

Esa Pelttari

Ilmanvaihdon lämmöntalteenottoratkaisuja korjauskohteissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (ylempi AMK)

Opinnäytetyö

8.2.2019

Tekijä	Esa Peltari
Otsikko	Ilmanvaihdon lämmöntalteenottoratkaisuja korjauskohteissa
Sivumäärä	45 sivua + 1 liite
Aika	8.2.2016
Tutkinto	insinööri (ylempi AMK)
Koulutusohjelma	rakentaminen
Suuntautumisvaihtoehto	talotekniikka
Ohjaaja	tutkintovastaava Jorma Säteri
<p>Korjattaessa vanhaa rakennusta ja uusittaessa sen ilmanvaihtojärjestelmää on huomioitava ympäristöministeriön asetus 4/13 koskien rakennusten energiatehokkuuden parantamista korjaus- ja muutostöissä. Tämä 1.6.2013 voimaan tullut asetuksen mukaan ilmanvaihtojärjestelmä on varustettava poistoilmasta lämpöä talteen ottavalla järjestelmällä, jonka lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on vähintään 45 %.</p> <p>Kuhunkin ilmanvaihtojärjestelmään sopivin ja paras lämmöntalteenottojärjestelmä on valittava aina kohdekohtaisesti. Tavoitteena on kuitenkin varustaa mahdollisimman suuri osuus rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmistä poistoilman lämmön talteenotolla.</p> <p>Ilmanvaihtokoneiden valinta on toisaalta nykyisin entistä helpompaa, sillä aika monella ilmanvaihtokoneiden valmistajalla on jo yleisessä käytössä olevia mitoitusohjelmia. Toisaalta koneiden ja lämmöntalteenotto järjestelmän valintaa kuhunkin kohteeseen parhaiten sopivaksi, huomioiden lämmön talteenoton hyötysuhteet ja koneiden sähkötehokkuus- eli SFP-luvut, on entistä haastavampaa, koska konevalmistajia on monia. Lisäksi ilmanvaihtourakoitsijat yleensä tarjoavat eri valmistajan koneita, mitä ilmanvaihtosuunnitelmissa on esitetty. Valitsemalla ilmanvaihtokoneikko, jonka SFP-luku on pienempi, saadaan myös yleensä parempi lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde.</p> <p>Mikäli ilmanvaihtokonetilat sallivat, ilmanvaihtokoneet voidaan valita vielä väljemmiksi kuin määräykset SFP-luvusta edellyttävät. Tällöin on syytä muistaa että ilmanvaihtokanaviston painehäviöt täytyy minimoida mitoittamalla kanavisto niin väljäksi kuin tilat antavat myöden. Jos tilat ovat matalia eikä ilmanvaihtokanavien asennuskorkeutta ole paljoakaan, täytyy tällöin miettiä esimerkiksi useampien ilmanvaihtokoneiden käyttöä, jolloin konekohtaiset kanavat ovat pienempiä ja kanavisto lyhyempi.</p>	
Avainsanat	lämmön talteenotto, SFP-Luku, vuosihyötysuhde

Author	Esa Pelttari
Title	Ventilation heat recover system in renovation of buildings
Number of pages	45 pages +1 appendices
Date	8.2.2016
Degree	Master of engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Building Services Engineering
Instructor(s)	Jorma Säteri, Senior Lecturer
<p>This Master`s thesis studied one school building, two kindergarten buildings and one a block of flats where the ventilation system had been renovated and redone. Mostly the renovated heat recovery system was a rotary heat recovery system, but also other heat recovery systems had been used, such as heat pump, liquid heat, cross flow plate and counter-flow plate recovery systems.</p> <p>It was discovered that the energy consumption for the heat recovery system had increased in these renovated school and kindergarten, but energy consumption of the block of flats had reduced. The reason for the higher energy consumption in some of the buildings were the increased air volume and running time of the ventilation systems. In the block of flats the air volume was not increased.</p> <p>It was establish that the size of the ventilation machine is very important, because when the value for Specific Fan Power (SFP) is suitably small ($< 2 \text{ kW/m}^3$), the heat recovery efficiency is higher than it would be with a machine with a higher SFP value.</p> <p>Nowadays all information should be available when the calculations of energy savings are made during alteration work. Before renovation a building, detailed information about the air amounts and running times of present ventilation system should be gathered. In addition as-built, ventilation plans of a building are necessary to allow for the estimation of the energy consumption of the new ventilation system. There is a risk that the energy savings will not be reached because of the increased amount of air in the building, in spite of added heat recovery during the renovation.</p>	
Keywords	ventilation, heat recover, energy-efficient, SFP

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
2	Määritelmiä	2
2.1	EC-puhaltimet	2
2.2	Energiamuotojen kertoimet	2
2.3	Ilmastonmuutos	2
2.4	Kammio puhaltimet	3
2.5	Lämpötilahyötysuhde	3
2.6	Lämmön talteenoton vuosihyötysuhde	3
2.7	Nollaenergiatalo	4
2.8	Puhallinlait	4
2.9	Puhaltimien taajuusmuuttajakäyttö	5
2.10	SFP-luku	5
2.11	U-arvo eli lämmönläpäisykerroin	5
3	Viranomaisvaatimuksia ilmanvaihdon lämmöntalteenoton toteuttamisesta	6
4	Lämmöntalteenottojärjestelmiä	7
4.1	Levylämmönsiirtimet	7
4.1.1	Ristavirtakenno	7
4.1.2	Vastavirtakenno	9
4.2	Pyörivä lämmönsiirrin	10
4.3	Nestekiertoinen lämmönsiirrin	12
4.4	Lämpöpumppuratkaisuja ilmanvaihtokoneissa	14
4.4.1	Asuntokohtaiset poistoilmalämpöpumput	15
4.4.2	Kerrostalojen poistoilmalämpöpumput	16
5	Tulevia rakennusten energian kulutuksen vähentämisvaatimuksia	16
6	Ilmanvaihdon hiilidioksidipäästöjä ilman lämmön talteenottoa ja lämmön talteenotolla varustetuissa iv-järjestelmissä	18

7	Tampereen tilakeskuksen kiinteistöjen energiankulutustietoja	20
8	SFP-luvun vaikutuksia ilmanvaihtokoneen lämmön talteenoton hyötysuhteeseen	22
9	Muutoskohteita, joihin on uusittu ilmanvaihtojärjestelmiä lämmönteennotolla	23
9.1	Pohjois-Hervannan koulu	23
9.2	Jussinkylän päiväkoti	25
9.2.1	Uusien iv-koneiden vaikutusalueet ja ilmamäärät	26
9.2.2	Kohteen elinkaarikustannuksia.	28
9.3	Asunto Oy Tampereen Pohjolankatu 18-20	32
9.4	Juvan päiväkoti	33
10	Lähes kokonaan lämmöntalteenotolla varustettu kohde	35
11	Kohdepoistojen lämmön talteenotto	37
11.1	Yleistä kohdepoistoista	37
11.2	Purunpoisto	38
12	Suunnitteluvaiheen varmistustoimenpiteitä ennen muutostöihin ryhtymistä	39
13	Työnaikaisia huomioitavia seikkoja muutoskohteissa	40
14	Yhteenveto	42
	Lähteet	44

Liite: Pohjois-Hervannan koulun TK14 SIEMENS OY:n rakennusautomaatiokaavio.

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan ja vertaillaan Tampereen Tilakeskuksen Liikelaitoksen sekä peruskorjaus, että muissa korjauskohteissa toteutettuja ilmanvaihdon lämmöntalteenottojärjestelmiä, niiden hankintakustannuksia ja toteutuneita energiansäästöjä sekä ilmanvaihtojärjestelmien käyttö- ja huoltokokemuksia.

Tampereen Tilakeskus Liikelaitos vastaa Tampereen kaupungin kiinteistöjen talonrakennusinvestointien toteutuksesta sekä huolehtii kaupungin omaisuuden arvon säilymisestä ja kehittämisestä, pois lukien asuinrakennukset, vuokrauksesta, kiinteistönpidosta ja kiinteistöpalveluiden tuottamisesta.

Tilakeskuksen liikevaihto on noin 160 milj. euroa ja vuoden 2015 investointimääräraha on noin 76 milj. euroa. Työntekijöitä on tällä hetkellä n. 250 henkilöä. Tilakeskuksen hallinnassa on n. 800 Tampereen kaupungin omistamaa rakennusta.

Tampereen kaupunki on sitoutunut kasvihuonepäästöjen määrän yli 20 %:n vähentämiseen pormestarien ilmastositoumuksen mukaisesti vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Lisäksi uusiutuvien energialähteiden osuutta on lisättävä ja bioenergian paikallisia käyttömahdollisuuksia on edistettävä. (1, s. 4.)

2 Määritelmiä

2.1 EC-puhaltimet

EC on elektronisesti kommutoitu tasavirtamoottori, EC tulee sanoista electronically commutated. EC-moottorit eivät tarvitse taajuusmuuttajaa, vaan rakennusautomaation valvonta-alakeskuksesta (VAK) lähtevä 0...10 V:n jänniteviesti säätää moottorin pyörimisnopeutta. EC-moottorin suurin etu verrattuna AC-moottoriin on sen alhaisempi energiankulutus. Tästä johtuen se on myös ympäristöystävällisempi ja edullisempi käyttää. Koska taajuusmuuttajaa ei tarvita, säästyvät taajuusmuuttajan hankinta- ja asennuskustannukset eikä myöskään synny taajuusmuuttajan häviötä. (2, s. 99.)

2.2 Energiamuotojen kertoimet

Energiamuotojen kertoimilla tarkoitetaan energialähteen tai energiatuotantomuodon kertoimia, joilla eri energiamuodot kerrotaan energialuvun laskemiseksi (3, s. 8).

Energiamuotojen kertoimet ovat seuraavat:

- sähkö 1,7
- kaukolämpö 0,7
- kaukojäähdytys 0,4
- fossiiliset polttoaineet 1,0
- rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet 0,5.

2.3 Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutos on vakava ympäristöuhka, joka johtuu hiilidioksidipäästöjen ja muiden kasvihuonekaasujen mm. metaani pitoisuuksien kasvusta ilmakehässä. Ilmastonmuutos aiheuttaa ilmaston lämpenemistä, jolloin jäätikköjä sulaa ja merenpinta nousee. Kuivilla alueilla kuivuus lisääntyy. Sään ääri-ilmiöt voimistuvat ja ympäri maailmaa ilmenee hirmumyrskyjä, rankkasateita, tulvia ja helleaaltoja. (4.)

2.4 Kammiopuhaltimet

Kammiopuhaltimissa on siipipyörä taaksepäin kaartuvin siivin ilman puhallinkaapua. Suoravetoisista kammiopuhaltimista on tullut 2000-luvulla yleisesti käytetyin puhallintyyppi koteloitujen ilmanvaihtokoneiden puhaltimiksi. Suoravetoisuuden takia kammiopuhaltimissa ei ole hinnan aiheuttamaa tehohäviötä. Se on hiljaisempi ja mahtuu pienempää tilaan kuin esimerkiksi radiaalipuhaltimet. (2, s. 87.)

2.5 Lämpötilahyötysuhde

Lämpötilahyötysuhde on talteenottolaitteen ominaisuus, joka kertoo kuinka monta prosenttia poistoilman lämmöstä lämmöntalteenotto laite kykenee siirtämään tuloilmaan vakioituissa olosuhteissa (5, s. 286).

Lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilahyötysuhde

$$\eta = (T_{lto} - T_u) / (T_p - T_u)$$

Lämmöntalteenoton poistoilman lämpötilahyötysuhde

$$\eta = (T_p - T_{jäte}) / (T_p - T_u)$$

jossa

T_{lto} on tuloilman lämpötila lämmöntalteenoton jälkeen (°C)

T_p on poistoilman lämpötila (°C)

T_u on ulkoilman lämpötila (°C)

$T_{jäte}$ on jäteilman lämpötila (°C)

2.6 Lämmön talteenoton vuosihyötysuhde

Lämmön talteenoton vuosihyötysuhde ilmoittaa koko ilmanvaihtolaitteen lämmön talteenoton hyötysuhteen vuositasolla normitettuna normaaliin käyttöön. Se on lukuarvona aina pienempi kuin ilmoitettu lämpötilahyötysuhde. Luku kertoo käytännön talteenotokyvystä paremmin kuin lämpötilahyötysuhde.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D5 Rakennusten energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta on annettu lämpötilasuhdelukuarvoja eri lämmöntalteenottojärjestelmille. (6, s. 22.)

Lämmönsiirintyyppi	Lämpötilasuhde η_t
Nestekiertoinen lämmönsiirrin	0,40
Ristivirtalevylämmönsiirrin	0,50
Vastavirtalevylämmönsiirrin	0,60
Pyörivä eli regeneratiivinen lämmönsiirrin	0,65

2.7 Nollaenergiatalo

Nollaenergiatalolla tarkoitetaan rakennusta, joka tuottaa uusiutuvaa energiaa vähintään sen määrän, jonka se kuluttaa uusiutumaton energiaa (7).

2.8 Puhallinlait

Puhallinlait kuvaavat pyörimisnopeuden muutoksen vaikutusta puhaltimen ilmavirtaan, paineenkorotukseen ja sähkönottootehoon (2, s.167).

$$qv_1 = (n_1/n) * qv$$

$$pt_{F1} = (n_1/n)^2 * pt F$$

$$P_1 = (n_1/n)^3 * P$$

jossa

n_1 on puhaltimen uusi pyörimisnopeus (r/min)

n on puhaltimen tunnettu pyörimisnopeus (r/min)

qv_1 on puhaltimen uusi tilavuusvirta (m^3/s)

qv on puhaltimen tunnettu tilavuusvirta (m^3/s)

$pt F_1$ on puhaltimen uusi kokonaispaine (Pa)

$pt F$ on puhaltimen tunnettu kokonaispaine (Pa)

P_1 on puhaltimen uusi teho (W)

P on puhaltimen tunnettu teho (W)

2.9 Puhaltimien taajuusmuuttajakäyttö

Vaihtovirtapuhaltimien eli AC-puhaltimien kierroslukua voidaan ohjata taajuusmuuttajilla. Vaihtovirtamoottorien pyörimisnopeutta säädettäessä täytyy muuttaa moottorien taajuutta ja jännitettä. (2, s. 95.)

2.10 SFP-luku

Yksittäisen ilmanvaihtokoneen SFP- eli sähkötehokkuusluku on ilmanvaihtokoneen puhaltimien yhteenlaskettu sähköverkosta ottama sähköteho kW jaettuna koneen suuremmalla tulo- tai poistoilmavirralla. Sen yksikkö on kW/m³ (2, s. 102). Tällä hetkellä yksittäisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän suurin sallittu SFP-luku on 2 kW/ m³ (6, s. 52).

2.11 U-arvo eli lämmönläpäisykerroin

Lämmönläpäisykerroin eli U-arvo kuvaa rakennuksen eri rakennusosien lämmöneristyskykyä. Aiemmin se tunnettiin K-arvona. Sen yksikkö on (W/m²K). (3, s. 5.)

3 Viranomaisvaatimuksia ilmanvaihdon lämmöntalteenoton toteuttamisesta

Ensimmäisen kerran ilmanvaihdon lämmöntalteenottoon on otettu kantaa Suomen rakentamismääräyskokoelman (SMRK) osassa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto v. 1987 (87, s.11).

Nykyisin ilmanvaihdon lämmön talteenoton vaatimukset on kirjattu SMRK:n osaan D3 Rakennusten energiatehokkuus v. 2012 (3, s. 15–16). Taulukkoon 1 on koottu vanhempia ja nykyisiä ilmanvaihdon lämmöntalteenoton viranomaismääräyksiä.

Taulukko 1. Taulukkoon on koottu vanhojen SRMK D2:n vaatimuksia vuosilta 1987, 2003 (9, s.17) ja 2010 (10, s. 22–23). Taulukon alaosassa on nykyisin voimassa oleva uudisrakennuksia koskeva SMRK:n osan D3 vuodelta 2012 vaatimuksia ja sen alle ympäristöministeriön asetuksen v. 2013 voimaan tulleet peruskorjauskohteita koskeva asetus (11, s. 2).

Määräys	LTO vaatimus	Lisätarkennuksia
D2 v.1987	LTO:n lämpötilahyötysuhde vähintään 50%	Ei vaadita jos $q_p < 1 \text{ m}^3/\text{s}$. Ei vaadita jos laitoksen käyttöaika < 35h/ viikko. Ei vaadita jos poistoilma on liikaista tai jos sen $t < 15 \text{ }^\circ\text{C}$. Ei vaadita jos tulo- ja poistoilmavirtojen suhde $> 1,4$. Ei vaadita jos käytetään muuta lämmönlähdettä esim. kylmäkoneistoa tuloilman lämmitykseen riittävästi.
D2 v. 2003	LTO:n tuloilmanlämpötilahyötysuhde vähintään 50%. Lämpömäärä vähintään 30%	Ei vaadita jos poistoilma on liikaista tai jos sen $t < 15 \text{ }^\circ\text{C}$. Ei vaadita jos rakennuksen lämpöenergian pienentäminen voidaan toteuttaa rakennuksen vaipan lämmöneristystä parantamalla, esitettävä laskelma asiasta.
D2 v. 2010	Tuloilman lämpötilahyötysuhde vähintään 55% testausilanteessa Lämpömäärä vähintään 45%	Ei vaadita jos poistoilma on liikaista tai jos sen $t < 10 \text{ }^\circ\text{C}$. Ei vaadita jos rakennuksen lämpöenergian pienentäminen voidaan toteuttaa rakennuksen vaipan lämmöneristystä tai rakennukseen vaipan ilmanpitävyyttä parantamalla. Vähentämällä ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemää muulla tavoin kuin poistoilman lämmöntalteenotolla.
NYKYISIN VOIMASSA OLEVAT MÄÄRÄYKSET JA ASETUS		
D3 v. 2012	Lämpömäärä vähintään 45%	Ei vaadita jos vastaava lämpöenergian pienentäminen voidaan toteuttaa 1) Rakennuksen vaipan lämmöneristystä parantamalla 2) Rakennuksen vaipan ilmanpitävyyttä parantamalla. 3) Vähentämällä ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemää lämpömäärää muulla tavoin kuin poistoilman lämmöntalteenotolla.
Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energia- tehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä v. 2013.	Lämpömäärä vähintään 45% eli lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen oltava yli 45%.	

Ensi vuonna eli vuoden 2016 alusta on tulossa EU-alueella voimaan ilmanvaihtojärjestelmien ekosuunnitteluvaatimus, jonka mukaan ilmanvaihtokoneiden nestekiertoisten lämmöntalteenottojärjestelmien lämpötilahyötysuhteen on oltava vähintään 63 % ja muiden lämmöntalteenottojärjestelmien vähintään 67 %.(12)

Seuraava kiristys lämpötilahyötysuhdevaatimukseen tapahtuu 2018 vuoden alusta, jolloin nestekiertoisten lämmöntalteenottojärjestelmien lämpötilahyötysuhteen on oltava vähintään 68 % ja muiden lämmöntalteenottojärjestelmien vähintään 73 %.(12)

4 Lämmöntalteenottojärjestelmiä

4.1 Levylämmönsiirtimet

4.1.1 Ristavirtakenno

Ristivirtakennossa on paikallaan oleva levypakka, jossa joka toisessa levyvälissä virtaa tuloilma ja joka toisessa poistoilma. Lämpöä siirtyy levyjen läpi ilmavirrasta toiseen. Isommissa koneikoissa kennon tehonsäätö tapahtuu kennon ohituspelleillä.

Omakotitalokokoluokan vanhemmissa tämäntyyppisissä ilmanvaihtokoneissa kennon jäähtymisen esto on toteutettu tuloilmapuhaltimen käyntiä ohjaamalla, eli kennon huurtumistilanteessa koneen tuloilmapuhallin pysähtyy. Joissakin malleissa on ennen lämmöntalteenottokuutiota sähköinen etulämmitysvastustus, jolla lämmitetään ulkoilmaa joitakin asteita LTO-kennon huurtumisen estämiseksi. Lisäksi joissakin saman kokoluokan malleissa on kesäajan käyttöä varten kesäkenno, joka vaihdetaan LTO-kennon tilalle, tällöin lämmöntalteenotto ei ole toiminnassa. Lämpötilahyötysuhde on noin 50–55 %.

Kuvan 2 ilmanvaihtokoneessa on ristivirtakenno. Tämän koneen lämmöntalteenoton hyötysuhde ei täytä enää vuonna 2016 voimaan tulevia kiristyviä lämmöntalteenoton hyötysuhdevaatimuksia.

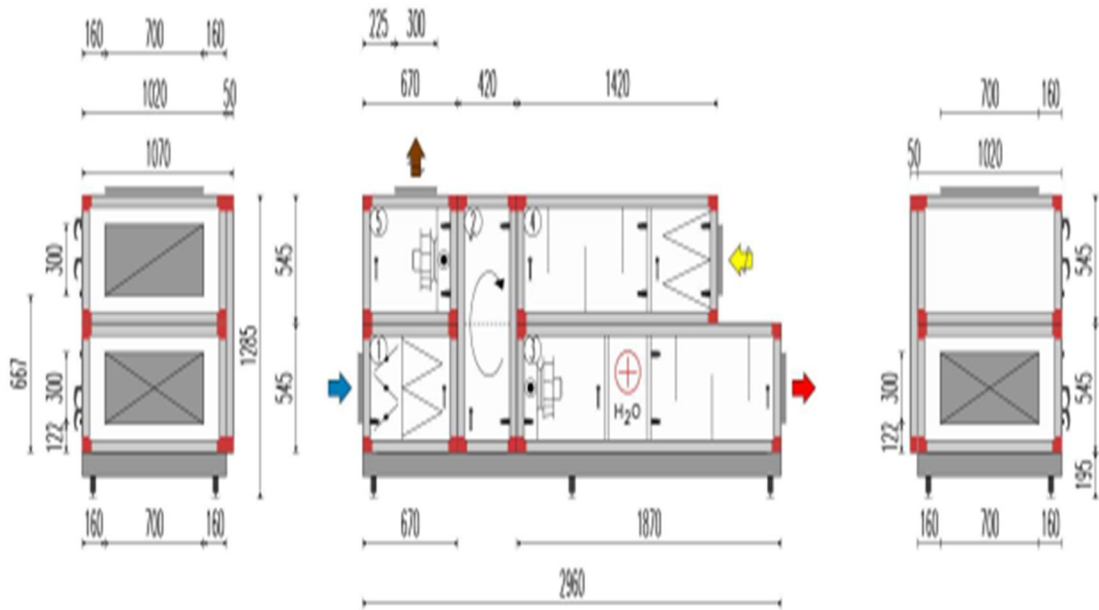
4.1.2 Vastavirtakenno

Vastavirtakennossa on suurempi pinta-ala kennostossa ja ilmavirrat kulkevat osan matkaa vastakkaisiin suuntiin, mikä nostaa lämpötilahyötysuhdetta. Lämpötilahyötysuhde on noin 70–80 %. Kennon tehonsäätö tapahtuu tässäkin kennon ohituspelleillä.



Kuva 3. Swegon Oy:n uusimpia vastavirtakennolla varustettuja ilmanvaihtokoneita CASA W 80 (15).

Kuvan 3 ilmanvaihtokoneen automaattinen ohituspelti ohjaa poistoilman lämmönvaihtimen ohi silloin, kun lämpöä ei tarvita. Lämmönvaihdin on varustettu huurtumisenesto-termostaatilla. Jos lämmönvaihdin uhkaa jäätymä, etuvastus kytkeytyy päälle ja tuloilmapuhaltimen nopeus pienenee ja lämmin poistoilma estää lämmönvaihdinta jäätymästä. (15.)



Kuva 5. Intervent Oy:n edustaman lv-productin ilmanvaihtokone pyörivällä lämmön talteenotolla. Lämmöntalteenoton hyötysuhde on tässä koneessa 80,7 % (kuiva), ilmamäärä on 600 l/s. (14.)

Kuvan 5 ilmanvaihtokoneessa on vesikiertoinen lämmityspatteri, joka mitoitetaan kaukolämpöverkostossa olevissa rakennuksissa meno- ja paluuveden lämpötiloille 60/40 °C.

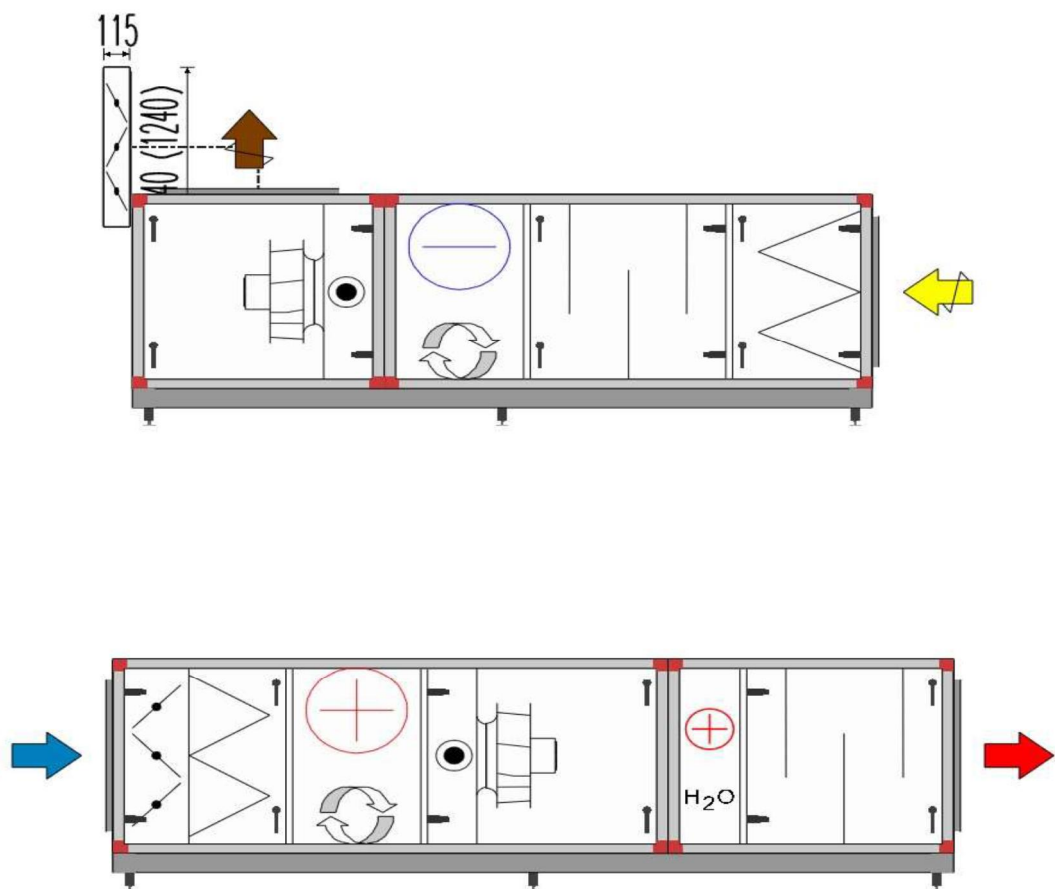
Taulukko 2. Intervent Oy:n edustamien IV-productin koneiden hinta- ja lämmöntalteenoton hyötysuhdevertailu, kun ilmamäärä on n. 600 l/s (14).

LTO:n tyyppi	Hinta % kalliimmasta	LTO:n hyötysuhde
Kiekko	63	80,7
Vastavirtakenno	100	80
Ristivirtakenno	65	52

Taulukkoon 2 on koottu yhden ja saman laitevalmistajan eri lämmöntalteenottojärjestelmillä varustettujen ilmanvaihtokoneiden hintavertailua. Taulukosta havaitaan, että kiekolla varustettu ilmanvaihtokone tulee hankintahinnaltaan halvimmaksi tässä kokoluokassa.

4.3 Nestekiertoinen lämmönsiirrin

Nestekiertoinen lämmönsiirrin toimii kahdella tai useammalla lämmönsiirrin patterilla, joista 1 tai useampi patteri on poistoilmassa ja 1 patteri vastaavasti tuloilmassa. Patterit ovat valmistettu kupariputkista ja alumiinilamelleista. Lämmöntalteenotto- patteripiirissä kiertää yleensä vesi, johon on lisätty jäätymisestoainetta, esimerkiksi etyleeniä, glykolia tai etanolia. Tyypillinen glykoli- tai etanolipitoisuus on noin 30 %. Lämpötilahyötysuhde on 45–65 %.



Kuva 6. Intervent Oy:n edustaman IV-produktin vesi-glykolikone ilmamäärältään 2 m³/s, jonka SFP-luku =1,7 kW/m³/s. Koneparin laskennallinen lämpötilahyötysuhde on koneajon mukaan nollan celsiusasteen ulkolämpötilassa 64 %.(14.)

Kuvan 6 ilmanvaihtokoneen nestekiertoisen lämmöntalteenoton tehonsäätö ja huurtumisen esto tapahtuu yleensä putkistossa olevan 3-tieventtiilin avulla ilman ja putkiston lämpötilojen mittauksen perusteella. Myös taajuusmuuttajalla varustettua pumppua ja sen rinnalla olevaa 2-tieventtiiliä on käytetty järjestelmän tehonsäätöön. Vesiglykoli-järjestelmän lämmöntalteenoton hyötysuhteeseen vaikuttaa lämmöntalteenotto-pattereiden rakenteen lisäksi lämmönsiirtonesteen ominaisuudet.

Taulukko 3. Nestekiertoisten lämmöntalteenottojärjestelmien toiminnan tarkastusten yhteenveto, joka on tehty 300:sta eri nestekiertoisesta lämmöntalteenottojärjestelmästä. (16)

Hyvin toimiva laitos	8 %
Putkistossa sakkaa	15 %
Putkistossa ilmaa	77 %.

Taulukosta 3 havaitaan, että nestekiertoinen järjestelmä on herkkä nesteen laadulle. Putkiston ilmanpoisto on hoidettava toimivalla tavalla, jotta voidaan saada poistoilmasta konemitoituksen lupaama lämpömäärä siirrettyä tuloilmaan.

Fläktwoods Oy:n ECONET LTO-järjestelmä, kun ilmanvaihtokoneiden valinta tehdään sopivan väljäksi, lupaa hiukan parempia lämmöntalteenoton hyötysuhteita.



Kuva 7. Fläktwoods Oy:n ECONET konekokoanpano, jonka ilmamäärä on 2,1 m³/s ja SFP-luku 1,65 kW/m³. Lämmön talteenoton hyötysuhteeksi luvataan 79,5 %. (17.)

Jotta nestekiertoisen järjestelmän lämmön talteenoton hyötysuhdetta saadaan parannettua, täytyy valita syvemmät lämmön talteenotto patterit, jolloin niiden ilma- ja vesi-puolen painehäviöt kasvavat ja tämä kasvattaa puhaltimien ja lämmöntalteenottopiirin pumpun sähköenergiakulutusta. Kuvassa 7 on esitetty nestekiertoisen lämmöntalteenoton vuonna 2018 voimaan tulevat lämpötilahyötysuhdevaatimukset täyttävä ilmanvaihtokone.

4.4 Lämpöpumppuratkaisuja ilmanvaihtokoneissa

Kuvassa 8 on ilmanvaihtokone, jossa lämpöpumppu on yhdistetty pyörivän lämmöntalteenoton kanssa samaan ilmanvaihtokoneeseen.



Kuva 8. Ensto Enerventin Pegasos PRO Greenair-ilmanvaihtokone, jossa on pyörivä lämmöntalteenotto ja lämpöpumppu, jolla hoidetaan tuloilman lisälämmitystä tai tarvittaessa jäähdytystä.(18).

4.4.1 Asuntokohtaiset poistoilmalämpöpumput

Omakotitalojen ilmanvaihdon, lämmityksen ja lämpimän käyttöveden tuottamiseen on jo joitakin vuosia ollut tarjolla poistoilmalämpöpumpulla varustettuja yhdistelmälaitteita, joissa on lisäksi sähkövastukset. Laitteissa huonelämpöinen poistoilma johdetaan ilmanvaihtoyksikössä olevan lämmönsiirtimen läpi, jolloin lämpöenergia siirtyy kylmäainepiiriin. Täältä lämpöenergia siirretään lämpöpumpun vesivaraajaan, jossa lämpöenergiaa käytetään tuloilman, tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen.

4.4.2 Kerrostalojen poistoilmalämpöpumput

Viime vuosina on kerrostalojen vanhoja yhteiskanavapoistoilmajärjestelmiä aloitettu muuttamaan yhdessä lämpöpumppujen kanssa toimiviksi lämmöntalteenottojärjestelmiksi. Poistoilman lämpötilan on suunnilleen saman lämpöistä ympärivuoden. Järjestelmässä vanha poistopuhallin korvataan lämmön talteenoton poistoilmapatterilla varustetulla poistoilmakoneella. Poistoilmakoneilta lämpö pumpataan putkia pitkin lämpöpumpulle, jossa lämpö luovutetaan lauhdutinpatterilla käyttöveden ja lämmitysverkon esilämmittämiseen.

5 Tulevia rakennusten energian kulutuksen vähentämisvaatimuksia

EU:n alueen kokonaisenergiakulutuksesta kuluu noin 40 % rakennuksien energiakulutukseen eli rakennusten lämmittämiseen, ilmanvaihdon korvausilman lämmitykseen, sähköön ja lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Kasvihuonepäästöjä niissä syntyy noin 35 % alueen kasvihuonekaasupäästöistä.

Rakennusten energiatehokkuuden parantaminen vähentää tai ainakin hidastaa ilmaston muutosta. Euroopan unioni antoi rakennusten energiatehokkuutta koskevan direktiivin vuonna 2010.⁽¹⁹⁾ Tätä direktiiviä on päivitetty vuonna 2012. Direktiivin tavoitteena on toisaalta vähentää rakennusten energiankäyttöä ja toisaalta edistää uusiutuvan energian käyttöä rakennuksissa.⁽²⁰⁾

Jatkossa Suomessa ja muualla Euroopan unionin alueella täytyy rakentaa entistä energiatehokkaampia rakennuksia. Vuoden 2018 jälkeen viranomaiskäytössä ja omistuksessa olevien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia. Vuoden 2020 loppuun mennessä kaikkien uusien rakennusten tulee olla lähes nollaenergiarakennuksia. (7)

Taulukko 4. Suomessa nyt voimassa olevia ja tulevaisuudessa lähes nollaenergiarakennusten eli n. ZEB-vaatimukseen perustuvia E-lukurajoja eri käyttötarkoituksen mukaisille kiinteistöille.

Rakennustyyppi	E-lukuraja D3 2012 (3, s.9)	Ehdotus n. ZEB-E- luvulle (7)	Muutos nykyises- tä %
Pientalot	160...204	120...204	
Asunkerrostalot	130	116	- 11
Toimistorakennukset	170	90	- 47
Koulurakennukset	170	104	- 39
Päiväkotirakennukset	170	107	- 37
Liikerakennukset	240	143	- 40
Liikuntahallit	170	115	- 32
Majoitusrakennukset	240	182	- 24
Sairaalat	450	418	- 7

Helpoimpia keinoja toteuttaa näitä taulukossa 4 esitettyjä kiristyviä vaatimuksia on rakennusten koko ilmanvaihdon varustaminen kuhunkin järjestelmään sopivalla lämmöntalteenotolla. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton tapa kannattaa valita niin, että lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on mahdollisimman korkea. Lisäksi ilmanvaihdon tarpeenmukainen käyttö pienentää ilmanvaihdon energiakulutusta.

Muita mahdollisia toimenpiteitä rakennusten energiakulutuksen pienentämiseen olisi valitsemalla ikkunoiden, joiden U-arvo on pienempi, kiinteistöjen sähkön tuottaminen osittain aurinkopaneeleilla, lämpimän käyttöveden tuottaminen aurinkokeräimillä ja erilaisten lämpöpumppuratkaisujen käyttäminen. Myös tilakohtaisten läsnäolotunnistimien käyttäminen lämmityksen, jäähdytyksen, ilmanvaihdon ja valaistuksen ohjaukseen vähentää rakennusten energiankulutusta. Vaihtamalla energiantuotantotapa sellaiseen jonka energian tuottomuodon kerroin on pienempi, esimerkiksi vaihtamalla öljy- tai sähkölämmitys kaukolämpöön, parantaa laskennallista E-lukua.

Rakenteiden U-arvojen parantaminen nykyisin määräyksissä olevista ei enää ole ihan helppoa, eikä sitä tulla ilmeisesti enää vaatimaan, sillä esimerkiksi alapohjan, seinien ja yläpohjan lämmöneristyksen kasvattaminen ei paljoakaan enää paranna rakenteiden U-arvoa.

Taulukkoon 5 on koottu joidenkin Euroopan maiden uudisrakennuksia koskevia tulevia n ZEB- vaatimuksia. Vaatimukset tulevat voimaan ilmeisesti viimeistään 31.12.2020.

Taulukko 5. Eräiden muiden Euroopan maiden tulevia rakennusten energiankulutuksen suurimpia sallittuja kulutuslukuja yksikössä kWh /m,²a (21).

Maa	Asuinrakennukset	Muut rakennukset	Huom.
Itävalta	160	170	v. 2021
Kypros	100	125	
Tanska	20	25	
Latvia	95	95	
Malta	40	60	
Englanti	n. 44	ei vielä määritely	

6 Ilmanvaihdon hiilidioksidipäästöjä ilman lämmön talteenottoa ja lämmön talteenotolla varustetuissa iv-järjestelmissä

Tampereen Kaukolämmön hiilidioksidipäästöt olivat vuosina 2013 ja 2014 195 g/kWh, kun Suomessa keskimäärin kaukolämmön tuoton hiilidioksidipäästöt olivat v. 2014 165 g/kWh . Tampereen kaukolämpöön liitettyjen rakennusten keskimääräinen kaukolämmön energiakulutus v. 2013 oli 31 kWh/m³. Taulukosta 6 nähdään Tampereen Kaukolämmön käyttämä kaukolämmön tuotannon polttoainekauma.

Taulukko 6. Tampereen kaukolämmön polttoainejakauma vuosina 2013 ja 2014 (22; 23).

Polttoaine	v. 2013	v. 2014
Maakaasu	65 %	56 %
Turve	11 %	15 %
Puu	22 %	26 %
Öljy	2 %	3 %

Energialähdejakauma oli vuonna 2013 (22).

- Uusiutuvat energialähteet 22 %
- Fossiiliset polttoaineet 78 %

Vastaavasti vuonna 2014 (23).

- Uusiutuvat energialähteet 26 %
- Fossiiliset polttoaineet 74 %

Kun ilmanvaihdon lämmityspatterin tehontarve mitoitetaan, niin nykyisin täytyy lämmityspatteri mitoittaa mitoitusulkolämpötilaan. Ennen sallittiin ns. pakkaspuolitus, jolloin voitiin pakkaskaudella, kun ulkolämpötila oli esimerkiksi -10 °C tai kylmempää, ajaa ilmanvaihtokoneita puoliteholla.

Jos esimerkiksi ilmamäärälle $2\text{ m}^3/\text{s}$ mitoitetaan tuloilmakoneen lämmityspatteri Tampereella, niin sen lämmitystehon tarve on $1,2\text{ kg}/\text{m}^3 \times 2\text{ m}^3/\text{s} \times (29+20)\text{ °C} = 117,6\text{ kW}$.

Tällöin mitoitusulkolämpötilassa -29 °C ilmanvaihtokoneen tuloilman lämmitykseen käytetyn lämmitysenergian hiilidioksidipäästöt 10 h:n aikana ovat

$$117,6\text{ kW} \times 10\text{ h} \times 195\text{ g}/\text{kWh} = 229\text{ kg}.$$

Vastaavasti jos lasketaan hiilidioksidipäästön mitoittavana perusteena Tampereen keskilämpötilaa, joka on noin $+5\text{ °C}$, ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin keskimääräiseksi mitoitustehontarpeeksi tulee $1,2\text{ kg}/\text{m}^3 \times 2\text{ m}^3/\text{s} \times (20 - 5)\text{ °C} = 36\text{ kW}$.

Tällöin hiilidioksidipäästöt 10 h:n aikana ovat vastaavasti keskimäärin

$36 \text{ kW} \times 10 \text{ h} \times 195 \text{ g} / \text{kWh} = 70,2 \text{ kg}$

Jos sama ilmanvaihtokone varustetaan poistoilman lämmöntalteenotto ratkaisulla, jonka lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde on 50 %, niin vastaavasti hiilidioksidipäästöt putoavat puoleen.

7 Tampereen tilakeskuksen kiinteistöjen energiankulutustietoja

Jotta voidaan selvittää rakennusten energiakulutuksissa tapahtuvia muutoksia, on esim. kuukausitasolla kerättävä kiinteistökohtaiset sähkön, veden ja lämmönkulutukset. Oheiseen taulukkoon 5 on koottu joidenkin Tilakeskuksen kiinteistöjen kaukolämmön kulutustietoja. Joistakin rakennuksista on näytetty myös sähkönkulutustilastoja. Osa rakennuksista on peruskorjattuja, osa on lähes alkuperäisessä kunnossa.

Listassa on myös mukana ensimmäisenä Luhtaan päiväkotia, joka oli Tampereen Tilakeskuksen passiivienergiarakentamisen pilottikohde. Rakennus valmistui loppuvuodesta 2011 ja otettiin käyttöön vuoden 2012 alusta. Rakennuksessa on muuten LTO-järjestelmät ilmanvaihdossa, paitsi wc-tilojen ilmanvaihdossa sitä ei ole. Rakennuksen katolla on myös 150 m²:n aurinkosähköpaneeleita.

Taulukko 5. Joidenkin Tampereen Tilakeskuksen kaukolämpöön liitettyjen kiinteistöjen energiankulutustietoja vuosilta 2013 ja 2014.

Kohde	Kaukolämpö kWh/ m ³		Sähkö kwh/rm ³	
	2013	2014	2013	2014
Luhtaan päiväkoti	20	17,5	13	16,4
Ikurin koulu	39,4	47,7		
Hatanpään lukio	35	35,1	14,8	
Harjun koulu	46,5	48,3		
Kissanmaan koulu	40	41,4	8,5	
Kaarilan koulu	31,2	32,8		
Kaukajärven koulu	37	38,9		
Pohjois-Hervannan koulu	35	36,4	14,1	
Annalan koulu	33,2	37,3	13	
Härmälän koulu	38,4	38,1		
Lamminpään koulu	55,3	56,3		
Järvensivun koulu	55	57,6		
Tampereen lyseon lukio	38,7	35,7	15	
Tammerkosken koulu	34,3	41,4		
Aleksanterin koulu	37,9	34,5	9	
Etelä-Hervannan koulu	30,5	26,7		
Hatanpään koulu	54,3	58,2		
Hyhkyn koulu	29,9	29,7		
Johanneksen koulu	33,2	35,3		
Tammelan koulu	37,1	33,6		
Lielahden koulu	26,2	26,8		
Linnainmaan koulu	23,5	23		
Lentävänniemen koulu	33,7	35,8		
Nekalan koulu	38,5	42,2		
Tesoman koulu	43,5	51,7		
Kalevanpuiston koulu	48,4	44,2		
Pyynikin koulu	36,2	33,4		

Näiden kohteiden kaukolämpöenergian kulutuksen laskettu keskiarvo oli 2013 37,5 kWh/rm³ ja 2014 38,5 kWh/rm³. Kulutuslukemat ovat sääkorjattuja.

8 SFP-luvun vaikutuksia ilmanvaihtokoneen lämmön talteenoton hyötysuhteeseen

Alla olevaan taulukkoon 6 on koottu ilmanvaihtokoneajoja, jotka on tehty RTEK:n ilmanvaihtokoneiden mitoitusohjelmalla.

Taulukko 6. ENERAGENT / RTEK ilmavaihtokoneita erityyppisillä LTO-ratkaisuilla ja eri kokoluokan koneilla samalla ilmamäärällä ja samalla kanaviston painehäviöllä.

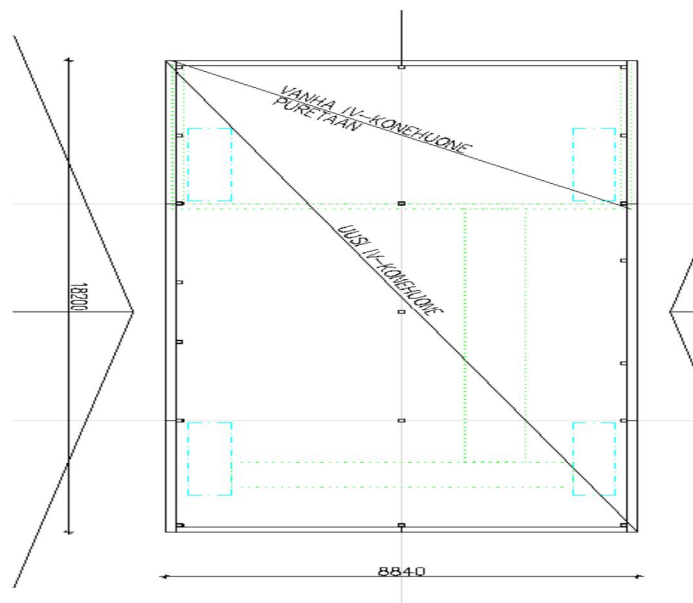
Lämmön talteenoton tyyppi	Konekoko ja -tyyppi	SFP- luku kW/m ³	LTO: n vuosihyötysuhde %	ilmamäärä (l/s)
Pyörivä	PR 09 PRO	1,78	75,8	720
Pyörivä	PR 11 PRO	1,65	81,6	720
Ristivirta	LL 2500	1,89	53	720
Ristivirta	LL 4000	1,5	48,8	720
Ristivirta	LL 5000	1,46	48,3	720
Vastavirta	VV 2800	1,927	78,2	720
Vastavirta	VV 3800	1,712	79,3	720

Taulukosta havaitsemme, että pyörivillä ja vastavirtakennoilla lämmöntalteenoton hyötysuhde parane, kun SFP-luku pienenee. Mutta ristivirta lämmöntalteenotolla, tämä vaikutus onkin päinvastainen. Kysyttäessä tätä laitetoimijalta, vastaus oli: ” Kennoja voidaan valmistaa erilaisilla kennojen väleillä, jolloin kennojen väliä pienentämällä saataisiin parempi lämmöntalteenoton hyötysuhde, vaikka käytettäisiin konetta, jossa on pienempi sähkötehokkuusluku.”(24.)

9 Muutoskohteita, joihin on uusittu ilmanvaihtojärjestelmiä lämmönteennolla

9.1 Pohjois-Hervannan koulu

Kolmiosainen kiinteistö, jossa on A- B- ja C-osat, jotka ovat yhteydessä toisiinsa vain yhdyskäytävillä. Kohteen rakennusosien yhteistilavuus on 36 100 m³ ja pinta-ala 9 308 bm². Kiinteistö on rakennettu 1975. Kohde on aikaisemmin tunnettu Ahvenisjärven koulun nimellä. Julkisivut on uusittu vuonna 2010. Ilmanvaihtokonehuone ja ilmanvaihtokoneet on uusittu vuonna 2013 C-osaan. Koska iv-muutoksia pystyttiin tekemään vain kesäisin, niin kerroskanavat uusittiin vasta kesällä 2014. Kuvassa 9 on näytetty C-osan vesikatolla olevan vanhan ja uuden ilmanvaihtokonehuoneen kokoero.



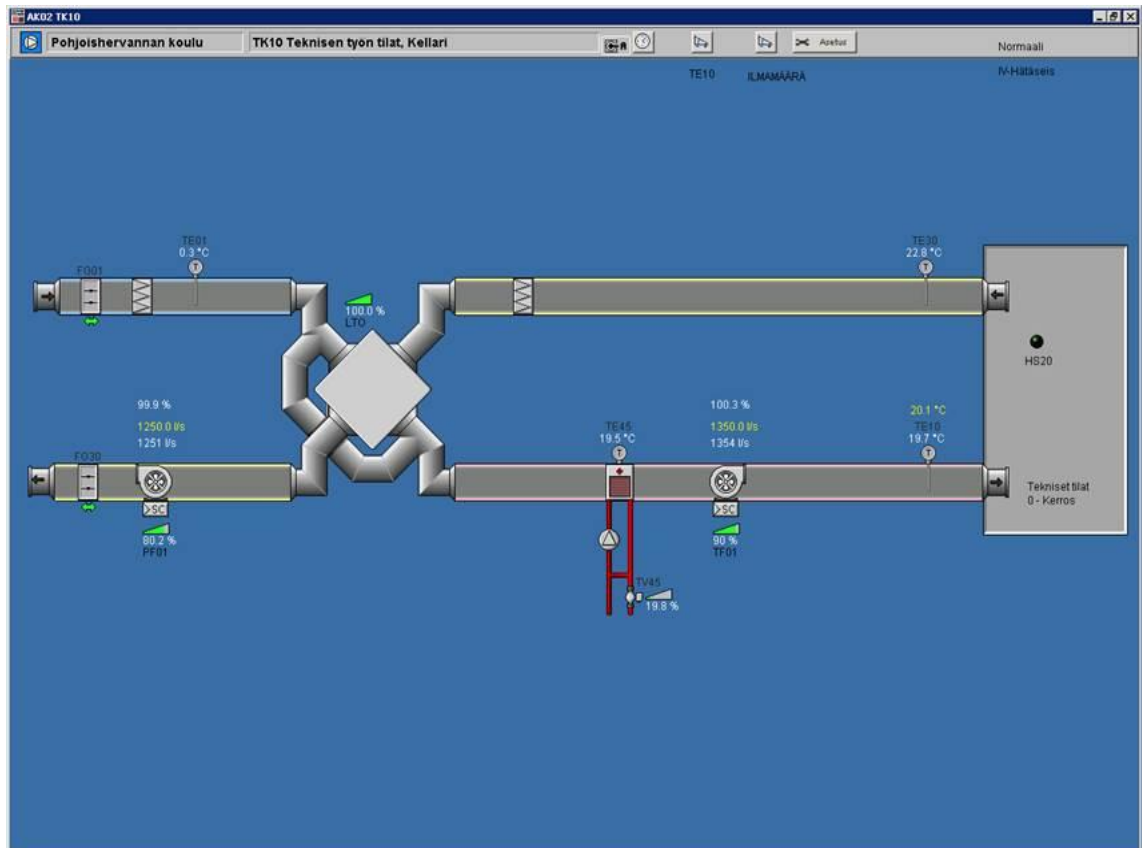
Kuva 9. Pohjois-Hervannan koulun C-osan vanhan ja uuden iv-konehuoneen mitat ja koko ero (25).

Vanha C-osan ilmanvaihto oli toteutettu yhdellä tuloilmakoneella, jonka alkuperäisten iv-suunnitelmien nimellisilmamäärä oli 4333 l/s. Poistoilmakoneina toimivat huippuimurit, eikä minkäänlaista lämmöntalteenotto ratkaisua ollut. Luokahuoneiden ilmamäärä oli vanhoissa suunnitelmissa noin 2,3...2,5 l/s, m². Uusissa ilmanvaihtosuunnitelmissa

kokonaisilmamäärä oli kasvatettu arvoon 7 500 l/s ja luokkahuoneiden ilmamäärät oli kasvatettu nykyisen D2:n mukaiseen arvoon vähintään 3 l/s, m². Joissakin tiloissa on vuosien varrella tehty käyttötarkoituksen muutoksia, esim. talonmiehen asunto on muutettu iltapäiväkerhotilaksi ja varastoja on muutettu pienryhmätiloiksi ja opettajien työtiloiksi.

Uusissa iv-suunnitelmissa ilmanvaihtokoneita on neljä kappaletta. Teknisten töiden luokille on oma kone, jossa on levylämmönsiirrin. Normaali luokkia palvelee nyt kaksi kappaletta konepareja, joissa molemmissa on pyörivä kiekko ja neljäntenä iv-koneparina on levylämmönsiirtimellä varustettu wc-tilojen poistokone, jonka sisään puhallukset tulevat aulatiloihin. Teknisten tilojen purunpoisto oli jo aikaisemmin uusittu jäteilman ulospuhaltavaksi korkeapainejärjestelmäksi.

Kohteen energiankulutus on kasvanut vuodesta 2013, jolloin kesällä uudet iv-koneet otettiin käyttöön vuoteen 2014, jolloin tehtiin kerrosten iv-kanaviston asennukset noin 4 %, kun rakennuskompleksin yhden osan ilmamäärät ovat kasvaneet noin 73 %.



Kuva 10. Pohjois-Hervannan koulun TK10 rakennusautomaatiokaavio näytöltä kopioituna (26).

C-osan iv-koneiden lämmöntalteenoton hyötysuhteita ei ole saatu näkymään esimerkiksi huollon käytössä olevalle iv-koneiden rakennusautomaation toiminnanohjaus- ja hälytys näkymälle. Nämä iv-koneet ovat sellaisia, joissa oma automatiikka ja liittymä kiinteistönrakennusautomaation valvontajärjestelmään eivät ole ihan täydellisiä, eli iv-koneiden kaikkia toimintoja ei ole saatu siirrettyä rakennusautomaation valvonta alakeskuksen grafiikkaan, josta näkymä kuvassa 10.

Koulun B-osaan uusittiin kesällä 2014 liikuntasalin konepari. Tämä kone on ns. palakone, jonka rakennusautomaatio tehtiin koneeseen paikan päällä. Vanhassa koneessa oli kiertoilmatoiminta, mutta ei muuta lämmöntalteenottoa. Poistoina toimivat kolme kappaletta huippuimureita. Vanhat huippuimurit jätettiin vielä paikalleen esimerkiksi kesäajan yllämmön poistoon. Uudessa koneparissa on pyörivä lämmön talteenotto, mutta ei enää kiertoilmakäyttöä.

Tämän koneen rakennusautomaation grafiikassa oli virhe, kun näytössä näkyi lämmön talteenoton hyötysuhteen arvona 138 %. (Liite 1)

9.2 Jussinkylän päiväkot

Rakennus on kaksikerroksinen ja valmistunut v. 1980. Kohde on nimestään huolimatta myös osa palokuntaa, eli samassa rakennuksessa toimivat sekä päiväkot että osa viereisen Keskuspaloaseman toiminnoista, muun muassa. autojen huoltohalli, verstatiloja sekä rengasvarasto. Päiväkodin tiloja on molemmissa kerroksissa, mutta palokunnan tiloja on vain ensimmäisessä kerroksessa.

Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmänä on alun perin ollut pelkkä koneellinen poistojärjestelmä, vaikka päiväkodintiloissa toimii muun muassa päiväkodin valmistuskeittiö. Päiväkodin tilojen alkuperäisten ilmanvaihtosuunnitelmien mukainen poistoilmamäärä on ollut noin 2 m³/s. Ilmanvaihdon mitoituksena on käytetty päiväkodin lepo-, ja leikkihuoneissa n. 2 l/s, m². (27)

Päiväkodin tiloihin on lisätty vuosien kuluessa kaksi pientä tulo-poisto pakettikonetta, joiden yhteisilmamäärä on ollut noin 300 l/s. Nämä ovat osittain korvanneet vanhaa poistoilmavaihtoa ja ehkä ilmanvaihtomäärä on kasvanut n. 100 l/s. Näissä koneissa on ollut sähköiset jälkilämmityspatterit. Rakennuksen päiväkotitiloihin on tehty ilmanvaihdon perusparannus, joka valmistui lokakuun lopussa 2014 ja käyttäjät palasivat

evakosta vasta tammikuussa 2015. Tässä yhteydessä rakennuksen vesikatolle rakennettiin uusi ilmanvaihtokonehuone, johon sijoitettiin kolme kappaletta ilmanvaihtokoneita. Näiden uusien iv-koneiden kokonaisilmamäärä on n. 5 m³/s.

Ilmamäärien kasvu johtui osaltaan keittiön ilmamäärän kasvattamisesta, koska keittiölaitteiden määrä ja sitä myöten niistä aiheutuva lämpökuorma ovat kasvaneet. Kasvu johtui osaltaan myös siitä, että alun perin esimerkiksi lasten lepo- ja leikkihuoneiden ilmamäärä on ollut neliöperustainen, eikä siinä ole otettu huomioon lasten lukumäärä. Tällä hetkellä esimerkiksi osa lepohuoneista on tarkoitettu jopa 24 lapselle. D2:n mukainen minimi-ilmamäärä on näissä tiloissa 6 l/s, hlö, joten ilmamäärät täytyi kasvattaa näissä noin 40 m²:n lepohuoneissa noin 85 l/s > 144 l/s.

9.2.1 Uusien iv-koneiden vaikutusalueet ja ilmamäärät

TK01TF01 / PF01 konepari hoitaa päiväkodin lepo-, leikki- ja ryhmähuoneet. Tässä koneessa on pyörivä LTO-kiekko ja koneen ilmamäärä on 3 m³/s.

TK02TF01/PF01 on toinen konepari, joka hoitaa WC- ja sosiaalitilojen ilmanvaihtoa, joka on myös varustettu pyörivällä lämmöntalteenotolla. Tämän koneparin ilmamäärä on n. 1 m³/s.

Kohteen LVI-valvojan aloitteesta pyörivän LTO-järjestelmän sopivuutta kysyttiin Tampereen rakennusvalvonnan LVI-tarkastajalta. Tämä LTO-malli sopi LVI-tarkastajalle, sillä ehdolla että koneen tuloilma puhalletaan suoraan wc-tiloihin, näin myös suunniteltiin, jolloin WC-tilojen lämmöntalteenottoratkaisuksi kävi myös pyörivä LTO-kiekko.

TK03TF01/PF01 on valmistuskeittiön ilmavaihtokone, jossa on vesi-glykoli lämmöntalteenotto. Koneen ilmamäärä on myös n. 1 m³/s. Poistokoneena toimii kuvassa 11 esitetty vesikatolle asennettu poistoilman suodattimilla ja lämmöntalteenotto pattereilla varustettu huippuimuri tyyppinen kone. Lisäksi, jotta keittiön poistoilmakanavan rasvoitumista saataisiin vähennettyä, keittiön uunien, liesien ja patojen huuuissa on UV-valoon perustuva puhdistustoiminto. Astianpesukoneen huuvaan UV-valo puhdistusta ei tarvitse laittaa.



Kuva 11. Jussikylän päiväkodin keittiön poistoilmakoneena toimii vesikatolle asennettu suodattimilla ja vesiglykoli LTO-patterilla varustettu huippuimuri. Kuvanottohetkellä asennus on kesken, eristeet puuttuvat vielä putkistosta.

Tammikuussa vuonna 2015, kun tilat oli otettu käyttöön, lämmöntalteenoton hyötysuhteet olivat -7 °C :n ulkolämpötilassa tarkasteltuna rakennusautomaation kautta.

Kone	LTO: n hyötysuhde %	LTO tyyppi
TK01TF01/PFK01	66	pyörivä
TK02TF01/PF01	74	pyörivä
TK03TF01/PF01	44	vesi-glykoli



Kuva 12. Jussinkylän päiväkodin vesikatolle rakennettu uusi iv-konehuone.

Ilmanvaihtourakan urakkahinta oli noin 160 €/ m². Lisäksi rakennusurakan kokonaiskustannuksiin sisältyi kuvassa 12 näkyvä pinta-alaltaan noin 67 m² iv-konehuoneen rakentaminen ullakolle, jonka arvioitu hinta rakennusurakassa oli noin 100 000 €.

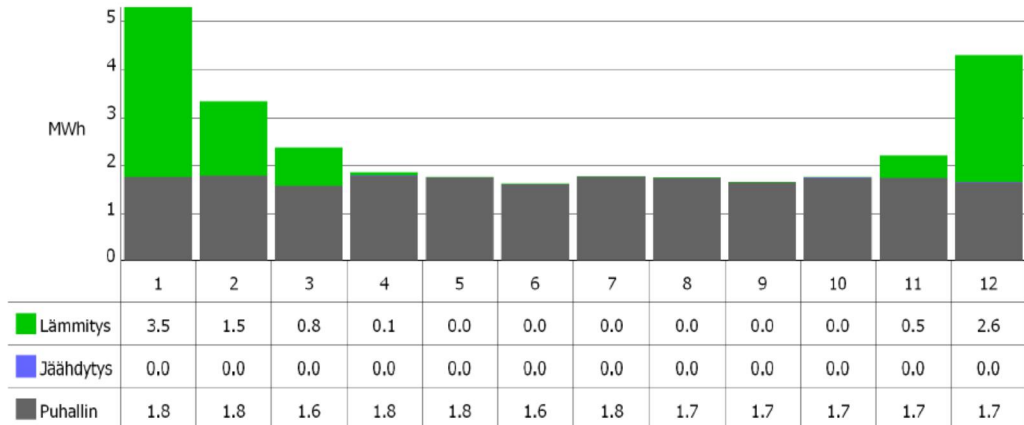
Kohteen valmistumisen jälkeen LTO- piirin pumppu jouduttiin vaihtamaan, koska sen paineenkorotus oli liian pieni, joten nestekierron vesivirta jäi vajaaksi. Lisäksi kohteen vastaanoton jälkeen kohteeseen tehtiin vielä sisäseinien maalauksia käyttäjien toiveesta. Vanhat seinäpinnat piti alun perin säilyttää entisellään, koska tämä korjaus ei ollut peruskorjaus, vaan ilmanvaihdon täydentäminen. Kohteen isännöitsijän mukaan, joka on yhteyshenkilö käyttäjiin päin, muuta kommenttia korjauksesta ei ole vielä tullut käyttäjiltä.

9.2.2 Kohteen elinkaarikustannuksia.

Kohteen energiankulutusta seurattaessa havaittiin, että rakennuksen energiankulutus oli kasvanut noin 10 % vuoden takaisesta kulutuksesta tammi- ja helmikuussa 2015 sen jälkeen, kun tilat otettiin käyttöön. Osasyynä rakennuksen kasvaneeseen energiankulutukseen on ollut TK02:ssa todettu lämmityspatterin 2-tieventtiilin läpivuoto, eli vaikka venttiilin olisi pitänyt olla kiinni, niin se päästi lävitseen lämmitysvettä. Venttiili on nyt huuhdeltu ja sen toimintaa seurataan. Lisäksi uudet iv-koneet TK01 ja TK02 käyvät maanantaista perjantaihin 12 h 100 % teholla ja lopun ajan osateholla, samoin viikonloput koneet käyvät osateholla. Keittiön kone TK03 käy 10 h päivässä normaalisti puoliteholla, ja keittiössä on ilmanvaihdon tehostusnappi, jota henkilökunta saa käyttää tarpeen mukaan.

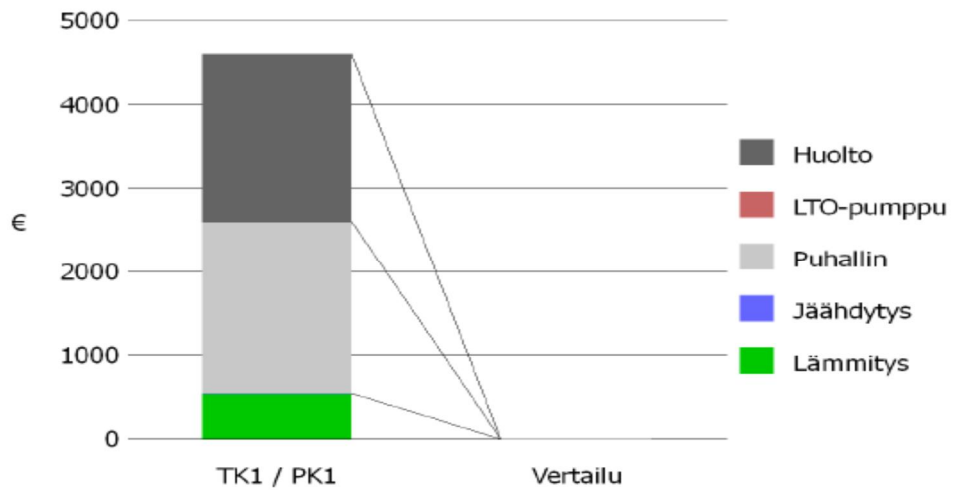
Kuvioissa 1 ja 2 on laskelma koneiden TK01 ja TK03 kohteen elinkaarikustannuksista. Laskelmat on tehty konetoimittajan eli Kojä Oy:n konemitoitus- ja LCC -laskentaohjelmilla. Kaukolämmön hintana on käytetty 60 €/ MWh, ja sähkön hintana 100 €/ MWh.

Elinkaareksi on valittu 20 vuotta ja korkoprosentiksi 3 %.



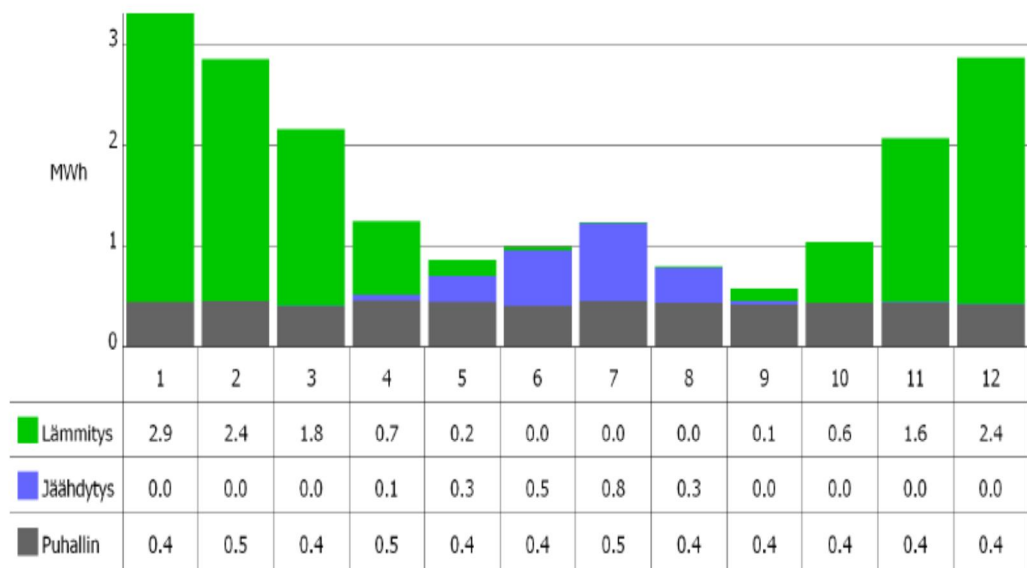
Koneen yhteenlasketut energian ja huollon kustannukset:

Lämmitys	541 €/ vuosi
Puhallinenergia	2062 €/ vuosi
Huolto sis. suodattimien vaihto 3 krt / vuosi	2000 €/ vuosi
Yhteensä	2603 € vuosi



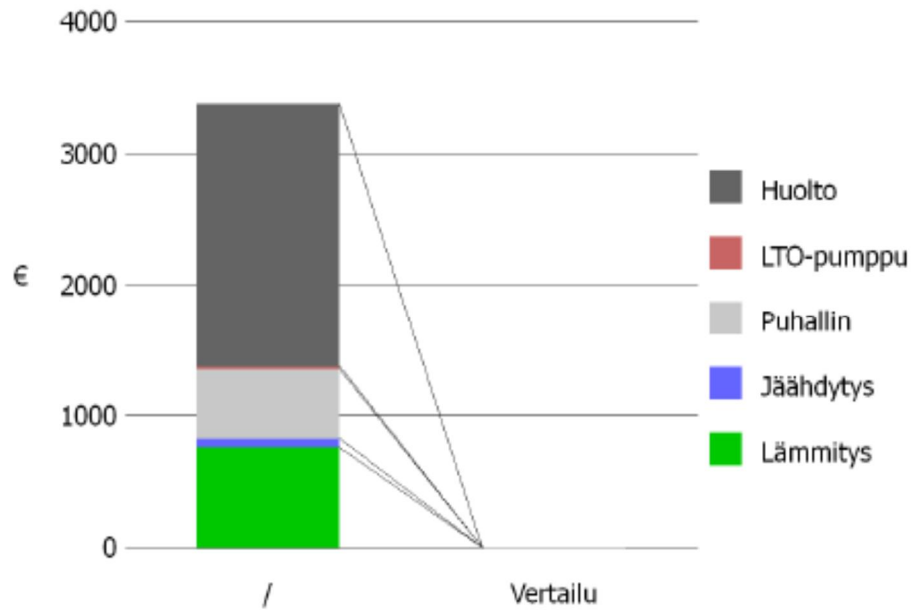
Nykyarvokustannus jossa iv-koneen hankintahinta ja 20 vuoden energian ja huollon kustannukset yhteensä 95 648 €.

Kuvio 1.TK01 Energiankulutus

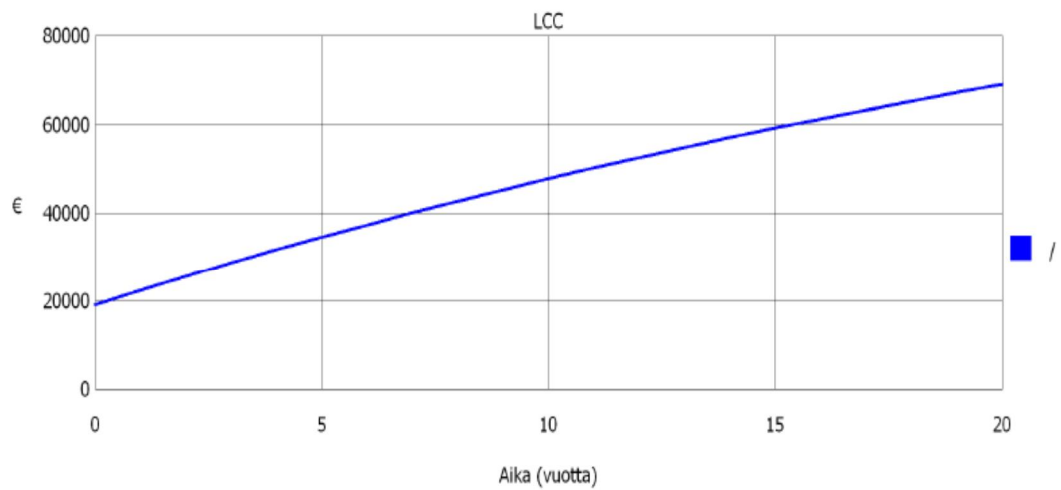


Yhteenlasketut energian ja huollon kustannukset:

Lämmitys	762 €/vuosi
Jäähdytys	67 €/vuosi
Puhallinenergia	525 €/vuosi
LT0-pumppu	23 €/vuosi
Huolto sis. suodattimien vaihto 3 krt / vuosi	2000 €/vuosi
Yhteensä	3378 €/vuosi



Nykyarvokustannus jossa iv-koneen hankintahinta ja 20 vuoden energian ja huollon kustannukset yhteensä 69 023 €



Kuvio 2. TK03 Energiankulutus

9.3 Asunto Oy Tampereen Pohjolankatu 18-20

Kohde on 3-portainen 1980 rakennettu kerrostalo, jossa on 54 asuntoa ja katutasossa 300 m² liiketila. Kohteen rakennustilavuus on yhteensä 14 335 m³.

Asunto-osakeyhtiössä on vuosina 2011–2014 tehty isoja energiansäästöön tähtääviä perusparannusluonteisia toimenpiteitä. Tehdyt toimenpiteet ja niistä saadut säästöt on esitetty taulukossa 5. Rakennuksen kaukolämmönkulutus on vuonna 2011 ollut 541 MWh ennen energiasäästötoimenpiteiden aloittamista. Vuodelta 2014 energiakulutuksen säästöt on vielä arvio, koska poistoilmalämpöpumppu on otettu käyttöön vasta kesällä 2014.

Taulukko 5. As. Oy Tampereen Pohjolankatu 18-20 taloyhtiön vuosien 2011-2014 energiansäästötoimenpiteet ja mitatut energiansäästöt (28).

Vuosi	Toimenpide	Säästö % KL-energiasta	Huom.
2011	Ikkunoiden uusiminen	7	
2012	Patteriverkoston tasapainotus ja patteriventtiilein uusiminen	3	
2013	Ulko- ja autotallien ovien uusiminen ja autotallien sisälämpötilojen pudottaminen	10	
2014	Poistoilmalämpöpumpun asentaminen, poistoilmakoneiden ja lämmönsiirtimien uusiminen	30	arvio

Poistoilmalämpöpumpun asentamisen lisäksi v. 2014 asennettiin myös vesikatolle 10m² aurinkokerääjä. Uusia poistoilmapuhaltimia on kolme kappaletta, joista kaksi kappaletta hoitaa 1,5 porrasta / poistopuhallin ja lisäksi liiketilalla on oma poistopuhallimensa. Asuntojen poistopuhallimet käyvät tietysti aina, mutta liiketilan poistopuhallin

käy tilan käytön mukaan, eli puhallin ei käy, kun liiketila on kiinni. Lämpöpumppuja on kaksi kappaletta teholtaan 30 kW /kpl eli yhteensä 60 kW.

Vuoden 2015 budjettiin on kaukolämmön energiankulutukseksi arvioitu enää 200 MWh. Budjetin teon tueksi kohteen reaaliaikainen kulutusseuranta on antanut esimerkiksi syyskuun 2014 kaukolämpöenergian säästöksi 59 % verrattuna vuosien 2011–2013 kaukolämpöenergian kulutuksen keskiarvoon. Kun lasketaan poistoilmalämpöpumppujen käyttämä sähkönkulutus mukaan, niin rakennuksen energiakulutuksen kokonaisu säästö on ollut noin 35 %.

Asunto Oy Tampereen Pohjolankatu 18-20 sai kunniamaininnan kiinteistön energiatekniikan parantamisesta. Energiakorjaus on osa Tammelan kaupunginosan EU-GUGLE projektia.

Kyseiseen kiinteistöön tehdyt korjaukset ovat malliesimerkki siitä, miten vanhojen kiinteistöjen energiatehokkuutta voidaan tehostaa ja parantaa ilman, että korjauksista syntyisi asukkaille mainittavaa haittaa tai huomattavaa yhtiövastikkeiden nousua. Kyseisen investoinnin takaisinmaksuajaksi on laskettu noin 7,5 vuotta ja koska osa rahoituksesta on tullut EU-GUGLE projektilta, taloyhtiön maksettavien kustannusten osuuden takaisinmaksuajan on laskettu olevan vain 4,5 vuotta. (28.)

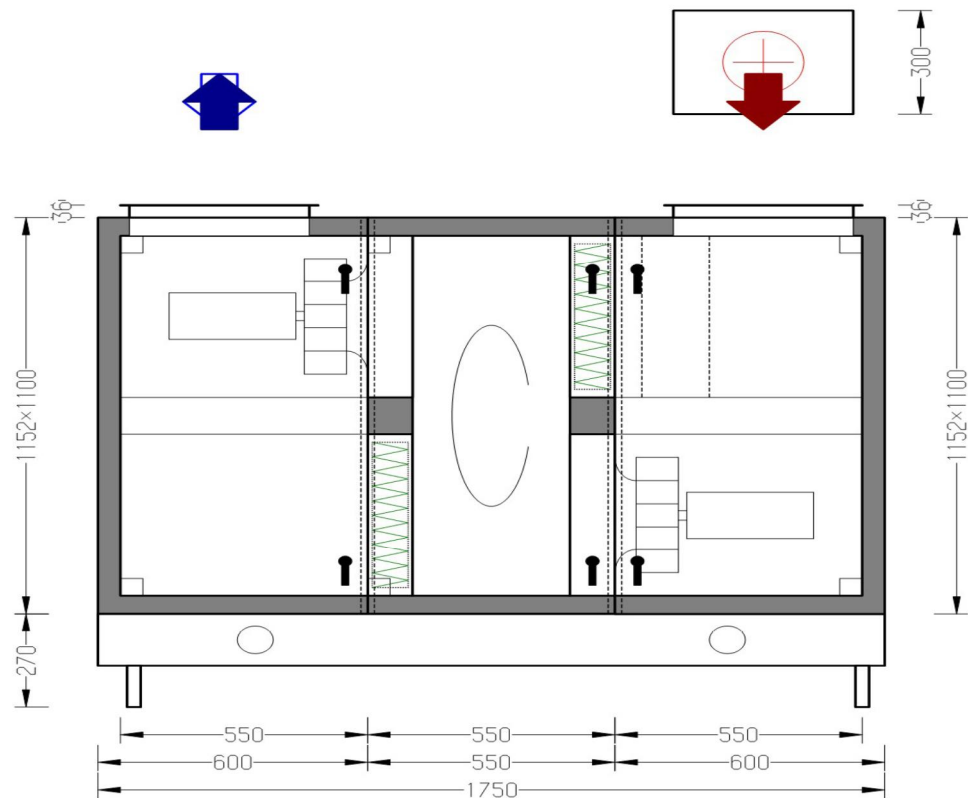
9.4 Juvan päiväkot

Kohde on valmistunut 1970-luvulla, ja rakennuksessa toimii myös Kaukajärven kirjasto, jota on laajennettu 2000-luvun alussa. Päiväkodin puolella on alun perin ollut vain yksi tuloilmakone ja poistokoneina toimivat huippumurit. Kohteessa on ollut sisäilmaongelmia, johtuen esimerkiksi kantavien seinälinjojen alareunojen kostumisesta. Kohteessa tehdyissä sisäilmatutkimuksissa havaittiin, että rakennus on erittäin voimakkaasti alipaineinen, niinpä ennen suurta kosteus ja ilmanvaihtokorjausta päätettiin asentaa toinen tuloilmakone pienentämään päiväkodin suurta alipainetta.

Kun kohteeseen laadittiin ilmanvaihdon muutossuunnitelmia, niin kohteen ilmanvaihtojärjestelmät täytyi hajottaa seitsemälle erilliselle iv-koneelle, koska rakennuskohde on tasakattoinen ja aika matala. Huonekorkeus on vain noin 2 700 mm.

Vesikatolla on vanha iv-konehuone, jossa on päiväkodin vanha tuloilmakone sekä kirjaston vanhan osan uusittu tulo- poistokonepari. Vanha iv-konehuone on matala, eikä sitä voinut korottaa eikä laajentaa vanhojen rakenteiden huonon kantavuuden takia. Joten kun vanhaan konehuoneeseen sijoitettiin pyörivällä lämmöntalteenotolla varustettu kone, jonka ilmamäärä jäi verraten pieneksi, niin se pystyi palvelemaan vai osaa päiväkodin tiloista. Matalan huonekorkeuden takia päädyttiin siihen ratkaisuun että pieniä ilmanvaihtokoneita sijoitettiin ympäri rakennusta, siten että wc-tiloilla on omat koneparinsa ja lasten lepo- ja leikkituloilla omat koneparinsa.

Uudet iv-koneet, vanhaan iv-konehuoneeseen asennettavaa konetta lukuun ottamatta, ovat iv-koneita, joissa kanavalähdöt ovat ylöspäin. Kuvassa 13 on kohteessa käytetty iv-kone. Tällöin koneiden tarvitsema iv-konehuonetila ei ole kuin hiukan isompi kuin iv-koneen tarvitsema tila, sillä koneen huolto tapahtuu koneen huoltoluukkujen kohdalle asennettavien desibelipariovien kautta.



Kuva 13. Kohteessa käytetty Fläktwoods Oy:n eQ TOP kone, konekoko 008 (29).

Näillä kaikilla koneilla on pyörivä lämmöntalteenotto. Lisäksi päiväkodin keittiöllä on oma koneparinsa, jossa ei ole lämmöntalteenotolla, koska keittiö on jakelukeittiö eikä laitekuormakaan ole kovin iso, eikä sitä myöten ilmanvaihtomääräkään ole kovin iso eli

vain noin 500 l/s. Koko päiväkodin ilmamäärä kasvaa 1990-luvulla tehdyn pienen laajennuksen aikaisesta suunnitelmien mukaisesta ilmamäärästä n. 2,5-kertaiseksi ollen jatkossa n. 4,5 m³/s.

Kohteessa oli ongelmia ilmanvaihtokoneiden mahtumisessa konehuonetiloihin, koska kun tarkistusmitattiin tiloja rakentamisen alkuvaiheessa huomattiin, että esimerkiksi kaksi iv-konehuonetta olivat todellisuudessa noin 350 mm lyhyempiä kuin suunnitelmissa. Tämän takia suunnitelmissa esitetyjä konetyyppejä ei voitu valita, vaan jouduttiin valitsemaan toisen valmistajan iv-koneet ja lisäksi koska kantaviin seiniin ei voitu tehdä kaikkia reikiä, mitä oli tarkoitus tehdä, niin yhdelle iv-koneelle piti etsiä uusi sijoituspaikka. Kohteen iv-urakkahinta on 130 €/m².

Kohde valmistui loppukesällä 2015. Tilat otettiin käyttöön lokakuun aikana, sitten että marraskuu oli ensimmäinen kokonainen kuukausi, kun tilat olivat käytössä korjauksien jälkeen. Kun kohteen toteutuneita energiankulutuksia tutkittiin joulukuussa 2015, jolloin marraskuun kulutuslukemat olivat tiedossa, havaittiin että kohteen energiankulutus oli kasvanut n. 15 % viime vuotisesta marraskuun kulutuksesta, joka oli viimeinen kokonainen kuukausi, jolloin päiväkodin tilat olivat käytössä ennen korjauksia. Kohteen rakennusautomaation alakeskuksien valvomoyhteydet eivät ole vielä kunnossa, joten esim. ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenoton hyötysuhteita ei voitu tarkistaa, eikä myöskään iv-koneiden käyntiaikoja. Ainoa syy lisääntyneiden ilmamäärien lisäksi kasvaneeseen energiakulutukseen on ilmanvaihdon pidemmät käyntiajat, sillä ensimmäinen korjauksien jälkeinen vuosi käytetään ilmanvaihtokoneita koko ajan täydellä teholla sovitusti.

10 Lähes kokonaan lämmöntalteenotolla varustettu kohde

Kohde on osa Leinolan entistä siirtokelpoista koulua, joka on siirretty v. 2009 Ranta-perkiön nuorisotilaksi. Tässä yhteydessä ilmanvaihtoa jouduttiin muuttamaan ja täydentämään kahdella pyörivällä lämmöntalteenotolla varustetulla pakettikoneella. Ainoastaan wc-tilojen ja pienen baari-keittiön ilmanvaihto on nyt toteutettu huippu-imuri poistolla ilmamäärän ollessa 80 l/s, eikä siinä siten ole lämmöntalteenottoa.

Kohteella oli alun perin määräaikainen rakennuslupa, jota ei jatkettu, kun rakennus ei täyttänyt lämmöneristysominaisuudeltaan rakenteille vaadittavia U-arvoja. Taulukossa 6 on esitetty rakennuksen vanhat ja uudet rakenteet ja niiden pinta-alat ja U-arvot. Ra-

kennuksen alapohjan rakenne säilyy samanlaisena, mutta kohteeseen tehdään seuraavat rakennuksen lämmöneristävyyttä parantavat toimenpiteet:

- Ulko-ovet ja ikkunat uusitaan
- Seiniin lisätään 100 mm lämpöeristystä
- Yläpohjaan puhalletaan 350 mm lisää puhallusvillaa.

Taulukko 6. Rantaperkiön nuorisotalon vanhat ja uudet rakenteet ja niiden U-arvot ja pinta-alat (30).

Rakenneosa	Pinta-ala (m ²)	Nykyinen U-arvo (W/m ² K)	Nykyiset lämpöhäviöt (W/K)	Uusi U-arvo (W/m ² K)	Lämpöhäviöt uusilla rakenteilla (W/K)
Yläpohja	264,7	0,12	31,8	0,06	15,9
Ulkoseinä	150,4	0,26	39,1	0,14	21,1
Ikkunat	30,2	1,4	42,3	0,81	24,5
Ulko-ovet	6,3	1,4	8,8	1	6,3
Yhteensä			122		67,8

Keskimääräisen ulkolämpötilan (+5 °C) mukaan on laskettu näiden rakennusosien vuotuiset lämpöhäviöt, jotka ovat

Ennen muutosta	16031	kWh
Muutostöiden jälkeen	8896	kWh
Muutoksesta aiheutunut energian säästö vuodessa	7135	kWh

Jos sähköenergian hinta on siirtomaksuineen noin 0,1 €/ kWh, niin vuodessa saatava energiansäästö näillä rakenteiden muutostöillä on 713 € vuodessa. Kohde lähtee vasta urakkalaskentaan, eikä urakkahintoja ole vielä saatavilla, mutta kustannusarvio näistä muutostöistä on 50 000 €. Yksinkertainen takaisinmaksuaika näille muutoksille olisi siten 50 000 € / 713 € = n. 70 vuotta.

Jos keittiön ja wc-tilojen ilmavaihto varustettaisiin omalla esimerkiksi ristivirtasiirtimellä varustetulla iv-koneella, ja se kone olisi aina käynnissä, niin vuodessa saavutettava energiasäästö olisi laitevalmistajan energialaskurilla laskettuna (31).

Ilmanvaihtokone VALLOX 150, jonka poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde:	61,2 %
Koko ilmanvaihdon tarvitsema energiamäärä ilman lämmöntalteenottoa:	14356 kWh/a
Ilmanvaihtokoneella saavutettu energiansäästö:	8781 kWh/a

Tämä lämmön talteenoton lisäämisestä saatava energiansäästö on vähintään samaa suuruusluokkaa kuin rakenteiden muutoksesta saatava. Lämmön talteenoton rakentamisen kustannukset karkeasti arvioiden olisivat korkeintaan rakennusaputöiden kanssa n. 10 000 €, jolloin yksinkertainen takaisinmaksuaika on

$$10\,000\ \text{€} / 8781\ \text{kWh} \times 0,1\ \text{€/kWh} = 11,3\ \text{vuotta}$$

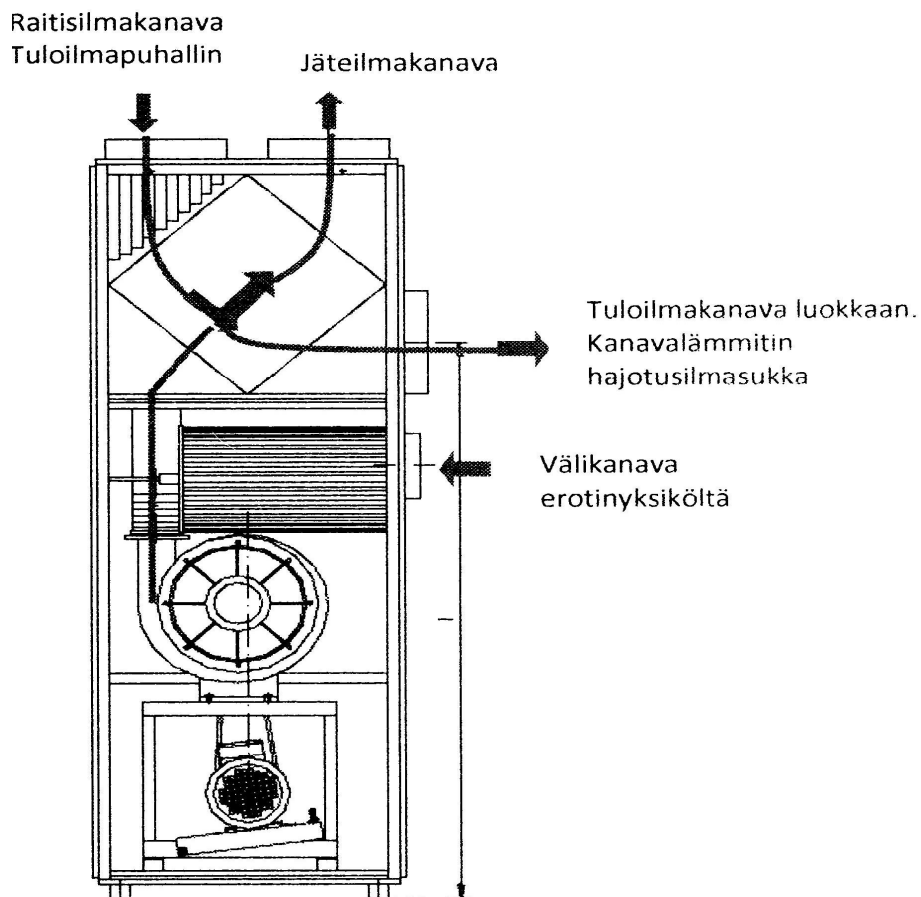
11 Kohdepoistojen lämmön talteenotto

11.1 Yleistä kohdepoistoista

Kouluissa on yleensä teknisten töiden luokkia, joissa esiintyy erilaisia kohdepoistotarpeita. esimerkiksi purunpoisto, ahjot, juotospisteet, hitsauspisteet, ja keramiikkauunit. Lisäksi esimerkiksi fysiikan- ja kemianopetustiloissa voi olla vetokaappeja. Näiden verraten pienten erillispoistojen saaminen lämmön talteenottojärjestelmien piiriin kustannustehokkaasti on haastavaa, sillä ilmamäärät ovat verraten pieniä yksikköä kohden, ja näiden käyttöajat ovat lyhyitä, jolloin näitä kohdepoistoja ei ole yleensä varustettu lämmöntalteenotolla. Eikä toisaalta ole ollut valmiita lämmöntalteenottolaitteita näihin käyttötarkoituksiin.

11.2 Purunpoisto

Koulujen teknisten töiden luokissa on nykyisin jo kaikissa lähes uusittu korkeapaine-
runpainejärjestelmä, näihin järjestelmiin on saatavana nykyisin myös jäteilmalämmön
talteenottoyksikkö. Muutos voidaan tehdä vaihtamalla uusi ristivirtakennolla varustettu
puhallinyksikkö (kuva 14) vanhan puhallinyksikön tilalle. Kustannukset puhallinyksikön
vaihtamisesta lämmöntalteenotolla varustettuun vastaavaan järjestelmään lähtevät
noin 10 000 €:sta ylöspäin riippuen vanhan järjestelmän koosta ja kapasiteetistä.



Kuva 14. Suomessa Ourex Oy:n edustaman ÅSS-purunpoistojärjestelmän puhallinyksikkö risti-
virta lämmöntalteenottokennolla varustettuna (32).

12 Suunnitteluvaiheen varmistustoimenpiteitä ennen muutostöihin ryhtymistä

Kohteesta laaditaan ensi vaiheessa asbesti- ja haitta-ainekartoitus, jossa kartoitetaan kaikki terveydelle haitalliset materiaalit. Yleisimpiä kartoitettavia aineita ovat asbestin, PAH-yhdisteiden, PCB:n, raskasmetallien sekä mikrobien olemassaolo, määrä ja sijainti. Tämä määräys perustuu Suomen lakiin, joka vaatii ennen vuotta 1990 rakennettujen rakennusten korjaus- ja purkutöissä rakennuttajaa teettämään tämän kartoituksen (33).

Myös vanhojen rakennusten vanhoissa iv-koneissa ja kanavissa voi olla käytetty asbestia sisältäviä tiivistenauhoja. Mikäli on tarkoituksena käyttää vanhoja ilmanvaihtokanavia, niin niiden silmämääräinen kuntoarvio ja painekoe on syytä tehdä, varsinkin jos vanhat iv-kanavat ovat suorakaidekanavia. Päätettäessä käyttää vanhoja kanavia, on niiden kiinnitys rakenteisiin myös tarkistettava, sillä ennen on käytetty paljon reikävanetta, jota ei ainakaan enää saa käyttää Tilakeskuksen työmailla ilmavaihtokanavien kannatukseen. Myös vanhoissa rakennuksissa voi olla ongelmana kannakkeiden kiinnitys rakenteisiin, sillä toisissa kohteissa tarvitaan kemiallisia ankkureita, kun muut perinteiset ankkurit eivät pidä vanhoissa rakenteissa.

Uusien iv-konehuoneiden, hormitilojen ja muiden kriittisten kohtien mitat on syytä tarkastaa paikan päällä, koska vanhoissa suunnitelmissa voi olla mittavirheitä ja poikkeamia.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenottojärjestelmien valinta täytyy lähteä ainakin siltä pohjalta, että sallitaanko pienen poistoilmamäärän siirtyminen tuloilmajoukkoon vai ei. Jos poistoilmaa eikä sen hajujen siirtymistä tuloilmaan sallita, niin levy- tai nestekiertoinen lämmöntalteenotto ovat ainoita vaihtoehtoja.

Ennen korjaustoimenpiteisiin ryhtymistä rakennuttajan on päätettävä, minkälaiseen puhtaustasoon työssä pyritään ja käytetäänkö Sisäilmastoluokituksen mukaista puhtaustaluokkaa P1 tai P2 (34).

Vanhojen rakenteiden kantavuus on selvitettävä, kun laajennetaan esimerkiksi vesikatolla olevaa vanhaa konehuonetta tai tehdään kokonaan uusi konehuone. Paikallisen rakennusvalvonnan kanssa on neuvoteltava rakennusluvan hakemisesta ja tätä varten kohteeseen on valittava arkkitehtisuunnittelija, joka laatii ainakin uusista iv-

konehuoneista arkkitehtisuunnitelmat, tekee alakatto suunnitelmat ja tekee värisuunnitelmat. Myös mahdollisten uusien hormien sijoitus on yhdessä arkkitehdin ja rakennussuunnittelijan kanssa tutkittava. Suunnitteluvaiheessa on myös huomioitava uusien koneiden kuljetusaukot ja reitit konehuoneisiin ja tietysti myös uudet iv-koneet on sijoitettava niin, että koneiden suodattimien vaihto ja muu huolto voidaan suorittaa esteettömästi. Myös vanhojen rakennusten mahdolliset suojelumääräykset on selvitettävä. Koulun kesälomalla tehtävien muutosten suunnittelu on aloitettava jo hyvissä ajoin, jotta saadaan suunnitelmat, rakennusluvut ja urakkakyselyt hoidettua kevään aikana, jotta valitut urakoitsijat voivat käynnistää laitehankinnat, sillä useimpien iv-koneiden toimitusaika on n. 5...7 viikkoa.

13 Työnaikaisia huomioitavia seikkoja muutoskohteissa

Korjattavien tilojen tyhjennys irtaimistosta ja irtokalusteista on syytä tehdä jo ennen varsinaisiin purku- ja rakennustöihin ryhtymistä. Jos tiloihin joudutaan jättämään kiintokalusteita, niin ne on suojattava hyvin. Jos rakennuttaja on määritellyt, että kohteessa käytetään puhtausluokkaa P1, uusien reikien teot seiniin ja välipohjiin on tehtävä ennen asennustöiden aloittamista. Tämän jälkeen tehdään perusteellinen siivous ja vasta sen jälkeen uusien kanavien asennus voidaan aloittaa. Ilmanvaihtokanavat on suojattava ja tulpattava säilytyspaikoissa varastointien aikana ja sekä tulppaukset tehtävä välittömästi asennusaikana heti kunkin kanavaosuuden valmistuttua, sillä kanavat likaantuvat eniten työmailla varastoinnin ja asennuksen aikana. Jos kohteessa joudutaan aukaisemaan vesikattoa, katolle on asennettava sääsuoja. Jos sääsuojaa joudutaan purkamaan esimerkiksi nostojen ajaksi, niin nostoille on ehdottomasti varattava riittävästi aikaa, sillä niitä ei saa vesisateessa suorittaa.

Ilmanvaihtokanavien asennuksen jälkeen pidetään kanavien painekoe. Kun asennuksissa käytetään tyyppihyväksytyjä kanavia ja kanavanoja, painekokeet voidaan suorittaa pistokokeina valvojan läsnä ollessa. Työmaa-alueen tulee olla pölypuhdas ennen kuin ilmanvaihdon päätelaitteiden suojaukset voidaan poistaa. Iv-järjestelmien toimintakokeet pidetään tämän jälkeen esimerkiksi kohteen rakennusautomaatiosuunnittelijan tai –valvojan johdolla. Ennen kohteen valmistumista talotekniikka urakoitsijat tekevät jokainen oman työn tarkastukset ja ilmamäärät mitataan ja säädetään ja mittauksista laaditaan pöytäkirja. Mittaustulokset saavat poiketa suunnitelmien mukaisista arvoista tilakohtaisesti 20 % ja järjestelmäkohtaisesti 10 %. (10, s. 26).

Ilmanvaihtokoneiden aikaohjelmat on asetettava sopiviksi niin, että koneet käyvät 1/1-teholla, kun tilat ovat käytössä ja käyvät osateholla muina aikoina. Kohteen valmistuttua käyttäjille on luovutettava kattava huoltokansio ja huoltomiehille on annettava riittävä käytönopastus.

14 Yhteenveto

Kun ilmanvaihdon energiakulutusta halutaan pienentää, niin ilmanvaihtokoneiden valintaan on kiinnitettävä entistä tarkempaa huomiota.

Ilmanvaihtokoneajoista on tarkistettava ainakin koneparin kätisyydet, ulkomitat, paino, SFP-luku, lämmöntalteenoton hyötysuhteet, lämmityspatterin veden lämpötilat ja lämmitystehot sekä suodattimien suodatusluokat, puhaltimien puhallussuunnan tyypit ja tehonsäätötapa.

Kuhunkin järjestelmään on valittava parhaiten sopiva lämmön talteenottojärjestelmä eli joko pyörivä, levylämmönsiirrin tai nestekiertoinen. Toiseksi koko ilmanvaihtojärjestelmä on mitoittava niin väljäksi, että päästään määräysten mukaisten suurimman sallitun SFP-luvun alle eli $<2\text{kW/m}^3/\text{s}$. Tässä on huomioitava myös kanavamitoitus. Ilmanvaihtokanavisto on mitoittava väljäksi, varsinkin jos kanaviston pituus on huomattava. Konevalintaa tehdessä on syytä tutkia useampia vaihtoehtoja ja etsittävä useampien laitevalmistajien mitoitusohjelmista parhaiten sopivia ja riittävän pienellä SFP-luvulla ja samalla mahdollisimman tehokkaalla lämmön talteenoton hyötysuhteella toimivia koneita.

Tarpeenmukainen ilmanvaihto on myös yksi keino pienentää ilmanvaihdon energiakulutusta. Jos esimerkiksi ilmanvaihtokoneen kokonaisilmamäärä voidaan pudottaa puoleen, ensinnäkin lämmitysenergiankulutus putoaa puoleen ja lisäksi puhallinlakien mukaan puhaltimen käyttämä sähköenergia putoaa kahdeksanteen osaan.

Nykyisin voimassa olevissa tilakeskuksen suunnitteluohjeissa vaaditaan taajuusmuuttajien käyttöä ja AC-puhaltimia. Tämä on muodostanut ongelman, kun ainakaan kaikki ilmanvaihtokonevalmistajat eivät enää käytä kuin EC-puhaltimia ilmamäärältään pienemmän kokoluokan esimerkiksi pystymallin koneissa. Paikallaan rakennettuihin palakoneisiin AC-puhaltimia on vielä saanut. Suunnitteluohjetta olisi päivitettävä tältä osin, että energiataloudellisempia EC-moottoreita voitaisiin käyttää luvan kanssa.

Suunniteltaessa uusi iv-konehuoneita, on niiden huoltoreitit tehtävä mahdollisimman helpoksi. Ilmanvaihtokoneiden toimintaosien mahdollisten hajoamisten takia vaihtosien haalausaukot ja -reitit olisi myös kohteen valmistumisen jälkeen oltava olemassa, ilman että rakenteita joudutaan suuressa määrin rikkomaan. Ilmanvaihtokonehuoneissa

täytyisi myös olla suodattimien vaihtosarjoille tilaa muullakin kuin likaisilla ja joskus märillä lattioilla.

Seuraaviin D2-määräyksiin on ilmeisesti tulossa vaatimus, että iv-koneet on pidettävä päällä aina vähintään osateholla, eli öisin ja viikonloppuisin ilmanvaihtokoneita ei saisi enää sammuttaa. Osatehoksi sallitaan teho, joka takaa ilmanvaihtomääräksi 0,15 l/s, m². Tällöin jatkossa esimerkiksi koulurakennuksissa, joissa D2:n mukainen neliöpohjainen mitoitusilmamäärä on 3 l/s, m², seisokkiajan ilmanvaihto on vain 5 % maksimimäärästä. Näin pienen osatehon tuottaminen vaatisi esimerkiksi oman seisokkiajan ilmanvaihtokoneen tai sitten ilmanvaihto täytyisi jakaa kahdelle ilmanvaihtokoneelle. Tällöin toinen kone, joka hoitaisi esimerkiksi 1/3 ilmamäärästä, kävisi aina, tosin osateholla seisokkiaikana, ja toinen kone, joka hoitaisi 2/3 ilmanvaihdosta, olisi pysähdyksissä seisokkiaikana.

Määräyksen toteutuessa joudutaan pohtimaan, kuinka esimerkiksi vanhoissa rakennuksissa, joissa on vanhat 1-nopeuksiset ilmanvaihtokoneet, tämä toteutetaan. Sillä rakennuksen energiankulutus kasvaa noin 3,3-kertaiseksi, kun esimerkiksi nyt iv-koneet käyvät viitenä päivänä viikossa 10h / pvä ja jatkossa niiden pitäisi käydä entisen 50 viikkotunnin sijaan 168 tuntia viikossa. Jos vanhat iv-konehuoneet ovat niin ahtaita, että vanhoja iv-koneita ei voida kokonaan uusida, niin yksi vaihtoehto on uusida koneiden puhaltimet kierrosluku säädettäväksi AC- tai EC-puhaltimiksi, jolloin niitä voidaan käyttää osateholla. Tosin kummallakaan puhaltimen säätötavalla ei päästä aivan pieniin kierroslukuihin, vaan minimi-ilmamääräksi molemmilla säätötavoilla jää noin 20...30 %.

Tulevina vuosina rakennusten energiamääräykset tulevat varmaan vielä kiristymään. Toisaalta kasvavat rakennusten sisäilmaongelmat aiheuttavat paineita vanhojen rakennusten ilmanvaihtolaitteiden uusimiseen ja ilmanvaihtomäärien kasvattamiseen esimerkiksi päiväkodeissa, joissa ollaan ryhmäkoja kasvattamassa. Lisäksi ilmanvaihtokoneiden käyntiaikojen kasvattaminen lisää paineita ilmanvaihtokoneiden uusimiseen. Tällöin voidaan rakennusten energiankulutusta ehkä jopa saada pienennettyä kun valitaan oikein mitoitettut ilmanvaihtokoneet joissa on maksimaalinen lämmön talteenoton hyötysuhde ja kaikista poistoilmajärjestelmistä otetaan lämpö talteen kulloinkin sopivimmalla tekniikalla.

Lähteet

- 1 Pormestareiden ilmastositoumuksen kestävästi energiakäytön ohjelma. Verkkojulkaisu. Tampereen kaupunki.
<http://www.tampere.fi/liitteet/k/xOLOJQ5XQ/Kestavan_energiankayton_ohjelma.pdf>. Luettu 20.12.2015
- 2 Tekninen käsikirja ilmastokäsitteilykoneet. 2010 Turku: Fläkt Woods Oy.
- 3 Rakennusten energiatehokkuus. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 4 Ilmasto muuttuu - mikä muu muuttuu? Verkkodokumentti. Suomen Ympäristökeskus. 2008. <<http://www.syke.fi/download/noname/%7B70D4507A-CBCF-4D4B-A569-1323712ECF6B%7D/28160.>>Luettu 20.12.2015
- 5 Seppänen, Olli. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto.
- 6 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon laskenta. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 7 Finzeb hankkeen loppuyhteenveto 2015. Helsinki. Ympäristöministeriö, Talotekniikkateollisuus ry ja Rakennusteollisuus RT ry.
- 8 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 1987. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö.
- 9 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö
- 10 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. 2010. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: ympäristöministeriö
- 11 Asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. 2013. Helsinki: ympäristöministeriö
- 12 Ilmastokäsitteilykoneita koskeva Euroopan komission asetus no. 1253/2014.
- 13 Ilmanvaihtokoneen CASA 270 K esite. Verkkodokumentti. Swegon 26.4.2014
<http://www.swegon.com/Global/PDFs/Home%20ventilation/Air%20handling%20units/Swegon%20CASA-series/_fi/CASA_270_K.pdf>Luettu 1.1.2016
- 14 Lahti, Pekka. 2015. IV-produktin iv-konemitoitusajaja. Intervent Oy.
- 15 Ilmanvaihtokone CASA W80 Premium. 2014. Esite. Verkkodokumentti. 16.5.2014 Swecon
<<http://www.swegon.com/fi/Tuotteet/Asuntoilmanvaihto/Ilmanvaihtolaitteet/Va stavirtakennoiset-W-sarja/CASA-W80-Premium> > Luettu 18.10.2015

- 16 TPI- Control Oy tekemän tutkimuksen esittelyaineisto nestekiertoisista ilmanvaihdon lämmöntalteenottojärjestelmistä. 23.2.2015
- 17 Kanerva, Tapio. 2015. Econet-konemitoitusajo. Fläkt Woods Oy
- 18 Ensto Enervent Oy Pegasos Green air ilmanvaihtokoneen esite.
- 19 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU
- 20 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU
- 21 Nearly zero energy buildings definitions across Europe. 2015. Belgium. BPIE.
- 22 Tampereen sähkölaitoksen kaukolämmön alkuperäseloste 2013.
- 23 Tampereen sähkölaitoksen kaukolämmön alkuperäseloste 2014.
- 24 Lumiaho, Risto.11.3.2015. Sähköposti. RTEK
- 25 Suomela, Minna. 2013. Iv-konehuoneen rakennesuunnitelma. Tampereen Juva Oy
- 26 Koivunen, Hannu. 9.2.15 lähettämä sähköpostin liitetiedostona oleva kuvan kaappauksella otettu Siemens Oy:n kohteen rakennusautomaation valvomo näkymästä. Vahanen Oy
- 27 Mulari, Vilho. 1979. Kohteen vanhat ilmanvaihtosuunnitelmat. Enersta.
- 28 Asiat kirjattu ylös 27.11.2014 pidetyssä taloyhtiön esittelytilaisuudessa, liittyen Tarmo-Tampereen seudun asuinalueet energiatehokkaiksi projektiin.
- 29 Iv-kone ajo Acon- ilmanvaihtokoneiden mitoitus- ja valintaohjelmalla. Fläktwoods Oy.
- 30 Selvitys kohteen energiatehokkuudesta. 27.4.2015. Laskenta on suoritettu Saint-Gobain Rakennustuotteet laskentaohjelman avulla.Arkkitehtuuritoimisto Seppo Kangasniemi Oy.
- 31 Ilmanvaihtokoneiden mitoitusohjelma. Vallox Oy.
- 32 Purunpoistojärjestelmän keskusimuyksikkö ÅSS 4000 EXVX. Esite 2012. Versio 09/2012. Ourex Oy
- 33 Valtioneuvoston asetus 798/2015 asbestityön turvallisuudesta, 7§. 25.6.2015. Helsinki
- 34 Sisäilmastoluokitus. 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. 2008. LVI-kortti 05-10440. RT-kortisto. Rakennustietosäätiö RTS ja Rakennustieto Oy.

Liite 1

Pohjois-Hervannan koulun TK14 SIEMENS OY:n rakennusautomaatiokaavio (22).

