

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Kandidaatintyö

**ILMANVAIHTOLÄMMITYKSEN SOVELTUVUUS KER-
ROSTALOIHIIN**

**FORCED-AIR HEATING SUITABILITY FOR APARTMENT
BUILDINGS**

Työn tarkastaja: Tutkijaopettaja, TkT Mika Luoranen

Työn ohjaaja: Nuorempi tutkija, DI Mihail Vinokurov

Lappeenrannassa 23.1.2015

Pekka Kettunen

SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLILUETTELO	4
1 JOHDANTO	5
1.1 Tavoitteet ja rajaus	5
2 ASUINKERROSTALO JA SEN TALOTEKNIikka	6
2.1 Kerrostalon energiatase	6
2.2 Kerrostalojen sisäilmasto	7
2.3 Ilmanvaihdon toteutus kerrostalossa	8
2.3.1 Painovoimainen ilmanvaihto	8
2.3.2 Koneellinen poistoilmanvaihto	8
2.3.3 Koneellinentulo- ja poistoilmanvaihto	9
2.4 Kerrostalon yleiset lämmitysjärjestelmät	9
2.4.1 Vesikiertoinen keskuslämmitys	10
2.4.2 Sähkölämmitys	10
2.4.3 Lämpöpumppulämmitys	11
2.5 Tilojen lämmitysenergian nettotarve	11
2.5.1 Johtuminen	12
2.5.2 Vuotoilma	13
2.5.3 Ilmanvaihdon lämpöhäviö	14
2.5.4 Korvausilma	15
2.5.5 Lämmin käyttövesi	16
3 ILMANVAIHTOLÄMMITYS	16
3.1 Ilmanvaihtolämmityksen toimintaperiaate	17
3.2 Ilmalämmityksen komponentit	17
3.2.1 Puhallin	18
3.2.2 Lämmitin	18

3.2.3 Lämmöntalteenotto	18
3.2.4 Kanavat	19
3.2.5 Ilmanjako ja päätelaitteet	19
4 ILMANVAIHTOLÄMMITYKSEN SOVELTUMINEN KERROSTALOIHIN	21
4.1 Vertailukohtat	21
4.2 Energiatehokkuus.....	22
4.2.1 1970- luvun talon energiatehokkuus.....	23
4.2.2 Matalaenergiatalon energiatehokkuus	31
4.3 Sisäilmasto	35
4.3.1 1970-luvun talon ilmanvaihto	36
4.3.2 Uuden matalaenergiatalon ilmanvaihto	36
4.4 Kustannukset.....	37
4.4.1 1970-luvun talon kustannukset ilmanvaihtolämmityksellä	37
4.4.2 Uuden kerrostalon kustannukset ilmanvaihtolämmityksellä	38
4.4.3 Energiakustannukset	39
5 JOHTOPÄÄTÖKSET	39
6 YHTEENVETO.....	42
LÄHTEET	43

LIITTEET

Liite I. Lämpötilataulukot

SYMBOLILUETTELO

Q	johtuminen	[kWh]
U	lämmönläpäisykerroin	[W/m ² K]
A	pinta-ala	[m ²]
T	lämpötila	[°C]
Δt	ajanjakson pituus	[h]
ρ_i	tiheys	[kg/m ³]
c_{pi}	ominaislämpökapasiteetti	[J/kgK]
q_v	tilavuusvirta	[m ³ /s]
$\Delta T_{puhallin}$	lämpötilan nousu puhaltimessa	[°C]

Alaindeksit

s	sisä
u	ulko
i	ilma
sp	sisäänpuhallus
lto	lämmöntalteenotto
lkv	lämmin käyttövesi

1 JOHDANTO

Suomalaiset viettävät tänä päivänä yhä enemmän aikaa sisätiloissa ja tutkimuksen mukaan jopa 90 % päivästä kuluu sisällä. Sisäilman laatuun onkin syytä kiinnittää entistä enemmän huomiota, koska sisäilmastolla on vaikutus ihmisen terveyteen ja yleiseen hyvinvointiin. Hyvin toimiva ilmastointijärjestelmä pitää huolta ihmisen hyvinvoinnin lisäksi myös asuintalon rakenteista. (Säteri et al. 1999, 9.)

Lisäksi rakennukset ovat merkittävässä roolissa, kun tutkitaan Suomen energiankäyttöä. Euroopan unioni on asettanut tavoitteekseen, että vuoteen 2020 mennessä kasvihuonekaasut vähenevät 20 %, energian käyttö vähenee 20 % ja uusiutuvan energian käyttö lisääntyy 20 % (Seppänen 2012, 2). Näiden tavoitteiden täyttämiseksi onkin tärkeää, että rakennusala siirtyy kohti nollaenergiarakentamista ja jo olemassa olevan rakennuskannan energiatehokkuutta tulee nostaa. Kaikista Suomen asunnoista oli kerrostaloja lähes puolet, eli kerrostalojen energiaratkaisuilla on kokonaisuuden kannalta suuri merkitys (Asuntokanta 2013). Energian hinta on nousevassa trendissä, joten rakennusten energiatehokkuudella on koko ajan suurempi rahallinen arvo.

1.1 Tavoitteet ja rajaus

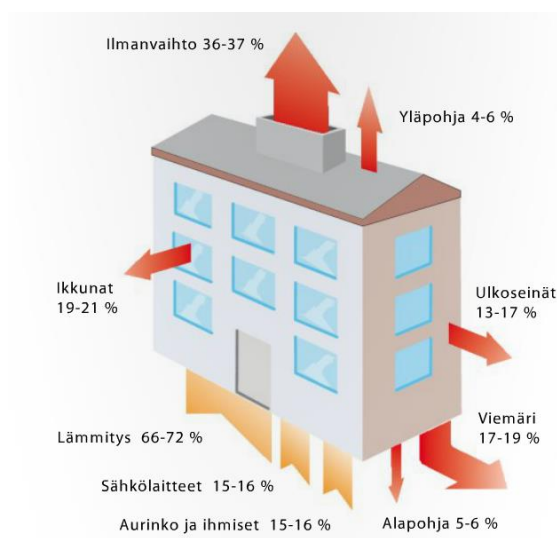
Tämän kandidaatin työn tavoitteena on selvittää ilmanvaihtolämmityksen soveltuvuus kerrostaloihin. Tavoitteena on selvittää sopiva ratkaisu korjaus-, sekä uudisrakentamiseen. Työssä tarkastellaan tyypillistä 1970-luvulla rakennettua kerrostaloa ja uudiskerrostaloissa tarkastellaan matalaenergiataloa. Työ suoritetaan kirjallisena selvityksenä ja työssä vertailaan ilmanvaihtolämmitystä tavanomaisimpiin lämmitysratkaisuihin ja ilmastointijärjestelmiin. Energiatehokkuuden selvittämiseksi lasketaan E-luvut, joiden avulla voidaan vertailla lämmitysjärjestelmän toimivuutta eri kohteissa. Lisäksi vertaillaan eri järjestelmien vaikutusta sisäilmastoon ja tarkastellaan lämmitysmuotojen kustannuksia.

2 ASUINKERROSTALO JA SEN TALOTEKNIikka

Noin kolmannes suomen väestöstä asuu kerrostaloissa. Tämä tarkoittaa yli 1 800 000 ihmistä, tästä johtuen kerrostalojen energiaratkaisuilla on suuri merkitys (Asuntokanta 2013). Suomessa rakennettiin paljon kerrostaloja 1960- ja 1970- luvuilla ja edelleenkin kerrostaloja rakennetaan tasaiseen tahtiin. Vuosien saatossa kerrostalojen energiatehokkuus on parantunut ja samalla rakennusten ominaiskulutus on pudonnut noin 30 % 30 vuodessa (RIL 2009, 67).

2.1 Kerrostalon energiatase

Lämmitysratkaisun suunnittelun ja energiansäästötoimien kannalta on tärkeä tietää kerrostalon energiatase. Energiataseessa selvitetään, että mistä lämpö tuodaan ja mihin se lopulta päätyy. Käytännössä rakennuksessa on energiahäviöitä ja nämä häviöt yhdessä muodostavat rakennuksen lämmitys-energiantarpeen, eli saman verran energiaa täytyy tuoda rakennukseen ulkoapäin. Aurinko ja sisäiset lähteet hyvittävät tästä osan, mutta loppu on tuotava lämmitysjärjestelmän avulla. Ilmanvaihtolämmityksen kannalta tasetta kannattaa tarkastella sekä lämmityksen, että ilmanvaihdon kannalta. Kuvassa 1 on esitetty kerrostalon ener-



Lämpöenergiatase 1960–1980-lukujen asuinkerrostaloissa.

giatase.

Kuva 1. Lämpöenergiatase 1960- 1980- lukujen kerrostalossa (Virta & Pylsy, 19)

Kuvasta 1 näkee hyvin että ilmanvaihdon lämpöhäviö on suuri verrattuna johtumisista aiheutuviin lämpöhäviöihin. Kuvasta voi myös huomata, että sähkölaitteet, aurinko ja ihmiset itse lämmittävät rakennusta, tätä energiaa kutsutaan ilmaisenergiaksi. Ilmaisenergiasta on tullut entistä merkittävämpi osa lämmitysenergia, koska rakennuksen vaipan lämpöeristävyys on parantunut. (Seppänen & Seppänen 1997, 258.)

2.2 Kerrostalojen sisäilmasto

Rakentamismääräyskokoelma D2:ssa on määrätty, että rakennusten suunniteltava ja rakennettava, niin että oleskeluvyöhykkeellä saavutetaan kaikissa tavanomaisissa sääoloissa ja käyttötilanteissa terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2011, 5). Ihmiset ovat sisällä noin 90 % päivittäisestä ajasta, joten sisäilman laatu on nykyisin tärkeämpi, kuin ulkoilman laatu. Huono sisäilmasto aiheuttaa Suomessa lisäkustannuksia, jotka ilmenevät sairauskustannusten ja poissaolojen muodossa. Rakennuksen sisäilmastoon vaikuttavia tekijöitä ovat niin LVI-laitteet, kuin rakennus itse. (Seppänen & Seppänen 1997, 10.)

Sisäilmasto voidaan määritellä huoneissa vaikuttavien kemiallisten, fysikaalisten ja ynnä muiden olosuhteiden kokonaisuudeksi. Sisäilmaston tärkeimmät tekijät ovat huoneen lämpötila ja ilman puhtaus. Lämpötilan tulisi olla miellyttävä ja huoneessa ei saisi tulla vedontunnetta, lisäksi ilman tulisi olla puhdas biologisista epäpuhtauksista ja pölystä, lisäksi ilman tulisi olla sopivan kosteaa (Seppänen & Seppänen 1997, 11). Jotta kerrostalon rakenteet kestäisivät pitkään ja sisäilmasto pysyisi puhtaana, niin rakenteiden kosteustekniikkaan on syytä kiinnittää huomiota. Hyvällä kosteustekniikalla pyritään ennakoimaan ja estämään mahdolliset rakennustyön ja käytönaikaiset virheet ja ongelmat (RIL 2009, 155).

2.3 Ilmanvaihdon toteutus kerrostalossa

Kerrostalojen ilmanvaihdon voi toteuttaa useammalla eri tavalla. Pääsääntöisesti Suomessa käytetään kolmea eri ratkaisua, painovoimaista ilmanvaihtoa, koneellista poistoilmanvaihtoa ja täysin koneellista ilmanvaihtoa. Vanhemmissa ennen 1960-lukua rakennetuissa kerrostaloissa on käytössä painovoimainen ilmanvaihto. Tämän aikakauden rakennuksille on tyypillistä, että poistoilmahormit ovat rakenneaineisia, keittiössä ei ollut esimerkiksi liesikupua ja korvausilma venttiileitä ei ollut. 1970- ja 1980- luvuilla koneellinen poistoilmanvaihto tuli kerrostaloihin. Samalla yleistyi muun muassa peltiset kanavoinnit ja keittiöiden liesikuvut. Vasta 1990-luvun lopussa täysin koneelliset ilmanvaihtojärjestelmät yleistyivät. (Ilmanvaihto ja ilmastointijärjestelmän yleisarviointi 2014.)

2.3.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Painovoimainen ilmanvaihto perustuu ulko- ja sisäilman tiheyseroon, jonka terminen ja tuulen aikaansaama paine-ero aiheuttavat. Lämpötilaeron kasvaessa terminen paine-ero kasvaa. Painovoimaisen ilmanvaihdon toimintaan vaikuttaa siis lämpötilaero ja tuulen suunta sekä nopeus. Tuulisena päivänä ilmanvaihto voi kasvaa moninkertaiseksi suunniteltuun verrattuna. Painovoimaisessa ilmanvaihdossa on myös ongelmana ilman virtauksen karkaaminen huoneistosta ulos, tai porraskäytävän kautta huoneistosta toiseen. (Säteri et al. 1999, 12, 16.)

2.3.2 Koneellinen poistoilmanvaihto

Koneellinen poistoilmanvaihto perustuu puhaltimella kanavistoon luotuun alipaineeseen. Koneellisessa poistoilmajärjestelmässä kokonaisilmamääriä voidaan hallita painovoimaista ilmanvaihtojärjestelmää tarkemmin. Koneellisessa poistossa ulkoilma tulee rakennuksen satunnaisista epätiiviysskohdista. Vasta 1990-luvun alusta alettiin käyttää ulkoilmaventtiile-

jä joiden avulla ilma saatiin ohjattua rakennukseen tarkemmin. Ensimmäiset ulkoilmaventtiilit aiheuttivat vetoa ja niissä ei ollut suodattimia suodattamassa epäpuhtauksia. Poistoilmanvaihdon ohjaus tapahtuu yleisesti ajastimella, josta johtuu että ilmanvaihtoa ohjaa kello asukkaan tarpeen sijaan (Säteri et al. 1999, 15- 16). Koneellisen poistoilmanvaihdon etuja painovoimaiseen ilmanvaihtoon verrattuna on pienempi kanavakoko ja vapaampi kanavien sijoittelu. Koneellinen poistoilmanvaihto ei myöskään ole riippuvainen sääolosuhteista. (Seppänen & Seppänen 1997, 170.)

2.3.3 Koneellinentulo- ja poistoilmanvaihto

Täysin koneellinen ilmanvaihto on tehokkain ja uusin tapa toteuttaa kerrostalojen ilmanvaihto. Koneellisessa ilmanvaihdossa tulo- ja poistoilma tuodaan koneellisesti huoneisiin. Tässä järjestelmässä ilmanvaihto on hallittua ja tarkkaa (Säteri et al. 1999, 16). Kun kerrostalossa on täysin koneellinen ilmanvaihto, niin rakennuksen vaippa voidaan rakentaa tiiviimmäksi ja näin saavuttaa energiansäästöä. Toisaalta ulkovaipan mahdollinen epätiiviyys aiheuttaa helposti läpivetoa ja sitä kautta energiahukkaa. Myöskin huoneiden tuuletus on tarpeetonta, mikäli ilmanvaihto toimii suunnitellulla tavalla. Koneellisessa ilmanvaihdossa tuloilmaa ei voida johtaa huoneisiin ulkoilman lämpötilassa vaan sitä täytyy lämmittää. Mikäli koneellinen ilmanvaihto on varustettu tehokkaalla poistoilman lämmöntalteenotolla, niin erillistä lämmityslaitetta ei välttämättä tarvita. (Seppänen & Seppänen 1997, 171.)

2.4 Kerrostalon yleiset lämmitysjärjestelmät

Lämmitysjärjestelmän suunnittelussa tulee ottaa huomioon, että lämpötila on optimaalinen ja asukas voi halutessaan säätää lämpötilaa mieleisekseen. Seuraavaksi tarkastelen yleisiä kerrostalossa käytettyjä lämmitysratkaisuja ja lämmönjakotapoja.

2.4.1 Vesikiertoinen keskuslämmitys

Keskuslämmitys on ratkaisu jossa kerrostalon useita tai kaikkia tiloja lämmitetään yhteisellä lämmönlähteellä jossa putkistossa kiertävänä kiertoaineena toimii vesi. Vesikiertoisen keskuslämmityksen tärkeimmät komponentit ovat lämmönlähteet, lämmönsiirtoverkko ja itse lämmönlähde. Lämmönlähteenä voi toimia kerrostalon oma kattilalaitos, mutta yleisin ratkaisu on käyttää kaukolämpöä. Kaukolämpöä käytettäessä kerrostaloon sijoitetaan kaukolämmön alakeskus, jossa rakennuksen pattereissa kiertävä vesi lämmitetään kuuman kaukolämpöveden avulla.

Vesikiertoisen keskuslämmityksen rungon muodostavat kiertovesiputket joiden yleisin materiaali on teräs, mutta muovi- ja kupariputket soveltuvat. Verkko sisältää myös useamman tyyppisiä venttiilejä kuten sulku- ja säätöventtiilejä ja lisäksi verkossa on myös lämpötila-antureita ja suodattimia. Veden kierrätys tapahtuu kiertovesipumpun avulla.

Verkostossa kiertävän veden lämpö siirretään huoneisiin lämmönlähteen kautta. Lämmönlähteitä on useaa tyyppiä, mutta patteri on yleisin ratkaisu. Patteri sijoitetaan yleisimmin ulkoseinälle ikkunan alapuolelle ja patterin säätäminen tapahtuu yleisesti termostaattisen patteriventtiilin avulla.(Seppänen 2001, 119, 144- 145.)

2.4.2 Sähkölämmitys

Sähkölämmitys perustuu sähkön muuttamiseen lämmöksi sähkövastuksissa. Vastusten ja lämmittimen rakennetta muuttamalla voidaan luoda useita erilaisia lämmittimiä ja lämmitystapoja. Jos sähköllä tuotettu lämpö siirtyy suoraan huoneilmaan, niin kyseessä on suora sähkölämmitys. Suora sähkölämmitys kuluttaa sähköä lämmöntarvetta vastaavasti. Suoran sähkölämmityksen etuna on helppo ja nopea säädettävyys. Myöskin reagointiaika huoneen lämpötilamuutoksiin on nopea, kun huoneen lämpötila kasvaa haluttuun arvoon, niin lämpövirta katkeaa nopeasti. Suora huonekohtainen patteri on yleisin sähkölämmitysmuoto. Varaavassa sähkölämmityksessä halvemmän sähkön aikaan tuotettu lämpö varastoidaan

esimerkiksi lämminvesivaraajaan ja vapautetaan varaajasta pattereiden kautta lämmitystarpeen mukaan. (Seppänen & Seppänen 1997, 130- 131.)

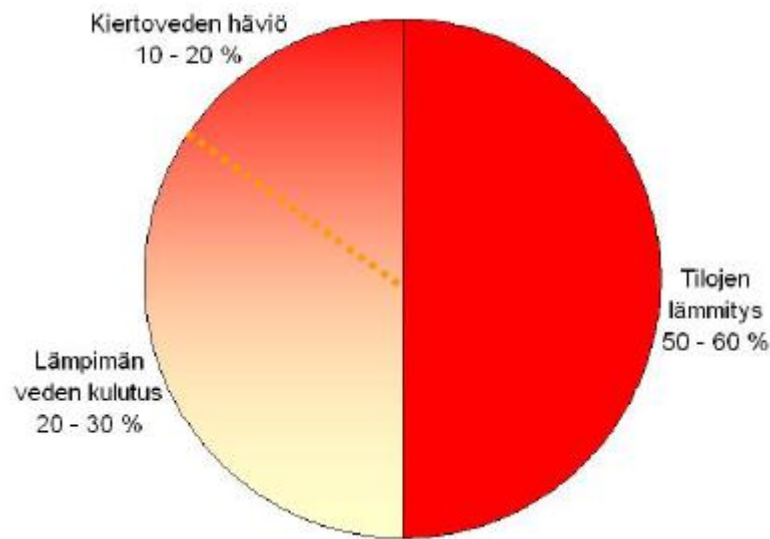
2.4.3 Lämpöpumppulämmitys

Lämpöpumppulämmitys perustuu suljettuun ainekiertoon. Lämpöpumpun keskeiset komponentit ovat höyrystin, lauhdutin, kompressori ja paisuntaventtiili. Höyrystimessä kiertoaineeseen sitoutuu lämpöä ja lämmin kiertoaine puristetaan kompressorilla pienempään tilavuuteen. Höyrystimessä kylmäainevirtaan sitoutunut energia on paljon suurempi, kuin systeemissä olevan kompressorin energiantarve. Lauhduttimessa kiertoaine lauhtuu takaisin nesteeksi ja samalla luovuttaa lämpöä. Lauhduttimelta kiertoaine palaa paisuntaventtiilin läpi höyrystimelle ja kierto alkaa alusta. Lämpöpumpulla voidaan ottaa lämpöä monipuolisista lämmönlähteistä. Soveltuvia lämmönlähteitä ovat esimerkiksi ulko- tai poistoilma, maaperä, pohja- ja pintavedet sekä jätevedet. (Seppänen & Seppänen 1997, 140, 142.)

Poistoilmalämpöpumpulla voidaan ottaa poistoilmasta lämpöä talteen ja palauttaa se takaisin tuloilman lämmittämiseen. Vastaavasti kesähelteillä poistoilmapumpulla voidaan viilentää tuloilmaa. (Seppänen & Seppänen 1997, 143.)

2.5 Tilojen lämmitysenergian nettotarve

Vanhoissa kerrostaloissa suurin yksittäinen energiankuluttaja on lämmitys. Erityisen huomioitavaa on, että lämmityksen suurimmat lämpöhäviöt aiheutuvat ilmanvaihdosta. Kuvassa 2 on esitetty lämmitysenergian jakautuminen 1970-luvulla rakennetuissa kerrostaloissa.



Kuva 2. Lämmitysenergian jakautuminen (Seppänen 1995)

Rakennusmääräyskokoelma D5:ssä on annettu laskentaohjeet, kuinka laskea tilojen lämmitysenergian tarve. Tilan lämmitysenergia koostuu neljästä eri komponentista. Lämmitysenergiaa laskiessa tarvitaan johtumisen, vuotoilman, ilmanvaihtokoneen tuloilman ja ilmanvaihdon korvausilman vaatimat energiat. (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2013, 15).

2.5.1 Johtuminen

Johtumislämpöhäviöt aiheutuvat lämmönsiirtymisestä rakennusvaipan läpi ulkoilmaan. Lämpö siirtyy aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan ja samalla lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan. Rakennusten lämmöneristystä alettiin ohjaamaan normeille jotka astuivat voimaan vuonna 1962. Siitä lähtien rakennusten ulkovaipan eristysvaatimukset ovat tiukentuneet säännöllisesti (Ympäristö.fi 2014). Kerrostalon energiatasetta tarkasteltaessa huomataan, että 41–50 % lämpöenergiasta häviää johtumisena.

Johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi lasketaan rakennusosien summana kaavalla (1) (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2013, 15).

$$Q_{\text{johtumine}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{kylmäsilta}} \quad (1)$$

Q=johtuminen [kWh]

Mikäli rakennusosa rajoittuu ulkoilmaan, niin lämpöhäviö lasketaan kaavalla (2) (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2013, 16).

$$Q_{\text{rakennusosa}} = \sum UA(T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (2)$$

Q=johtuminen [kWh]

U=rakennusosan lämmönläpäisykerroin [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

A=rakennusosan pinta-ala [m^2]

T_s =Sisälämpötila [$^{\circ}\text{C}$]

T_u =Ulkolämpötila [$^{\circ}\text{C}$]

Δt =ajanjakson pituus [h]

1000=kerroin jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

2.5.2 Vuotoilma

Suomessa rakennuksen tiiviyyttä kuvataan termillä ilmanvuotoluku. Ilmanvuotoluku kertoo kuinka monta kertaa tunnissa ilmatilavuus vaihtuu, kun paine-eroksi vaipan yli määritetään 50 Pascalia. Energian kulutuksen kannalta olisi tärkeää, että rakennuksen vaippa olisi tiivis. Betonielementeistä valmistettujen kerrostalojen tiiviys on usein parempi verrattuna esimerkiksi pientaloihin (Seppänen & Seppänen 1997, 76, 77). Rakennusmääräyskokoelma D3:ssa on säädetty että rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4 \text{ (m}^3/(\text{hm}^2))$.

Asuinkerrostaloissa ilmanpitävyys voidaan todeta mittaamalla vähintään 20 % asuinhuoneistoista. (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2010, 10.)

Vuotoilman aiheuttama lämmitystarve voidaan laskea kaavan (3) avulla (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2013, 19).

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (3)$$

$Q_{vuotoilma}$ =vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve
[kWh]

ρ_i =ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} =ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/kg K

$q_{v,vuotoilma}$ =vuotoilmavirta [m³/s]

T_s =Sisälämpötila [°C]

T_u =Ulkolämpötila [°C]

Δt =ajanjakson pituus [h]

1000=kerroin jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

2.5.3 Ilmanvaihdon lämpöhäviö

Kuten kerrostalon energiataseesta huomataan, niin ilmanvaihto aiheuttaa merkittävää lämpöhäviötä. Ilmanvaihdon lämpöhäviöön vaikuttaa pitkälti ilmanvaihdon lämmöntalteenottojärjestelmä. Kaavalla (4) lasketaan ilmanvaihdon aiheuttama lämpöhäviö (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2013, 21).

$$Q_{ilmanvaihto} = t_d t_v \rho_i c_{pi} q_{v,tulo} \left((T_{sp} - \Delta T_{puhallin}) - T_{lto} \right) \Delta t / 1000 \quad (4)$$

Q=lämpöhäviö [kWh]

t_d =keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde [h/24h]

t_v =viikoittainen käyntiaikasuhde, vrk/7 [vrk]

ρ_i =ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} =ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/kg K

$q_{v,tulo}$ =tuloilmavirta [m³/s]

T_{sp} =sisäänpuhalluslämpötila [°C]

$\Delta T_{puhallin}$ =lämpötilan nousu puhaltimessa [°C]

T_{lto} =lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila [°C]

Δt =ajanjakson pituus [h]

1000=kerroin jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

2.5.4 Korvausilma

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa korvausilma tulee ulkolämpötilassa ja lämpenee huoneissa. Korvausilman lämmittämiseen käytettävä energia voidaan laskea kaavan (5) avulla.

$$Q_{korvausilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,korvausilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (5)$$

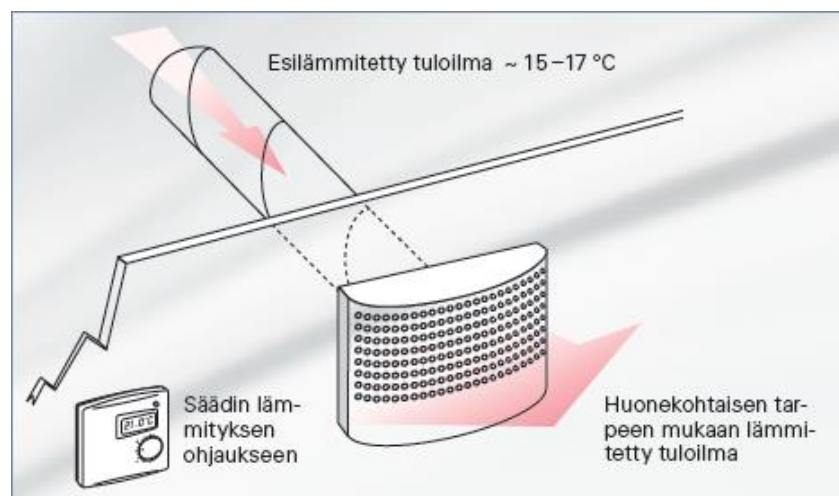
2.5.5 Lämmin käyttövesi

Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan energian nettotarve voidaan laskea rakentamismääräyskokoelma D3:ssa olevan taulukon avulla. Taulukossa on annettu kerrostaloille lämmitysenergian nettotarve lämmitettyä nettoalaa kohti. Kerrostalolle tämä arvo on 35 kWh/(m²a). Kaavalla (6) voidaan laskea lämpimän käyttöveden nettoenergian tarve. (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2013, 21.)

$$Q_{lkv,netto} = 35 \frac{kWh}{m^2a} * A_{netto} \quad (6)$$

3 ILMANVAIHTOLÄMMITYS

Ilmanvaihtolämmityksessä talon lämmitys ja ilmanvaihto on yksi yhtenäinen ratkaisu. Lämmönsiirto huoneisiin tapahtuu ilman välityksellä. (Seppänen & Seppänen 1997, 174.) Rakennukset muuttuvat entistä energiatehokkaammiksi jolloin lämmitystarve vähenee ja tällöin ilmanvaihdon lämmöntalteenotto riittää kattamaan lämmitystarpeen. Tällöin perinteiset patteri ja lattialämmitykset eivät enää ole välttämättä tarpeellisia. (Paroc 2014.) Kuvassa 3 on esitetty ilmanvaihtolämmityksen toimintaperiaate.



Kuva 3. Ilmanvaihtolämmityksen periaate (Climecon 2014)

Ilmanvaihtolämmityksen suurin toiseen samankaltaiseen lämmönjakotapaan ilmalämmitykseen verrattuna on, että ilmanvaihtolämmityksessä käytetään rakentamismääräyskoelma D2:sen asettamia ohjeilmavirtoja ja ilmalämmityksessä käytettävää palautusilmaa ei tarvita.

3.1 Ilmanvaihtolämmityksen toimintaperiaate

Ilmanvaihtolämmityksessä lämmin ilma tuodaan halutussa lämpötilassa huoneilmaan ja tätä kautta lämmitetään tilaa. Ilmanvaihtolämmitys voidaan pääsääntöisesti toteuttaa kahdella eri tavalla. Tuloilma voidaan lämmittää keskitetysti rakennuksen ilmanvaihtokoneessa ja johtaa sen jälkeen huoneisiin, tai sitten ilma voidaan esilämmittää ilmastointikoneessa ja lopuksi säätää haluttuun lämpötilaan ilmanvaihdon päätelaitteissa. Jos ilma lämmitetään keskitetysti ilmastointikoneessa, niin tällöin huonekohtaiset lämpötilat ovat kaikkialla rakennuksessa samat. Esilämmityksen ja päätelaitteiden avulla voidaan huonekohtaiset lämpötilat säätää erikseen. (Paroc 2014.)

3.2 Ilmalämmityksen komponentit

Ilmanvaihtolämmityksen pääkomponentti on ilmastointikone. Ilmastointikoneen tärkeimpänä tehtävänä on käsitellä ilma haluttuun olotilaan. Ilmastointikoneen osia virtaussuunnasta alkaen on ulkosäleikkö, ulkoilmapelit, suodatin, lämmöntalteenottopatteri, esilämmityspatteri, kostutusosa, jäähdytyspatteri, lämmityspatteri, puhallin, äänenvaimennin ja lopulta kanavisto mihin ilma johdetaan. Seuraavaksi käsittelen pääkomponentteja tarkemmin. (Mäki, luento 2013.)

3.2.1 Puhallin

Puhaltimella liikutellaan ilmaa ja muutetaan dynaaminen paine staattiseksi paineeksi. Kun ilmanvaihtokoneeseen valitaan puhallinta, tulee puhaltimen valinnassa huomioida erityisesti tarvittava ilmavirta ja paine-ero. (Mäki, luento 2013.)

Ilmastointikoneen puhallimet toimivat sähkömoottoreilla ja sähkömoottori voidaan toteuttaa eri tekniikoilla. Yleisin ratkaisu on AC-moottori (alternating current), eli vaihtovirtamoottori. AC-moottorin säätö tapahtuu taajuusmuuttajan avulla. EC-moottorit (electronically commutated) eli elektronisesti kommunikoidut moottorit ovat yleistyneet ilmastointikoneissa. EC-moottorin etuna on, että se ei tarvitse taajuusmuunninta ja sähköenergian kulutus on pienempi, kuin perinteisellä AC-moottorilla. Puhallintyypeistä yleisimpiä ovat aksiaali- ja radiaalipuhallimet. (Mäki, luento 2013.)

3.2.2 Lämmitin

Mikäli lämmöntalteenotolla ei pystytä nostamaan tuloilman lämpötilaa tarpeeksi, pitää lisälämmitys ilmastointikoneessa toteuttaa erillisellä lämmittimellä. Lämmittämisratkaisuna toimii yleisimmin lamellipatteri. Lamellipatterin lämmittävänä aineena voi kiertää vesi tai lämmitys voi tapahtua sähköenergialla. (Seppänen 1988, 193.)

3.2.3 Lämmöntalteenotto

Rakentamismääräyskokoelmassa on määräys jonka mukana vähintään 45 % poistoilman lämpömäärästä on otettava talteen. (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 16). Lämmöntalteenotto tapahtuu lämmönsiirtimien avulla. Ilmanvaihdon mukana huoneista poistuu merkittävä määrä lämpösisältöä ja tämä lämpö voidaan ottaa talteen ilmastointikoneessa. Lämmönsiirron tehokkuus kasvaa, kun luovuttavan ja vastaanottavan virran välinen lämpötila ero kohoaa. (Seppänen 1988, 285.)

Lämmönsiirtimen tehoon vaikuttaa pinta-ala, lämmönsiirripinta ja keskimääräinen lämpötilaero. Yleisimmät lämmönsiirrintyytit voidaan jakaa kahteen luokkaan: regeneratiiviset ja rekuperatiiviset lämmönsiirtimet. (Seppänen 1988, 285.)

3.2.4 Kanavat

Ilmanvaihtokanavat toteutetaan useimmiten peltikanavina. Peltikanavien etuna on tiiviys ja hinta. Ilmastointikanavat pyritään mahdollisuuksien mukaan toteuttamaan pyöreällä standardi mitoitettulla kanavalla. Pyöreän kanavan etuina ovat hyvät virtaustekniset ominaisuudet ja kulmikasta kanavaa alhaisempi äänenkehitys. Ilmastointikanavisto koostuu suorista kanavaosuuksista, muunnos- ja muotokappaleista, pääte-elimistä, säätöpelleistä ja muista varusteista. (Seppänen & Seppänen 1997, 192.)

Kanaviston asennuksessa tulee kiinnittää erityisesti huomiota kanavien tiiviyyteen, koska vuotavat kanavat voivat aiheuttaa melua ja mahdolliset epäpuhtaudet voivat levitä. Lisäksi kanaviston vuodon vuoksi tarvitaan suurempia ilmamääriä ja suuremmat ilmamäärät vaativat tehokkaampia puhaltimia. (Seppänen & Seppänen 1997, 192.)

3.2.5 Ilmanjako ja päätelaitteet

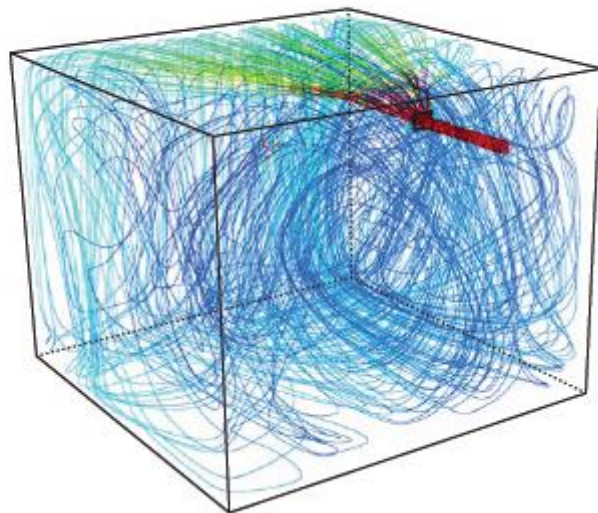
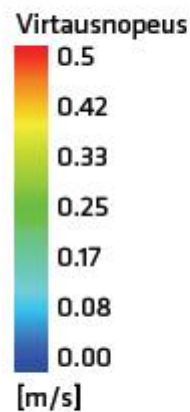
Ilmanjako tapahtuu tulo- ja poistoilmailman päätelaitteilla. Kerrostalossa päätelaitteet ovat monesti ainoa näkyvä osa ilmastoinnista. Ilmanjakoon on syytä kiinnittää huomiota, koska käytännössä ilmastointi on korkeintaan niin hyvä kuin ilmanjako. (Seppänen 1988, 153.)

Ilmanjako voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla: sekoittavalla, laminaarisella ja syrjäyttävällä virtauksella. Näistä kolmesta sekoittava ilmanjako soveltuu parhaiten kerrostaloihin. Laminaarinen ilmanjako vaatii suuria pintoja ja siinä pyritään saamaan aikaan tuloilman

olosuhteet kaikkialle tilaan. Laminaarista ilmanjako käytetään yleensä puhdastiloissa, kuten sairaaloissa. Syrjäyttävässä ilmanjaossa periaatteena on kerrosta epäpuhtaudet ja lämpötilat. Kerrostumisen ansiosta pyritään saavuttamaan hyvät olosuhteet oleskeluvyöhykkeelle. Syrjäyttävä ilmanjako vaatii korkeaa huonekorkeutta ja soveltuukin parhaiten teollisuushalleihin ja muihin korkeisiin tiloihin. (Seppänen 1988, 154.)

Sekoittava ilmanjako sopii parhaiten ilmanvaihtolämmitykseen, koska sekoittavassa ilmanjaossa tuloilma pyritään sekoittamaan tehokkaasti huoneilmaan. Kuvassa 4 on havainnollistettu, kuinka sekoittava ilmanjako toimii asuinhuoneessa.

Virtausnopeus



Kuva 4. Sekoittavan ilmanvaihdon periaate (Climecon 2014).

Tuloilman päätelaitteesta lähtee ilmasuihku, jonka nopeus voi nousta pariin metriin sekunnissa ja ilmasuihku tunkeutuu huoneilmaan ja saa sen sekoittumaan. Sekoittavalla ilmanjalla saadaan tasaiset olosuhteet koko huoneeseen. Poistoilmalaite ei aiheuta huoneeseen suurta imuvaikutusta. (Seppänen & Seppänen 1997, 194.)

Huoneeseen syntyvään virtauskenttään vaikuttaa eniten tuloilmalaitteiden sijoittelu. Suunnittelussa tulee huomioida ikkunat, lämmityspatterit ja oleskelupaita. Tuloilmojen paikkoihin vaikuttaa ratkaisevasti rakennustekniikka.

Tuloilmalaitteiden valinnassa tärkeintä on, että ne eivät aiheuta vetoa ja häiritsevää ääntä. Ilmanvaihtolämmityksen yhteydessä käytetään päätelaitteita joissa on erillinen lämmitin jossa esilämmitetty ilma saadaan nostettua haluttuun lämpötilaan.

4 ILMANVAIHTOLÄMMITYKSEN SOVELTUMINEN KERROSTALOIHIN

Ilmanvaihtolämmityksen soveltuvuutta kerrostaloasuntoihin tarkastellaan tässä työssä kolmen pääkriteerin kautta. Tarkastelukriteereitä ovat energiatehokkuus, sisäilmasto ja kustannukset. Vertailua varten selvitetään tilastojen perusteella tyypillinen kerrostalo ja toiseksi vertailukohdaksi valitaan samankokoinen matalaenergiakerrostalo. Tilastojen perusteella tyypillinen kerrostalo edustaa Suomessa tällä hetkellä olevaa kerrostalojen rakennuskantaa ja uudisrakentamisen kohdalla matalaenergiatalot alkavat olla ajankohtaisia.

4.1 Vertailukohdat

Tyypillinen Suomalainen kerrostalo on rakennettu suomalaisen yhteiskunnan rakennemuutoksen aikana 1960- ja 1970- luvuilla ja ennätysvuonna 1974 valmistui eniten kerrostaloja, kaikkiaan 46200 rakennusta (Rakennusperintö.fi 2014). Tyypillisessä kerrostalossa on 3-9 kerrosta ja yhden asunnon pinta-ala 1970-luvulla rakennetussa talossa on 51 m² (Asuntokanta 2013). Tyypillisen kerrostalon ilmanvaihto on toteutettu koneellisella poistoilmajärjestelmällä jonka oli 91 %:ssa 1970- 1979 rakennetussa kerrostaloissa (Säteri et al. 1999, 12). Lämmönjakotapana toimivat vesiradiaattoripatterit jotka on kytketty kaukolämpöön.

Toisena vertailtavana talotyyppinä toimii uusi matalaenerginen kerrostalo. Määritelmän mukaan matalaenergiataloksi voidaan kutsua taloa, jonka laskennalliset lämpöhäviöt ovat enintään 85 % rakennukselle määritellystä vertailulämpöhäviöstä. Matalaenergiatalo kuluttaa Etelä-Suomessa alle 60 kWh/brm² vuodessa. (Motiva 2014). Uusien kerrostalojen asuntokoot ovat kasvaneet ja vuonna 2013 huoneistojen pinta-alat ovat keskimäärin 56,5 m² (Asuntokanta 2013). Matalaenergiakerrostalon ilmanvaihtojärjestelmäksi valitaan keskitetty ja täysin koneellinen ilmanvaihto, joka on varustettu lämmöntalteenotolla.

4.2 Energiatehokkuus

Lämmitysjärjestelmän energiategokkuutta voidaan tarkastella niin sanotun E-luvun perusteella. Energiatodistuksen avulla voidaan vertailla eri rakennuksia ja niiden energiategokkuuksia. E-luku eli, rakennuksen kokonaisenergiankulutus määritetään laskemalla yhteen laskennallisen vuotuisen ostoenergian ja energiamuotojen kertoimien tulot energiamuodoittain lämmitettyä nettoalaa kohden (176/2013).

Seuraavaksi 1970-luvun talolle ja matalaenergiatalolle määritellään E-luku. Laskentaa varten tarvittavat pinta-alat ovat ympäristöministeriön energiataodistusoppaan esimerkkipohjan mukaiset. Taulukossa 1 on esitetty rakennuskomponenttien pinta-aloja.

Taulukko 1. Rakennuskomponenttien pinta-alat (Energiatodistuksen laadintaesimerkki 1970 rakennettu kerrostalo 2013).

Rakennuskomponentti	Pinta-ala [m ²]
Lämmitetty nettoala	1300
Ulkoseinät	560
Yläpohja	405
Alapohja (maata vasten)	405
Ikkunat	199,5
Ulko-ovet	46

Laskennassa molempien rakennusten sisälämpötilaksi oletetaan tasainen 21 °C, lisäksi tarvitaan myös kuukausikohtaiset lämpötilat siltä vyöhykkeeltä millä rakennus sijaitsee, tämän laskuesimerkin rakennus sijaitsee Lappeenrannassa eli vyöhykkeellä II. Lämpötilalaskokset esitetään liitteessä (I).

Laskennassa on huomioitu ihmisten aiheuttama lämpökuorma eli ihmisten tuottama ilmainen lämmitysenergia. Lämpökuorman laskentaa varten täytyy määrittää rakennuksen käyttöaika ja käyttöaste. Kerrostalon käyttöaika on 24 tuntia päivässä seitsemänä päivänä viikossa ja käyttöaste on 0,6 (D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, 19). Lämpökuorma ihmisistä voidaan laskea kaavalla (7).

$$Ihmisten\ lämpöteho = 3 \frac{W}{m^2} * A_{netto} \quad (7)$$

Laskentaa varten täytyy myös tietää eri lämmitysjärjestelmien vuosihyötysuhteet ja niiden vaatimat sähkötehot. Laskennassa on käytetty rakentamismääräyskokoelma D5:sta löytyviä hyötysuhteita ja sähkötehoja. Vesiradiaattoreiden hyötysuhde on tässä laskennassa 0,8 ja sähkötehon kulutus 2 kWh/(m²a). Vastaavat arvot ilmanvaihtolämmitykselle ovat 0,9 ja 0,5 kWh/(m²a). (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2013, 40.)

4.2.1 1970- luvun talon energiatehokkuus

Kun 1970-luvulla rakennettua kerrostaloa aletaan saneeraamaan, niin tarkoituksena on parantaa energiatehokkuutta ja sisäilmastoa. Mikäli rakennuksen vaipan U-arvo saadaan alhaiseksi, voidaan arvioida että tarvitaanko perinteisiä radiaattorilämmitystä vai voidaanko lämmitystarve kattaa ilmanvaihtolämmityksellä. Ilmanvaihtolämmitystä voidaan tällaisissa tilanteissa täydentää parilla radiaattorilla. (RIL 2009, 222.)

Ensiksi lasketaan johtumisesta aiheutuvat lämpöhäviöt. Jokaiselle rakennuskomponentille lasketaan kaavan (2) mukaiset häviöt jokaista kuukautta kohti. Alapohjan lämpöhäviöiden laskeminen poikkeaa hieman muitten rakenneosien laskennasta, koska ulkolämpötilana käytetään alapohjan alapuolisen maan lämpötilaa. Maan lämpötilan halutulle kuukaudelle saa laskettua kaavalla (8) (D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2013, 15).

$$T_{maa,kuukausi} = T_{maa,vuosi} + \Delta T_{maa,kuukausi} \quad (8)$$

Rakennusosien U-arvot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Rakennusosien U-arvot 1970-luvun talossa [W/m²K].

1970-luvun talon U-arvot [W/m²K]	
Seinä	0,3
Yläpohja	0,2
Alapohja (maata vasten)	0,4
Ikkuna	1,4
Ovi	1,4

Kaavaan (2) sijoittamalla saadaan laskettua vuodessa syntyvät lämpöhäviöt. Lisäksi jokaiselle rakenneosalle lisätään kylmäsiltojen aiheuttama lämpöhäviö, joka on 10 % rakennusosan johtumislämpöhäviöstä. Johtumisesta aiheutuvat lämpöhäviöt vuodessa on listattu taulukkoon 3 (Energiatodistuksen laadintaesimerkki 1970 rakennettu kerrostalo 2013, 17).

Taulukko 3. Johtumisen aiheuttamat lämpöhäviöt.

Lämpöhäviöt [kWh]:	Seinä	Yläpohja	Alapohja	Ikkuna	Ovi	Kylmäsillat
Tammikuu	3121	1505	1257	5189	1196	1227
Helmikuu	2879	1388	1244	4786	1104	1140
Maaliskuu	2947	1421	1498	4900	1130	1190
Huhtikuu	1996	962	1566	3318	765	861
Toukokuu	1280	617	1619	2128	491	613
Kesäkuu	819	395	1450	1361	314	434
Heinäkuu	462	223	1257	769	177	289
Elokuu	619	298	1137	1029	237	332
Syyskuu	1266	611	983	2105	485	545
Lokakuu	1850	892	896	3075	709	742
Marraskuu	2480	1196	867	4122	951	961
Joulukuu	6729	1398	1016	4819	1111	1507
Koko vuosi [kWh/a]	26448	10905	14790	37602	8670	9841

Kokonaislämpöhäviöksi johtumisen kautta tulee 108256 kWh/a.

Seuraavaksi lasketaan vuotoilman aiheuttama lämpöhäviö kaavan (3) mukaan. Tulokset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Vuotoilman aiheuttama lämpöhäviö.

Lämpöhäviöt [kWh]:	Vuotoilma
Tammikuu	6102
Helmikuu	5629
Maaliskuu	5763
Huhtikuu	3902
Toukokuu	2503
Kesäkuu	1601
Heinäkuu	904
Elokuu	1210
Syyskuu	2476
Lokakuu	3617
Marraskuu	4848
Joulukuu	5667
Koko vuosi [kWh/a]	44224

1970-luvun taloa varten suoritetaan kaksi eri ilmanvaihtoon liittyvää laskentaa. Toisessa laskennassa lasketaan korvausilman lämmittämiseen kuluva energia vuodessa ja toisessa laskentamallissa tarkastellaan taloa jossa on koneellinen poisto- ja tuloilma ilmanvaihtolämmitystä varten. Korvausilman lämmitystarve on esitetty taulukossa 5 ja lämmöntalteenotolla varustetun koneellisen ilmanvaihdon lämmitystarve taulukossa 6.

Taulukko 5. Ilmanvaihdon lämmitystarve.

Ilmanvaihdon lämmitystarve [kWh]:	
Tammikuu	5995
Helmikuu	5652
Maaliskuu	5307
Huhtikuu	1745
Toukokuu	0
Kesäkuu	0
Heinäkuu	0
Elokuu	0
Syyskuu	0
Lokakuu	962
Marraskuu	3661
Joulukuu	5114
Koko vuosi [kWh/a]	28437

Taulukko 6. Vuotoilman lämmitystarve.

Vuotoilman lämmitystarve [kWh]:	
Tammikuu	14491
Helmikuu	13366
Maaliskuu	13684
Huhtikuu	9266
Toukokuu	5942
Kesäkuu	3802
Heinäkuu	2147
Elokuu	2873
Syyskuu	5880
Lokakuu	8589
Marraskuu	11513
Joulukuu	13458
Koko vuosi [kWh/a]	105010

Saaduista tuloksista voi havaita, että lämmöntalteenotolla lämmitysenergian tarve on huomattavasti pienempi. 65 % hyötysuhteella toimivan lämmöntalteenoton ansiosta tuloilmaa ei tarvitse lämmittää toukokuun ja syyskuun välisenä aikana. Ilmanvaihdon laskennassa on oletettu, että lämmöntalteenotto on aina päällä.

Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla (6), laskennan yksinkertaistamiseksi lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin aiheuttamat lämpöhäviöt jätetään tarkastelun ulkopuolelle.

$$Q_{tkv,netto} = 35 \frac{kWh}{m^2 a} * 1300 m^2 = 45500 kWh/a$$

Kun eri lämmitystarpeet yhdistetään, niin saadaan lämmitysenergian kokonaistarve. Taulukoissa 7 ja 8 on esitetty kokonaisenergiatarpeet eri ilmanvaihtoratkaisuille.

Taulukko 7. Rakennuksen lämmitysenergian kokonaistarve, koneellinen poistoilma.

Koneellinen poistoilmanvaihto	
Johtuminen	108256
Vuotoilma	44224
Korvausilma	105010
Käyttövesi	45500
Lämpökuorma	-20498
Yhteensä [kWh/a]	282491

Taulukko 8. Rakennuksen lämmitysenergian kokonaistarve, täysin koneellinen ilmanvaihto ja LTO.

Koneellinen tulo- ja poistoilma, LTO	
Johtuminen	108256
Vuotoilma	44224
Ilmanvaihto	28437
Käyttövesi	45500
Lämpökuorma	-20498
Yhteensä [kWh/a]	205918

Nyt rakennuksen lämmityksen kokonaistarpeet on selvitetty, niin seuraavaksi voidaan laskea lämmitysjärjestelmän hyötysuhteen vaikutus tarvittavan lämmitysenergian määrään. Ensin lasketaan kaukolämmön hyötysuhteen vaikutus molemmissa ilmastointiratkaisuissa.

$$\text{Kaukolämpö ja koneellinen poisto: } \frac{282491 \text{ kWh/a}}{0,8} = 353114 \text{ kWh/a}$$

$$\text{Kaukolämpö ja koneellinen ilmanvaihto: } \frac{205918 \text{ kWh/a}}{0,8} = 257398 \text{ kWh/a}$$

Sitten lasketaan hyötysuhteen vaikutus ilmanvaihtolämmitykseen.

$$\text{Ilmanvaihtolämmitys: } \frac{205918 \text{ kWh/a}}{0,9} = 228798 \text{ kWh/a}$$

Seuraavaksi lasketaan lämmitysjärjestelmien vaatimat sähkötehot.

$$\text{Kaukolämpö ja vesiradiaattorit: } 2 \frac{\text{kWh}}{(\text{m}^2\text{a})} * 1300 \text{ m}^2 = 2600 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

$$\text{Ilmanvaihtolämmitys: } 0,5 \frac{\text{kWh}}{(\text{m}^2\text{a})} * 1300 \text{ m}^2 = 650 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

Nyt kaikki tarvittavat arvot E-luvun määrittämistä varten on laskettu. Seuraavaksi koostetaan tulokset. Tarvittavat energiat täytyy vielä ennen lopullista E-lukua painottaa energiamuodon kertoimella. Kaukolämmön energiamuotokerroin on 0,7 ja suoran sähkölämmityksen, mihin ilmanvaihtolämmitys luetaan on 1,7 (Ympäristöministeriö 2013, 1 §). Ensiksi lasketaan E-luku talolle jossa on koneellinen poistoilmanvaihto.

$$E - \text{luku} : \frac{\left(353114 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} * 0,7\right) + \left(2600 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} * 1,7\right)}{1300\text{m}^2} = 194 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

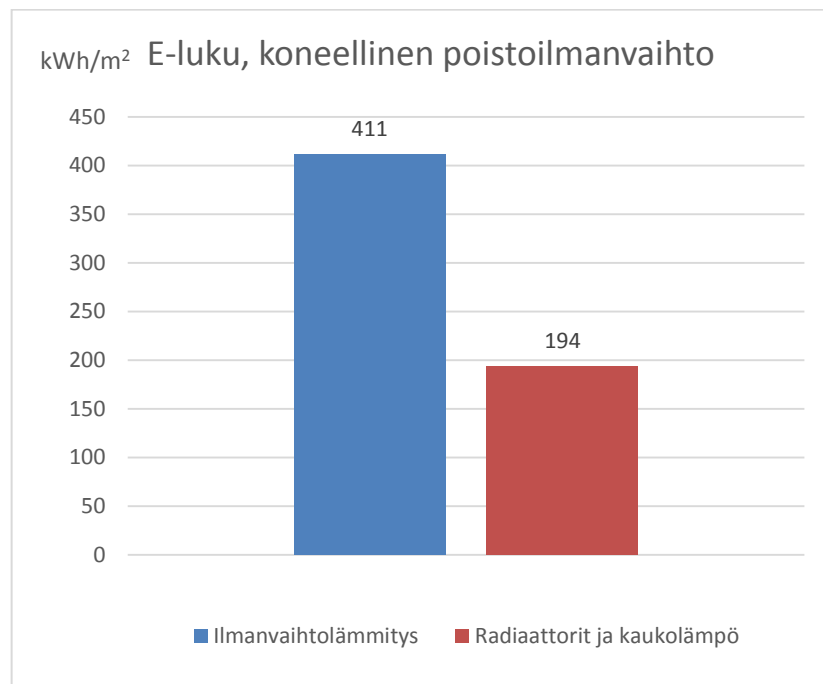
194 kWh/m²a kulutus oikeuttaa rakennuksen energialuokkaan F. Seuraavaksi on vuorossa talo, jossa on täysin koneellinen tulo ja poistoilma sekä lämmöntalteenotto hyötysuhteella 65 %.

$$E - \text{luku} : \frac{\left(257398 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} * 0,7\right) + \left(2600 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} * 1,7\right)}{1300\text{m}^2} = 142 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

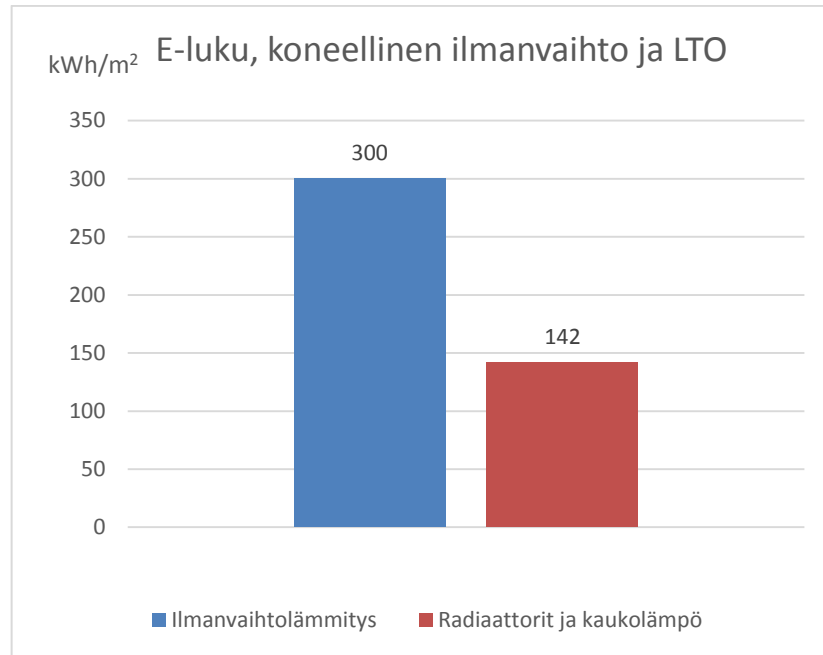
Koneellisen ilmanvaihdon ja lämmöntalteenoton ansiosta rakennuksen energiankulutus pieneni huomattavasti ja samalla rakennuksen energialuokka parani tulokseen D. Viimeisenä lasketaan ilmanvaihtolämmityksellä lämmitetyn kerrostalon E-luku.

$$E - luku : \frac{\left(228798 \frac{kWh}{a} * 1,7\right)}{1300m^2} = 300 \text{ kWh}/m^2a$$

Kuten tuloksista huomataan, niin ilmanvaihtolämmityksellä lämmitetyn talon E-luku on huomattavasti pienempi, kuin vastaava kaukolämmöllä ja vesiradiaattoreilla. Kuvaajassa 1 ja 2 on esitetty lämmitysratkaisujen vertailu.



Kuvaaja 1. E-luku kun rakennuksessa on koneellinen poistoilmanvaihto.



Kuvaaja 2. E-luku kun rakennuksessa täysin koneellinen ilmanvaihto.

4.2.2 Matalaenergiatalon energiatehokkuus

Matalaenergiakerrostalon kohdalla laskentaprosessi on täysin, sama kuin 1970-luvun kerrostalolla. Ratkaiseva ero energiatehokkuuden välillä on rakenteiden U-arvot ja ilmanvuotoluku. Lisäksi uudessa talossa ei tarvitse laskea korvausilman lämmittämiseen kuluttua energiaa. Rakennuksen U-arvot ovat taulukossa 9.

Taulukko 9. Matalaenergiatalon U-arvot.

Matalaenergiatalon U-arvot [W/m ² K]	
Seinä	0,14
Yläpohja	0,08
Alapohja (maata vasten)	0,16
Ikkuna	0,9
Ovi	0,6

Johtumislämpöhäviöt on laskettu kaavalla (2) ja tulokset on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. 2014 kerrostalon johtumisesta aiheutuvat lämpöhäviöt.

Lämpöhäviöt [kWh]:	Seinä	Yläpohja	Alapohja	Ikkuna	Ovi	Kylmäsiilat
Tammikuu	1456	602	503	3336	513	641
Helmikuu	1343	555	498	3077	473	595
Maaliskuu	1375	568	599	3150	484	618
Huhtikuu	931	385	627	2133	328	440
Toukokuu	597	247	647	1368	210	307
Kesäkuu	382	158	580	875	135	213
Heinäkuu	216	89	503	494	76	138
Elokuu	289	119	455	661	102	163
Syyskuu	591	244	393	1354	208	279
Lokakuu	863	357	358	1977	304	386
Marraskuu	1157	478	347	2650	407	504
Joulukuu	3140	559	406	3098	476	768
Koko vuosi [kWh/a]	12342	4362	5916	24173	3716	5051

Uusien rakennusten osalta on määrätty, että ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4 \text{ (m}^3\text{/(h m}^2\text{))}$ (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2013, 10). Esimerkkikohteen ilmanvuotolukuna laskennassa käytetään $0,8 \text{ (m}^3\text{/(hm}^2\text{))}$. Laskennan tulokset on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Ilmanvuodon aiheuttamat lämpöhäviöt.

Lämpöhäviöt [kWh]:	Vuotoilma
Tammikuu	400
Helmikuu	369
Maaliskuu	378
Huhtikuu	256
Toukokuu	164
Kesäkuu	105
Heinäkuu	59
Elokuu	79
Syyskuu	162
Lokakuu	237
Marraskuu	318
Joulukuu	372
Koko vuosi [kWh/a]	2900

Ilmanvaihdon aiheuttamat lämpöhäviöt on laskettu kaavalla (4) ja tulokset ovat taulukossa 12.

Taulukko 12. Ilmanvaihdon lämmitystarve.

Ilmanvaihdon lämmitystarve [kWh]:	
Tammikuu	5995
Helmikuu	5652
Maaliskuu	5307
Huhtikuu	1745
Toukokuu	0
Kesäkuu	0
Heinäkuu	0
Elokuu	0
Syyskuu	0
Lokakuu	962
Marraskuu	3661
Joulukuu	5114
Koko vuosi [kWh/a]	28437

Uuden kerrostalon lämpimän käyttöveden vaatima lämmitysenergia lasketaan samalla tavalla, kuin vanhemmalle kerrostalolle. Erona laskennassa on, että energiantarpeena käytetään $25 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, joka on matalaenergiatalon kulutustavoite (RIL 2009, 63). Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve on 32500 kWh/a .

$$Q_{lqv,netto} = 25 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{a}} * 1300 \text{ m}^2 = 32500 \text{ kWh/a}$$

Koska erimerkkirakennukset ovat saman kokoiset, niin ihmisistä syntyvä lämpökuorma on molemmissa esimerkeissä sama, eli 20498 kWh/a . Lämmitysenergian kokonaistarve matalaenergiakerrostalolle on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Matalaenergiakerrostalon energiantarve.

Koneellinen tulo- ja poistoilma, LTO	
Johtuminen	55559
Vuotoilma	2900
Ilmanvaihto	28437
Käyttövesi	32500
Lämpökuorma	-20498
Yhteensä [kWh/a]	98898

Nyt kun lämmitysenergian kokonaistarve on laskettu, niin seuraavaksi muodostetaan lämmitysjärjestelmille E-luvut. Aluksi lasketaan Lämmitystarve kun huomioidaan lämmitysjärjestelmien hyötysuhteet.

$$\text{Kaukolämpö: } \frac{98898 \text{ kWh/a}}{0,8} = 123\,623 \text{ kWh/a}$$

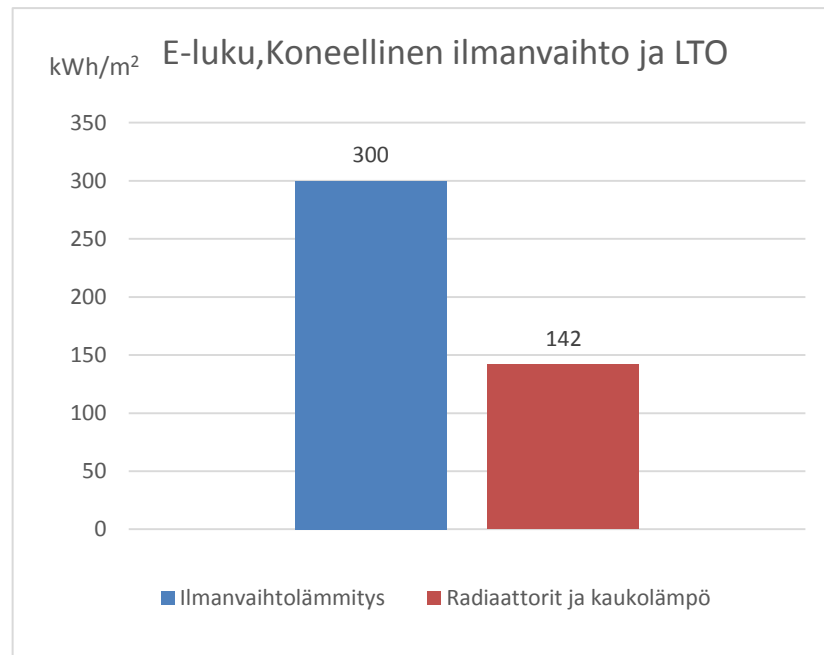
$$\text{Ilmanvaihtolämmitys: } \frac{98898 \text{ kWh/a}}{0,9} = 109\,887 \text{ kWh/a}$$

Lämmitysjärjestelmien sähkönkulutus on sama, kuin aiemmin lasketussa 1970-luvun kerrostalossa. Eli kaukolämmölle 2600 kWh/a ja ilmanvaihtolämmitykselle 650 kWh/a. Sijoitetaan energiankulutukset ja lasketaan E-luku.

$$E - \text{luku} : \frac{\left(123623 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} * 0,7\right) + \left(2600 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} * 1,7\right)}{1300\text{m}^2} = 70 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

$$E - \text{luku} : \frac{\left(110537 \frac{\text{kWh}}{\text{a}} * 1,7\right)}{1300\text{m}^2} = 145 \text{ kWh/m}^2\text{a}$$

Matalaenergiatalo kaukolämmöllä pääsee energialuokkaan A ja vastaava talo ilmanvaihtolämmityksellä sijoittuu luokkaan C. Kuvaajassa 3 on esitetty matalaenergiatalon E-lukujen vertailu.



Kuvaaja 3. Lämmitysmuotojen E-luvut

4.3 Sisäilmasto

Sisäilmaston kannalta ilmanvaihtolämmityksessä käytetty täysin koneellinen ilmanvaihto on ominaisuuksiltaan parempi, kuin koneellinen poistoilmanvaihto. Ilmanvaihtolämmityksessä asunnon ilmanvaihtoa voidaan säätää huoneistokohtaisesti ja asumistilanteiden mukaan. Ilmanvaihtolämmitys on päällä jatkuvasti ja sen tehoa voidaan säätää helposti (Seppänen & Seppänen 1997, 165.)

4.3.1 1970-luvun talon ilmanvaihto

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa käyttövoimana toimivaa poistoilmapuhallinta ajetaan yleensä kellon mukaan. Vanhassa vuonna 1978 julkaistussa rakentamismääräyskokoelma D2:ssa suositeltiin, että ilmapuuhallinta tulisi puolittaa, kun ulkolämpötila laskee 15 °C alle paikkakunnan mitoitustilanteen. Tämä on edelleenkin yleinen käytäntö ja puhallin toimii valtaosan ajasta puolella teholla. Puhallinta ajetaan aamulla ja illalla parin tunnin jaksot täydellä teholla, koska pienemmällä teholla ei saada poistettua esimerkiksi ruoanlaiton aiheuttamaa hajua (Säteri et al. 1999, 14). Mikäli kerrostaloa ei ole varustettu poistoilma-venttiileillä tai esimerkiksi tuloilmaikkunoilla korvausilma tulee satunnaisesta epätiiviyshkohdasta ja tämä johtaa siihen, että puhdas ilma jakautuu huoneen sisään sattumanvaraisesti. Myöskin ulkoilma-venttiilien kanssa voi olla ongelmia, koska ensimmäiset ulkoilma-venttiilit aiheuttivat vetoa ja niissä ei ollut suodattimia jolloin esimerkiksi siitepöly ja muut epäpuhtaudet pääsevät sisään. Myöskin lämmöntalteenoton toteutus koneellisessa poistoilmajärjestelmässä on hankalampaa. Yksi vaihtoehto on ottaa lämpö talteen lämpöpumpulla ja johtaa se lämpimään käyttöveiteen (Säteri et al. 1999, 15). Ihminen aistii eri lämpöiset pinnat herkästi ja tällaisia pintoja ovat yleensä ikkunoiden läheisyydessä, jossa lämpimät patterit ja kylmät ikkunat synnyttävät suuren lämpötilaeron (RIL 2009, 102).

4.3.2 Uuden matalaenergiatalon ilmanvaihto

Täysin koneellisella ilmanvaihdolla voidaan toteuttaa ilmastointiprosesseja kuten ilman kostutus ja suodatus. Myös tilojen viilennys tulee ottaa huomioon ilmastointijärjestelmiä vertaillessa. Ilmanvaihtolämmityksellä voidaan jäähdyttää rakennusta yöaikaan jolloin ulkolämpötila on matalampi, kuin päivällä. Jäähdytys voidaan toki toteuttaa ajoittain myös ikkunatuuletuksella. Erityisesti läpivirtaustuuletuksella tapahtuva tuuletus mikäli asunnon tuuletusikkunat sijaitsevat kahdella eri sivustalla (RIL 2009, 105). Tuloilmaa jäähdyttää 20- 10 °C lämpötilaan ja tämä tuottaa jäähdytystehoa noin 10- 40 W/m².

4.4 Kustannukset

Kustannuksissa tarkastellaan investointikustannuksia, jotka tulevat uuden ilmanvaihtolämmitysjärjestelmän hankkimisesta ja verrataan niitä muihin lämmitysratkaisuihin. Tässä tarkastelussa otetaan myös huomioon mahdolliset rakenteiden muutokset ja saneeraukset, kuten seinien eristäminen tai ikkunoiden uusiminen. Aiempien energiatehokkuuslaskelmien perusteella voidaan myös tarkastella energian oston aiheuttamia kustannuksia. Järjestelmää hankittaessa tarkastellaan investointikustannuksia johon kuuluu järjestelmän suunnittelu, järjestelmän hankintahinta ja työhön kuuluvat kustannukset.

4.4.1 1970-luvun talon kustannukset ilmanvaihtolämmityksellä

Ilmanvaihtolämmitys on riittävä itsenäinen lämmönjakotapa, kun tilojen lämmitysenergian tehontarve on välillä 30- 40 kWh/(m²a) (RIL 2009, 129). Tähän lukuun pääseminen vaatii huomattavaa saneerausta, koska 1970- luvulla rakennetun talon lämmityksen energiankulutus voi olla jopa viisinkertainen eli 200 kWh/(m²a) (RIL 2009, 205). Jotta päästäisiin pienempään energiankulutukseen, talo vaatii esimerkiksi lisäeristämisen lisäksi ikkunoiden ja ovien vaihdon. Taulukossa 14 on esitetty VTT:n laatima kustannusesimerkki toimenpiteiden hinnoista.

Taulukko 14. Saneerauksen kustannukset talotasolla (Eko- ja energiatehokkuus alueiden ja rakennusten uudistamisessa, VTT).

Toimenpide	€/Huoneisto-m ²
Ulkoseinän eristäminen	
Julkisivun purkaminen ja uuden rakentaminen	150- 200
Lisäeristys vanhan päälle	100- 200
Ikkunoiden ja ovien vaihto	80- 100
Vesikatto	50- 100

Näillä VTT:n arvioimilla hinnoilla voidaan karkeasti laskea yhtä asuntoa kohti tuleva maksu kerrostalon saneerauksesta. Jos taloon suoritetaan samalla julkisivun uusiminen, eristyksen parantaminen, ikkunat ja ovet vaihdetaan energiatehokkaksiin ja vesikatto uusitaan ja eristetään, niin kuluja kertyy yhdelle 51 m² asunnolle 16830- 17850 €. (VTT 2014.)

Vaihtamalla vanhat ikkunat uusiin energiatehokkaksiin voidaan pienentää lämpöhäviöitä 50- 70 %, vastaavasti lisäämällä vanhaan 80 mm lämpöeristeellä varustettuun seinärakenteeseen lisäeristettä 50- 150 mm, niin voidaan saavuttaa 33- 64 % U-arvon lisäys. (RIL 2009.)

Ilmanvaihtolämmitystä varten saneerauskohde tarvitsee myös ilmastointiremontin. Taloon voidaan rakentaa keskitetty ilmastointijärjestelmä jossa jokaiseen asuntoon tuodaan pystyhorneilla tulo- sekä poistoilma. Äänen kulkeutuminen naapuriasuntoihin estetään äänenvaimentimien käytöllä ja keskitettyä ratkaisua voidaan säätää asuntokohtaisesti. Kun vanhaa ilmastointijärjestelmää ruvetaan muokkaamaan keskitetyksi koneelliseksi ilmanvaihdoksi, niin korjaus suoritetaan yleensä osana koko talon saneerausta. Rakennuksen peruskorjauksen yhteydessä on helpompi lisätä kanavien tarvitsemia pystykuiluja ja rakentaa ilmanvaihdon tarvitsemat konetilat. Kun vanha ilmanvaihtojärjestelmä muutetaan täysin koneelliseksi ja keskitetyksi, niin urakkaa varten pyydetään tarjous. Kustannusarvio ja korjausajan tarve riippuu urakoitsijasta. Jos kerrostaloon asennetaan asuntokohtainen ilmanvaihtokone lämmöntalteenotolla, niin kustannuksia syntyy noin 4400- 7700 €. Huoneisto-kohtaisen ilmanvaihtojärjestelmän rakentaminen kestää noin 2- 4 työpäivää. (RIL 2009, 230, 234.)

4.4.2 Uuden kerrostalon kustannukset ilmanvaihtolämmityksellä

Ilmanvaihtolämmityksen toteutus kerrostaloihin tapahtuu edullisimmin, kun valitaan asuntokohtaisesti hajautettu järjestelmä. Tässä järjestelmässä on huonekohtainen tapahtuva tuloilmalaitteilla tapahtuva lämpötilansäätö (RIL 2009, 124).

Kun ilmanvaihtolämmitystä lähdetään toteuttamaan uudiskohteessa ja ilmanvaihtokoneessa tapahtuva lämmitys toteutetaan vesikierrolla, niin saavutetaan huomattavia kustannussäästöjä. Tämä johtuu erillisen huonekohtaisen lämmönjakoverkon poisjäämisestä. Mikäli ilmanvaihtolämmitys toteutetaan huonekohtaisella säädöllä niin, että jokaisen päätelaitteen yhteydessä on sähkövastus tai jopa vesipatteri, niin kustannuserot muihin järjestelmiin pienenevät. Kustannuksiin vaikuttaa muun muassa erilaisten komponenttien vähäinen määrä. (RIL 2009, 124.) Suomalaisen ilmanvaihtoyrityksen Climecon valmistamat tuloilmalaitteet joissa on jälkilämmitys maksaa noin 400 euroa kappaleelta. (Climecon hinnasto 2014). Vesikiertoiset lämmityspatterit maksavat luokkaa 100- 300 euroa (Taloon.com 2014).

4.4.3 Energiakustannukset

Lämmitysjärjestelmää valittaessa kannattaa kiinnittää huomiota energianhintaan ja hintakehitykseen tulevaisuudessa, koska voidaan olettaa, että energian hinta tulee nousemaan (Diaesitys kaukolämmön hinnan kehityksestä 2014, Energiaviraston hintatilasto 2014). Sähkön hinnan tarkastelua varten suoritin kilpailutuksen Suomen energiaviraston hintaver-tailulla. Kymmenen halvimman tarjouksen keskihinta oli 5,32 snt/kWh. Eli koko matala-energiakerrostalon lämmityskustannus ilmanvaihtolämmityksellä maksaisi vuodessa 5850 euroa. (Diaesitys kaukolämmön hinnan kehityksestä 2014.) Kaukolämmön kokonaishinnan keskiarvo Suomessa on 84,31 €/MWh (Diaesitys kaukolämmön hinnan kehityksestä 2014). Tällä keskihinnalla esimerkin matalaenergiakerrostalon lämmityskustannukset ovat vuodessa 10 423 euroa. Lisäksi uuden rakennuksen liittyessä kaukolämpöverkkoon täytyy maksaa liittymismaksu. Liittymismaksu keskihinta on 8804 euroa (Diaesitys kaukolämmön hinnan kehityksestä 2014).

5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Ilmanvaihtolämmityksen energiatehokkuutta tarkasteltaessa lasketut E-luvut osoittivat lämmitysjärjestelmien ja rakennusten erot. Laskentaa oli yksinkertaistettu huomattavasti ja

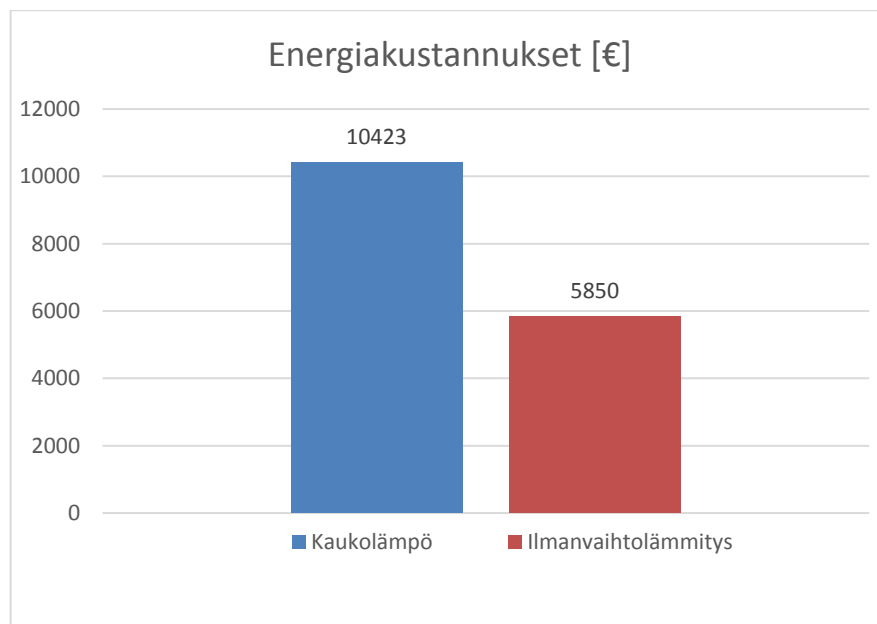
nyt E-luku on enemmän suuntaa antava, kuin tarkka arvo. Ilmanvaihtolämmitys toteutetaan sähkölämmityksenä ja laskennassa on oletettu, että koko lämmitystarve katetaan sähköllä. Todellisuudessa esimerkiksi lämpimän käyttöveden lämmitystä ei kannata toteuttaa sähköllä vaan ennemminkin kaukolämmöllä tai esimerkiksi lämpöpumpulla. Laskennan suurin epävarmuus liittyy lämpökuormiin. Laskennassa ei otettu huomioon muita lämpökuormia, kuin ihmisen aiheuttama, mutta todellisuudessa lämpökuormaa syntyy muun muassa sähkölaitteista, valaistuksesta, auringonvalosta ja lämpimän käyttöveden kierrosta. Sähkölaitteiden ja valaistuksen aiheuttama lämpökuorma olisi vielä melko helposti laskettavissa, rakentamismääräyskokoelmasta löytyvillä taulukkoarvoilla, mutta auringon aiheuttama lämpökuorma on monimutkaisempi. Auringon aiheuttaman lämpökuorman laskennassa tulee ikkunoiden kokonaispinta-alan lisäksi huomioida esimerkiksi ikkunoiden ilmansuunnat, ikkunan kokonaissäteilyn läpäisykertoimet ja auringon säteilysuunnan muuntokertoimet. Lisäksi lämpökuormien hyödyntämistä vaihtelee kuukausittain ja hyödyntämisteen laskeminen on tämän työn tarkoitukseen nähden epäolennaista.

1970-luvun talolle lasketusta energialuvusta huomataan, että ilmanvaihtolämmitykseen kuuluva lämmöntalteenotto auttaa pienentämään rakennuksen energiankulutusta, mutta vanha huonosti eristetty ja suuren ilmanvuotoluvun omaava rakennus ilmanvaihtolämmityksellä sijoittuu alimpaan luokkaan eli G. Vastaava rakennus ilmanvaihdon lämmöntalteenotolla ja kaukolämmöllä on pari energialuokkaa parempi, eli D. Uudessa matalaenergiatalossa tulee mielenkiintoinen asetelma, kun tarkastellaan kokonaislämmitystarvetta ennen energiamuotokertoimella painotusta. Ilmanvaihtolämmityksen kokonaislämmitysenergian oli pienempi kuin kaukolämmön, mutta energiamuotokertoimet aiheuttavat sen, että kaukolämmöstä lämpönsä saavan kerrostalon energialuokka on paras eli A, mutta ilmanvaihtolämmityksellä lämmitettävän talon energialuokka on C. Tällaisessa tapauksessa jolloin lämmitysenergian tarve on sängen pieni, niin energiamuotokertoimen vaikutus on mielestäni melko suuri. Esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden kuten öljylämmityksen energiamuotokerroin on 1, eli öljylämmityksellä varustettu kerrostalo olisi energialuokkaa B. Kun lämmitysenergian tarve on suhteessa pieni, niin ilmanvaihtolämmityksen kanssa toimiva ratkaisu voisi olla kerrostalon oma energiantuotanto. Rakennuksessa käytettävien uusiutuvien energioiden energiamuotokerroin on 0,5, eli energialuokka paranisi. Sähkö-

lämmityksen energiamuotokerroin ei ota huomioon, että millä tavalla käytetty sähkö on tuotettu. Esimerkiksi sähkö on voitu tuottaa kokonaan uusiutuvalla tuulivoimalla.

Sisäilmaston osalta ilmanvaihtolämmitys on hyvä valinta. Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa voidaan toteuttaa kaikki ilmastonin perusprosessit ja huoneiden lämpötilaa voidaan säätää tarkasti ja nopeasti. Sisäilmayhdistys ry on määritellyt sisäilmastolle kolme ei luokkaa. Sisäilmaluokista paras on S1, tässä luokassa sisäilman laatu on erittäin hyvä, tiloissa ei ilmene vetoa ja yllilämpenemistä ei esiinny. Ilmanvaihtolämmityksellä päästään luokkaan S1, jos ilmastointikoneessa on jäähditys. Jäähditys tapahtuu esimerkiksi kesällä lämpöpumpulla, joka lämmityskaudella toimii lämmöntalteenottona. S1- luokan edellytyksiä on myös lämpöolojen yksilöllinen säätö, joka onnistuu ilmanvaihtolämmityksellä. Koneellisella poistoilmanvaihdolla voidaan saavuttaa sisäilmaluokitus S3, joka on matalin luokitus. (Sisäilmayhdistys ry, 2014).

Lämmitysjärjestelmien käytönaikaisia kustannuksia ovat energiamaksut ja huoltokustannukset. Ilmanvaihto on helppohuoltonen ja käyttökustannukset riippuvat paljon sähkön hinnasta, jonka tarkkaa kehitystä tulevaisuudessa on vaikea ennustaa. Kuvaajassa 4 on vertailtu matalaenergiatalon energiakustannuksia.



Kuvaaja 4. Energiakustannusesimerkki matalaenergiakerrostalolla.

6 YHTEENVETO

Ilmanvaihtolämmityksen soveltuvuutta tarkasteltiin kahteen tyypilliseen kerrostaloon. Suomen kerrostalojen rakennuskannasta valtaosa on rakennettu 1970-luvulla ja monet kerrostalot tarvitsisivat saneerausta. Uusissa kerrostaloissa matalaenergisyys on huomioitu ja kerrostalojen eristykset ja ilmatiiviyys alkaa olemaan kunnossa.

Soveltuvuutta tarkasteltiin energiatehokkuuden, sisäilmaston ja kustannusten näkökulmasta. Energiatehokkuutta tarkasteltaessa ilmanvaihtolämmitystä verrattiin yleisimpään ratkaisuun eli kaukolämpöön jolla lämmitetään vesikiertoisia pattereita. Energiatehokkuuden vertailemiseksi laskettiin lämmitysjärjestelmille E-luvut jonka kautta vertailu voidaan suorittaa. Laskettujen E-lukujen perusteella huomattiin, että vanhoissa kiinteistöissä ilmanvaihtolämmitys tiputtaa rakennuksen E-luvun alhaisimpaan luokkaan. Vastaavasti uusissa matalaenergisisä rakennuksissa ilmanvaihtolämmityksen energiantarve oli pienempi, mutta energiamuotokertoimen takia E-luku oli alhaisempi, kuin kaukolämmöllä. 1970-luvulla rakennetuissa kerrostaloissa on monesti sisäilmaongelmia, jotka liittyvät ilmanvaihtoon. Huoneissa voi ilmetä vetoa ja esimerkiksi ruoanlaiton hajut eivät poistu tehokkaasti. Ilmanvaihtolämmityksellä voidaan saavuttaa paras sisäilmaluokka. Ilmanvaihtolämmitystä voidaan ohjata asukkaan omien tarpeiden mukaan ja tarvittaessa ilmavirtoja voidaan tehostaa. Ilmanvaihtolämmityksen kustannukset riippuvat rakennuskohteesta, mikäli kyseessä on matalaenerginen uudisrakennus, niin ilmanvaihtolämmityksen investointikustannukset ovat edullisemmat ja lisäksi vähäisen lämmitystarpeen myötä sähkö on edullinen energiamuoto.

Ilmanvaihtolämmitys sopii uusiin matalaenergiisiin rakennuksiin, jossa se voi kattaa koko lämmitystarpeen ja samalla rakennukseen saadaan hyvä ilmanvaihtojärjestelmä. Päätelaitteilla toteutettu ilmanvaihtolämmitys antaa asukkaille mahdollisuuden säätää sisälämpötilaa tarkasti ja samalla vaikuttaa omaan energiankulutukseensa. Vanhemmissa rakennuksissa tarvitaan rakenteiden tiivistämistä ja lisäeristämistä, mikäli kohteeseen halutaan ilmanvaihtolämmitys.

LÄHTEET

176/2013. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 24.11.2014]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/6186.pdf>

Asuntokanta 2013 [Tilastokeskuksen www-sivuilla]. [Viitattu 21.11.2014]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/asas/2013/01/asas_2013_01_2014-10-16_kat_001_fi.html

Asuntokunnat ja asuinolot 2011 [Tilastokeskuksen www-sivuilla]. [Viitattu 11.11.2014]. Saatavissa: http://www.stat.fi/til/asas/2011/01/asas_2011_01_2012-10-24_kat_002_fi.html

Climecon hinnasto 2014. Climecon. 2014. [Verkkodokumentti.] [Viitattu 22.11.2014] http://www.climecon.fi/download.php?liite_id=10068

D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2012. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.

D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.

D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2013. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki: Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto.

Diaesitys kaukolämmön hinnan kehityksestä. Energiateollisuus. 2014. [Verkkodokumentti.] [Viitattu 22.11.2014] Saatavissa: http://energia.fi/sites/default/files/liite2_kl-hinta_010714_0.ppt

ECO-Ilmanlämmittimet. 2012. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.11.2014]. Saatavissa: www.climecon.fi/download.php?liite_id=9744

Energiatodistuksen laadintaesimerkki 1970 rakennettu kerrostalo. 2013 Ympäristöministeriö. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 24.11.2014]. Saatavissa: www.ymparisto.fi/download/noname/%7B9B87CA78-23E1-44BB-A15A-1CFED8E398BE%7D/93682

Energiatehokkuus eri aikakausien rakennuksissa. 2014. [Korjaustiedon www-sivulta]. [Viitattu 11.11.2014]. Saatavissa: <http://www.korjaustieto.fi/taloyhtiot/energiakorjaukset/energiankulutus-asuinkerrostalossa/paljonko-on-paljon-energiatehokkuus-eri-aikakausien-rakennuksissa.html>

Energiaviraston hintatilasto. 2014. [www-sivu]. [Viitattu 11.11.2014] Saatavissa: <http://www.sahkonhintafin.fi/summariesandgraphs>

Ilmanvaihto ja ilmastointijärjestelmän yleisarviointi. Suomen sisäilmayhdistys ry. 2012. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.11.2014]. Saatavissa: <http://www.sulvi.fi/wp-content/uploads/2013/12/Ilmanvaihto-ja-ilmastointij%C3%A4rjestelm%C3%A4n-yleisarviointi.pdf>

Motiva. 2014. Matalaenergiatalon määritelmiä. [www-sivu]. [Viitattu 11.11.2014] Saatavissa: http://www.motiva.fi/rakentaminen/millainen_on_energiatehokas_pientalon_matalaenergiatalon_maaritelmia

Mäki Jarkko. Ilmanvaihto- ja ilmastointitekniikan kurssi. 2013. Luennot.

Paroc Talotekniikka. 2014. [Paroc:n www-sivuilla]. [Viitattu 11.11.2014] Saatavissa: <http://www.paroc.fi/knowhow/energiatehokkuus/rakennusten-suunnittelu/talotekniikka>

Rakennusperintö, asuinkerrostaloarkkitehtuurin vaiheet. [Rakennusperinto.fi:n www-sivuilla]. [Viitattu 11.11.2014] Saatavissa: http://www.rakennusperinto.fi/kulttuuriymparisto/artikkelit/fi_FI/asuinkerrostalot4/

Seppänen Olli. 1995. Rakennusten lämmitys. Espoo: Suomen LVI-yhdistyksen liitto ry.

Seppänen Olli. 1996. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Espoo: Suomen LVI-yhdistyksen liitto.

Seppänen Olli & Seppänen Matti. 1997. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Helsinki: Sisäilmayhdistys ry.

Seppänen Olli. 2012. Rakennusten energiatehokkuus Euroopassa. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.11.2014]. Saatavissa: http://www.sitra.fi/sites/default/files/u489/olliseppanen_2012-6-7.pdf

Suomen rakennusinsinööriliitto ry RIL. 2009. Matalaenergiarakentaminen. Helsinki.

Suomen sisäilmayhdistys ry. Sisäilmastoluokitus 2008. 2008. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.11.2014] Saatavissa: <http://whm12.louhi.net/~sisailma/wp-content/uploads/2013/03/sisailmastoluokitus2008-esittely.pdf>

Säteri et al. 1999. Kerrostalojen sisäilmaston ja energiatalouden parantaminen. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.11.2014]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1945.pdf>

Taloon.fi. Vesikiertoisten pattereiden hinnat. [www-sivu]. [Viitattu 11.11.2014] Saatavissa: <http://www.taloon.com/vesikiertoiset-patterit/4204/dg?gclid=COCZt9TYjcICFULncgod-TUA4A>

Virta Jari & Pylsy Petri. 2011. Taloyhtiön energiakirja. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 11.11.2014]. Saatavissa: http://issuu.com/mediat/docs/taloyhtion_energiakirja

VTT. 2014. Eko- ja energiatehokkuus alueiden ja rakennusten uudistamisessa. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 24.11.2014]. Saatavissa: http://www.vtt.fi/files/news/2010/korjausrakentamisen_sem/nieminen_eko_energiatehokkuus_vtt2010.pdf

Ympäristö.fi. Rakentaminen [www-sivu]. [Viitattu 11.11.2014] Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus

Ympäristöministeriö. 2013. [Verkkodokumentti]. [Viitattu 24.11.2014]. Saatavissa: www.ymparisto.fi/download/noname/%7B15C4BA1B-39C7-483C-9306-6635D392547F%7D/31392_YM_9/2013

Ulkoilman keskilämpötila vyöhykkeellä II (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, L2.2)

Kuukausi	Tuntien lukumäärä	Ulkoilman keskilämpötila T_u
Tammikuu	744	-3,97
Helmikuu	672	-4,5
Maaliskuu	744	-2,58
Huhtikuu	720	4,5
Toukokuu	744	10,76
Kesäkuu	720	14,23
Heinäkuu	744	17,3
Elokuu	744	16,05
Syyskuu	720	10,53
Lokakuu	744	6,2
Marraskuu	720	0,5
Joulukuu	744	-2,19
Koko vuosi	8760	5,57

Maan lämpötila vyöhykkeellä II. (D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012, L2.2)

Kuukausi	Alapohjan alapuolisen maan lämpötila $T_{\text{maa,kuukausi}}$ °C	Maan vuosi- ja kuukausilämpötilan erotus $T_{\text{maa,kuukausi}}$ °C
Tammikuu	10,57	0
Helmikuu	9,57	-1
Maaliskuu	8,57	-2
Huhtikuu	7,57	-3
Toukokuu	7,57	-3
Kesäkuu	8,57	-2
Heinäkuu	10,57	0
Elokuu	11,57	1
Syyskuu	12,57	2
Lokakuu	13,57	3
Marraskuu	13,57	3
Joulukuu	12,57	2
Koko vuosi	10,57	0,00