



Aron Ausin

Huoneistokohtainen ilmanvaihto jäähdytyksellä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

5.5.2025

Tiivistelmä

Tekijä: Aron Ausin
Otsikko: Huoneistokohtainen ilmanvaihto jäähdytyksellä
Sivumäärä: 32 sivua + 2 liitettä
Aika: 5.5.2025

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Talotekniikka
Ammatillinen pääaine: LVI-suunnittelu
Ohjaajat: Yliopettaja Aki Valkeapää,
Koulutuspäällikkö, projektipäällikkö Matti Järvinen

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää energiatehokkaimmat sekä ympäristöystävällisimmät jäähdytysmenetelmät huoneistokohtaista ilmanvaihtoa toteutettaessa. Työn tavoitteena oli helpottaa ilmanvaihdon suunnittelua ja tuoda esille eri asuinrakennustyypeille sopivia jäähdytysratkaisuja. Insinööriyö kohdennettiin LVI-suunnittelijoiden tueksi.

Työssä käytettiin lähteinä alan kirjallisuutta, Suomen lainsäädäntöä, rakentamismääräyksiä, kansallisia ja kansainvälisiä ohjeita ja oppaita sekä LVI- ja RT-kortteja. Lisäksi haastateltiin asiantuntijoita kokemuseräisen tiedon saamiseksi.

Insinööriyöhön on kerätty tietoa huoneistokohtaisen ilmanvaihdon suunnittelua ja mitoitusta koskevista säädöksistä ja oppaista, jäähdytystehontarpeen laskennasta sekä käytettävissä olevista jäähdytyksen energianlähteistä.

Selvityksessä voitiin todeta, että asuinrakennuksissa jäähdytystä on ensisijaisesti pyrittävä toteuttamaan passiivisin keinoin, minkä jälkeen voidaan siirtyä aktiiviseen jäähdytykseen. Työn tuloksena oli ilmanvaihdon ja jäähdytyksen suunnittelua tukevat vuokaaviot etenemissuunnitelmasta sekä eri jäähdytysratkaisuista.

Avainsanat: huoneistokohtainen ilmanvaihto, ilmamääräperusteinen jäähdytys, energiatehokkuus, ympäristöystävällisyys

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Aron Ausin
Title: Apartment Specific Ventilation with Cooling
Number of Pages: 32 pages + 2 appendices
Date: 5th May 2025

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Engineering
Supervisors: Aki Valkeapää, Principal Lecturer
Matti Järvinen, Head of Training, Project Manager

The purpose of this thesis was to identify the most energy efficient and environmentally friendly cooling methods suitable for residential buildings as part of an apartment-specific ventilation. The target of the thesis was to become a supportive guideline for HVAC designers.

The sources of the thesis were Finnish legislation, construction regulations, literature in the field, national and international guidelines, HVAC and building information codes and experience-based information from the experts on the subject. The thesis gathered information from current regulations and guides on the design and dimensioning of apartment-specific ventilation, cooling power calculation and available cooling energy sources.

The final year project established that cooling in residential buildings must primarily be carried out by passive cooling. Only after passive cooling is not enough should a switch to active cooling be allowed. The thesis resulted in two roadmaps to facilitate the planning of the apartment-specific ventilation and air volume-based cooling which can be found in the appendices.

Keywords: HVAC, guideline, roadmap, instructions

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Asuinrakennusten yleiset ilmanvaihdon suunnitteluohjeet	2
2.1	Asuinrakennuksen ilmanvaihdon mitoitusperusteet ja suunnittelu	2
2.1.1	Mitoitus lämpökuormien perusteella	3
2.1.2	Mitoitus ohjearvojen mukaan	4
3	Sisäilmasto	6
3.1.1	Sisäilmaston suunnittelu	6
3.1.2	Sisäilmaston laatuluokitus	6
3.1.3	Sisäilman laatu	11
3.1.4	Sisäilman kosteuden huomioiminen jäähdytyksessä	11
4	Rakennuksen jäähdytystehontarpeen määrittäminen	13
5	Asuinrakennusten ilmanvaihtojärjestelmät ja toimintaperiaatteet	15
5.1	Pientalojen, paritalojen ja rivitalojen ilmanvaihtojärjestelmät	15
5.2	Kerrostalojen ilmanvaihtojärjestelmät	16
5.2.1	Keskitetty ilmanvaihto	16
5.2.2	Hajautettu ilmanvaihto	16
6	Ilmanvaihdon jäähdytysjärjestelmät	18
6.1	Koneellinen jäähdytys	18
6.1.1	Suorahöyrysteinen jäähdytys	18
6.1.2	Välillinen jäähdytys	19
6.2	Kaukojäähdytys	21
6.3	Jäähdytys tuloilmalla	22
6.4	Passiivinen jäähdytys	23
6.5	Vapaajäähdytys	24
6.5.1	Yötuuletus	24
6.5.2	Maaperä ja vesistöt	24
7	Lämpöpumput	25

7.1.1	Ilmalämpöpumppu	26
7.1.2	Ilma-vesilämpöpumppu	27
7.1.3	Maalämpöpumppu	27
7.1.4	Poistoilmalämpöpumppu	29
8	Yhteenveto	32
	Lähteet	34
	Liitteet	
	Liite 1: Vuokaavio 1	
	Liite 2: Vuokaavio 2	

Lyhenteet

LTO: *Lämmöntalteenotto.* Poistoilman lämmön tai hukkalämmön talteenotto ja hyödyntäminen lämmityksessä.

PILP: *Poistoilmalämpöpumppu.* Laite, joka hyödyntää poistoilman lämpöenergiaa lämmityksessä tai jäähdytyksessä.

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena on selvittää ja kerätä yhteen energiatehokkaimmat sekä ympäristöystävällisimmät ratkaisut huoneistokohtaiselle ilmanvaihdolle jäähdytyksellä ja tehdä niistä räätälöity etenemissuunnitelma asuinrakennuksille, jotta suunnittelutyö selkeytyisi ja samalla helpottuisi.

Insinööriyön tarve on ilmaantunut ympäristö- ja energiatehokkuusvaatimusten kiristyessä, mutta myös sisäilmasto-olosuhteiden parantamisen ja asumisen terveellisyyden vuoksi. Työ on tehty myös suunnittelutyön helpottamiseksi.

Tutkimuksessa toteutetaan haastatteluja alan asiantuntijoiden kanssa sähköpostitse sekä nojaututaan alan kirjallisuuteen, suunnitteluohjeisiin, lainsäädäntöön ja rakentamismääräyksiin.

Insinööriyön tilaajana toimii Hepacon Oy, joka on kotimaisessa omistuksessa oleva talotekniikan konsulttitoimisto. Työ laaditaan LVI-suunnittelijoiden tueksi suunniteltaessa asuinrakennusten ilmanvaihtoa jäähdytyksellä.

Insinööriyö rajataan käsittelemään pelkästään asuinrakennusten eli omakotitalojen, paritalojen, rivitalojen ja kerrostalojen huoneistokohtaista ilmanvaihtoa jäähdytyksellä. Insinööriyö on tehty huomioiden sen tekohetkellä voimassa olevat lait sekä rakentamismääräykset. Asetukset ovat päivittyneet 1.1.2025 rakentamislain uudistuksen myötä.

2 Asuinrakennusten yleiset ilmanvaihdon suunnitteluohjeet

2.1 Asuinrakennuksen ilmanvaihdon mitoitusperusteet ja suunnittelu

Ilmanvaihdon suunnittelu perustuu ympäristöministeriön rakentamismääräysten asetuksiin rakennuksen terveellisyydestä (1009/2017) ja energiatehokkuudesta (1010/2017), joita tukevat eri suunnitteluohjeet sekä oppaat, joita julkaisevat FINVAC ry, Talotekniikkainfo ja Sisäilmayhdistys ry. Asetukset ovat päivittyneet 1.1.2025.

Ilmanvaihto suunnitellaan yleensä tasapainoon niin, että tulo- ja poistoilmavirrat ovat yhtä suuret, eikä näin rakennukseen muodostu yli- tai alipainetta. Sekä yli- että alipaine voivat saada aikaan kosteusvaurioita rakenteissa ylipaineen siirtäessä sisäilman kosteutta rakenteisiin ja vastaavasti alipaineen tuodessa ulkoilman kosteutta rakenteisiin. Samoin alipaine aiheuttaa rakenteiden ja alapohjan epäpuhtauksien siirtymistä huoneilmaan. (Sandberg 2014: 97.)

Pien- ja rivitaloissa, joissa on useampia kerroksia, tulee ottaa huomioon myös kerroskohtainen ilmavirtatasapaino sekä ilman tiheyserosta aiheutuvat painerot sisä- ja ulkoilman välillä. Ylemmissä kerroksissa tiheusero voi saada aikaan ylipainetta ulkoilmaan nähden. (Sandberg 2014: 97.)

Asuinrakennuksissa tuloilma ohjataan puhtaisiin oleskelutiloihin, kuten olohuoneisiin sekä makuuhuoneisiin, ja poistoilma poistetaan likaisista tiloista, kuten WC- ja kylpyhuonetiloista sekä siivouskomeroista ja keittiöstä. Tällä tavoin ilmavirtausta tapahtuu hallitusti puhtaista tiloista kohti epäpuhtaita tiloja. Poikkeuksena on sauna, jossa sekä tulo- että poistoilmanvaihto toteutetaan samassa tilassa. (Sandberg 2014: 97.)

Ilmanvaihdon asunnossa pitää olla tehostettavissa 30 % käyttöajan ilmanvaihtoa suuremmaksi ja enintään 60 % pienemmäksi asunnon ollessa tyhjiällä ilman erityisiä epäpuhtaus- tai kosteuslähteitä. Kokonaistulo- ja poistoilmavirrat voivat poiketa enintään 10 % toisistaan ja suunnitteluarvoistaan. (FINVAC ry 2019: 5.)

2.1.1 Mitoitus lämpökuormien perusteella

Lämpöä muodostuu huonetilaan eri lämmönlähteistä, joista lämpö siirtyy huoneilmaan konvektiolla tai säteilyllä. (Sandberg 2014: 104.)

Huoneen jäähdystystehontarve on aina pienempi, kuin samanaikainen lämpökuormien summa, koska huoneessa tapahtuu lämmön varastoitumista rakenteisiin ja huoneilman lämpötilan sallitaan liukua kesällä. Huoneen jäähdystystehontarvetta vastaava tuloilmavirta voidaan laskea kaavasta:

$$q_v = \frac{\Phi}{\rho_i c_{pi} (T_{poisto} - T_{tulo})} \quad (1)$$

q_v on ilmamäärä (m^3/s)

Φ on lämpökuorma (kJ/s)

ρ_i on ilman tiheys (kg/m^3)

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti (kJ/kgK)

T_{poisto} on poistoilman lämpötila (K)

T_{tulo} on tuloilman lämpötila (K)

2.1.2 Mitoitus ohjearvojen mukaan

Asuinhuoneistojen ilmamäärät voidaan mitoittaa ohjearvojen mukaan, jotka löytyvät esim. FINVAC ry:n oppaasta Opas asuinrakennuksen ilmanvaihdon mitoitukseen 2019. Kuvassa 1. esitettynä asunnon vähimmäisulkoilmavirrat normaalikäytön aikana ja kuvassa 2. asunnon normaalin käyttötilanteen vähimmäisilma-
virrat.

Taulukko 1. Asunnon vähimmäisulkoilmavirta normaalikäytön aikana.

Asunnon ensimmäisen (tai ainoan) asuinhuoneen (ah) ulkoilmavirta on 12 dm³/s ja seuraavien huoneiden 8 dm³/s. Ulkoilmavirtaa tulee suurentaa, jos asunnossa on useampi kuin yksi yli 11 m² suuruinen makuuhuone.

Pinta-ala m ²	Ulkoilmavirta dm ³ /s					
	1 ah	2 ah	3 ah	4 ah	5 ah	6 ah
20	18					
30	18					
40	18	20				
50	18	20				
60		21	28			
70		25	28			
80		28	28	36		
100			35	36	44	
120			42	42	44	52
150				53	53	53

HUOM: Asuinhuoneita ovat olohuoneet, makuuhuoneet ja muut vastaavat tilat. Mahdollisen saunan ulkoilmavirta on lisättävä taulukon 1 kokonaisilmavirtoihin. Muiden pinta-ala-/huonemääräyhdistelmien osalta noudatetaan vaatimuksia 1-5.

Kuva 1. Mitoitustaulukko asunnon vähimmäisulkoilmavirroista. (Opas asuinrakennusten ilmanvaihdon mitoitukseen 2019: 5).

Taulukko 2. Asunnon tilojen normaalin käyttötilanteen vähimmäisilmavirrat.

Huonetila	Ulkoilma- virta dm ³ /s	Poistoilma- virta dm ³ /s	Huomautus
Suurin tai ainoa makuuhuone tai yli 11 m ² makuuhuone	12		
Muut makuuhuoneet	8		
Muut asuinhuoneet kuten olohuone alle 22 m ² , ei kuitenkaan keittiö	8		Ulkoilma voidaan osittain korvata siirtoilmalla makuuhuoneesta.
Muut asuinhuoneet kuten olohuone yli 22 m ² , ei kuitenkaan keittiö	0,35 dm ³ /s,m ²		Ulkoilma voidaan osittain korvata siirtoilmalla makuuhuoneesta.
Keittiötila, keittiö, keittokomero, saarekkekeittiö (KT)		8 (25)	Liesikuvun/keittiötilan ilmavirran tulee tehostustilanteessa olla vähintään 25 dm ³ /s. Ulkoilman saannista tehostuksen aikana on huolehdittava. Ulkoilma voidaan korvata siirtoilmalla asuinhuoneesta
Kylpyhuone WC:llä tai ilman (KPH)		10	Ulkoilma voidaan korvata siirtoilmalla asuinhuoneesta.
Erillinen WC (WC)		7	Ulkoilma voidaan korvata siirtoilmalla asuinhuoneesta.
Vaatehuone (VH)		6	Ulkoilma voidaan korvata siirtoilmalla asuinhuoneesta.
Varasto		6	Ulkoilma voidaan korvata siirtoilmalla asuinhuoneesta.
Huoneistosauna (S)	6	6	
Kylpyhuoneesta erillään oleva kodinhoituhuone		8	Ulkoilma voidaan korvata siirtoilmalla asuinhuoneesta.
Tekninen tila		3	Mitoitetaan lämpökuorman mukaan, vähintään 3 dm ³ /s.

Kuva 2. Huonekohtaiset vähimmäisilmavirrat. (Opas asuinrakennusten ilman-
vaihdon mitoittamiseen 2019: 6).

3 Sisäilmasto

3.1.1 Sisäilmaston suunnittelu

Sisäilmastoa suunniteltaessa erityissuunnittelijan on huomioitava sisäilmastoon vaikuttavat tekijät, kuten lämpö-, kosteus- ja henkilökuormitukset sekä muut rakennustuotteiden päästöt ja käyttöön liittyvät epäpuhtaudet. Samoin on huomioitava erilaiset ympäristötekijät, sääolot ja ulkoilman laatu sekä rakennuksen sijainti ja rakennuspaikka. (Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas, päivitetty 11.6.2024.)

Sisäilmaston suunnittelussa tarvitaan suunnitteluarvoja laitteiden tehomitoitukseen sekä tavoiteltavien sisäilmasto-olosuhteiden saavuttamiseksi. Tehomitoitus on sidottava lisäksi sää tietoihin, joilla laskenta suoritetaan. (Seppänen 2014: 13.) Suunnitteluarvot löytyvät sisäilmaston laatuluokituksesta seuraavassa alaluvussa.

3.1.2 Sisäilmaston laatuluokitus

Sisäilmastoluokitus 2018 on tarkoitettu sisäympäristön tavoite- ja suunnitteluarvojen valitsemiseksi ja asettamiseksi. Rakennushankkeeseen ryhtyvä tai tilaaja valitsee tavoitearvot yhteistyössä suunnittelijoiden kanssa. (Sisäilmastoluokitus 2018: 3.)

Sisäilmasto on jaettu kolmeen laatuluokkaan, joista S1 vastaa yksilöllistä sisäilmastoa, S2 hyvää sisäilmastoa ja S3 tyydyttävää sisäilmastoa. (Sisäilmastoluokitus 2018: 3.)

S1: Yksilöllinen sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllälämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet, ja hyviä valaistusolosuhteita on tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus.

S2: Hyvä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät. Vetoa ei yleensä esiinny, mutta yllälämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet.

S3: Tyydyttävä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät maankäyttö- ja rakennuslain nojalla annetut säädökset ja terveydensuojelulain perusteella asetetut vähimmäisvaatimukset. Asetusten vaatimusten täytyminen ei välttämättä edellytä S3-luokan tavoitearvojen käyttämistä. S3-luokan arvot esitetään tässä ensisijaisesti vertailun tueksi.

Eri suureiden tavoite- ja suunnitteluarvot voidaan valita eri laatuluokista. Tarvittaessa jonkin suureen arvo voidaan määrittellä tapauskohtaisesti.

Kuva 3. Sisäilmaston laatuluokitus. (Sisäilmastoluokitus 2018: 5).

1.3.2 Lämpöolosuhteiden tavoitearvot

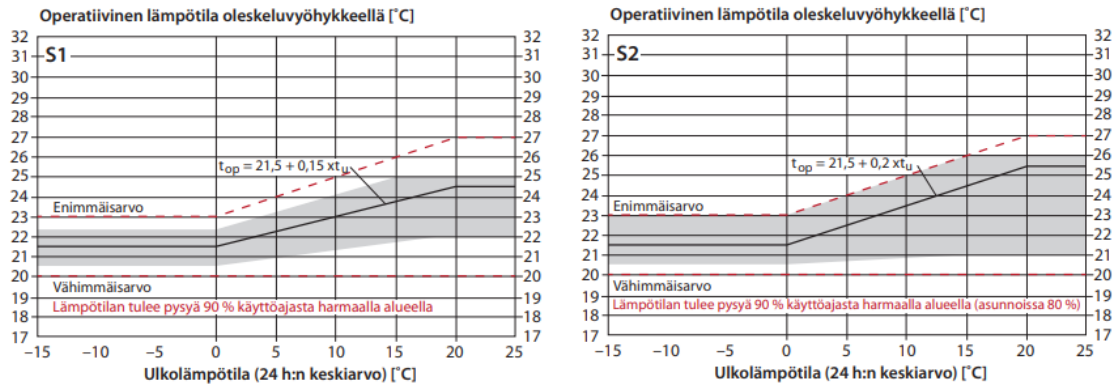
Taulukko 1.3.1. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot eri sisäilmastoluokissa.

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila t_{op} [°C]			21
$t_u \leq 0$ °C	21,5 ¹⁾	21,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,15 \times t_u$ ¹⁾	$21,5 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	24,5 ¹⁾	25,5	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama ylöspäin			
$t_u \leq 0$ °C	< 22,5	< 23	
$0 < t_u \leq 15$ °C	$< 22,5 + 0,166 \times t_u$	$< 23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 25	< 26	
Lämpötilan sallittu vaihteluväli [°C] poikkeama alaspäin			
$t_u \leq 0$ °C	> 20,5	> 20,5	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$> 20,5 + 0,075 \times t_u$	$> 20,5 + 0,025 \times t_u$	
$t_u > 20$ °C	> 22	> 21	
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]			
$t_u \leq 0$ °C	< 23	< 23	
$0 < t_u \leq 20$ °C	$< 23 + 0,2 \times t_u$	$< 23 + 0,2 \times t_u$	
$t_u > 15$ °C	< 27	< 27	
$t_u \leq 10$ °C			< 25 (26) ²⁾
$t_u > 10$ °C			< 27 (32) ²⁾
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	> 20	> 20	> 20 (18) ²⁾
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjasta]			
toimi- ja opetustilat	90 %	90 %	
asunnot	90 %	80 %	

¹⁾ S1-luokassa operatiivisen lämpötilan on oltava tila/huoneistokohtaisesti aseteltavissa välillä $t_{op} \pm 1,5$ °C. Jos samassa huoneessa on useita henkilöitä, käytetään lämpötilan tavoitetasona taulukossa esitettyjä tavoitearvoja.

²⁾ Suluissa asumisterveysasetuksen mukaiset toimenpiderajat.

Kuva 4. Sisäilmaston laatuluokitus. (Sisäilmastoluokitus 2018: 6).



Kuva 2. Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot. Tummennettu alue kuvaa tavoitearvoaluetta (tavoitelämpötila + lämpötilan sallittu vaihteluväli).

Kuva 5. Sisäilmaston laatuluokitus. (Sisäilmastoluokitus 2018: 6).

S1- ja S2-sisäilmastoluokituksessa on asetettu lämpötilaraja-arvot ulkolämpötilan mukaan. Punaisella katkoviivalla on ilmoitettu enimmäis- ja vähimmäisarvot ja mustalla viivalla operatiivinen tavoitelämpötila. Harmaa alue kuvastaa operatiivisen lämpötilan sallittua vaihtelua. Asuinrakennuksissa voidaan käyttää S3-luokan arvoja, ellei tilaaja toisin vaadi. (Sisäilmastoluokitus 2018: 3.)

Käyttötarkoitusluokka	Ulkoilmavirta dm ³ /(s m ²)	Lämmitysraja °C	Jäähdytysraja °C
Luokka 1)	0,4	21	27
Luokka 2)	0,5	21	27
Luokka 3)	2	21	25
Luokka 4)	2	18	25
Luokka 5)	2	21	25
Luokka 6)	3	21	25
Luokka 7)	2	18	25
Luokka 8)	4	22	25

Kuva 6. Ulkoilmavirrat ja huonelämpötilat eri käyttötarkoitusluokissa. (Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 2017: § 10).

Kuvasta 6 nähdään, että asuinrakennuksissa (Luokka 1 = Pienet asuinrakennukset ja Luokka 2 Asuinkerrostalot, joissa asuntoja vähintään kolmessa kerroksessa) ylin lämpötilaraja jäähdytykselle on 27 celsiusastetta.

27 celsiusastetta vastaa S3-sisäilmastoluokan tavoitearvoa, kun katsotaan ylempää kuvaa 4.

3.1.3 Sisäilman laatu

Sisäilman laadusta puhuttaessa tarkastellaan lähinnä siihen vaikuttavia tekijöitä, kuten kemiallisia, fysikaalisia ja biologisia tekijöitä, sekä ilmanvaihtoa ja sen toimivuutta.

Sisäilman epäpuhtauslähteitä voivat olla esim. rakennusmateriaaleista vapautuvat epäpuhtaudet, kuten formaldehydi, asbesti ja mineraalivillahiukkaset, sekä sisustusmateriaaleista vapautuvat pienhiukkaset ja niihin absorboituneet epäpuhtaudet, kuten esim. tupakansavu. Epäpuhtauslähteitä voivat olla myös yleisesti materiaalit, jotka keräävät herkästi likaa itseensä ja myöhemmin vapauttavat lian sisäilmaan pölynä (esim. kokolattiamatto). Ulkoilmasta lähtöisin olevia hiukkasia tai kaasuja voivat olla hiilidioksidi, typpioksidi, hiilimonoksidi, otsoni, radon tai biologiset epäpuhtauslähteet, kuten allergeenit, pölypunkit, homeet, legionellabakteerit ja muut bakteerit sekä virukset. (Seppänen 2014: 20–35.)

Sisäilmanlaatua saadaan ylläpidettyä käyttämällä M1-luokan rakennusmateriaaleja, jotka ovat vähäpäästöisiä. Yleisesti pitämällä tilat puhtaina sekä oikein toteutetulla ilmanvaihdolla saadaan estettyä epäpuhtauksien leviäminen sisäilmaan. Myös ilmanvaihtolaitteiston oikeaoppinen käyttö sekä säännöllinen huoltaminen parantaa sisäilmanlaatua. Suodattimien vaihto vähintään kuuden kuukauden välein sekä tulo- ja poistoilmakanaviston nuohous viiden vuoden välein. (Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas, päivitetty 11.6.2024.)

3.1.4 Sisäilman kosteuden huomioiminen jäähdytyksessä

Ilmankosteudella tarkoitetaan ilmassa olevaa vesihöyryä, jota ei normaalisti näe tai tunne. Ilman lämpötila määrittää vesihöyryn määrän ilmassa. Mitä korkeampi lämpötila, sitä enemmän ilma pystyy sisältämään vesihöyryä. Vastaavasti mitä matalampi lämpötila, sitä vähemmän ilma pystyy sisältämään vesihöyryä. (Ilman kosteus 2020.)

Sisäilmastoluokituksessa ei ole asetettu tavoitearvoja ilman suhteelliselle kosteudelle. Ilman suhteellinen kosteus kertoo, kuinka paljon vesihöyryä on ilmassa suhteessa siihen, kuinka paljon kyseisessä lämpötilassa oleva ilma pystyy sisältämään enimmillään vesihöyryä. (Ilman kosteus 2020.)

Kastepistelämpötila määrittää, missä lämpötilassa olevan ilman vesihöyry alkaa tiivistyä nesteeksi. (Ilman kosteus 2020). Jäähdytyksessä tämä on ehdottoman tärkeää huomioida ja sen tarkastelussa käytetään Mollier-diagrammia. (Mollier-diagrammi.)

Kesäajan jäähdytyslaitteiden suunnittelussa ja lämpötilojen laskennassa käytetään ISO 15927-4:2005 standardin mukaista energialaskennan testivuotta, Ilmatieteenlaitoksen testivuoden säätietoja tai erikseen sovittua ajankohtaa, joka on määritetty sopimusasiakirjoissa. (Sisäilmastoluokitus 2018: 14.)

Jäähdytyksen mitoituksessa on käytetty ulkoilman entalpian arvona 57 kJ/kg (Pohjois-Suomessa 52 kJ/kg) ja lämpötilan arvona vähintään +30 celsiusastetta. (Sisäilmastoluokitus 2018: 14). Pelkästään sisäilmastoluokituksen mukainen 57 kJ/kg:n mitoitusarvo ei kuitenkaan riitä ylläpitämään tuloilman lämpötilan asetusarvoa toteutuneen vuoden 2018 säätiedoilla, jolloin tuloilmavirtaa on lisättävä ja jäähdytyspatterin mitoitusta kasvatettava. (Jäähdytystehon mitoitusopas 2024: 12).

Jäähdytyspatteri myös kuivaa tuloilmaa, jolloin sen sisältämä kosteussisältö pienenee. Jäähdytyspatterille tuleva menoveden lämpötila, virtaama sekä patterin konduktanssi vaikuttavat kuivatuksen määrään. Tämä on huomioitava patterin tehonmitoituksessa. Esimerkiksi kaukojäähdytyksessä menoveden lämpötilat ovat noin 3–5 celsiusastetta korkeammat kuin vedenjäähdytyskoneissa. (Jäähdytystehon mitoitusopas 2024: 12.)

4 Rakennuksen jäähdytystehontarpeen määrittäminen

Jäähdytystarpeen määrittelyssä on tavoiteltava lämpökuormien minimoimista sopivilla rakenne-, auringonsuojaus- ja valaistusratkaisuilla. Jäljelle jäävät lämpökuormat poistetaan ilmastoinnin ja jäähdytyksen avulla. (Rakennuksen jäähdytystarpeen määrittäminen 1992: 1.)

Luonnosvaiheessa selvitetään laskennallisesti rakennuksen kokonaisjäähdytystehontarve ja valitaan jäähdytyksen toteutustapa. Jäähdytykselle tehdään tilavauokset ja lasketaan sähkötehtäarve. Suunnittelun edetessä lasketaan huonekohtaiset jäähdytystehontarpeet, joiden perusteella mitoitetaan huoneeseen tuotava jäähdytysteho. Selvittämällä huoneiden jäähdytystehontarpeen samanaikaisuus voidaan tehdä tarkempi jäähdytyslaitteiden ja – verkostojen mitoitus. (Rakennuksen jäähdytystarpeen määrittäminen 1992: 2.)

Säätiedot ovat myös oleellisia jäähdytystä suunniteltaessa. Kullekin paikkakunnalle on olemassa säätiedot, jotka löytyvät Ilmatieteen laitoksen verkkosivuilta. Säätietona ei suositella käytettäväksi kyseessä olevan vuoden säätietoa, vaan mitoituspäivää. Mitoituspäivää käytettäessä suoritetaan esisimulointi, joka on vähintään 14 vrk. Tänä aikana rakennuksen lämpötilat ehtivät tasapainottua. Simulaatio kannattaa suorittaa usean eri kuukauden mitoituspäiville, jolloin saadaan korkein mahdollinen lämpökuorma selville. Suomen säävyöhykkeille löytyy mitoituspäivät Rakentamisen mitoitussäät (RAMI) -hankkeesta. Siinä on tiedossa nykyilmasto sekä eri päästöskenaarioiden mukaiset ilmastot. (Jäähdytystehon mitoitusopas 2024: 23.)

Sisäilmastolle asetetaan tavoitearvot, jotka vaikuttavat jäähdytystehontarpeen suuruuteen. Yleensä ne valitaan niin, että oleskelutilat ovat viihtyisiä ihmisille, eivätkä ilman liike, lämpötilasäteily, lämpötilan vaihtelu ja pintalämpötilat saa heikentää sitä. Samoin on huomioitava melu. Mikäli jäähdytyslaitteisto on ohjattavissa käyttäjän tilan toimesta, voidaan sallia melutason vaihtelu, kun normaaliassa käyttötilanteessa äänentehotasot eivät ylitä sallittuja arvoja. Huonelämpötila voi vaihdella 20–27 celsiusasteen välillä lämmityskauden ulkopuolella.

(Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 2017 § 4.)

Taulukko 2.4.1. Tilojen käyttöprofiilit ja sisäiset lämpökuormat, jos todellista käyttöä ei ole tiedossa.

Rakennus/tila	Kellonaika	Käyttöaika		Henkilö- tiheys m ² /hlö	Käyttö- aste	Valaistus W/m ²	Laitteet W/m ²	Ihmiset ^{1,4)} W/m ²
		h/vrk	vrk/vko					
Asuintilat (pientalo)	00:00–24:00	24	7	37	0,6	8 ²⁾	2,4 ³⁾	2
Asuintilat (kerrostalo)	00:00–24:00	24	7	25	0,6	8 ²⁾	3 ³⁾	3
Toimistotilat	07:00–18:00	11	5	12	0,55	12	15	6
Neuvottelutilat	08:00–17:00	9	5	3	0,6	12	18...60	25
Opetustilat	08:00–16:00	8	5	2	0,5	18	12	35
Päiväkodin ryhmätilat	07:00–18:00	11	5	2	0,4	18	12	35
Liiketilat	07:00–21:00	14	7	17	0,55	15...70	8	5
Hotellihuone	00:00–24:00	24	7	19	0,5	14	7	4
Ravintolatilat	10:00–22:00	12	7	3	0,4	20	20	26
Urheilutilat	07:00–23:00	16	7	21	0,6	20	24	5
Terveystilat	00:00–24:00	24	7	8	0,8	9	3	10

¹⁾ ei sisällä latenttia lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6

²⁾ asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1

³⁾ asuinrakennusten laitteiden sähkönkäyttö lasketaan jakamalla lämmönluovutus kertoimella 0,7

⁴⁾ Simulointiohjelmissa käytetään henkilön lämmönluovutuksena 125 W (1,2 met, kehon pinta-ala 1,8 m²). Kouluissa ja päiväkodeissa käytetään lasten lämmönluovutuksena 110 W (1,0 met, kehon pinta-ala 1,8 m²).

Kuva 7. Tilojen käyttöprofiilit ja sisäiset lämpökuormat. (Sisäilmastoluokitus 2018: 14).

5 Asuinrakennusten ilmanvaihtojärjestelmät ja toimintaperiaatteet

Ilmanvaihtojärjestelmät voidaan jaotella koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon, koneelliseen poistoilmanvaihtoon ja painovoimaiseen ilmanvaihtoon. Jälkimmäisin näistä toteutetaan harvemmin sen haasteellisuuden ja toimimattomuuden vuoksi. (Harju. 2008: 109.)

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa toimintaperiaate on lähes sama kuin painovoimaisessa, mutta siinä poisto toteutetaan koneellisesti huippumurin avulla, joka saa aikaan paine-eron ja sen myötä ilmavirtauksen huoneiston sisäilman ja ulkoilman välillä. Koneellisessa poistoilmanvaihdossa ilmanvaihto ei siis ole riippuvainen ulko- ja sisäilman lämpötilaerosta ja niiden tiheydestä, kuten painovoimaisessa ilmanvaihdossa. Tästä syystä yksikerroksisiin rakennuksiin painovoimainen ilmanvaihto ei sovellu. (Harju. 2008: 109–111.)

Koneellisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla saadaan hallitusti ohjattua ilmavirtausta ja sitä kautta ilmanvaihtoa sekä ilman lämmitystä ja jäähdytystä. (Harju. 2008: 112).

5.1 Pientalojen, paritalojen ja rivitalojen ilmanvaihtojärjestelmät

Rivi- ja paritaloissa toteutetaan lähes poikkeuksetta huoneistokohtainen ilmanvaihto, jossa asukkaalla on mahdollisuus vaikuttaa ilmanvaihdon ohjaukseen omien tarpeidensa mukaan. Tässä huomattavaa on kuitenkin se, että asukas ei voi sulkea ilmanvaihtoa kokonaan. (Railio 2024: 118.)

Pientaloissa voidaan toteuttaa myös painovoimainen ilmanvaihto, mutta sisäilmasto-olosuhteiden ylläpidon ja ilmanvaihdon toimivuuden vuoksi ilmanvaihtojärjestelmänä käytetään usein koneellista tulo- ja poistoilmanvaihtoa lämmöntalteenotolla. (Sandberg 2014: 116).

5.2 Kerrostalojen ilmanvaihtojärjestelmät

5.2.1 Keskitetty ilmanvaihto

Asuinkerrostaloissa yleisesti ilmanvaihto on toteutettu koneellisesti ja keskitetysti, missä ilmanvaihtokone sijaitsee asuinkerrosten yläpuolella ja palvelee joko ko. rakennusta tai saman porrashuoneen asuntoja. Keskitetyssä ilmanvaihdossa asukkaalla on mahdollisuus säätää ilmanvaihtoa ilmamäärän säätöpelileillä tai tehostuspelleillä (esim. liesikuvun avulla toteutettava tehostus). Tässä opinnäytetyössä keskitytään kuitenkin pelkästään hajautettuun ilmanvaihtoon.

5.2.2 Hajautettu ilmanvaihto

Hajautettu ilmanvaihto tarkoittaa sitä, että ilmanvaihto toteutetaan tilakohtaisesti sijoittamalla jokaiseen huoneistoon oma ilmanvaihtokone. Etuna tässä on se, että järjestelmä ei vaadi pitkiä kanavistoja eikä erillistä konehuonetta. Poistoilmakanavisto tarvitaan vesikatolle, mikäli ulospuhallusta ei toteuteta kerrostalon ulkoseinältä (Railio 2024: 118.)

Huoneistokohtainen ilmanvaihtokone tekee myös ilmanvaihdon säädöstä ja äänitason hallinnasta helpompaa ja yksilöllisempää. Näin kiinteistö voi myös säästää merkittävästi lämmitys- ja sähköenergian kulutuksessa, sillä esimerkiksi asunnon jäädessä tyhjäksi voi asukas omatoimisesti pienentää ilmanvaihdon tehon minimiin. (Asuntokohtainen ilmanvaihto uuteen kerrostaloon 2024.)

Hajautetulla ilmanvaihdolla estetään myös äänien, hajujen ja tulipalotilanteessa savukaasujen leviäminen huoneistojen välillä. Tämä tarkoittaa sitä, että järjestelmä ei vaadi erillisiä huoltoa ja tarkkailua vaativia säätö- ja palopeltejä. Huoneistokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä tekee myös rakennuksen ilmanvaihdosta riippumatonta ulkoilman lämpötilojen vaihtelusta. Esim. keskitetyssä ilmanvaihtojärjestelmässä tämä voi saada aikaan paine-eroja huoneistojen välillä, jolloin rakennuksen ilmanvaihto ei toimi oikein. Huoneistokohtaisessa

ilmanvaihdossa tätä ongelmaa ei pääse muodostumaan. (Asuntokohtainen ilmanvaihto uuteen kerrostaloon 2024.)

Ilmanvaihtokoneen suodattimien sekä venttiilien likaantumisen ja ulkolämpötilojen vaihtelusta aiheutuva paine-ero voidaan kompensoida vakiovirtauspuhaltimella, joka pitää huolen siitä, että huoneiston ilmanpaine pysyy kaikissa tilanteissa tasaisena. Erityisesti kerrostaloissa vakiovirtausominaisuudesta on paljon hyötyä, koska sillä voidaan kompensoida tuulen vaikutus. Vakiovirtauksella saadaan estettyä ilmanpaineen heittelystä aiheutuvia ongelmia, esim. lämmön pakkautumista ylimpiin kerroksiin ja ylipaineen seurauksena ikkunoiden huurtumista. (Asuntokohtainen ilmanvaihto uuteen kerrostaloon 2024.)

Huoneistokohtainen ilmanvaihtokone voidaan varustaa lämmöntalteenotolla, jossa levylämmönvaihtimen ansiosta ei sekoitu puhdasta ja likaista ilmaa keskenään. Ilmanvaihtokone on helppo ja yksinkertainen säätää ja ottaa käyttöön. Käyttöönoton voi tehdä huoneisto kerrallaan ilmanvaihtoasennusten edetessä, vaikka kaikki huoneistot eivät olisikaan vielä valmiita. (Asuntokohtainen ilmanvaihto uuteen kerrostaloon 2024.)

Huoneistokohtainen ilmanvaihto on edullinen ratkaisu, sillä konehuonetta eikä suuria kanavaroiloja tarvita. Myös liesikupu voidaan kytkeä ilmanvaihtokoneeseen, jolloin vältetään erillisen poistokanavan vienniltä vesikatolle. Liesikuvun poistoilman on mentävä LTO-kennon läpi, jotta se pysyy sulana myös pakkasilla. LTO:n hyötysuhde myös paranee, kun keittiön poistoilmamäärä ohjataan kennolle. (Asuntokohtainen ilmanvaihto uuteen kerrostaloon 2024.)

Ilmanvaihtokone voidaan tarvittaessa varustaa myös jäähdytyspatterilla, joka jäähdyttää tuloilmaa, mutta huoneistossa vaikutuksena on usein vain viilennys pienen tehonsa vuoksi. (Hassi, Eero. Sähköpostikeskustelu).

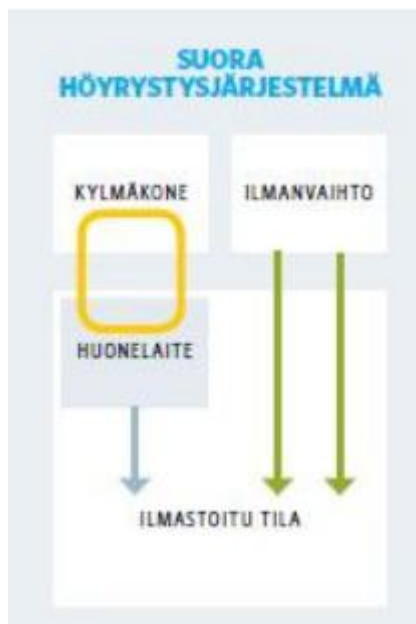
6 Ilmanvaihdon jäähdytysjärjestelmät

6.1 Koneellinen jäähdytys

Koneellinen jäähdytys voidaan toteuttaa paikallisesti tai keskitetysti. Paikalliset jäähdytyslaitteet sijoitetaan yleensä jäähdytettävän tilan läheisyyteen, mistä jäähdytetty ilma kanavoidaan jäähdytettävään tilaan. Paikallisen jäähdytyksen toiminta perustuu kierto- tai korvausilman jäähdyttämiseen. Se voidaan toteuttaa suoralla tai välillisellä jäähdytyksellä. (Seppänen 2004: 211.)

6.1.1 Suorahöyrysteinen jäähdytys

Paikallisjäähdytyslaitteet on tarkoitettu pääasiassa jäähdytykseen, joka tapahtuu kesäaikana. Ne on suunniteltu kuivaamaan ilmaa, mikä johtaa ilman jäähtymiseen tavanomaista voimakkaammin. Tämä taas voi aiheuttaa epämiellyttävää vetoa. Samoin paikallisjäähdytyslaitteistojen äänitasoon on kiinnitettävä erityistä huomiota varsinkin asuinrakennuksissa. (Seppänen 2004: 236.)



Kuva 8. Suoran höyrystysjärjestelmän periaatekaavio. (Laitinen ym. 2016: 5).

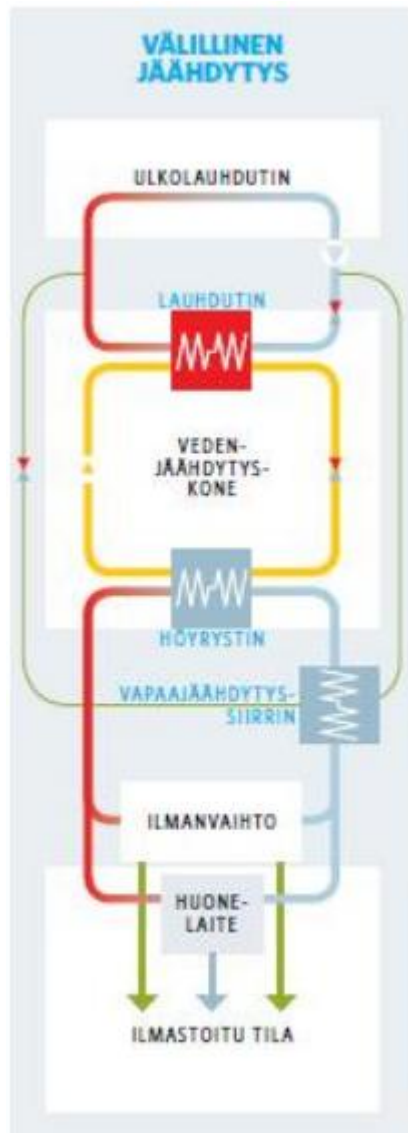
Pientaloissa paikalliset suora­höyrysteiset jää­hdytys­laitteet ovat varsin yleisiä, ja näistä erityisesti ilmalämpöpumppu, joka on split-laite. Split-laitteet koostuvat sisäilmaa kierrättävästä, suodattavasta ja jää­hdyttävästä sisäyksiköstä sekä kompressorin ja lauhduttimen muodostamasta ulkoyksiköstä. (Laitinen ym. 2016: 4.)

Split- ja multisplitin erona on se, että split-järjestelmä palvelee yhtä huonetta yhdellä sisäyksiköllä (yksi höyrystin kytketty ulkoyksikköön), kun taas multisplitissä voidaan jää­hdyttää useampaa huonetta samanaikaisesti (useampi höyrystin kytketty ulkoyksikköön), jolloin kylmäainevirtausta säädetään kuristamalla tilan jää­hdytystehontarpeen mukaisesti ja kompressoria kokonaistehontarpeen mukaan invertteriohjauksella. (Laitinen ym. 2016: 4.)

Toimintansa vuoksi suora­höyrystysjärjestelmät ovat yksinkertaisia, edullisia ja energiatehokkaita, sillä ne eivät vaadi ylimääräisiä lämmönsiirtimiä tai pumppuja. Kehittyneen säätöjärjestelmän ansiosta suora­höyrystysjärjestelmissä kompressoria ohjataan invertteritoimintaperiaatteella, mikä parantaa niiden energiatehokkuutta (COP =Coefficient performance) osakuormitustilanteissa. (Laitinen ym. 2016: 5.)

6.1.2 Välillinen jää­hdytys

Välillinen jää­hdytys tarkoittaa sitä, että jää­hdytys tapahtuu välillisesti jonkin nesteen, usein jää­hdytysvesiverkoston veden avulla. Jää­hdytysvesiverkostolla tarkoitetaan kylmävesiverkostoa, joka palvelee jää­hdytysjärjestelmää. Periaate on sama kuin lämmityspatteriverkostolla. Vesivirtausta säädetään jää­hdytyslaitteiden venttiilien avulla. (Laitinen ym. 2016: 6.)



Kuva 9. Periaatekaavio välillisestä jäähdytyksestä. (Laitinen ym. 2016: 5).

Välillinen jäähdytys voi toimia esim. kaukokylmän tai vedenjäähdytyskoneen avulla, jolloin kylmä vesi siirtyy jäähdytysvesiverkostoa pitkin paikalliselle jäähdytyslaitteelle, esim. puhallinkonvektorille, missä tapahtuu lämmönsiirto tuloilman ja jäähdytysveden välillä. Yleensä huoneilmaa kierrätetään puhallinkonvektorin jäähdytyspatterin kautta ja tuloilma johdetaan erikseen huoneeseen. Tuloilma on myös mahdollista kytkeä puhallinkonvektoriin. (Laitinen ym. 2016: 6.)

Mikäli jäähdytysjärjestelmässä käytetään jäähdytysvesiverkostoa, veden lämpötila pidetään normaalisti vakiona, mutta sitä voidaan myös säätää

ulkolämpötilojen mukaan energiatehokkuuden parantamisen vuoksi, jos mahdollista. (Nestekiertoiset lämmitys- ja jäähdytysverkot. Huonelämpötilojen säätö. 2022: 5).

Jäähdytysvesiverkoston menoveden lämpötila vaihtelee +7...+10 Celsius-asteen välillä kondensoivia jäähdytyksen päätelaitteita käytettäessä, kun taas kondensoimattomia jäähdytyksen päätelaitteita käytettäessä menoveden lämpötila pidetään vakiona välillä +15...+20 Celsius-astetta. Menoveden lämpötilaa voidaan ohjata kastepistesäädöllä, niin että päätelaitteet tai putkisto eivät kondensoi ääriolosuhteissa. (Nestekiertoiset lämmitys- ja jäähdytysverkot. Huonelämpötilojen säätö. 2022: 5.)

6.2 Kaukojäähdytys

Kaukojäähdytys on jäähdytysveden keskitettyä jakelua rakennuksille putkiston välityksellä. Toimintaperiaate on lähes sama, kuin kaukolämmityksellä, sillä poikkeuksella, että kaukojäähdytyksessä asiakkaalta saatu ylimääräinen lämpö siirretään kaukojäähdytysveteen. (Laitinen ym. 2016: 7.)

Kaukojäähdytyksessä kylmää voidaan tuottaa energia- ja kustannustehokkaasti, koska siinä on isommat yksikkökoot, jolloin vapaajäähdytystä, kylmän varastointia sekä jäähdytyksen lauhdelämpöä voidaan hyödyntää helpommin. (Laitinen ym. 2016: 8).

Kaukojäähdytyksessä on myös muita hyötyjä, joita ovat mm. jäähdytyskoneiden äänien ja tärinän välttäminen sekä jäähdytyskoneille varattujen tilojen vapautuminen muuhun käyttöön. Välttyään myös julkisivuestetiikkaa haittaavilta lauhdusyksiköiltä, ja järjestelmän kunnossapito siirtyy energiantuotantolaitoksen vastuulle. (Laitinen ym. 2016: 8.)

6.3 Jäähdytys tuloilmalla

Asuinrakennuksissa on muistettava jäähdytyksen ja viilennyksen erot. Alla Talotekniikkainfon ratkaisut-osiossa käytetyt määritelmät:

Oleskelutilojen **jäähdytyksellä tarkoitetaan** järjestelmää, jolla asunnon sisälämpötila saadaan pidettyä haluttuna lähes kaikissa olosuhteissa.

Oleskelutilojen **viilennyksellä tarkoitetaan** pienitehoisempaa järjestelmää, jolla sisäilman lämpötilan nousua pyritään rajoittamaan tuloilman lämpötilaa laskemalla tai muilla viilennysjärjestelmillä. Suurten auringolta suojaamattomien ikkunoiden, muiden asunnon sisäisten lämmönlähteiden tai korkean ulkolämpötilan aiheuttamaa sisäilman lämpötilan nousua ei voida kokonaan estää. Viilennys kohentaa kuitenkin asumismukavuutta leikkaamalla suurimmat lämpötilannousut ja mahdollisesti poistamalla sisäilmasta kosteutta. (Jäähdytys ja viilennys 2021.)

Joissakin tapauksissa pelkkä ilmanvaihdon kautta toteutettu viilennys voi riittää ylläpitämään tiettyä lämpötilaa huoneistossa, mutta tällöin auringonsuojauksen ja muiden rakenteellisten ratkaisujen lämpökuorman vähentämiseksi pitää olla tehtynä oikein. Ikkunan kautta läpäisevä auringon lämpö voi olla useita kymmeniä watteja neliötä kohti tai jopa 100 W/m^2 , mikäli auringonsuojausta ei ole käytössä. (Jäähdytys ja viilennys 2021.)

Talotekniikkainfon mukaan mitoitusarvo ilmavirran mukana saatavaan jäähdytystehoon on n. 9 W/(l/s) . Makuuhuoneessa tämä vastaa 12 l/s tuloilmavirralla n. 108 W jäähdytystehoa. Jäähdytystehoon vaikuttaa huoneilman ja tuloilman välinen lämpötilaero sekä huoneeseen puhallettavan tuloilman määrä. Esim. 8K lämpötilaerolla ($25^\circ\text{C} - 17^\circ\text{C}$) ja 12 l/s tuloilmamäärällä saatava teho on 115 W, kun taas 21 l/s saadaan 200 W. Ilmavirtoja voidaan kasvattaa viilennystarpeen mukaan siten, että äänitaso ei nouse häiritsevän suureksi. Tässä tapauksessa on kiinnitettävä erityistä huomiota päätelaitteen valintaan.

Viilennyskäytössä on huomioitava ilmanvaihtokanavien tilantarve, sillä tuloilmakanavisto vaatii kondenssitiiviin eristyksen, jos tuloilman lämpötilaa lasketaan alle kanavaa ympäröivän ilman kastepisteen. Kastepisteen alitus aiheuttaa

ilman kosteuden kondensoitumista kanavan ulkopintaan. Sisäpintaan kosteus voi tiivistyä huonosti eristetyssä poistoilmakanavassa, esimerkiksi kylmässä ulkotalossa ja etenkin pesuhuoneen poistoilmakanavassa.

Harvemmin pelkkä tuloilman viilennys riittää jäähdyttämään huonetta kokonaan, minkä vuoksi rinnalle tarvitaan tehokkaampi jäähdytysjärjestelmä, kuten esim. puhallinkonvektorijärjestelmä tai ilmalämpöpumppu. (Niiranen, Tomi. Sähköpostikeskustelu).

6.4 Passiivinen jäähdytys

Huoneistojen yllämpenemistä voidaan hallita merkittävästi myös passiivisin keinoin, ja siihen on kiinnitettävä erityistä huomiota jo varhaisessa suunnitteluvaiheessa. Suunniteltaessa passiivista jäähdytystä on kiinnitettävä huomiota rakenteellisiin seikkoihin, kuten mm. ikkunoiden suuntaukseen ja niiden g-arvoihin, ulkovaipan rakennusmateriaaleihin ja niiden U-arvoihin sekä rakennuksen ilmatiiveyteen. Passiivinen jäähdytys eroaa aktiivisesta jäähdytyksestä siten, että se ei vaadi energiaa toimiakseen, mikä vähentää jäähdytyksen kustannuksia. Passiivinen jäähdytys vähentää siis aktiivisen jäähdytyksen tehontarvetta. (Passiivisella jäähdytyksellä huonelämpötilat kuriin 2021.)

6.5 Vapaajäähdytys

6.5.1 Yötuuletus

Yötuuletustoiminto on varsin yleinen ilmanvaihtokoneissa riippumatta niiden koosta. Yötuuletuksen käyttöön on ohjelmoitu konekohtaiset ehdot, joiden perusteella yötuuletus käynnistyy tai pysyy pois päältä. Esim. Koja Groupin koneilla oletuksena on, että poistoilman on oltava yli 23 celsiusastetta ja ulkona oltava alle 19 celsiusastetta, jotta yötuuletus käynnistyisi. (Eskola, Markku. Sähköpostikeskustelu).

Yötuuletus yksinkertaisimmillaan on sitä, että huoneistoon puhalletaan ulkoilmaa, joka on viileämpää, kuin huoneista poistettava ilma. Monimutkaisempi vaihtoehto on varata viileää ulkoilmaa massiivisiin betoniontelolaattoihin. Tämä ei kuitenkaan ole yleistynyt. (Laitinen ym. 2016: 33.) Myös LTO:ta voidaan hyödyntää ulkoilman jäähdytyksessä silloin, kun poistoilman lämpötila on ulkoilman lämpötilaa selkeästi alhaisempi.

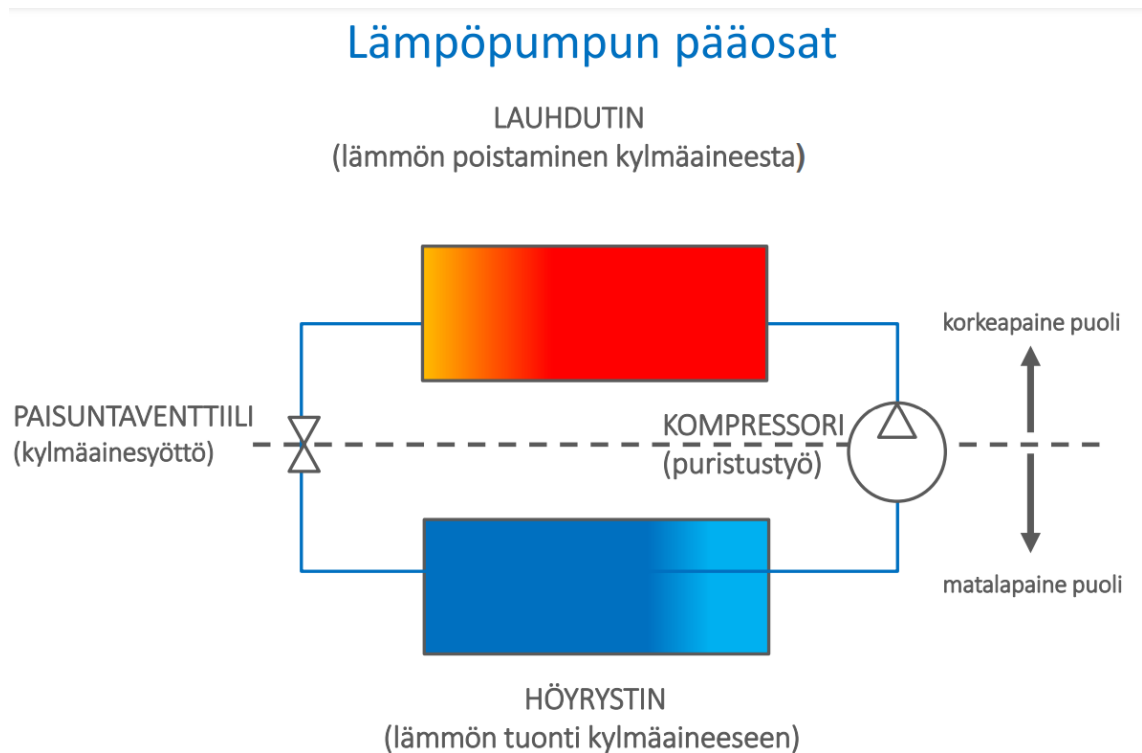
6.5.2 Maaperä ja vesistöt

Maanpinnan keskilämpötila vaihtelee vuosittaisen ilmalämpötilan mukaan, mutta Etelä-Suomessa 15 metrin syvyydessä lämpötila vakiintuu 5–6 Celsiusasteeseen. Tästä syvemmälle maaperään varautunut geoterminen energia nostaa lämpötilaa noin yhden asteen 100 metriä kohden. Näin ollen energiakaivot porataan 300–350 metrin syvyyteen, jossa lämpötila on n. 7–9 Celsiusastetta. Energiakaivojen avulla voidaan muodostaa laaja kaivokenttä, jolla saadaan kalettua jäähdytystarve (Laitinen ym. 2016: 36.)

Parhaiten pintavesien hyödyntämiseen soveltuvat meri ja syvät järvet. Pintavesiä hyödynnetään monissa kaukojäähdytyslaitoksissa. Suomessa lähinnä merivettä (Helsinki). (Laitinen ym. 2016: 37.)

7 Lämpöpumput

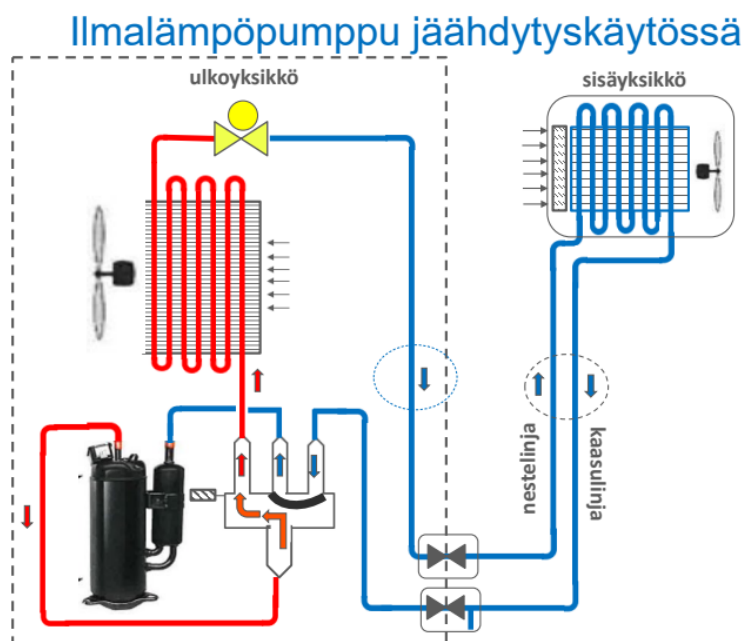
Lämpöpumpun toiminta perustuu kylmäainekiertoon, jossa kylmäaine höyrystyy sitoen lämpöä höyrystimessä ja lauhtuu vapauttaen lämmön lauhduttimessa. Lämpöpumpulla jäähdyttäessä lämmönlähteenä käytetään huoneilmaa tai jäähdytysjärjestelmän vettä. Ilma- ja ilma-vesilämpöpumpuissa on 4-tieventtiili, joka ohjaa sisä- ja ulkoyksikön toimintaa – jäähdytyskäytössä sisäyksikkö toimii höyrystimenä ja ulkoyksikkö lauhduttimena. Vastaavasti lämmityskäytössä 4-tieventtiili muuttaa sisäyksikön lauhduttimeksi ja ulkoyksikön höyrystimeksi. (Valkeapää Aki, lämpöpumppujärjestelmät-kurssi.)



Kuva 10. Lämpöpumpun pääosat. (Valkeapää Aki, lämpöpumppujärjestelmät-kurssi).

7.1.1 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumpulla lämpöä siirretään ilmasta kylmäaineeseen ja kylmäaineesta ilmaan. Ilmalämpöpumppuja voidaan käyttää lämmitys- tai jäähdytyslaitteina. Markkinoilla on myös pelkästään jäähdytyskäyttöön tarkoitettuja ns. split-jäähdytyslaitteita, joilla voidaan vain jäähdyttää tiloja. Ilmalämpöpumppu soveltuu hyvin pientaloihin, rivitaloihin sekä vanhoihin kerrostalohuoneistoihin, missä jäähdytyksen toteuttaminen ilmalämpöpumpulla on teknisesti helppoa ja edullista. (Valkeapää Aki, lämpöpumppujärjestelmät-kurssi.)

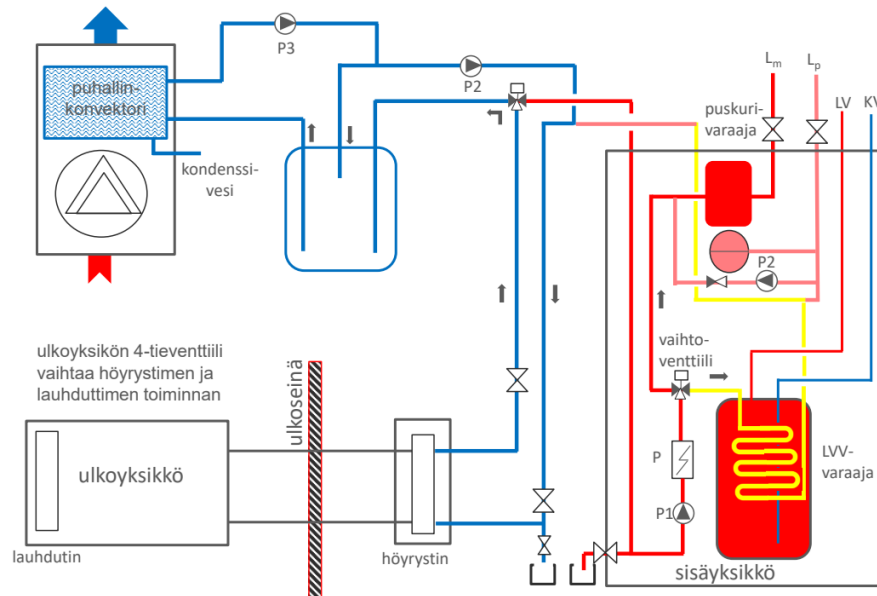


Kuva 11. Ilmalämpöpumpun toimintaperiaate jäähdytyskäytössä. (Valkeapää Aki, lämpöpumppujärjestelmät-kurssi.)

7.1.2 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumpussa lämmityskäytössä lauhduttimen lämpö siirretään lämmitysvedeen ja jäähdytyskäytössä jäähdytysvedestä kylmäaineeseen.

Jäähdytys ilma-vesilämpöpumpulla



Kuva 12. Vesi-ilmalämpöpumpun kytkentäperiaate jäähdytys huomioiden. (Valkeapää Aki, lämpöpumppujärjestelmät-kurssi).

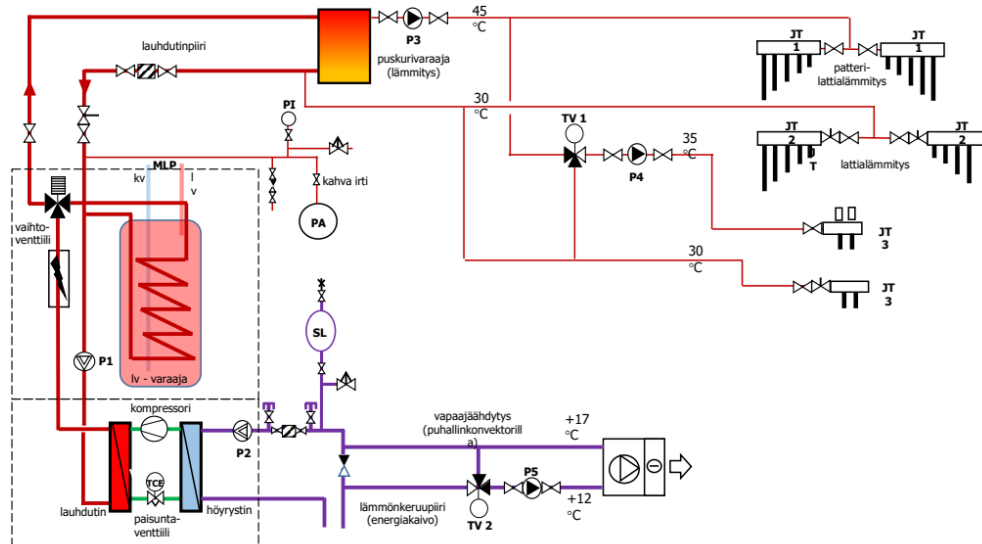
Kuvassa 12 jäähdytyskäytössä sisäyksikön (splitbox) lämmönsiirrin toimii höyrystimenä, jolla jäähdytetään puhallinkonvektorissa kierrätettävää vettä. Lämmityskäytössä sisäyksikön lämmönsiirrin toimii lauhduttimena ja sillä lämmitetään lämmitysjärjestelmän vettä tai käyttövettä. Siirryttäessä lämmityskäytöstä jäähdytyskäyttöön vaihtaa 3-tieventtiili asentoa, samoin siirryttäessä jäähdytyskäytöstä lämmityskäyttöön. (Valkeapää Aki, lämpöpumppujärjestelmät-kurssi.)

7.1.3 Maalämpöpumppu

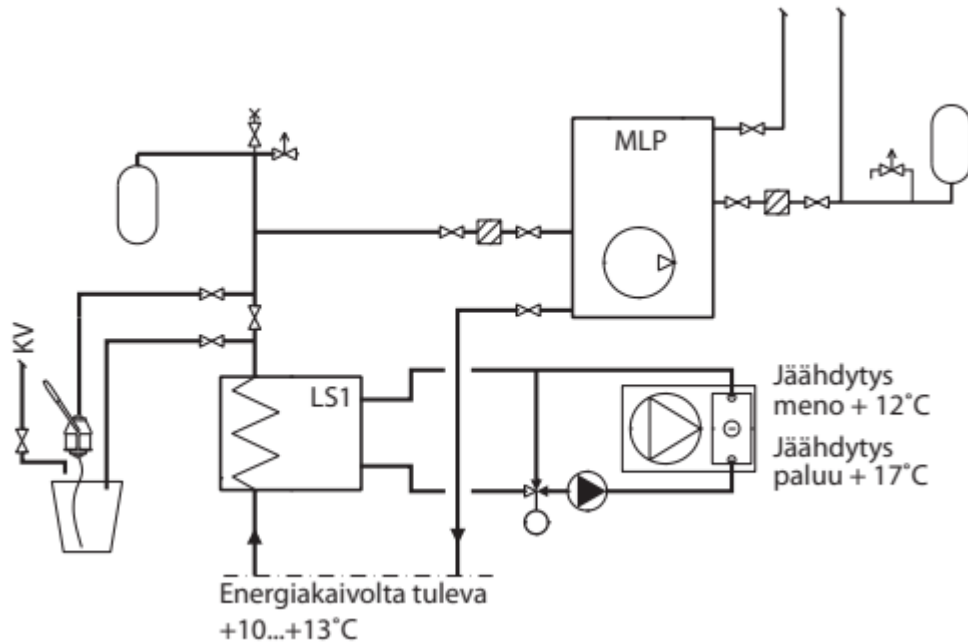
Maalämpökaivoja voidaan käyttää suoraan jäähdytykseen kytkemällä lämpökai-
von keruupiiriin puhallinkonvektori (kuva 13). Jäähdytys nostaa lämmönkeruu-
liuoksen lämpötilaa ja parantaa samalla lämpöpumpun lämpökerrointa kesällä

käyttöveden valmistuksessa. Kuvan 13 kytkentää käytetään pientaloissa ja pienissä kohteissa. Asuinkerrostaloissa ja isommissa kohteissa jäähdytys kytketään lämpökaivoihin lämmönsiirtimen kautta (kuva 14).

Maalämpöpumpun toimintakaavio



Kuva 13. Jäähdytys maalämpöpumpulla. (Valkeapää Aki, lämpöpumppujärjestelmät-kurssi).



Kuva 14. Esimerkki kytkennästä, jossa energiakaivoa käytetään jäähdytykseen siirtimen avulla. (Maalämpöpumput. Kiinteistöjärjestelmät. 2018: 10).

Mikäli jäähdytysverkoston tilavuus on suuri, se voidaan erottaa lämmönsiirtimellä keruupiiristä. Kuvan 14 kytkennässä voidaan käyttää jäähdytyksessä palamattomia nesteitä. (Maalämpöpumput. Kiinteistöjärjestelmät. 2018: 10.)

7.1.4 Poistoilmalämpöpumppu

Joillain poistoilmalämpöpumpuilla (kuva 15) voidaan kompressorin avulla viilennää tuloilmaa. Tässä on huomioitava viilennyksestä aiheutuva kondenssivesi, joka on viemäritävä jäähdytyspatterilta. Tämän lisäksi tuloilmakanavisto on kondenssieristettävä. (Poistoilmalämpöpumput. Pientalot. 2021: 7.)



Kuva 15. Nilan Combi 302 Polar poistoilmalämpöpumppu viilennystoiminnolla. (Combi 302 Polar Top – uskomaton hyötysuhde ja parasta laatua).

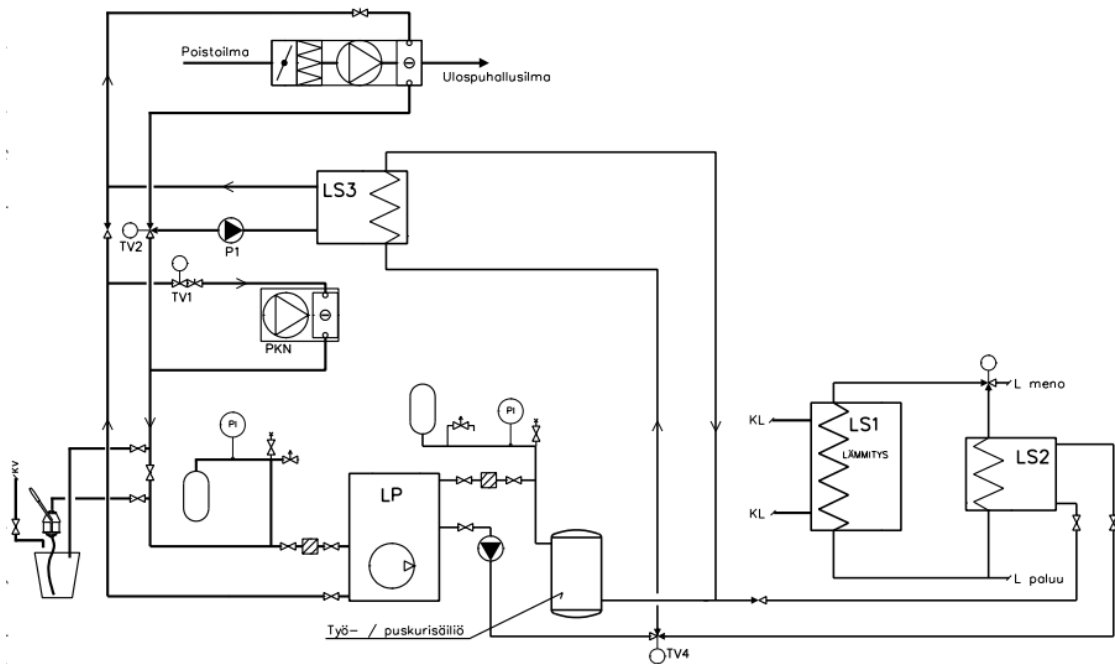
Myös asuinkerrostaloissa on mahdollista käyttää poistoilmalämpöpumppujärjestelmää huoneistojen jäähdytykseen. Jäähdytystä varten huoneistoihin asennetaan puhallinkonvektorit (kuva 17).

Huoneistoihin asennetaan puhallinkonvektorit jäähdytystä varten. Jäähdytyksen lauhdelämpöä voidaan käyttää käyttöveden sekä tilojen lämmitykseen. Järjestelmä on suunniteltava niin, että ylimääräinen lämpö ohjataan LTO:n kautta ulos rakennuksesta. (Poistoilmalämpöpumput. Kiinteistöjärjestelmät. 2021: 7.)

Esimerkki

Poistoilmavirta: 500 l/s
 Poistoilman lämpötila: +22 °C
 Ulospuhallusilman lämpötila: +4 °C
 Ilman tiheys * ilman ominaislämpökapasiteetti: 1,2
 Poistoilmasta kerättävissä oleva lämpöteho
 $1,2 * 0,5 * (22 - 4) = 10,8 \text{ kW}$

Kuva 16 Esimerkkilaskenta PILP-energiasaannosta. (Poistoilmalämpöpumput. Kiinteistöjärjestelmät. 2021: 5).



Kuva 17 Kiinteistö-PILP kytkentä. (Poistoilmalämpöpumput. Kiinteistöjärjestelmät. 2021: 7).

Jäähdytystoiminnolla avautuu 2-tieventtiili (TV1), jolloin keruuliuos ohjataan puhallinkonvektorille (PKN). Samalla 3-tieventtiili (TV2) ohjaa nestevirran LTO-patterin ja lämmönsiirtimen (LS3) välille. LS2 vastaanottaa lämpöpumpun tuottaman lämmön, josta se siirtyy rakennuksen lämmitykseen. Mikäli lauhdelämmölle ei ole tarvetta, 3-tieventtiili (TV4) ohjaa vesivirran LS3-siirtimelle. Tässä tilanteessa pumppu (P1) käynnistyy, jolloin ylimääräinen lämpö siirretään LTO-patterin kautta ulospuhallusilmaan. (Poistoilmalämpöpumput. Kiinteistöjärjestelmät. 2021: 8.)

8 Yhteenveto

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää energiatehokkaimmat sekä ympäristöystävällisimmät jäähdytysmenetelmät huoneistokohtaista ilmanvaihtoa toteutettaessa. Työn tavoitteena oli helpottaa ilmanvaihdon suunnittelua ja tuoda esille eri asuinrakennustyypeille sopivia jäähdytysratkaisuja.

Suunniteltaessa huoneistokohtaista ilmanvaihtoa jäähdytyksellä on huomioitava asuintilojen lämpökuormat eli jäähdytystehontarve sekä tarvittavat ilmamäärät terveellisen ja turvallisen sisäilmaston saavuttamiseksi. Asuinrakennuksissa, riippuen rakennuksen koosta ja tyypistä, voidaan käyttää monenlaisia jäähdytysratkaisuja, kuten lämpöpumppuja, koneellista jäähdytystä ja vapaajäähdytystä. Saatavilla olevat energialähteet on selvitettävä jo suunnittelun alussa, sillä niillä on suora vaikutus jäähdytysjärjestelmän valintaan.

Jäähdytystä suunniteltaessa täytyy ensisijaisesti kiinnittää huomiota rakenteellisiin seikkoihin ja lämpökuormien minimoimiseen eli passiiviseen jäähdytykseen, jota käsiteltiin luvussa 6.4.

Opinnäytetyössä tehdyn selvityksen perusteella voidaan todeta, että pientaloissa kannattaa käyttää lämpöpumppuratkaisuja jäähdytystä toteutettaessa. Rivi- ja kerrostaloissa on mahdollista toteuttaa suora- ja epäsuora-ilmajäähdytystä ilmalämpöpumpun avulla tai välillistä jäähdytystä ilma-vesilämpöpumpun, kaukokylmän tai vedenjäähdyttimen avulla. Näihin yleensä suunnitellaan puhallinkonvektorijärjestelmä tai säteilypaneelijärjestelmä. Myös poistoilmalämpöpumppua voidaan käyttää jäähdytykseen tietyin rajoituksin.

Maalämmöstä saatua vapaajäähdytysenergiaa voidaan myös hyödyntää sekä pientaloissa että rivi- ja kerrostaloissa puhallinkonvektoreiden kanssa. Puhallinkonvektoreissa on aina huomioitava kondenssiveden viemärointi. Poistoilmalämpöpumppu soveltuu erityisesti pien- ja rivitaloihin, jotka ovat matalaenergia- tai passiivitaloja, mutta ei kerrostaloihin, joissa on hajautettu ilmanvaihto.

Huoneistokohtaisen ilmanvaihdon yhteensovittaminen jäähdytyksen kanssa on mahdollista edellä mainituilla jäähdytysratkaisuilla. Huoneistokohtainen ilmanvaihtojärjestelmä on energiatehokas yksilöllisen säädön ja pienen tehonsa vuoksi. Huoneistokohtainen ilmanvaihto on varustettava aina LTO-järjestelmällä.

Asuinrakennuksissa tarvittavat ilmamäärät tulee mitoittaa henkilömäärän mukaan. Lämpökuormat poistetaan erikseen jäähdytyksen avulla. Ilmamäärät vaikuttavat ilmanvaihtokoneen kokoon, mutta ilmamäärien ollessa pieniä, myös koneet itsessään ovat tällöin pieniä. Huoneistokohtaisessa ilmanvaihdossa yksilöllinen säätö on mahdollista sen vuoksi, että IV-koneet sijoitetaan jokaiseen huoneistoon erikseen (kylpyhuoneen alakattoon). Tämä antaa monia etuja keskitettyyn ilmanvaihtoon verrattuna sekä taloudellisesti että fysikaalisesti. Näitä etuja ovat mm. suuremmat energiasäästöt, halvemmat investointikustannukset, ilmanvaihdon optimointi todellisten tarpeiden pohjalta sekä helpompi ohjattavuus paine-erojen suhteen, jotka aiheutuvat ulkoilman olosuhteista sekä huoneiston kerroskorkeudesta.

Insinööriyössä laadittiin selvitys huoneistokohtaisen ilmanvaihdon suunnittelusta sekä eri jäähdytysmenetelmistä, jotka soveltuvat asuinrakennuksille. Työssä koottiin yhteen energiatehokkaimmat sekä ympäristöystävällisimmät jäähdytysratkaisut. Lopputulokseksi saatiin kaksi erillistä liitettä, joiden avulla asuinrakennusten huoneistokohtaisen ilmanvaihdon sekä jäähdytyksen suunnittelu helpottuu.

Kokonaisvaltaisemman käsityksen saamiseksi aiheesta, olisi hyvä käsitellä myös automaatiota ja sen merkitystä ilmanvaihdossa ja jäähdytyksessä.

Lähteet

Alanne, Kari; Holopainen, Rauno; Hyvärinen Juhani; Kaappola, Esko; Ketomäki, Jaakko; Kurnitski, Jarek; Könkö, Samuli; Pylsy, Petri; Railio, Jorma; Seppänen, Olli; Vuolle, Mika; Vuorinen, Pekka & Yrjölä, Jukka. 2024. Rakennusten energiatekniikka. Helsinki: Talotekniikka-julkaisut.

Asuntokohtainen ilmanvaihto uuteen kerrostaloon. 2024. Verkkoaineisto. Vallox Oy. <<https://www.vallox.com/asuntokohtainen-ilmanvaihto-uuteen-kerrostaloon/>> Päivitetty 5.2.2024. Luettu 19.10.2024

Eskola, Markku. 2024. Tuoteryhmäpäällikkö. Koja Group Oy. Tampere. Sähköpostikeskustelu. 25.10.2024.

Harju, Pentti. 2008. Ilmastointitekniikan oppikirja 1. Kouvola: Penan tieto-opus.

Hassi, Eero. 2024. Myyntineuvottelija. Intervent Oy. Helsinki. Sähköpostikeskustelu. 24.9.2024.

Ilman kosteus. 2020. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>> Luettu 12.9.2024

Jäähdytystehon mitoitusopas 2024. Verkkoaineisto. Equa Simulation Finland Oy. <https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/2024-12/Jaahdytystehon_mitoitusopas_A4_20241220.pdf>

Jäähdytys ja viillennys. 2021. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <<https://talotekniikkainfo.fi/ratkaisut-etusivu/jaahdytys-ja-viillennys>> Luettu 19.10.2024

Kiinteistön jäähdytysjärjestelmän energiakatselmuksen toteutusohje. 2015. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://www.motiva.fi/files/10893/Kiinteiston_jaahdytysjarjestelman_energiakatselmuksen_toteutusohje.pdf>

Laitinen, Ari; Rämä, Miika; Airaksinen, Miimu. 2016. Jäähdytysteknologian selvitys. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/01/Jaahdytysteknologiaselvitys_VTT_22122016.pdf> Luettu 20.11.2024

Maalämpöpumput. Kiinteistöjärjestelmät. 2018. LVI 11-10624. Rakennustieto.

Mollier-diagrammi. Verkkoaineisto. Swegon Oy Ab.
<<https://www.swegon.com/fi/oppaat/tekniikat/mollier-diagram/how-is-a-mollier-diagram-used/>> Luettu 20.11.2024

Nestekiertoiset lämmitys- ja jäähdytysverkot. Huonelämpötilojen säätö. 2022. RT 103453. Rakennustieto.

Niiranen, Tomi. 2024. Projektipäällikkö. Chiller Oy. Tuusula. Sähköpostikeskustelu. 21.10.2024.

Combi 302 Polar Top – uskomaton hyötysuhde ja parasta laatua. Verkkoaineisto. Nilan Suomi Oy. <https://www.nilan.fi/tuotteet/ilmanvaihtokoneet-lto/combi/combi-302-polar-top/?utm_term=&utm_campaign=&utm_source=ad-words&utm_medium=ppc&hsa_tgt=&hsa_grp=&hsa_src=x&hsa_net=ad-words&hsa_mt=&hsa_ver=3&hsa_ad=&hsa_acc=7153749753&hsa_kw=&hsa_cam=21154460353&gad_source=1&gbraid=0AAAAADslyrE1ZnZ4iCknVsLF_HXqfquG1&gclid=EA1aIQobChMI38HAwrfpJAM-VQI1oCR3i3jFPEAAAYASAAEgJ4vfD_BwE> Luettu 18.1.2025

Opas asuinrakennuksen ilmanvaihdon mitoitukseen 2019. Verkkoaineisto. FIN-VAC ry. <https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Opas-asuinrakennusten-ilmanvaihdon-mitoitukseen_2019-C28A5C3D_0A1B_4504_98BB_14D9C1820FE9-144725.pdf/338c293d-f4b5-514b-d6d9-1ddc0dc225f0/Opas-asuinrakennusten-ilmanvaihdon-mitoitukseen_2019-C28A5C3D_0A1B_4504_98BB_14D9C1820FE9-144725.pdf?t=1603260100069>

Passiivisella jäähdytyksellä huonelämpötilat kuriin. 2021. Verkkoaineisto. Insinööri-toimisto Vesitaito Oy. <<https://vesitaito.fi/2021/09/15/passiivisella-viilennyksella-huonelampotilat-kuriin/>> Luettu 1.7.2024

Poistoilmalämpöpumput. Kiinteistöjärjestelmät. 2021. RT 103316. Rakennustieto

Poistoilmalämpöpumput. Pientalot. 2021. RT 103315. Rakennustieto

Rakennuksen jäähdytystarpeen määrittäminen. 1992. LVI 34-10203. Rakennustieto.

Seppänen, Olli. 2004. Ilmastoinnin suunnittelu. Helsinki: Talotekniikka-julkaisut.

Sisäilmastoluokitus. 2018. RT 07-11299. Rakennustieto.

Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät: Ilmastointitekniikka osa 1. Sandberg, Esa. 2014. Talotekniikka-Julkaisut Oy. Tampere: Tammerprint.

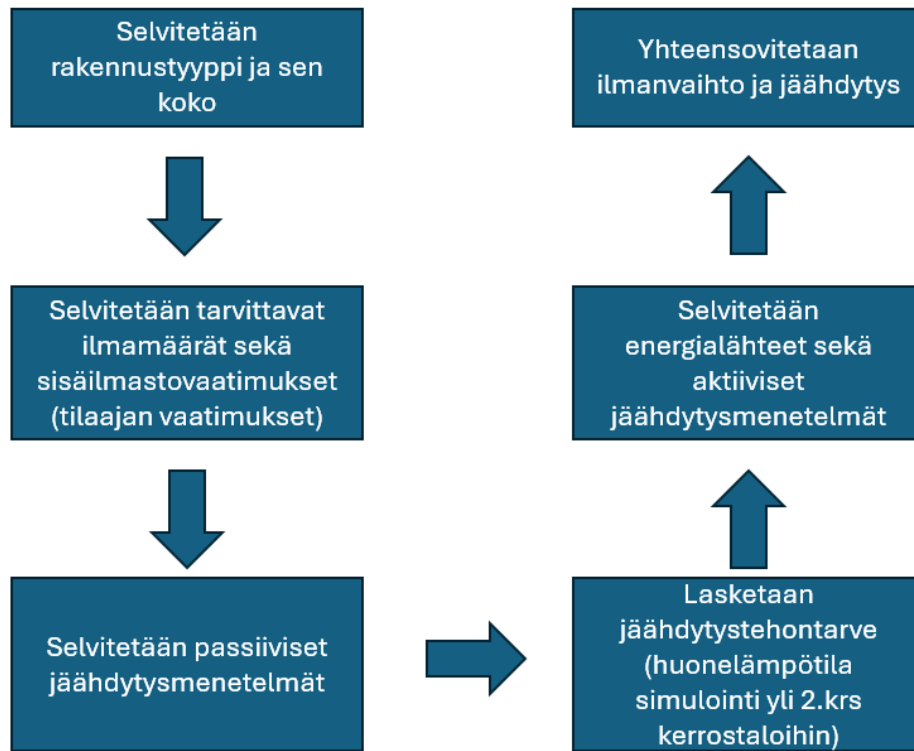
Sisäilmasto ja ilmanvaihto -opas, päivitetty 11.6.2024. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <<https://talotekniikkainfo.fi/sisailmasto-ja-ilmanvaihto-opas>> Luettu 19.10.2024

Valkeapää, Aki. Lämpöpumppujärjestelmät-kurssi. Opintomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta 1009/2017

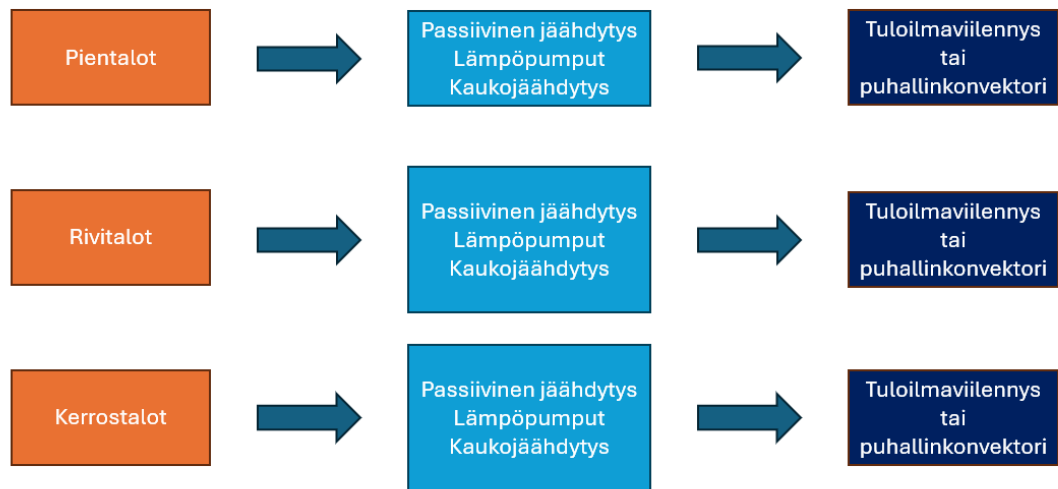
Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta 1010/2017

Vuokaavio 1



Kaavio 1. Ilmanvaihdon sekä jäähdytyksen suunnittelun etenemisjärjestys

Vuokaavio 2



Kaavio 2. Ilmanvaihdon avulla toteutettavat jäähdytysmenetelmät eri asuinrakennustyyppien mukaan