huoneilman mukana kulkeva pöly ennen ilman kulkeutumista ilmanvaihtokoneeseen. [15, s. 167.]

Suodattimien luokittelussa on käytetty aikaisemmin standardien SFS-EN 779 ja SFS-EN 1822 mukaisia luokitteluasteikkoja, jotka on osoitettu taulukossa 2 [15, s.167]. Vuoden 2016 lopussa astui voimaan uusi standardi ISO16890, jonka avulla pyritään yhtenäistämään suodattimien luokitteluasteikkoja, helpottaan suodattimien vertailua ja takaamaan suodattimien todellista toimintakykyä. Standardin mukaan suodattimet jaetaan niiden erottelien hiukkaskokojen mukaisesti. Eri hiukkaskoot on esitetty taulukossa 3. [17; 18.]

Taulukko 2. Suodattimien luokittelu standardien SFS-EN 779 ja SFS-EN 1822 mukaisesti [15].

Karkeasuodattimet	G1 – G4
Perussuodattimet	M5 – M6
Hienosuodattimet	F7 – F9
EPA-suodattimet	E10 – E12
HEPA-suodattimet	H13 – H14
ULPA-suodattimet	U15 – U16

Taulukko 3. Hiukkaskoot standardin ISO 16890 mukaisesti [17].

PM ₁	alle 1 µm	pöly, palamishiukkaset, bakteerit ja virukset
PM _{2,5}	alle 2,5 µm	siitepöly, itiöt ja muut orgaaniset hiukkaset
PM ₁₀	alle 10 µm	karkeampi hieno pöly ja orgaaniset hiukkaset
Karkeat hiukkaset	10 µm ja yli	näkyvä tomu, lehdet, hiukset ja muut isokokoiset orgaaniset hiukkaset

Suodattimien luokittelu perustuu siihen, kuinka hyvin eri kokoluokan hiukkasia se pystyy erottelemaan. Suodattimen pitää pystyä erottelemaan vähintään 50 % kyseisen kokoluokan hiukkasista saadakseen kyseenomaisen luokituksen. [17.] Ympäristöministeriön asetuksessa uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta on säädetty pykälässä 12 siten, että erityissuunnittelijan on suunniteltava suodatuksen taso ulkoilman laadun sekä sisäilmalle annettujen vaatimusten perusteella [19].

Lämmöntalteenotto

Ilmanvaihtokoneissa voidaan käyttää lämmöntalteenottoon kolmenlaisia lämmönsiirtimiä: pyöriviä lämmönsiirtimiä, levylämmönsiirtimiä tai nestekiertoisia lämmönsiirtimiä.

Pyörivä lämmönsiirrin on eniten käytetty lämmöntalteenottomenetelmä. Sitä pyritään käyttämään aina kun olosuhteet ja sisäilman puhtausvaatimukset sen sallivat. Pyörivä lämmönsiirrin koostuu kiekonmuotoisesta kennomaisesta roottorista ja sitä pyörittäväs- tä laitteistosta. Roottori on jaettu kahteen osaan, joista toisessa kulkee tuloilma ja toisessa poistoilma. Pyöriessään roottori siirtää poistoilman lämpöä takaisin tuloilmaan. Samalla mukana siirtyy jonkin verran myös poistoilman kosteutta tuloilmaan, joka etenkin talviaikaan on suotavaa. Roottori palauttaa osittain poistoilmaa takaisin tuloilmaan

jolloin yhdistettynä suureen lämmönsiirtopinta-alaan saavutetaan korkea lämpötilahyötysuhde, tyypillisesti 75–85 %. Haittapuolena on se, että roottoria ei voi käyttää sellaisissa tiloissa, joissa esiintyy epäpuhtauksia poistoilmassa. [15, s. 178–179.]

Levylämmönsiirrin on yleisesti etenkin pienissä asuntokohtaisissa ilmanvaihtokoneissa käytetty lämmöntalteenottomenetelmä. Sen suosion taustalla ovat halpa investointikustannus, hygieenisuus sekä kohtuullisen hyvä lämpötilasuhde. Levylämmönsiirrin koostuu ryhmästä neliönmuotoisia levyjä, joista ilma kulkee läpi. Joka toisen levyparin väliltä kulkee tuloilma ja joka toisen poistoilma. Näin poistoilman lämpö siirtyy absorboitumalla levyn läpi tuloilmaan. Tässä siirrintyyppissä eivät ilmat pääse sekoittumaan ja näin ollen myöskään poistoilman kosteus ei pääse siirtymään tuloilman joukkoon. Levylämmönsiirtimen haittapuolena on talviaikaan ilmenevä huurtumisongelma, kun poistoilman kosteus tiivistyy kylmälle levypinnalle ja alkaa muodostamaan jäätä. Tätä ehkäisemään on kehitetty erinäisiä sulatusmenetelmiä, jotka hiukan laskevat levylämmönsiirtimen vuosihyötysuhdetta. [15, s. 181–183.]

Levylämmönsiirtimiä on olemassa kahta eri tyyppiä. Aikaisemmin yleisesti käytössä ollut siirrintyyppi oli nk. ristivirtasiirrin. Tässä siirrintyyppissä ilmavirrat kulkevat ristiin toisiinsa nähden ja siirtimen malli muistuttaa kuutiota. Siirtimen maksimi lämpötilahyötysuhde on noin 60–65 %, jonka takia niitä ei nykyään enää käytetä, vaan ristivirtasiirtimen on korvannut vastavirtasiirrin. Vastavirtasiirtimen toimintaperiaate on täysin sama, mutta sen rakennetta on venytetty, jolloin ilmavirrat joutuvat kulkemaan osittain toisiaan vastaan. Tämä yhdistettynä suurempaan lämmönsiirtopinta-alaan on kasvattanut vastavirtalämmönsiirtimen hyötysuhdetta, sen ollessa parhaimmillaan jopa 80 %. Haittapuolena ovat tehokkaasta lämmönsiirrosta johtuvat huurtumisongelmat, jotka tulee ottaa suunnittelussa huomioon, sekä siirtimen suuri fyysinen koko, joka tulee ottaa huomioon konehuoneen kokoa määriteltäessä. [15, s. 181–183.]

Nestekiertoisessa lämmöntalteenottojärjestelmässä sekä tuloilma- että poistoilmakoneessa sijaitsee nestepatterit, joiden avulla lämpöä siirretään putkiston kautta paikasta toiseen. Neste lämpenee kulkiessaan poistoilmapatterin läpi, josta se pumpataan edelleen kohti tuloilmapatteria. Siellä se luovuttaa poistoilmasta keräämänsä lämmön tuloilmaan. Jäätymisriskin takia nesteenä ei käytetä vettä, vaan veden ja jäätymisenestoaineen sekoitusta. Nestekiertoista lämmöntalteenottoa käytetään yleisesti, jos poistoilma sisältää sellaisia epäpuhtauksia, jotka eivät saa missään tapauksessa siirtyä tuloilman joukkoon, tai jos tulo- ja poistokoneet sijaitsevat eri paikoissa. Nestekiertoisen

lämmöntalteenoton hyötysuhde jää usein melko vaatimattomaksi, yleensä noin 50 %:ksi. [15, s. 184.] Konevalmistajat ovat kuitenkin tehostaneet nestekiertoisen lämmöntalteenoton ohjauksia sekä optimoineet lämmönsiirtopattereita, joten nykyisin on päästy jo yli 60 %:n hyötysuhteisiin [20].

Kehitellympi versio nestekiertoisesta lämmöntalteenotosta on lämmönsiirtojärjestelmä, joka tunnetaan alkuperäisen tuotenimen perusteella usein Econet-järjestelmänä. Se perustuu niin ikään nestekiertoisen lämmöntalteenoton patteripariin, jota on täydennetty sekä lämmitys- että jäähdytysenergian tuonnilla samaan kiertoon lisäenergiana. Kyseessä on konekohtaisesti mitoitettu valmis tuotepaketti, johon tehdään vain tarvittavat liitokset rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysverkostoihin. Tällä tavoin voidaan päästä jopa lähelle 80 %:n hyötysuhdetta, jota voidaan pitää tämän tyyppiselle lämmöntalteenottojärjestelmälle erittäin hyvänä. [15, s. 187; 20.]

Euroopan unionin komissio antoi vuonna 2014 asetuksen, jonka nojalla vuodesta 2018 eteenpäin nestekiertoisten lämmöntalteenottojen pitää pystyä vähintään lämpötilahyötysuhteeseen 68 %. Vastaavasti muiden kuin nestekiertoisten lämmöntalteenottojen pitää ylittää 73 %:n lämpötilahyötysuhdevaatimus. [21.]

Lämmitys- ja jäähdytyspatteri

Lämpöpattereita eli lämmönsiirtimiä käytetään ilmanvaihtokoneissa joko lämmittämään tai jäähdyttämään ilmaa. Toimiipa patteri sitten lämmittävänä tai jäähdyttävänä, on toimintaperiaate täysin sama: patterin tehtävänä on tuottaa mahdollisimman hyvä lämmönsiirto mahdollisimman pienellä painehäviöllä. Ilmapuolen lämmönsiirtymisen tehostamiseksi lämmönsiirtopinta-alaa kasvatetaan mahdollisimman paljon, jotta lämpö saadaan siirtymään nesteestä ilmaan tehokkaasti. Käytännössä tämä tarkoittaa, että patterissa kiertää putkia, jotka on ympäröity ohuilla lamelleilla, joiden avulla lämmönsiirtopinta-alaa kasvatetaan. Patterin rakennetta ja kokoa voidaan muokata riippuen sen käyttö-tarkoituksesta. [15, s. 170–173.]

Jäähdytykseen voidaan käyttää myös nk. suorahöyrystyspatteria, jolloin jäähdytyspatteriin johdetaan jotakin kylmääainetta. Patterissa kylmäaine höyrystyy, jolloin se jäähdyttää tulevaa ilmaa toimien vastaavalla periaatteella kuin kylmäkoneen höyrystin. Tällaiset suorahöyrysteiset patterit ovat erittäin tehokkaita, ja lähtevä ilma voidaan jäähdyt-

tää tarvittaessa hyvin kylmäksi. Haittapuolena on se, että suoraohyrystyspatteri tarvitsee toimiakseen kylmäkoneen. Suoraohyrystyspattereita käytetään usein ilman kuivaamiseen, mikäli kiinteistön tilojen jäädytykseen tarkoitettu jäädytysverkostosta ei ole saatavilla riittävän kylmää vettä. [15, s. 172.]

Puhallin

Puhallin on ilmanvaihtokoneen tärkein osa. Ilman puhallinta ei ilma liiku kanavistossa, eikä näin ollen myöskään huonetilassa. Puhallin rakentuu siipipyörästä sekä siipipyörää pyörittävästä moottorista. Siipipyörän pyöriessä puhallin kasvattaa ilman virtausnopeutta sekä painetta. Nykyisin ilmanvaihtokoneissa käytetään yleisesti kammio puhaltimia, jotka ovat kaavuttomia radiaalipuhaltimia. Näiden puhaltimien etuihin kuuluu muun muassa se, että puhaltimessa staattisen paineen nousu jää vähäiseksi. Puhaltimen siipipyörästä ilma tulee suoraan samaan kammioon, jossa puhallinkin sijaitsee. Kammiossa ilman nopeus pienenee, jolloin ilmanvaihtokoneen seuraava osa voi sijaita hyvinkin lähellä puhallinosaa. [15, s. 176.]

Kammio puhallin on lähes poikkeuksetta suoravetoinen, eli puhallinpyörä asennetaan suoraan moottorin akselille. Tämän seurauksena ei tarvita erillistä hihnaa, jolla moottorin tuottama voima siirretään puhallinpyörälle. Näin vältetään voimansiirrosta aiheutuva tehonhäviö. Lisäksi vikaantuvia ja huollettavia kohteita on entistä vähemmän. Puhallin saadaan myös paremmin tasapainoon, kun moottori ja puhallinpyörä tasapainotetaan yhtenä kokonaisuutena. Näin vältetään turhilta tärinäiltä, jotka rasittavat rakenteita sekä aiheuttavat ääntä. [15, s. 174–176.]

Puhallinmoottoreina käytetään kolmea eri moottorityyppiä: oikosulkumoottoria, EC-moottoria tai PM-moottoria. Ilmanvaihtokoneissa käytetään nykyisin käytännössä joko EC- tai PM-moottoria, perinteisen oikosulkumoottorin käyttö on hyvin vähäistä. EC-moottoreita käytetään yleisesti etenkin pienemmissä moottoreissa. EC-moottori on hyötysuhteeltaan oikosulkumoottoria parempi, jolloin se on luonnollinen valinta ilmanvaihtokoneen puhaltimen moottoriksi. Lisäksi EC-moottori on usein varustettu integroidulla kierrosnopeuden säädöllä, jolloin puhaltimen pyörimisnopeutta voidaan säätää tarvittavan ilmamäärän mukaan. Isommissa ilmanvaihtokoneissa käytetään usein PM-moottoria sen paremman hyötysuhteen takia. PM-moottori on kestopagneettimoottori ja sen rakenne on samanlainen kuin oikosulkumoottorissa. PM-moottori tarvitsee lisäk-

si erillisen taajuusmuuttajan, jonka avulla puhaltimen kierrosnopeutta voidaan säätää. [15, s. 174–175.]

Äänenvaimentimet

Äänenvaimentimen tehtävä on vaimentaa häiritsevää melua äänilähteen ja huonetilan välillä. Ilmanvaihtokoneessa ääntä tuottavat useimmiten puhaltimet, joiden melua pyritään vaimentamaan koneeseen asennettavin äänenvaimentimin. Tyypillisesti ilmanvaihtokoneissa käytetään lamelliäänenvaimentimia, joihin on asennettu ääntä vaimentavaa materiaalia sisältäviä lamelleja. Äänenvaimentimen johdosta ilman kulkureitit jäävät suhteellisen pieniksi. Vaimentimen valinta onkin usein tasapainoilua riittävän vaimennuksen ja sopivan painehäviön välillä. Äänenvaimentimen lamelleissa ääniaallot muuttuvat lämmöksi ja kanavistoon kantautuva äänitaso jää tällöin pienemmäksi. Vaimentimet vaimentavat kohtuullisen hyvin korkeita ääniaaltoja, mutta esimerkiksi puhaltimen tuottamia matalia ääniaaltoja on vaikeampi vaimentaa. [15, s. 188–189.]

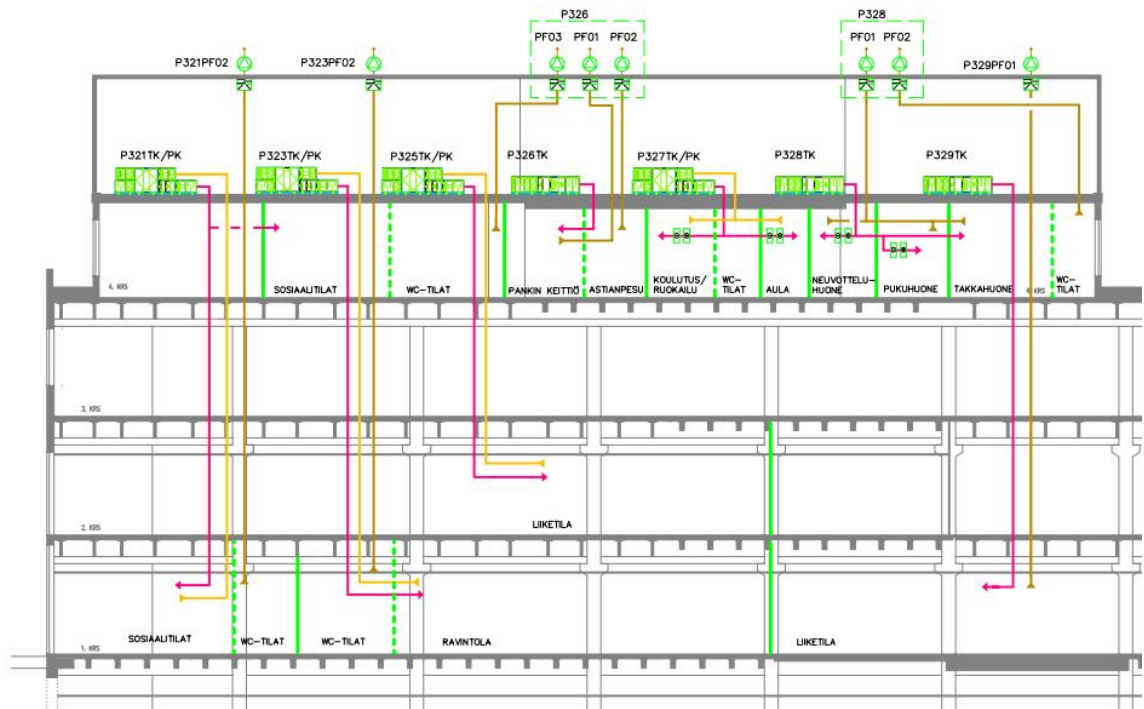
4 Ilmanvaihtojärjestelmän energiasimulointi

Seuraavaksi esitellään tutkittavaa kohdetta sekä tutustutaan käytettyihin tutkimus- ja laskentamenetelmiin. Lisäksi käydään läpi ilmanvaihtokoneiden energiasimuloinnin kulku.

4.1 Tarkasteltavan ilmanvaihtokokonaisuuden kuvaus

Tarkasteltava ilmanvaihtolaitteisto koostuu yhteensä seitsemästä ilmanvaihtokoneesta ja näiden erillispoistoista. Kyseiset ilmanvaihtokoneet sijaitsevat samassa ilmanvaihtokonehuoneessa, ja ne palvelevat rakennuksen samaa osaa, joten niiden ottaminen tarkasteluun on perusteltua. Nämä ilmanvaihtokoneet ovat todennäköisesti menossa uusintaan eri ajankohtina, jotta koko rakennuksen osa ei ole vailla ilmanvaihtoa.

Kuvassa 7 on esitetty pystykaavio tarkasteltavista ilmanvaihtokoneista. Vastaava kuva on suurempana liitteessä. Kuten kuvasta käy ilmi, tarkasteltavat ilmanvaihtokoneet palvelevat erinäisiä tiloja liiketiloista sosiaalityötiloihin ja keittiöihin. Tarkastelusta puuttuvat koneet P322 ja P324. Kone P322 palvelee 1. kerroksen ravintolamaailman keittiötä, ja se uusittiin hiljattain, kun tiloissa tehtiin saneeraus. Kone P324 on puolestaan poistettu käytöstä. Kone on varauksena 2. kerroksen ravintolan keittiölle. Tällä hetkellä ravintolan tuleminen tuolle alueelle on kuitenkin erittäin epätodennäköistä, joten tästä syystä tämä kone jätetään tässä vaiheessa huomioimatta.



Kuva 7. Tarkasteltavien ilmanvaihtokoneiden pystykaavio.

Kuvassa 8 on valokuva saneerattavasta konehuoneesta. Kuvassa näkyy kone P323TK/PK, joka palvelee ravintolasalia.



Kuva 8. Valokuva koneesta P323TK/PK.

Taulukkoon 4 on koottu tarkasteltavien koneiden tärkeimmät tiedot. Koneet P326 ja P327 toimivat parina siten, että osa koneen P327 tuloilmamäärästä käytetään siirtoilmana koneelle P326. Tästä johtuu suuri epätasapaino yksittäisten koneiden ilmamäärässä.

Taulukko 4. Tarkasteltavien ilmanvaihtokoneiden tiedot.

Tunnus	Palvelualue	Ilmamäärä, m ³ /s	LTO-tyyppi	Erillispoistot
P321TK/PK	Sosiaalitilat, pohjakerros	+0,76 / -0,37	Ristivirta	P321PF01 -0,32 m ³ /s
P323TK/PK	Ravintosali, 1. kerros	+2,1 / -1,7	Ristivirta	-
P325TK/PK	Liiketilat, 2. kerros	+2,9 / -2,5	Ristivirta	-
P326TK	Keittiö, 4. kerros	+1,5	-	P326PF01-03 - 2,1 m ³ /s
P327TK/PK	Kokoustilat, 4. kerros	+2,1 / -1,5	Ristivirta	P327PF01 -0,18 m ³ /s
P328TK	Saunaosasto, 4. kerros	+0,6	-	P328PF01-02 -0,72 m ³ /s
P329TK	Liiketilat, 1. kerros	+0,52	-	P329PF01 -0,4 m ³ /s

Kuten taulukosta 4 voidaan päätellä, on ilmanvaihdon saneeraukselle tilausta. Verrattain suuri määrä poistoilmaa päätyy ulos rakennuksesta vailla lämmöntalteenottoa. Tulevassa tarkastelussa näitä pyritään saattamaan lämmöntalteenoton piiriin mahdollisimman paljon. Lisäksi kaikki taulukon koneet on varusteltu huonon hyötysuhteen omaavilla hihnavetoisilla puhaltimilla ja ristivirta lämmöntalteenottolaitteilla.

Kauppa-keskuksissa tapahtuu jatkuvia muutoksia tilojen ja vuokralaisten suhteen, eivätkä alun perin suunnitellut tilat tai varaukset ole välttämättä enää nykypäivän tasolla. Tästä syystä tarkastelun yhteydessä on tarkoituksenmukaista tarkastella myös koneiden palvelualueita ja sitä, että onko mahdollista jopa yhdistää joitain koneita kokonaan. Yhdellä isommalla koneella päästään yleensä parempiin hyötysuhteisiin mutta SFP-luku tavallisesti huononee hiukan. Lisäksi huollettavien laitteiden määrä pienenee, jos koneita jää konehuoneesta pois. Tämän varjopuolena on toki menetetty muuntojousto, joka useammalla koneella voitaisiin säilyttää. Onkin tärkeää tutkia tiloja ja miettiä, mitä toimintoja tiloihin voi mahdollisesti tulla. Tähän voi apuna kysyä mielipidettä kiinteistön vuokraustoiminnasta vastaavilta, jos heillä on mielessä toimintoja, joita tiloihin on mah-

dollisesti tulossa. Useinkaan kiinteistön vuokrausosastolla ei ole tietoa tulevista vuokralaisista, joten konevarausten suhteen joudutaan tekemään niin kutsuttuja ”parhaita arvauksia”. Uusien kauppakeskusrakennusten kohdalla tilanne on yleensä ratkaistu siten, että rakennusvaiheessa sovitaan jo määrätyt alueet, joissa varaudutaan esimerkiksi ravintolatoimintaan. Näin ollen tulevaisuudessa on kaikille selvää, minne ravintoloita voidaan sijoittaa, kun niiden varaukset on valmiiksi suunniteltu. Olemassa olevien rakennusten kohdalla tämä on luonnollisesti haastavampaa, ja tilanteet on käytännössä tutkittava aina tapauskohtaisesti.

Kohteessa tullaan suorittamaan ilmanvaihdon uusinnan yhteydessä laajamittainen automaatiojärjestelmän uusiminen. Tämän johdosta uusien koneiden ohjaukset voidaan rakentaa entistä paremmiksi, koska kentällä olevat laitteet ja pisteet tulevat suurella todennäköisyydellä menemään uusiksi. Automaatiojärjestelmän uusimisen johdosta on mahdollista pohtia myös mittarointien riittävyttä. Saneeraus on otollinen paikka lisätä mittarointeja sekä lämmitys- ja jäähdytysenergian että sähköenergian mittauksiin. Mikäli mittarointia jaetaan nykyistä pienempiin osiin, on kulutusten vaihteluita ja mahdollisia ongelmatilanteita helpompi lähteä etsimään. Lisäksi hajautetumpi mittarointi antaisi paremman lähtökohdan seurata esimerkiksi yhden konehuoneen tai peräti yksittäisen ilmanvaihtokoneen toimintaa. Uusiin ilmanvaihtokoneisiin lisätään vähintään ilmamäärämittaus sekä sähkötehon mittaus, jotta SFP-luku saadaan selvitettyä.

4.2 Laskentamenetelmä

Energiasaneerauksen kannattavuutta ja eri vaihtoehtoja haarukoidaan Riuska-nimisellä simulointiohjelmalla. Riuska on Granlund Oy:n kehittänyt energia- ja simulointiohjelmisto, jolla voidaan hakea eri lähtötietoja muuttelemalla kustannustehokkain ratkaisu kuhunkin tarpeeseen. Riuska on dynaaminen simulointiohjelma, joka laskee energiankulutuksen tunneittain koko vuodelle halutun säädätän mukaisesti. Tutkimuksessa on käytetty Vantaan vuoden 2012 sään testivuotta (TRY2012_Vantaa) [22].

Tässä tapauksessa lähdetään siitä, että olemassa olevien ilmanvaihtokoneiden tiedot viedään Riuskaan ja sen avulla simuloidaan vuosittaiset lämmitys- ja jäähdytysenergiankulutukset sekä puhallinsähkön energiankulutus. Ilmanvaihtokoneiden käyntiaikoina käytetään todellisia käyntiaikoja, jotka esitellään tarkemmin luvussa 4.3. Osa koneista käy aamulla ja illalla osateholla. Riuskaan ei kuitenkaan pysty syöttämään osateholla tapahtuvia käyntiaikoja, joten koneen varsinaiseen käyntiaikaan on lisätty puolet osate-

hoajasta. Eli mikäli kone käy osateholla kaksi tuntia päivässä, on koneen varsinaiseen täystehokäyntiin lisätty yksi tunti. Näin päästään käyntiaikaan, joka on mahdollisimman lähellä koneen todellista käyntiä. Puhallinsähkönkulutus ei vastaa täysin toteutunutta, johtuen puhallinlaeista. Puhallinlakien mukaisesti ilmamäärän puolittuessa putoaa puhaltimen sähkönkulutus 1/8-osaan. Tällä ei ole kuitenkaan juurikaan vaikutusta lopputulokseen, sillä osakäyntiajan kuluttama sähköenergia on pieni verrattuna koneen varsinaiseen käyntiaikaan.

Nykytilannetta arvioitaessa koneiden teknisinä tietoina on käytetty olemassa olevia suunnittelutietoja. Tarvittaessa tietoaukkoja on käyty paikkaamassa paikan päällä ilmanvaihtokonehuoneessa. SFP-luvut on laskettu suunnitelluiden ottotehojen ja ilmamäärien mukaisesti kohdassa 4.3. Todellisia ilmanvaihtokoneiden sähkön ottotehoja ei tutkita, koska se ei tuo lisäarvoa, kun koneet uusitaan joka tapauksessa. Suunnitelmätiedoista saadaan riittävän tarkka ja todellinen kuva. Lämmöntalteenoton hyötysuhteenä on käytetty ristivirtakennon osalta 50 %. Lämmöntalteenoton hyötysuhteen nykytilannetta ei myöskään lähdetä sen tarkemmin tutkimaan ja tarkentamaan, koska koneet menevät joka tapauksessa uusiksi.

Kun olemassa olevien ilmanvaihtokoneiden energiankulutus on saatu selville, lähdetään simuloimaan uusia ilmanvaihtokoneita ja tutkimaan, mitkä ratkaisut ovat kaikkein kustannustehokkaimpia. Suurimmat energiankulutukseen vaikuttavat tekijät ovat ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenottolaitteiden hyötysuhteet ja koneiden SFP-luvut. Olemassa olevat kanavoinnit rajoittavat osaltaan tarkastelua siten, että valtaisan suuriin kanavamuuksiin kauppakeskuksen tiloissa ei tulla ryhtymään. Joitakin pienempiä kanavamuuksia konehuoneen puolella voidaan ja joudutaankin tekemään, mikäli päädytään siihen, että joitain koneita ja palvelualueita yhdistetään. Lähinnä tarkastelua voidaan siis tehdä lämmöntalteenoton hyötysuhteen ja SFP-luvun suhteen. Huomioitavaa kuitenkin on, että esitettyjen ratkaisujen täytyy olla todellisuudessa myös toteutettavissa. Työssä ei näin ollen esitetä pyörivää lämmöntalteenottoa ratkaisuksi, mikäli se ei ole konehuoneeseen todellisuudessa tilan ahtauden takia asennettavissa.

4.3 Olemassa olevien ilmanvaihtokoneiden simulointi

Tässä luvussa simuloidaan olemassa olevat ilmanvaihtokoneet.

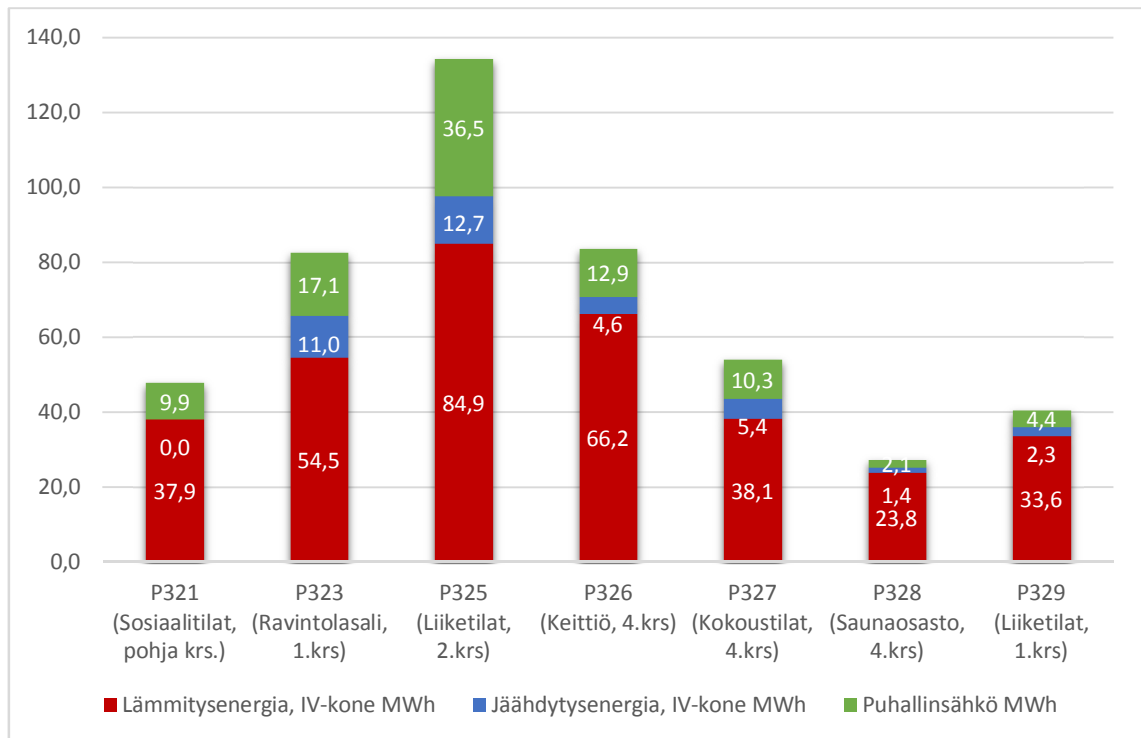
Laskentatapaus 1

Nykyisten koneiden energiasimulointi suoritetaan taulukossa 5 näkyvillä hyötysuhteilla, SFP-luvuilla ja käyntiajoilla. Lämmöntalteenoton hyötysuhde on tuloilman lämpötilasuhde, joka on poimittu vanhoista suunnitteluasiakirjoista. Mikäli koneella on poikkeavia tulo- ja poistoilmamääriä, on tämä otettu laskentaohjelmassa huomioon asettamalla laskentaan ilmamäärien suhdekerroin, jolloin ohjelma osaa ottaa sen huomioon laskennassa. Koneissa ei ole pakkaspuolituuksia käytössä.

Taulukko 5. Olemassa olevien koneiden laskennan lähtötiedot.

Tunnus	LTO lämpötila-hyötysuhde	SFP-luku kW/(m ³ /s)	Käyntiaika
P321TK/PK	50 %	2,91	Ma-Pe: 13h, La: 9h Su: 7h
P323TK/PK	50 %	1,82	Ma-Pe: 13h, La: 13h Su: 8h
P325TK/PK	50 %	2,98	Ma-Pe: 13h, La: 9h Su: 7h
P326TK	0 %	3,00	Ma-Pe: 11h, La: -h Su: -h
P327TK/PK	50 %	2,10	Ma-Pe: 9h, La: -h Su: -h
P328TK	0 %	1,50	Ma-Pe: 12h, La: -h Su: -h
P329TK	0 %	2,00	Ma-Pe: 13h, La: 9h Su: 7h

Näillä lähtötiedoilla saatiin energiasimuloinnista kuvan 9 mukainen lopputulos. Kuvassa on esitetty nykyisten seitsemän koneen koko vuoden energiankulutus jaettuna lämmitysenergiaan, jäähdytysenergiaan ja puhallinsähköön.



Kuva 9. Olemassa olevien ilmanvaihtokoneiden vuotuinen energiankulutus.

Tästä tuloksesta saadaan lähtökohtia, joita lähdetään parantamaan. Ainoa energiamuoto, johon ei pystytä juuri vaikuttamaan on jäähdytysenergia. Sen tarvetta ei pystytä iv-koneen ominaisuuksilla parantamaan, mutta kuten kuvasta 9 voidaan todeta, on niiden osuus ilmanvaihtokoneen kokonaisenergiankulutuksesta hyvin pieni. Lämmitysenergian osuutta voidaan pienentää parantamalla lämmöntalteenottoratkaisuja. Puhallinsähkön kuluttama energia pienenee, kun valitaan SFP-luvultaan nykymääräyksiä vastaavat koneet.

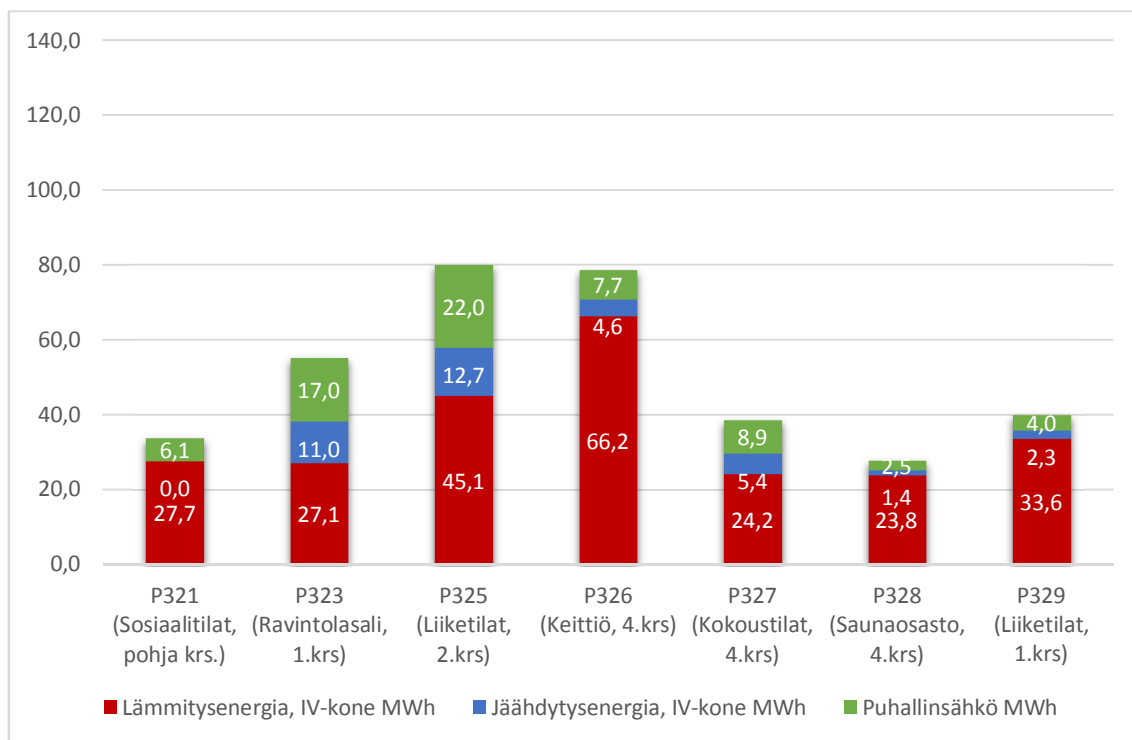
4.4 Uusien ilmanvaihtokoneiden simulointi

Tässä luvussa simuloidaan koneiden uusinta eri vaihtoehdoilla.

Laskentatapaus 2

Uusien koneiden simulointi aloitetaan yksinkertaisimmasta tapauksesta. Ensimmäisellä kierroksella oletetaan koneiden uusiutuvan nykymuodossaan ja olevan nykymääräysten mukaisia, joka tarkoittaa siis SFP-lukua $1,80 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ja lämmöntalteenoton lämpötilasuhdetta nestekiertoisilla ratkaisuilla 68 % ja levy- tai pyörivällä lämmöntalteenotolla 73 % ekosuunnitteludirektiivin mukaisesti. Muut arvot, kuten koneiden ilmamää-

rät, käyntiajat ja palvelualueet, pidettiin vakioina. Mikäli koneella ei ollut alun perin lämmöntalteenottoa, ei sitä myöskään lisätty tässä vaiheessa mukaan. Kuvassa 10 on esitetty näillä muutoksilla tehdyn simuloinnin tulos. Kaavion skaalaus on tarkoituksellisesti pidetty samana alkuperäisen simuloinnin kanssa, jotta energiankulutuksen pientyminen on helpommin havaittavissa.



Kuva 10. Ilmanvaihtokoneet uusittu nykyääräysten mukaisiksi.

Kuten kuvasta 10 voidaan todeta, aiheuttaa pelkästään koneiden uusiminen nykyääräysten mukaisiksi selvää säästöä vuosittaisessa energiankulutuksessa. Tarkempi analysointi ja tulosten vertailu on esitetty luvussa 5.

Laskentatapaus 3

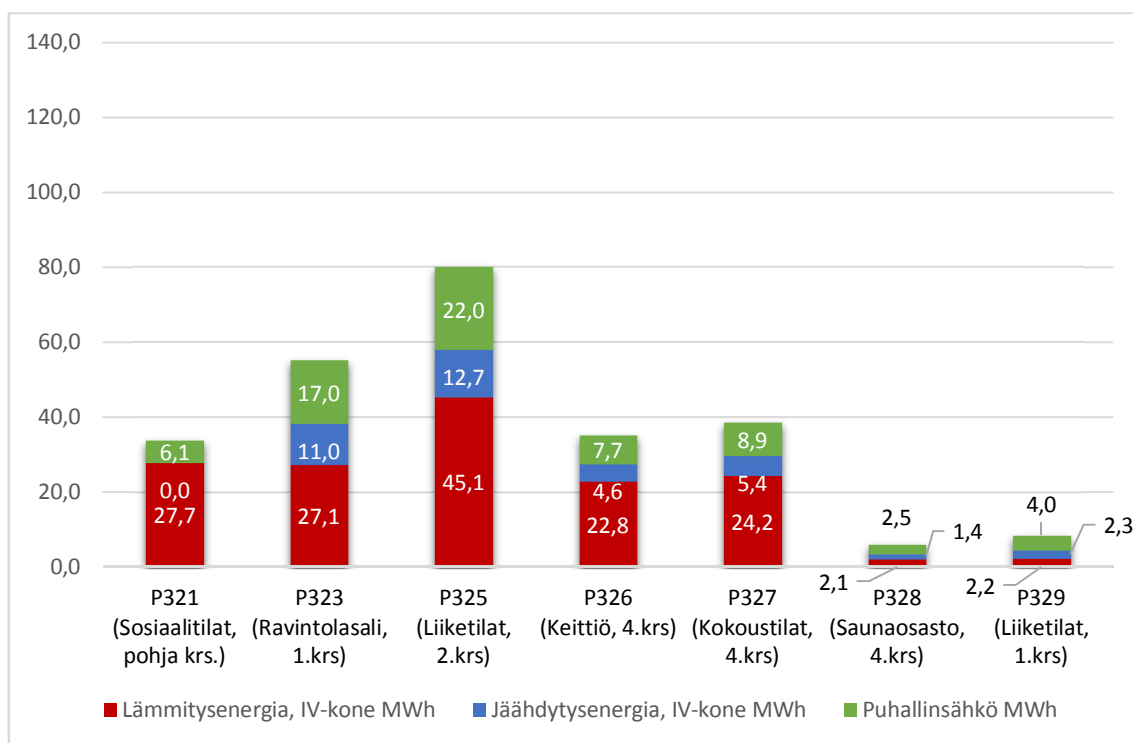
Seuraavassa tapauksessa pidetään koneet edelleen määräykset täyttävinä, mutta tarkastellaan olemassa olevien huippumureiden liittämistä lämmöntalteenottojen taakse. Alun perin koneissa P326, P328 ja P329 ei ollut lämmöntalteenottoa lainkaan. Tämä näkyy myös, jos vertaillaan kahta yllä olevaa tapautta: näiden koneiden lämmitysenergiankulutuksessa ei tapahdu mitään muutosta, vaikka lämmöntalteenoton hyötysuhdetta parannetaan. Tässä tapauksessa huippumurit jätetään kokonaan pois ja erillispois-

tot liitetään ilmanvaihtokoneiden poistoihin. Erillispoistojen kanavoinnit kulkevat tarkasteltavan konehuoneen kautta. Poikkeuksen tekevät keittiön ilmanvaihtokone P326 ja saunaosaston kone P328. Niiden osalta erillispoistot säilytetään, mutta perinteinen huippuimuri korvataan vesi-glykolilämmöntalteenottopatterin sisältävällä huippuimurilla. Siten myös niiden poistoilmasta saadaan otettua lämpöä talteen. Tällaisten vesi-glykolilämmöntalteenottojen tuloilman lämpötilahyötysuhteen oletetaan olevan 68 %. Tämän lisäksi liiketilaa palveleva kone P329 muutetaan pyörivällä lämmöntalteenotolla varustetuksi ilmanvaihtokoneeksi. Pyörivää lämmöntalteenottoa voidaan käyttää, koska poistoilma ei sisällä wc-tilojen poistoilmaa. Ilmamäärät ja koneiden käyntiajat on pidetty tapauksissa samoina. Taulukossa 6 on vielä esitetty kootusti koneiden lähtöarvot tähän laskentatapaukseen.

Taulukko 6. Lähtöarvot kolmannen laskentatapauksen simulointiin.

Tunnus	LTO lämpötila-hyötysuhde	SFP-luku kW/(m ³ /s)	Käyntiaika
P321TK/PK	50 %	1,80	Ma-Pe: 13h, La: 9h Su: 7h
P323TK/PK	50 %	1,80	Ma-Pe: 13h, La: 13h Su: 8h
P325TK/PK	50 %	1,80	Ma-Pe: 13h, La: 9h Su: 7h
P326TK/PK	68 %	1,80	Ma-Pe: 11h, La: -h Su: -h
P327TK/PK	50 %	1,80	Ma-Pe: 9h, La: -h Su: -h
P328TK/PK	68 %	1,80	Ma-Pe: 12h, La: -h Su: -h
P329TK/PK	73 %	1,80	Ma-Pe: 13h, La: 9h Su: 7h

Kuvassa 11 on esitetty simuloinnin tulos kolmannelta laskentatapauksesta. Kuvasta voidaan huomata, että etenkin koneiden P328 ja P329 energiankulutus putosi lähes olemattomaksi, kun huippuimurit liitettiin lämmöntalteenoton taakse. Myös keittiön koneen P326 lämmitysenergiankulutus putosi selvästi verrattuna tapaukseen, jossa lämmöntalteenottoa ei hyödynnetä.



Kuva 11. Kolmannen laskentatapauksen energiasimuloinnin tulos.

Kuvia vertailemalla voidaan todeta, että osalla koneista energiankulutus on pudonnut lähes puoleen.

Laskentatapaus 4

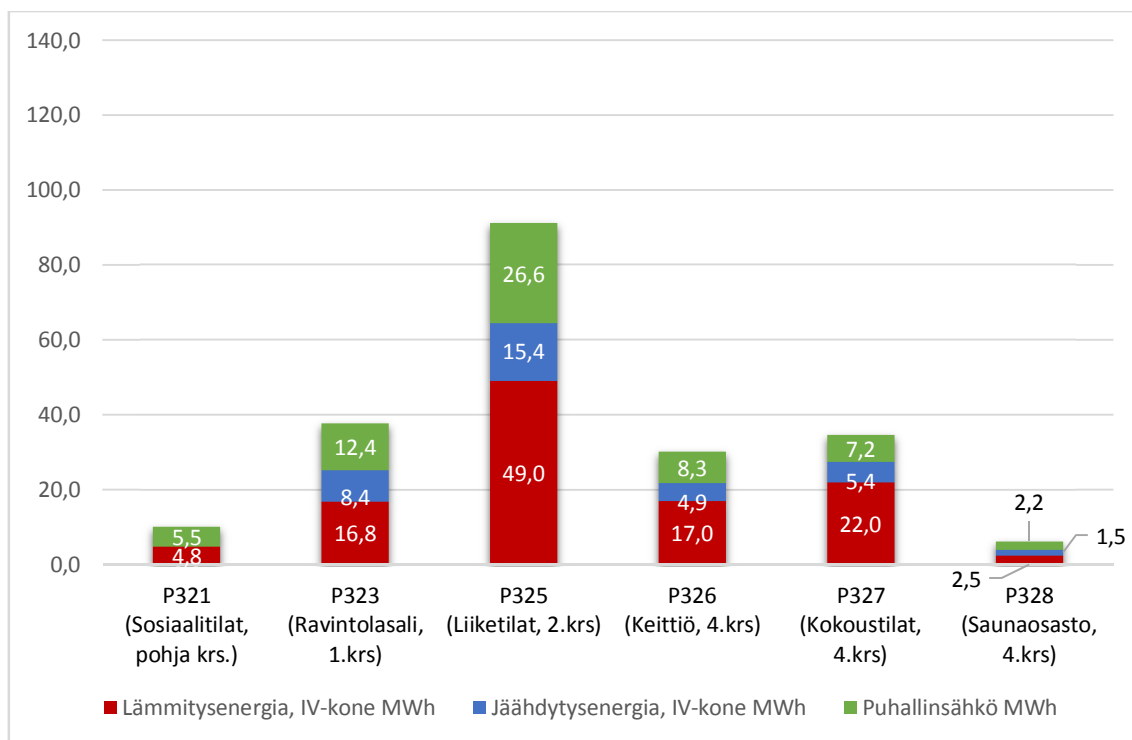
Seuraavassa ja viimeisessä tapauksessa simuloidaan todelliset valmistajan mitoitusohjelmalla mitoitettut ilmanvaihtokoneet. Koneet vastaavat näin ollen arvoiltaan sellaisia koneita, jotka kohteeseen voitaisiin hyvin esittää asennettaviksi. Uusien koneiden lisäksi esitetään, että koneiden P325 ja P329 palvelualueet yhdistetään ja niitä palvelemaan suunnitellaan yksi uusi ilmanvaihtokone. Molemmat koneet palvelevat liiketiloja, joten niiden yhdistäminen yhden koneen taakse on perusteltua. Kone P329 on jääne ravintolavarauksesta, jota ei voida enää hyödyntää.

Taulukossa 7 on esitetty neljännen laskentatapauksen lähtöarvot. Tässä tapauksessa myös koneiden ilmaääriä on muutettu: ne vastaavat parhaiten olemassa olevaa tilannetta. Koneen P326 alueelle, eli keittiön palvelualueelle, on jäänyt vielä erillispoistoja käyttöön. Korvausilman näille erillispoistoille tuo kone P327, kuten nykyisinkin. Erillispoisto on otettu simulointiohjelmassa huomioon ilmavirtojen kertoimilla, jolloin se osaa huomioida suoraan lämmöntalteenoton ohi kulkevat ilmavirrat.

Taulukko 7. Laskentatapauksen 4 lähtöarvot.

Tunnus	Ilmamäärä m ³ /s	LTO lämpötila- hyötysuhde	SFP-luku kW/(m ³ /s)
P321TK/PK	±0,85	79 %	1,52
P323TK/PK	+1,6/-1,4	73 %	1,73
P325TK/PK	+3,5/-3,2	73 %	1,80
P326TK/PK	+1,5/-1,6	57 %	1,80
P327TK/PK	+2,1/-1,6	73 %	1,46
P328TK/PK	+0,6/-0,65	73 %	1,46

Alla olevaan kuvaan 12 on jälleen koottu tulokset energiasimuloinnista tapauksen 4 osalta. Aikaisemmista kuvaajista poiketen mukana on enää kuusi konetta, kun kone P329 sisällytettiin koneeseen P325.



Kuva 12. Neljännen laskentatapauksen energiasimuloinnin tulos.

Edellä olevia laskentatapauksia sekä niistä saatuja tuloksia tutkitaan ja vartailaan tarkemmin luvussa 5.

5 Tulokset

Tässä luvussa käsitellään luvussa 4 esitettyjä tuloksia sekä vertaillaan eri laskentatapauksia. Lisäksi tehdään nopea katsaus investointien takaisinmaksuaikaan ja tätä kautta kannattavuuteen.

5.1 Laskentatapausten vertailu

Kuvaan 13 on koottu ilmanvaihtokoneiden yhteenlaskettu lämmitysenergian kulutus laskentatapauksittain. Simulointien perusteella lähtötilanteessa nykyiset ilmanvaihtokoneet kuluttavat vuosittain 339 MWh lämmitysenergiaa. Käytössä on tehottomia lämmöntalteenottoratkaisuja ja erillispoistoja johdetaan osittain suoraan katolle, jolloin niistä ei saada lämpöenergiaa talteen laisinkaan.

Tapaukseen 2 koneet muutettiin vastaamaan nykymääräyksiä, mutta erillispoistoja ei vielä liitetty lämmöntalteenottojen taakse. Tämä tarkoittaa käytännössä ilmanvaihtokoneiden uusimista säilyttäen palvelualueet ja erillispoisto. Tällä saavutetaan noin 27 % energiansäästö verrattuna alkuperäiseen tilanteeseen.

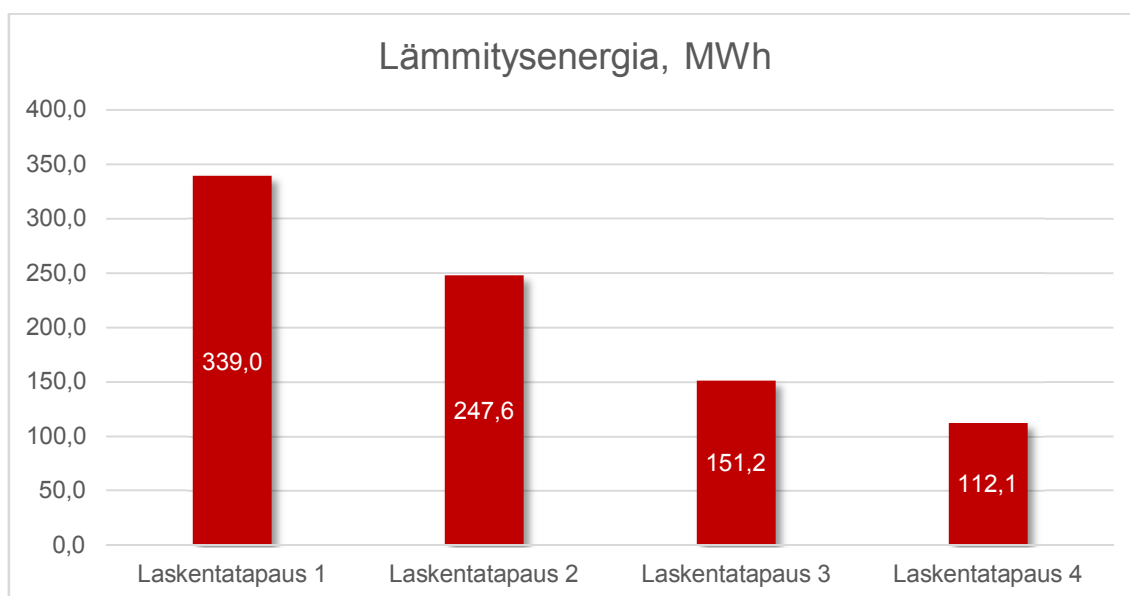
Kolmannessa tapauksessa koneet pidettiin edelleen määräykset täyttävinä, mutta valtaosa erillispoistoista liitettiin lämmöntalteenottojen piiriin. Tällöin havaitaan selkein notkahdus lämmitysenergian kulutuksessa. Tämä selittyy sillä, että kohteessa on suhteellisen paljon erillispoistoja, jotka puhaltavat energiaa suoraan taivaan tuuliin. Nyt kun ne valjastetaan lämmöntalteenottojen taakse, säästyy energiaa 40 % verrattuna tapaukseen 2. Lisäinvestointikaan ei ole kovinkaan huomattava, sillä kyse on käytännössä pelkästään kanavointimuutoksista. Ainoana suurempana investointina tulisi keittiön erillispoistoon asennettava huippuimuri lämmöntalteenotolla.

Neljännessä tapauksessa simulointiin syötettiin todelliset, laitevalmistajan mitoitusohjelmalla mitoitettut ilmanvaihtokoneet, joita kohteeseen voitaisiin todellisuudessakin suunnitella. Tämän lisäksi koneiden ilmamääriä muutettiin vastaamaan paremmin tämänhetkistä tilannetta kauppakeskuksessa. Samalla kaksi liiketilaa palvelevaa konetta yhdistettiin yhdeksi isommaksi koneeksi. Taulukkoon 8 on koottu koneiden alkuperäiset ilmamäärät sekä ilmamäärät, joihin päädyttiin.

Taulukko 8. Koneiden ilmamäärien vertailu lähtötilanteesta laskentatapukseen 4.

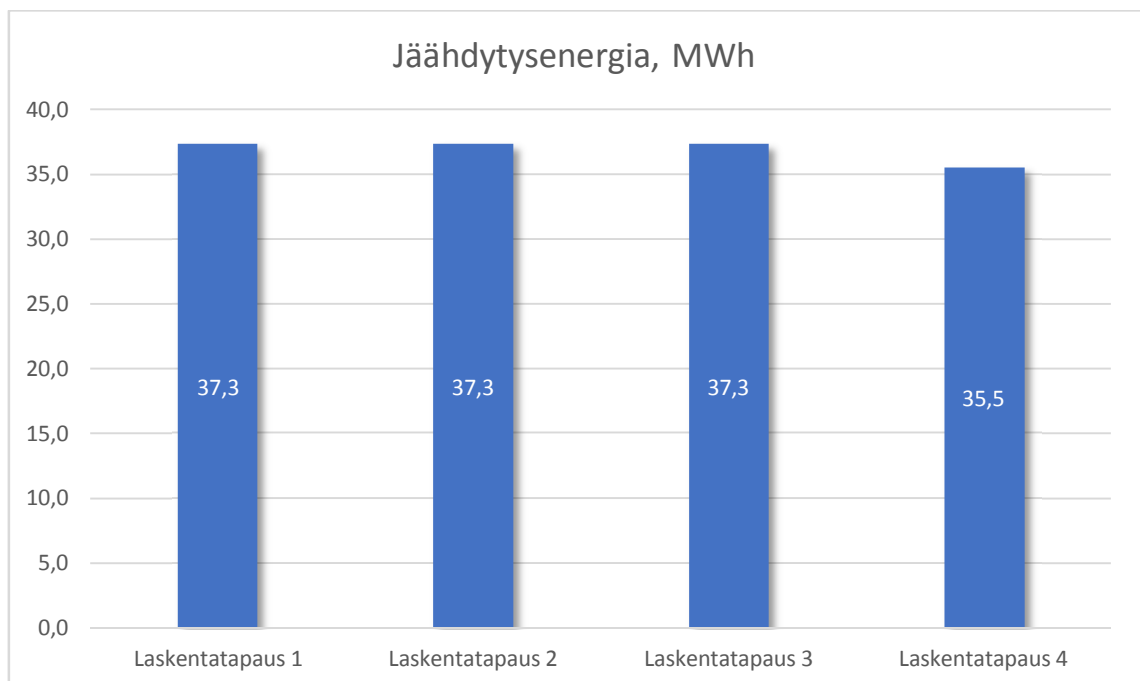
Tunnus	Alkuperäinen ilmamäärä m ³ /s	Uusi ilmamäärä m ³ /s
P321TK/PK	+0,76/-0,37	±0,85
P323TK/PK	+2,1/-1,7	+1,6/-1,4
P325TK/PK	+2,9/-2,5	+3,5/-3,2
P326TK/PK	+1,5	+1,5/-1,6
P327TK/PK	+2,1/-1,5	+2,1/-1,6
P328TK/PK	+0,6	+0,6/-0,65

Kaikin puolin laskentatapaus 4 vastaa hyvin ratkaisua, joka tilaajalle voitaisiin esittää suunnitelmana. Kuten kuvasta 13 voidaan todeta, saatiin lämmitysenergian kulutusta vielä pienennettyä hiukan määräystasoa paremmilla lämmöntalteenotoilla ja ilmamäärien pienentymisillä. Kaiken kaikkiaan alkuperäisen tilanteen ja laskentatapauksen 4 välillä saavutettiin 227 MWh säästöä lämmitysenergiankulutuksessa vuositasolla. Prosentteissa tämä tarkoittaa 67 %:n pienentymistä kulutuksessa, joten voidaan puhua merkittävästä säästöstä energiassa ja sitä kautta huomattavasta rahan ja ympäristö säästöstä.



Kuva 13. Ilmanvaihtokoneiden kuluttama lämmitysenergia laskentatapauksittain.

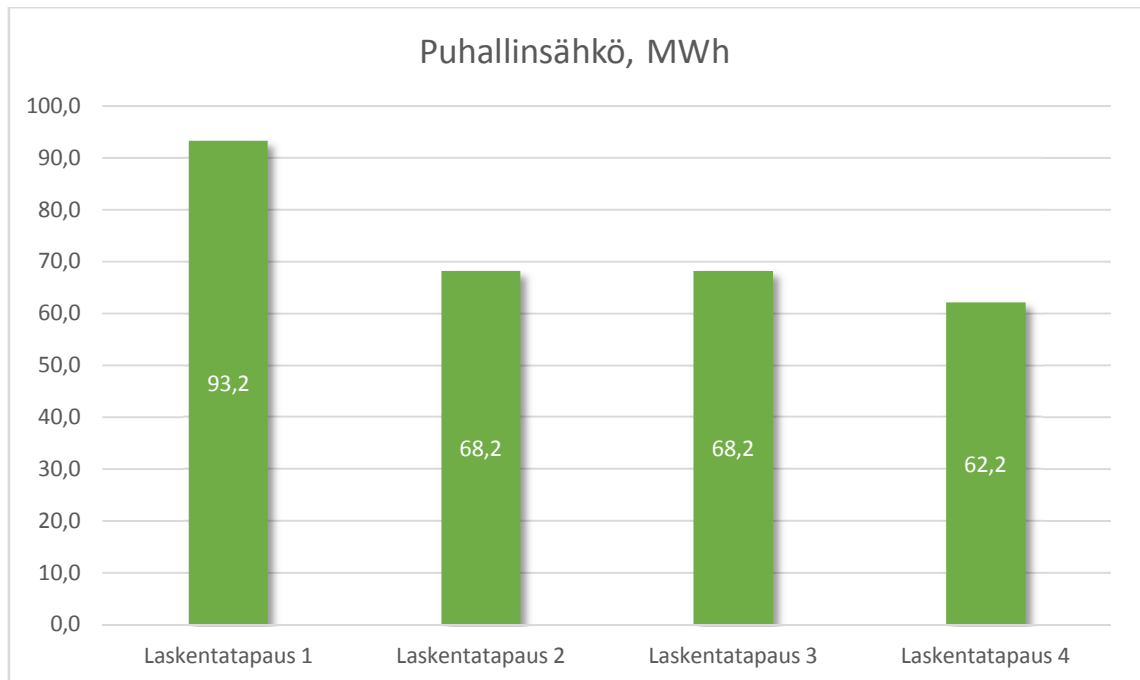
Kuvaan 14 on koottu vastaavaan tapaan ilmanvaihtokoneiden kuluttama jäähdytysenergia vuositasolla. Kuten jo aiemmin on mainittu, ei ilmanvaihdon laitekannan uusimisella ole juurikaan mahdollista vaikuttaa jäähdytysenergian kulutukseen. Jäähdytysenergiaa käytetään luomaan tietyntaiset olosuhteet rakennukseen, jonka takia halutun olosuhteen luomiseksi tarvitaan määrätty määrä jäähdytysenergiaa. Todellisuudessa paremman hyötysuhteen omaavalla lämmöntalteenotolla voidaan kesäaikana ottaa jäähdytysenergiaa talteen poistoilmasta, mutta sitä ei ole tässä otettu huomioon. Tässä tutkimuksessa ei ole myöskään otettu kantaa siihen, millä jäähdytysenergiaa tuotetaan ilmanvaihtokoneelle. Mikäli kyseessä on kaukojäähdytys, niin käytännössä ainoa keino pienentää kustannuksia on tinkiä ilmamäärästä ja näin ollen antaa olosuhteiden heikentyä rakennuksessa. Jos käytössä on puolestaan vedenjäähdytyskone, on mahdollista käyttää vapaajäähdytystä, jolloin viileällä kelillä jäähdytysenergian hinnan muodostavat käytännössä liuospiirin pumppauskulut. Ero energiankulutuksessa laskentataposten 1–4 välillä selittyy pienentyneillä ilmamäärillä.



Kuva 14. Ilmanvaihtokoneiden kuluttama jäähdytysenergia laskentatapauksittain.

Kuvaan 15 on koottu ilmanvaihtokoneiden kuluttama puhallinsähköenergia laskentatapauksittain. Siinä voidaan todeta samansuuntainen trendi kuin lämpöenergian kanssa,

eli muutettaessa alkuperäiset laitteet nykymääräykset täyttäviin ilmanvaihtokoneisiin, putoaa sähköenergiankulutus merkittävästi paremman hyötysuhteen omaavien puhaltimien johdosta. Kun ilmanvaihtokoneet uusitaan nykymääräykset täyttäviin, säästetään lähtötilanteeseen verrattuna 27 % sähköenergiassa. Tapauksessa 4 parannetaan koneiden SFP-lukuja entisestään, jolloin selvittää vielä pienemmällä sähköenergiankulutuksella. Alkuperäiseen verrattuna tapauksen 4 ratkaisu säästää energiaa 31 MWh eli 33 %.



Kuva 15. Ilmanvaihtokoneiden kuluttama puhallinsähkö laskentatapauksittain.

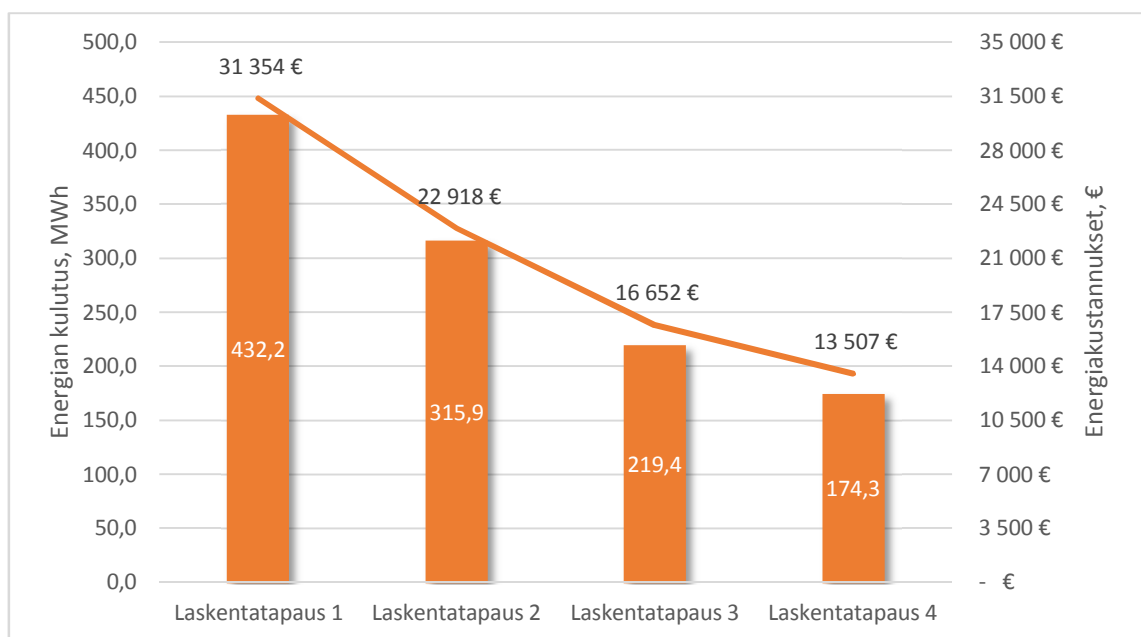
Sähköenergia on kohtuullisen kallista, joten säästynyt energia tuo säästöjä myös vuosittaiseen kiinteistön sähkölaskuun. Tarkemmin säästyneitä euroja ja takaisinmaksuaikoja on esitetty seuraavassa luvussa.

5.2 Investointien takaisinmaksuaika

Investointien kannattavuutta arvioidaan kahdella eri menetelmällä: yksinkertaisella takaisinmaksuajalla sekä korollisella takaisinmaksuajalla. Tämän tarkempaan tarkasteluun ei tällä kertaa ole tarvetta ryhtyä, koska ilmanvaihtokoneiden saneeraus tehdään joka tapauksessa. Laajuuskin on jo päätetty, joten ei ole tarvetta tehdä analysointeja

koje kojeelta. Tässä tapauksessa takaisinmaksuaika lasketaan mielenkiinnosta ja sen varmistamiseksi, että ratkaisut ja suuntaviivat ovat oikeanlaisia.

Kuvaan 16 on summattu ilmanvaihtokoneiden kuluttama lämmitysenergia sekä puhaltimien kuluttama sähköenergia. Jäähdytysenergia on jätetty tästä pois, koska sen kuluksessa ei käytännössä tapahdu muutoksia laskentatapausten välillä. Kuvaan on myös lisätty energiakustannukset. Lämpöenergian hintana on käytetty 65 €/MWh ja sähkön 100 €/MWh. Kuvaajasta voidaan todeta, että energiakustannusten lasku on käytännössä lähes suoraan verrannollinen energiankulutuksen pienentymiseen, joten tästäkin syystä kannattaa panostaa energiatehokkaisiin laitteisiin.



Kuva 16. Vuosittainen energiankulutus ja energiakustannukset laskentatapauksittain.

Yksinkertaisen takaisinmaksuajan laskennassa ei oteta huomioon korkotekijöitä, jolloin takaisinmaksuaika saadaan jakamalla investointikustannus vuosittaisilla energiansäästöillä. Tässä tapauksessa ilmanvaihtokonevalmistajan ilmoittama budjettihinta mitoitetuille ilmanvaihtokoneille on 150 000 €. Tähän summaan lisätään vielä 20 000 € kanavamateriaaleille sekä tarvittaville lämmöntalteenotoilla varustetuille huippuimureille putkistoihin. Työn osuutta ei tässä oteta huomioon eli takaisinmaksuaika koskee vain materiaali-investointeja. Todellinen takaisinmaksuaika on hivenen pidempi johtuen asennuskustannuksista. Näillä lähtötiedoilla saadaan yksinkertaiseksi takaisinmaksuajaksi alkuperäisen ja laskentatapausten 4 välillä

$$n = \frac{170\,000 \text{ €}}{31\,354 \text{ €} - 13\,507 \text{ €}} = 9,5 \text{ vuotta.}$$

Yksinkertaisen takaisinmaksuajan perusteella investointi vaikuttaa vähintäänkin kannattavalle. Korollisessa takaisinmaksuajan laskentatavassa otetaan huomioon myös korkokannan vaikutus investoinnin takaisinmaksu aikaan. Tämä antaa hivenen todemmukaisemman kuvan takaisinmaksuajasta, joten sitäkin on syytä tarkastella. Investointikustannukset ja vuosittainen energiansäästö ovat edelleen samat kuin aikaisemmin. Korkokantana laskelmissa käytetään 3 %. Korollinen takaisinmaksu aika lasketaan kaavalla

$$n = \frac{\ln \frac{T}{T-Hi}}{\ln(1+i)},$$

jossa T on vuosittainen säästö, H on investointikustannus ja i on korkokanta. Kun kaavaan sijoitetaan kyseiset lähtöarvot, saadaan korolliseksi takaisinmaksuajaksi

$$n = \frac{\ln \frac{17847 \text{ €}}{17384 \text{ €} - 170000 \text{ €} * 0,03}}{\ln(1 + 0,03)} = 11,4 \text{ vuotta.}$$

Korollinen takaisinmaksu aika on luonnollisesti pidempi kuin yksinkertainen takaisinmaksu aika. Kuitenkin tästä voidaan todeta, että investointinakin saneeraus vaikuttaa kannattavalle ja energiatehokkuuden parantamisesta saavutetaan selkeästi myös taloudellista hyötyä. Mikäli laskelma tehdään vielä samoilla vuosittaisilla energiansäästöillä, korkokannalla 5 % ja investointikustannuksilla 200 000 €, saadaan korolliseksi takaisinmaksuajaksi 16,8 vuotta. Voidaan siis todeta, että kannattavuustarkastelut kestävät kohtuullisen hyvin myös korkokannan ja investointikustannuksien nousun.

6 Yhteenveto

Työssä oli tarkoituksena tutkia kauppakeskusrakennuksen tietyn osan ilmanvaihtolaitteistoa. Tärkeimpänä tutkittavana asiana oli selvittää ilmanvaihdon saneerauksen kannalta järkevintä ja kustannustehokkainta vaihtoehtoa. Ensin nykyisten ilmanvaihtokoneiden tekniset tiedot ja palvelualueet selvitettiin. Tämän jälkeen tehtiin energiasimulointi Riuska-nimisellä simulointiohjelmistolla. Tätä ensimmäistä simulointia käytettiin lähtökohtana tutkimukselle. Tarkoituksena oli tehdä useampia simulointeja ja tutkia, kuinka energiankulutus käyttäytyy suhteessa tehtyihin muutoksiin. Tavoitteena oli löytää kustannusoptimaalinen ratkaisu, jolla energiankulutus saadaan ilmanvaihtojärjestelmän osalta pieneneväksi.

Energiasimulointien perusteella pelkästään koneiden uusiminen nykyisistä täyttävälle tasolle auttaa energiankulutuksen alentamisessa huomattavasti. Toisin sanoen perustapauksessa pelkillä koneuusinoilla voidaan saavuttaa selvää säästöä energiankulutuksessa ja sitä kautta energiakustannuksissa. Tässä kohteessa ja tutkittavalla osalla oli paljon käytössä myös erillispoistoja johtuen mm. vanhoista keittiövarauksista. Näiden erillispoistojen valjastaminen lämmöntalteenottojen piiriin vaikutti ennakkoon houkuttelevalla tavalla säästää lämmitysenergiassa. Tämä pystyttiin osoittamaan myös energiasimuloinneilla. Kun aikaisemmin taivaan tuuliin lämpöenergian puhaltaneet erillispoistot liitettiin lämmöntalteenottojen taakse, saavutettiin näin merkittäviä säästöjä ilmanvaihtokoneiden kuluttamassa lämpöenergiassa. Lisäksi tästä aiheutuvat investointikustannukset jäivät pieniksi. Koska kyseiset erillispoistot kulkevat joka tapauksessa saneerattavan ilmanvaihtokonehuoneen läpi, jää tehtäväksi vain kytkeä erillispoistojen kanavoinnit uudelle ilmanvaihtokoneelle. Ainoana suurempana kustannuksena tulee keittiön erillispoistoon esitetty lämmöntalteenotolla varustettu huippuimuri. Tämän kokoluokan saneerauksessa se kannattaa kuitenkin toteuttaa, sillä yksittäisenä investointina se ei välttämättä tulisi kannattavaksi.

Energiasimulointien sekä laskettujen takaisinmaksuaikojen valossa ilmanvaihtokoneiden saneeraus vaikuttaa kannattavalta. Mikäli ilmanvaihtokoneiden saneerauksen investointipäätös olisi tekemättä, voisi tästä työtä olla apua päätöksen tekemiseen. Nyt kun päätös on jo tehty, saatiin selville järkevin lähestymistapa saneeraukseen. Kyseisessä kauppakeskuksessa on alkamaisillaan suurempi ilmanvaihtokoneiden saneeraus lähivuosina, jonka yksi osa tutkittu kokonaisuus myöskin on. Työstä voidaan olettaa olevan hyötyä myös suunniteltaessa rakennuksen muita osia.

Takaisinmaksuajat laskettiin alkuperäisen tilanteen ja tapauksen 4 välillä. Kuitenkin koneet alkavat olla jo käyttöikänsä päässä, joten koneinvestointi tulisi aiheelliseksi joka tapauksessa. Varsinainen energiatehokkuutta parantava satsaus tapahtui tapausten 2 ja 4 välillä, jolloin takaisinmaksuaika olisi kannattanut laskea myös näiden kahden tapauksen välillä. Näin olisi saatu selville energiatehokkuutta lisäävän lisäinvestoinnin kannattavuus verrattuna pakolliseen investointiin.

Tulevaisuuden kannalta olisi mielenkiintoista selvittää, kuinka saneeraus todellisuudessa suoritettiin. Tämän lisäksi kun saneeraus on saatu valmiiksi, olisi mielenkiintoista selvittää mittauksin, kuinka hyvin laskennallisella tarkastelulla päästiin lähelle totuutta. Kun saneerattavat ilmanvaihtokoneet saadaan oman energiamittauksen taakse, olisi tämä erittäin helppo suorittaa. Tosin aikaa täytyy kulua jokunen vuosi, jotta koneet saadaan toimimaan optimaalisesti ja muutenkin tilanne on päässyt normalisoitumaan.

Lähteet

- 1 Suomi saavuttamassa vuoden 2020 päästötavoitteet - vuoden 2030 tavoite edellyttää paljon lisätoimia. Verkkoaineisto. VTT.
<<http://www.vtt.fi/medialle/uutiset/suomi-saavuttamassa-vuoden-2020-p%C3%A4%C3%A4st%C3%B6tavoitteet>> Luettu 24.3.2018.
- 2 Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. 19.5.2010. Verkkoaineisto.
<<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX:32010L0031>>. Luettu 7.11.2017
- 3 Pariisin ilmastopöytäkirja. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö.
<<http://www.ymparisto.fi/pariisi2015>>. Luettu 7.11.2017
- 4 Paris Agreement. 12.12.2015. Verkkoaineisto. United Nations.
<http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf>. Luettu 7.11.2017
- 5 Vuoden 2010 säätilasto. Verkkoaineisto. Ilmatieteenlaitos.
<<http://ilmatieteenlaitos.fi/vuosi-2010>>. Luettu 5.12.2017
- 6 Energian kokonaiskulutus energialähteittäin. Verkkoaineisto. Tilastokeskus.
<http://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2016/data/t01_01.xls>. Luettu 5.12.2017.
- 7 Rakentamismääräyskokoelma, energiatehokkuus. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskoelma/Energiatehokkuus>. Luettu 29.12.2017.
- 8 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017.
- 9 Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3. 2012.
- 10 Valtioneuvoston asetus rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista. 788/2017. 2017.
- 11 Vuolle, Mika. 2016. Rakennuksen energiankulutuksen muodostuminen. Luentomoniste. Metropolia Ammattikorkeakoulu.
- 12 Energian loppukäyttö sektoreittain. Verkkoaineisto. Tilastokeskus.
<http://pxhopea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2016/data/t01_08_2.xls>. Luettu 5.12.2017.
- 13 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä 4/13. 2013.
- 14 Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2012. Matalaenergiarakentaminen: toimitilat. Saarijärvi: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

- 15 Sandberg, Esa (toim.). 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointiteknikka osa 1. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 16 Acon mitoitusohjelma. Fläkt Woods Oy.
- 17 ISO 16890. Yleisilmanvaihdon ilmansuodattimet. Osa 1: Tekniset määritelmät, vaatimukset ja hiukkasmaisen aineksen erotusasteeseen perustuva luokitusjärjestelmä (ePM). 2016. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.
- 18 PM1 – ihmisten terveyden turvaaminen nyt etusijalla. Verkkoaineisto. Camfil Oy. <https://www.camfil.fi/FileArchive/Brochures/Standards/PM1_Newsletter_ihmisten%20terveyden%20turvaaminen%20nyt%20etusijalla_FI.pdf>. Luettu 29.12.2017.
- 19 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. 2017.
- 20 Econet – markkinointilehtinen. Verkkoaineisto. Fläkt Woods Oy. <<http://resources.flaktwoods.com/Perfion/File.aspx?id=0733ff56-c823-4751-bd8b-fb9683f76d07>>. Luettu 10.12.2017.
- 21 Komission asetus (EU) N:o 1253/2014. 2014.
- 22 Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa. Verkkoaineisto. Ilmatieteenlaitos. <<http://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>>. Luettu 24.2.2018.

Tarkasteltavan ilmanvaihtojärjestelmän pystykaavio

Liitteessä on esitetty tarkastellun ilmanvaihtojärjestelmän pystykaavio. Sama kuva löytyy tekstistä pienempänä.

