



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Valtteri Kerttula

Asuinkerrostalon jäähdytysjärjestelmä- vertailu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

2.5.2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Valtteri Kerttula Asuinkerrostalon jäähdytysjärjestelmävertailu 29 sivua + 4 liitettä 2.5.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Tässä työssä vertailtiin kahden eri jäähdytysjärjestelmän kustannusvaikutuksia asuinkerrostalorakentamisessa. Kustannuksia tarkasteltiin keskitetyn ja hajautetun järjestelmän laitteiden ja materiaalien sekä asennustyön kannalta.</p> <p>Ensin työssä esiteltiin yleisellä tasolla kylmätekniikan perusteita sekä asuinrakennusten tyypillisiä jäähdytysmenetelmiä, laitostyyppejä ja erilaisia kylmälaitteita. Kustannusvertailussa vertailtiin asuinkerrostalon välillistä jäähdytysjärjestelmää keskitetyllä vedenjäähdytyskoneikolla ja asuntokohtaisilla puhallinkonvektoreilla sekä hajautettua suoraa jäähdytysjärjestelmää asuntokohtaisin ilmalämpöpumpuin. Jäähdytys suunnitelmien perusteella laskettiin kustannusarviot molemmille järjestelmille.</p> <p>Tuloksista ilmeni, että ilmalämpöpumpuilla toteutettu hajautettu jäähdytysjärjestelmä oli edullisempi vaihtoehto työssä käytetyssä esimerkkikohteessa. Yksiselitteisiä johtopäätöksiä järjestelmien kokonaiskustannuksista rakennushankkeeseen ei voida työn perusteella tehdä, sillä hintaan vaikuttaa asuntojen lukumäärä ja jäähdytystehontarve.</p>	
Avainsanat	jäähdytysjärjestelmä, kustannusvertailu

Author Title Number of Pages Date	Valtteri Kerttula Comparison between cooling systems in an apartment building 29 pages + 4 appendices 2 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The aim of this bachelor's thesis was to compare the costs of two different cooling systems for a residential building. The comparison was made between the investment costs of each of the systems, including acquisition and installation, to determine which one would be more inexpensive. The cooling system options were a centralized system with an air-cooled water chiller and fan coil units and a decentralized system with air source heat pumps.</p> <p>First the principles of the refrigeration cycle and typical cooling methods for residential buildings, including plant types and various refrigeration units were reviewed at a general level. The cost comparison was done by designing each system to an apartment building and calculating a cost estimate based on the plans.</p> <p>The results show that the cooling system with air source heat pumps is a more cost-effective option in the apartment building used as an example. A definitive conclusion cannot be drawn based on the results, as the investment costs of the systems are affected by the number of apartments in the building and the required cooling power of the building.</p>	
Keywords	cooling system, cost comparison

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Tavoitteet ja menetelmät	2
1.3	Rajaus	2
2	Asuinrakennusten jäähdytys	2
2.1	Kylmätekniinen kiertoprosessi	2
2.2	Järjestelmätyypit	4
2.2.1	Suora ja välillinen jäähdytys	4
2.2.2	Keskitetty ja hajautettu järjestelmä	5
2.3	Asuinrakennuksien tyypillisimmät suorat jäähdytysjärjestelmät	7
2.3.1	Lämpöpumput	7
2.3.2	Tuloilman jäähdytys	10
2.3.3	Siirrettävät ja paikalliset koneet	11
2.4	Asuinrakennuksien tyypillisimmät välilliset jäähdytysjärjestelmät	11
2.4.1	Vedenjäähdytyskoneikot	11
2.4.2	Kaukokylmä	13
2.4.3	Tuloilman jäähdytys	15
2.4.4	Puhallinkonvektorit	15
2.4.5	Jäähdytyspalkit	17
2.4.6	Lattiaviilennys	18
3	Keskitetyn ja hajautetun jäähdytysjärjestelmän kustannusvertailu	18
3.1	Kohteen kuvaus	18
3.2	Keskitetyn välillisen jäähdytysjärjestelmän kuvaus	20
3.3	Hajautetun suorahöyrysteisen järjestelmän kuvaus	22
3.4	Järjestelmävalinnan suurimmat erot	23
4	Kustannuslaskelmat	23
4.1	Investointikustannukset	23

4.2	Käyttökustannukset	25
4.2.1	Energiakustannukset	25
4.2.2	Huoltokustannukset	25
5	Huomiot, päätelmät	26
6	Yhteenveto	26
	Lähteet	27
	Liitteet	
	Liite 1. Keskitetty jäähdytysjärjestelmä, peruskerros	
	Liite 2. Hajautettu jäähdytysjärjestelmä, peruskerros	
	Liite 3. Keskitetty jäähdytysjärjestelmä, vesikatto/IVKH	
	Liite 4. Kustannuslaskelmat	

Lyhenteet

IVKH	Ilmanvaihtokonehuone. Usein rakennuksen vesikatolla sijaitseva erillinen tila ilmanvaihtokoneelle.
EER	Energy efficiency ratio, kylmäkerroin. Kylmälaitoksen energiatehokkuutta kuvaava jäähdytystehon ja ottotehon suhdeluku
SEER	Seasonal energy efficiency ratio. Kylmälaitoksen vuotuinen kylmäkerroin.

1 Johdanto

1.1 Työn tausta

Suomessa jäähdytysjärjestelmät eivät ole asuinrakennuksissa niin merkittäviä kuin muut talotekniset järjestelmät. Jäähdytysjärjestelmät ovat yleisiä toimistorakennuksissa ja liikekiinteistöissä johtuen asuinrakennuksia korkeammista lämpökuormista sekä työpaikan sisäilmaston hallinnan positiivisista vaikutuksista työn tuottavuuteen. Asuinrakentamisessa on yleistä, että kesäajan yllämpöä hallitaan rakennussuunnittelijan toimesta passiivisin keinoin. Näitä ovat rakennuksen muoto, sijainti ja suuntaus, ikkunoiden koko ja suuntaus, rakennuksen massoittelu ja rakennetyypit sekä auringon säteilyn tuottamalta lämmöltä suojaaminen. (1) Asuinrakennusten jäähdyttämiseen aktiivisin keinoin ei mikään käytännössä määrää, sillä oikein sovelletuilla passiivisilla keinoilla voidaan saavuttaa rakennukseen olosuhteet, jossa ei esiinny jäähdytystarvetta. Asuinrakennuksen lämpöoloille lämmityskauden ulkopuolella on asetettu rajoitteita. Sisäilmastoluokituksen alimman S3-luokan mukaan operatiivisen lämpötilan yläraja on 27 °C. (2) Tämä arvo on kuitenkin vain ohjeellinen. Määrävässä sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista on asetettu operatiivisen lämpötilan toimenpiderajaksi 32 °C lämmityskauden ulkopuolella. (3) Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D3 määrää jäähdytysrajaksi 27 °C, josta sallitaan 150 astetunnin poikkeama aikavälillä 1.6.–31.8. (4) Asetunti on lämpötilan ja ajan tulo. Esimerkiksi kolmen tunnin kestoinen jakso, jolloin huonelämpötila on 28 °C, aiheuttaa kolmen astetunnin poikkeaman. Mikäli passiivisilla lämpöolosuhteiden hallintakeinoilla ei päästä edellä mainittujen toimenpiderajojen alapuolelle, on rakennuksessa käytettävä aktiivisia jäähdytysmenetelmiä.

Asuinrakennusten jäähdytys aktiivisin menetelmin on yleistymään päin siitä huolimatta, että se ei välttämättä ole pakollinen osa rakennuksen taloteknisiä järjestelmiä. Tämä johtunee laitteiden ja tekniikan tuntemuksen lisääntymisestä sekä jäähdytyslaitteiden ja -järjestelmien kehityksestä. Aktiiviset jäähdytyskeinot lisäävät merkittävästi asumismukavuutta ja tuovat rakennukselle lisäarvoa. Viime kesien pitkät hellejaksot lienevät myös

kasvattaneet kysyntää. Aktiivisia jäähdytysmenetelmiä ovat erilaiset ilmastoinnin jäähdytyksen sovellukset, pintajäähdytys sekä lämpöpumppuratkaisut. Näille yhteinen tekijä on kylmätekniiseen kiertoprosessiin perustuva kylmäntuotto.

1.2 Tavoitteet ja menetelmät

Insinööriyön tavoitteena on selvittää asuinrakennusten jäähdytysmenetelmiä ja vertailla kahden eri jäähdytysjärjestelmän kustannusvaikutuksia uudisasuinkerrostalon rakennushankkeeseen. Työssä tarkastellaan sekä keskitetyn että hajautetun jäähdytysjärjestelmän toteutussuunnitelmia ja niiden pohjalta laaditaan järjestelmien laite-, materiaali- ja asennuskustannusarviot. Järjestelmäkohtaiset materiaali- ja laitekustannusarviot lasketaan alan tukkuliikkeiden taulukkohintoihin sekä laitevalmistajien ilmoittamiin hintoihin perustuen. Asennuskustannusarviot perustuvat laitetoimittajien ilmoittamiin hintoihin, tai ne lasketaan LVI-alan työehtosopimuksen mukaisiin normaalituntihintoihin perustuen.

1.3 Rajaus

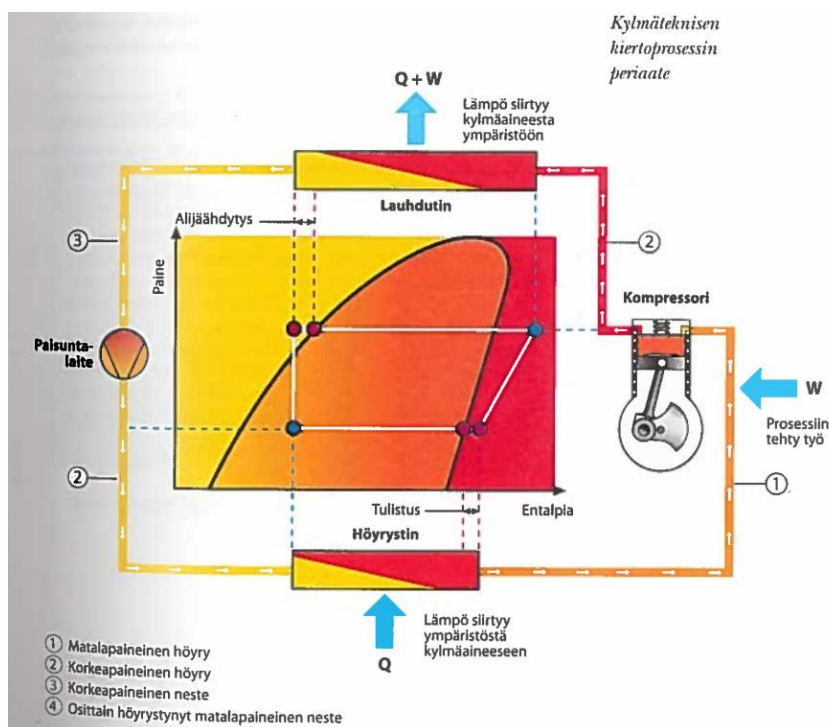
Kustannuksia tarkastellaan jäähdytysjärjestelmien osalta, eikä kantaa oteta rakennus-, sähkö- tai automaatiourakkaan. Eri järjestelmien käyttökustannuksista energian ja huollon suhteen ei tehdä kustannuslaskentoja, vaan käyttökustannusten kulurakennetta käsitellään laitosten kylmäkerrointen ja huollettavien kohteiden yksikkömäärien suhteen periaatetasolla.

2 Asuinrakennusten jäähdytys

2.1 Kylmätekniinen kiertoprosessi

Kylmäteknisessä kiertoprosessissa siirretään prosessiin tehdyn työn avulla lämpöä matalammasta lämpötilasta korkeampaan. Prosessi perustuu kylmäkoneistossa kiertävän kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen. Kylmäaineet ovat nesteytettyjä kaasuja, jotka siirtävät lämpöä prosessissa. (5, s. 18.)

Kylmälaite koostuu neljästä pääkomponentista: kompressorista, lauhduttimesta, paisuntalaitteesta ja höyrystimestä. Kompressorin tehtävä on puristamalla korottaa kylmäaineen paine höyrystymispaineesta lauhduttimispaineeseen. Puristuksen aikana kylmäainehöyryn lämpötila nousee. Kylmäaineen kierto prosessissa perustuu kompressorin tekemään työhön. (5, s. 51.) Lauhduttimen tehtävä on lauhduttaa korkeapaineinen ja -lämpötilainen kylmäainehöyry nestemäiseen olomuotoon. Kylmäaineen lauhduminen vapauttaa lämpöä prosessista. Lauhdutin voi olla ilma- tai nestejäähdytteinen. Ilmajäähdytteinen lauhdutin puhaltaa ilmavirtaa lauhduttimen läpi, jolloin prosessin lämpö siirtyy ilmaan. Nestejäähdytteisessä lauhduttimessa prosessin lämpö siirretään nesteeseen. (5, s. 55–56.) Lauhduttimella nesteytynyt kylmäaine jatkaa kiertoaan paisuntalaitteelle, jossa kylmäaineen paine laskee, jolloin osa kylmäaineesta höyrystyy. Tämä laskee voimakkaasti kylmäaineen lämpötilaa. Paisuntalaite säättää nestemäisen kylmäaineen ruisikutusta höyrystimelle. (5, s. 57.) Höyrystimen tehtävä on höyrystää matalapaineinen ja -lämpötilainen kylmäaine. Kylmäaineen höyrystyminen sitoo lämpöä ympäristöstään. (5, s. 59–60.) Kuva 1 havainnollistaa kylmäteknisen kierto prosessin toimintaa.



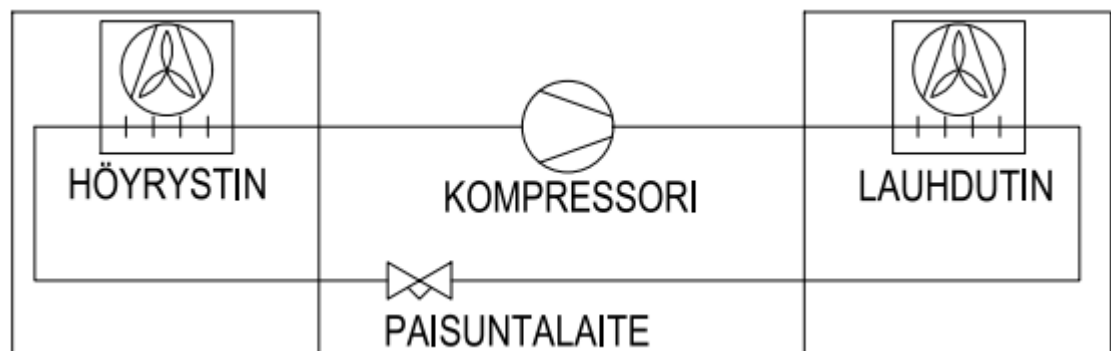
Kuva 1. Kylmäteknisen kierto prosessin periaate (5, s. 17).

Kylmälaitoksen energiatehokkuutta kuvataan EER:lla, kylmäkertoimella, joka on laitoksen tuottaman jäähdytystehon ja kompressorin ottotehon välinen suhdeluku. Mitä suurempi tämä suhdeluku on, sitä parempi on kylmälaitoksen energiatehokkuus.

2.2 Järjestelmätyypit

2.2.1 Suora ja välillinen jäähdytys

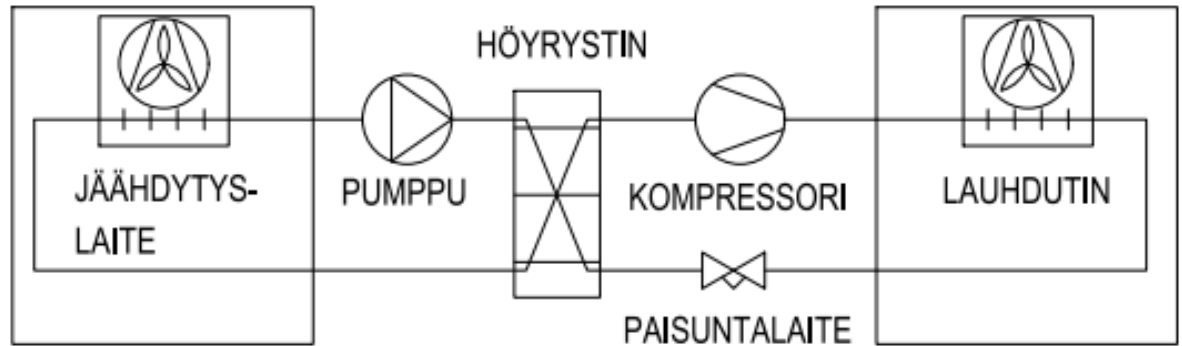
Jäähdytysjärjestelmät voidaan jaotella suora- ja välillisiin järjestelmiin. Suora- ja välillisiin jäähdytysjärjestelmissä kylmälaitteen höyrystin on sijoitettu suoraan jäähdytettävään kohteeseen. Jäähdytettävä aine, tyypillisesti ilma, on suorassa kontaktissa kylmälaitoksen höyrystimeen. Höyrystimen läpi virtaava aine luovuttaa lämpöä kylmäaineeseen höyrystäen sen. Suoraa järjestelmää käytetään tyypillisesti pienissä ja pienhköissä teholuokissa. Suoran järjestelmän etuja ovat laitoksen yksinkertaisuus sekä putkietäisyyksien lyhyys. Kuvassa 2 esitetään suoran jäähdytyksen periaatekuva. Kuvan lauhdutin on ilmajäähdytteinen ja höyrystin puhaltimellinen lamellilämmönsiirrin. (6, s. 269–270.)



Kuva 2. Suora jäähdytys.

Välillisissä jäähdytysjärjestelmissä lämpöä siirtävä väliaine höyrystää kylmäaineen. Väliaine voi laitoksen ominaisuuksista riippuen olla vettä tai, jäätymisvaaran esiintyessä, jäätymispisteeltään suotuisampaa kylmäliuosta. Kylmäliuoksina voidaan käyttää eri suolojen vesiliuoksia, orgaanisten nesteiden vesiliuoksia ja puhtaita orgaanisia nesteitä. (6, s. 273.) Höyrystimen jäähdyttämä väliaine käytetään kiinteistön jäähdytykseen erilaisilla jäähdytyslaitteilla. Suuremman mittaluokan jäähdytysjärjestelmissä välillinen järjestelmä

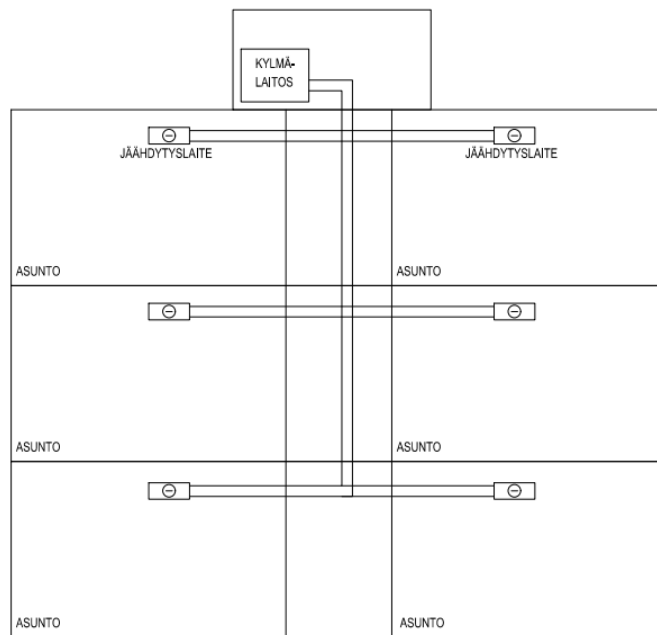
mahdollistaa laitokseen pienemmän kylmäainetäytöksen kuin suora höyrysteinen järjestelmä. Haitallisen kylmäainevuodon riskiä jäähdytettävään tilaan ei myöskään esiinny. Välillisen järjestelmän haittapuolena on ylimääräinen lämmönsiirtoprosessi höyrystimen ja väliaineen välillä, joka pienentää laitoksen kylmäkerrointa. (6, s. 270–271.) Kuvassa 3 esitetään välillisen jäähdytyksen periaate.



Kuva 3. Välillinen jäähdytys.

2.2.2 Keskitetty ja hajautettu järjestelmä

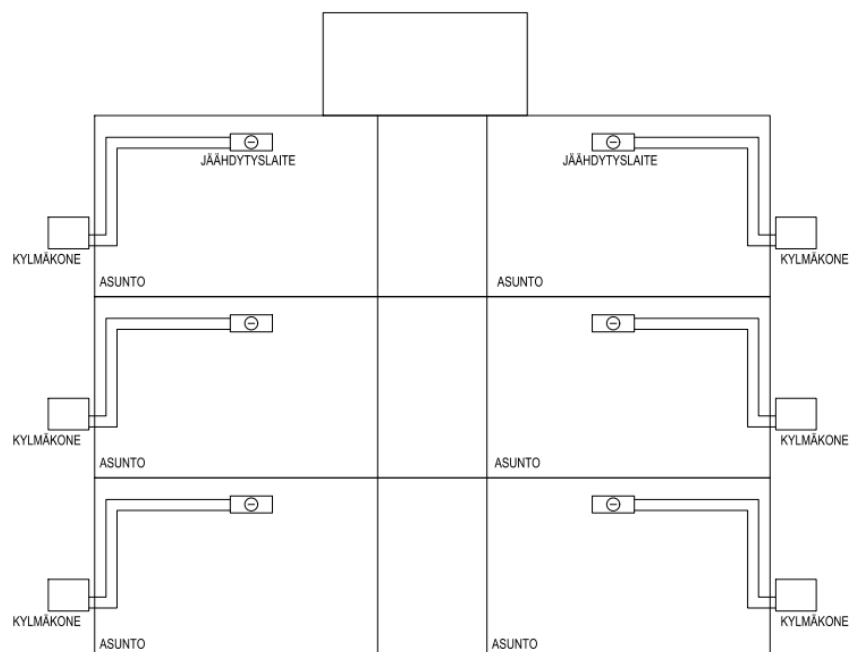
Järjestelmät voidaan jakaa myös keskitettyihin ja hajautettuihin järjestelmiin. Keskitetyssä järjestelmässä yksi kylmälaitos palvelee koko rakennuksen kaikkia jäähdytettäviä tiloja. (6, s. 322.) Kuva 4 esittää keskitetyn järjestelmän periaatteen.



Kuva 4. Keskitetty järjestelmä.

Hajautetussa järjestelmässä kylmäkoneita on useampia, ja jäähditys tapahtuu yksikkökohtaisesti jäähdityslaitteen sijoitustilassa, esimerkiksi asunnoittain. (6, s. 322, 324.)

Kuva 5 havainnollistaa hajautettua jäähdytysjärjestelmää.



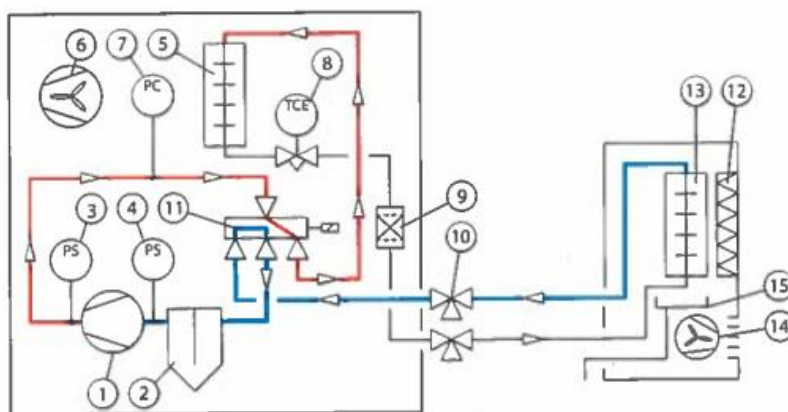
Kuva 5. Hajautettu järjestelmä.

2.3 Asuinrakennuksien tyypillisimmät suorat jäähdytysjärjestelmät

2.3.1 Lämpöpumput

Lämpöpumpuilla lämpöä voidaan ottaa ulkoilmasta, rakennuksen poistoilmasta, maahan kaivetusta vaakaputkistosta, kallioon poratusta lämpökaivosta tai vesistön pohjaan upotetusta putkistosta. (7, s. 230; 6, s. 342–343.) Lämpöpumppujärjestelmiä käytetään lämmityskauden ulkopuolella jäähdytykseen.

Ilmalämpöpumppu on yleinen ratkaisu asuinrakennusten jäähdytyksessä. Ne ovat suorahöyrysteisiä ilmalauhdutteisia kylmälaitteita. Split-mallinen ilmalämpöpumppu koostuu sisä- ja ulkoyksiköstä. Ulkoyksikkö sisältää kompressorin ja lämmönsiirtimen. Sisäyksikössä on laitteiston toinen lämmönsiirrin, ilmaa kierrättävä puhallin, ilmansuodatin sekä ohjauslaitteet. Ulko- ja sisäyksiköiden lämmönsiirtimet toimivat lämmitys- tai jäähdytystoiminnosta riippuen höyrystimenä tai lauhduttimena. Kuvassa 6 on esitetty ilmalämpöpumpun toiminta jäähdytyskäytössä. Kuvassa kylmäainehöyry kulkee kompressorilta (komponentti 1) ulkoyksikön lämmönsiirtimelle (komponentti 5), josta lauhtunut kylmäaine kulkee elektronisen paisuntaventtiilin (komponentti 8) kautta sisäyksikön lämmönsiirtimelle (komponentti 13). Höyrystyttyään kylmäaine jatkaa kiertoaan kompressorille. Lämpöpumpun lämmitys- ja jäähdytystoimintoa ohjataan ulkoyksikössä sijaitsevalla nelitieventtiilillä (komponentti 11), joka mahdollistaa kylmäaineen kierron laitteessa kahteen suuntaan. (5, s. 92–93.)



Kuva 6. Ilmalämpöpumpun toiminta jäähdytyskäytössä (5, s. 93).

Ilmalämpöpumpun sisäyksikössä lämpö siirtyy höyrystimen puhaltimen ansiosta pakotetulla konvektiolla. Sisäyksikössä sijaitsevan höyrystimen läpi puhallettava ilma höyrystää kylmäaineen, joka viilentää ilmaa. Höyrystimen pinnalle tiivistynyt kondenssivesi johdetaan ulos tai kiinteistön viemäreihin. Laitteiden tehonsäätö toteutetaan kompressorin käyntiä tai pyörimisnopeutta muuttamalla. Ilmalämpöpumppujen jäähdytysteho on alueella 2–15 kW. (5, s. 92–93.) Kuvassa 7 on esitetty nykyaikaisia ilmalämpöpumppumalleja.

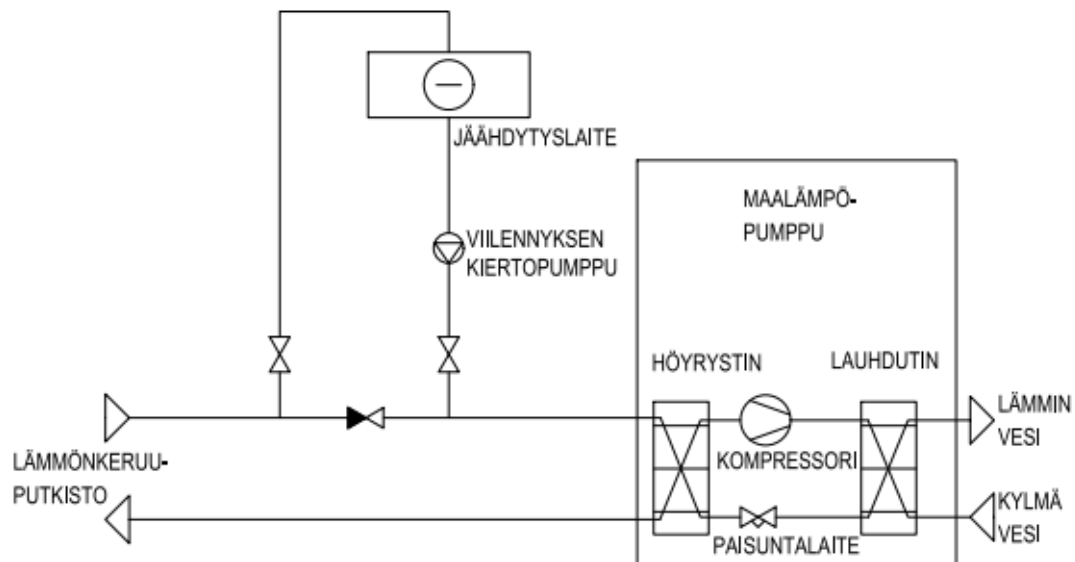


Kuva 7. Ilmalämpöpumpun sisäyksiköitä ja ulkoyksikkö (8; 9).

Tavallisten split-mallisten ulkoilmalämpöpumppujen lisäksi on kehitetty ns. multisplit -järjestelmiä, joissa yhteen ulkoyksikköön liitetään kylmäaineputkituksella useampia sisäyksiköitä. Näistä edelleen kehitetty sovellus on VRV (Variable Refrigerant Volume) -järjestelmä. VRV-järjestelmässä on enimmillään kolme ulkoyksikköä, joihin voidaan liittää jopa 40 sisäyksikköä. Multisplit- ja VRV-järjestelmien tehonsäätö voidaan toteuttaa kompressorin käyntiä tai pyörimisnopeutta muuttamalla tai ajamalla kuumakaasua lauhduttimen ohi lauhdelinjaan. (5, s. 94; 6, s. 344.)

Maalämpöpumpuilla lämpöä otetaan maasta. Lämmönkeruuputkisto voi sijaita vaakasuunnassa maahan kaivettuna, pystysuunnassa kallioon porattuna tai vesistöön upotettuna. Lämmönkeruuputkistossa lämmennyt neste kiertää lämpöpumpun höyrystimen läpi höyrystäen kylmäaineen. Maalämpöpumppujen lauhdutin on lämmönsiirrin, joka lämmittää vettä. Maalämpöpumpuilla voidaan haluttaessa lämmittää sekä käyttövesi että rakennuksen lämmitysvesi, siinä missä muilla lämpöpumpuilla voidaan tuottaa vain osa maksimitarpeesta. (6, s. 341–342.)

Jäähdytys maalämpöpumpputjärjestelmällä perustuu lämmönkeruuputkistossa kiertävän liuoksen kierrättämiseen jäähdytyslaitteessa. Laite voi olla ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatteri tai erillinen puhallinkonvektori. Lämmönkeruuputkistossa kiertävä liuos pumpataan jäähdytyspatteriin ennen lämpöpumpun höyrystintä. Näin toteutettuna jäähdytys esilämmittää lämpöpumpun höyrystimelle menevää kylmäliuosta, jolloin kylmäaineen höyrystymislämpötila voi olla vastaavasti korkeampi. Höyrystymislämpötilan nousu parantaa maalämpöpumpun energiatehokkuutta. Näin ollen maalämpöpumpputjärjestelmällä viilentäminen ei varsinaisesti liity kylmätekniiseen kiertoprosessiin, vaan jäähdytys perustuu geotermiseen energiaan, jossa maassa viilentynyt liuos ajetaan jäähdytyslaitteen patterin läpi. (7, s. 242.) Kuvassa 8 on havainnollistettu maalämpöjärjestelmän jäähdytyssovellus.



Kuva 8. Jäähdytys maalämpöpumpputjärjestelmässä.

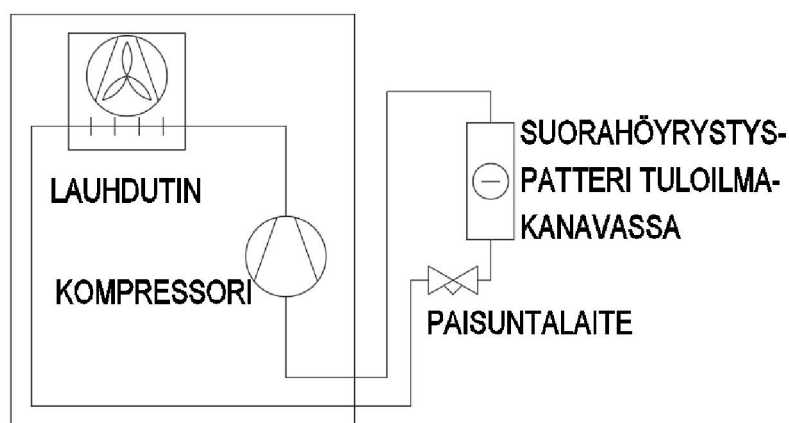
Poistoilmalämpöpumput ottavat lämpöä rakennuksen poistoilmasta. Poistoilmasta saatu lämpö riittää lämpimän käyttöveden valmistamiseen sekä osaan lämmitystarpeesta tiettyyn ulkoilman lämpötilaan saakka. Lämmityskäytössä ne vaativat ulkoilmalämpöpumpun tavoin rinnalleen lisälämmitysjärjestelmän. Jäähdytykseen poistoilmalämpöpumpua voidaan käyttää ilmalämpöpumpun tavoin kääntämällä höyrystimen ja lauhduttimen toiminnot, mikäli poistoilmalämpöpumppu on sijoitettu ilmalämmitteiseen kiinteistöön. (6, s. 342–343.)

2.3.2 Tuloilman jäähdytys

Ilmastoinnin jäähdytys voidaan toteuttaa suoralla tai välillisellä järjestelmällä. Suorassa järjestelmässä kylmäkoneen höyrystin sijoitetaan tuloilmakoneeseen tai sen tuloilmakanavaan. Jäähdytyslaitos on ilma- tai liuoslauhdutteinen kompressorikoneikko. Koneikon jäähdytystehonsäätö voidaan toteuttaa ohjaamalla kompressorin tehoa tai ajamalla kuumakaasutehonsäätöventtiilin kautta höyrystimelle kuumakaasua. (6, s. 322–323.) Vedenjäähdytyskoneiden edullisten hankintakustannusten ja hyvien säätömahdollisuuksien vuoksi suora höyrysteisiä tuloilman jäähdytyssovelluksia toteutetaan enää harvoin alle 50kW:n teholuokassa. (5, s. 97.) Kuvassa 9 on keskitetyn ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterin jäähdyttämiseen tarkoitettu ilmalauhdutteinen kompressorikoneikko, ja kuvassa 10 on sen toimintaa kuvaava kaavio.



Kuva 9. Ilmalauhdutteinen kompressorikoneikko (10).



Kuva 10. Tuloilman jäähdytyksen periaatekaavio, suora höyrysteinen jäähdytyspatteri.

2.3.3 Siirrettävät ja paikalliset koneet

Pieniä suorahöyrysteisiä jäähdytyslaitteita on monenlaisia. Ne ovat liikuteltavia ilmalauhdutteisia jäähdytyslaitteita. Ikkunakoneet ovat avoimeen ikkunaan tai seinään asennettavia jäähdytyslaitteita. Laite on yhtenäinen yksikkö, jonka höyrystin on huonetilassa ja lauhdutin on ikkunan tai seinän ulkopuolella. Ikkunakoneiden kondenssivedet johdetaan lauhdutintilaan, josta puhallin roiskii sen ulos. Ikkunakoneet ovat Suomessa harvinaisia, sillä ne on suunniteltu lämpimiin ja kosteisiin olosuhteisiin. Laitteen käyntiä ohjataan termostaatilla, joka ohjaa kompressorin käyntiä höyrystimelle tulevan ilman lämpötilan mukaan. Ikkunakoneiden jäähdytystehot ovat alueella 1–10 kW (6, s. 324; 5, s. 90.)

Siirrettävät laitteet ovat huonetilaan sijoitettavia yhtenäisiä yksiköitä. Laitteita käytetään lähinnä yksittäisissä asunnoissa. Yksinkertaisemmat mallit koostuvat höyrystimestä, kompressorista, lauhduttimesta sekä höyrystimen ja lauhduttimen puhaltimista. Laitteen höyrystimen pinnalle kondensoitunut vesi kerätään laitteen kondenssivesisäiliöön. Laitteen lauhduttimelta lämmennyt ilma johdetaan erillisellä letkulla esimerkiksi tuuletusikkunasta ulos tai poistoilmakanavaan. Siirrettävistä jäähdytyslaitteista on olemassa myös split-mallisia versioita, joissa on erillinen ulos sijoitettava lauhdutinyksikkö. Laitteen toimintaperiaate on samanlainen kuin ilmalämpöpumpuissa, laitteiden ero on liikuteltavuudessa. Split-malliset laitteet voivat sisältää kondenssivesipumpun, joka pumppaa veden lauhduttimelle, josta edelleen lauhduttimen puhallin roiskii veden ulos. Siirrettävien laitteiden toimintaa ohjataan ikkunakoneiden tavoin termostaatilla. Laitteiden jäähdytysteho on tyypillisesti 1–3 kW. (6, s. 324; 5, s. 91.)

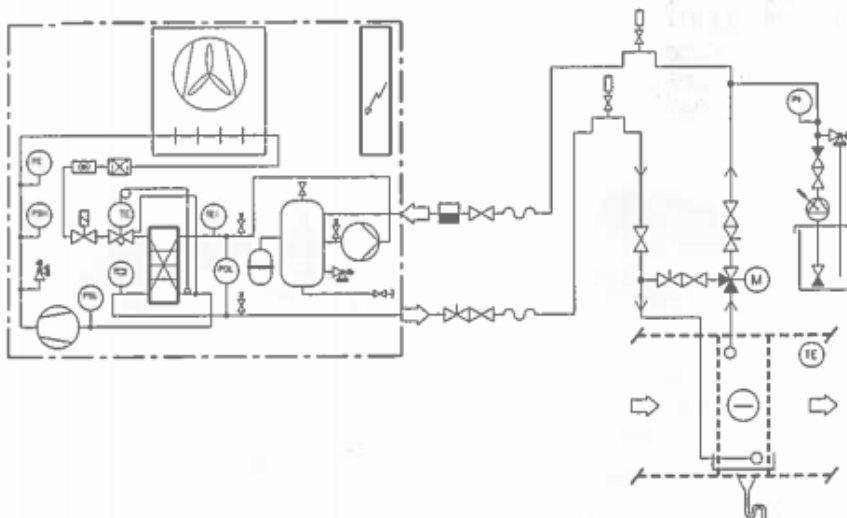
2.4 Asuinrakennuksien tyypillisimmät välilliset jäähdytysjärjestelmät

2.4.1 Vedenjäähdytyskoneikot

Vedenjäähdytyskoneikot ovat välillisiä kylmlaitoksia, joiden tehtävä on viilentää jäähdytysverkostossa käytettävää vettä. Vedenjäähdytyskoneikot sisältävät höyrystimen, lauhduttimen, kompressorin sekä muut kylmlaitoksen komponentit yhdessä koteloidussa paketissa. Ne sisältävät usein myös jäähdytyspiirin pumpun ja liuoslauhdutteisissa mal-leissa lauhdutuspiirien pumpun. Vedenjäähdytyskoneikot voidaan sijoittaa sisätiloihin tai

esimerkiksi rakennuksen vesikatolle. Ulos asennettuna koneikon jäähdytyspiiri tulee toteuttaa välillisesti, koska talviaikaan ulkona oleva putkisto vaurioituu, mikäli se pääsee jäätymään. Yleinen kylmäliuos jäähdytyspiirille on veden ja etyleeniglykolin seos, joka jäähdyttää kiinteistön jäähdytysvesiverkoston vettä sisätiloissa sijaitsevan lämmönsiirtimen välityksellä. Järjestelmän kuormitusheilahduksia vaimennetaan jäähdytyspiiriin asennettavalla tasaussäiliöllä. Vedenjäähdytyskoneen jäähdytystehoa ohjataan koneelle tulevan jäähdytettävän nesteen lämpötilan mukaan. Koneisto pysähtyy, kun nesteen lämpötila laskee alle asetusarvon. Koneikon käynnin tasaamiseksi jäähdytettävälle nesteelle tulee asentaa tasaussäiliö. Järjestelmä on toteutettava siten, että höyrystimen läpi virtaava nestevirta pysyy vakiona. Vedenjäähdytyskoneet ovat jäähdytystehoaltaan 5–5 000 kW. Kuvassa 11 on esitetty periaatekaavio vedenjäähdyttimestä. Katkoviivalla rajattu alue kuvaa vedenjäähdytyskoneeseen kuuluvia komponentteja. Vedenjäähdyttimen ulkopuolella on kuvattu jäähdytyspiirin putkisto laitteineen ja kytkentöineen. Kuvassa on myös esitetty jäähdytyspiiriin täyttöpumppaamo sekä tuloilmakanavassa sijaitseva jäähdytyspatteri. Kuvassa 12 on esitetty ilmalauhdutteinen vedenjäähdytin. (5, s. 99–100; 6, s. 329–330.)

Kiinteistön jäähdytysvesiverkoston mitoituslämpötilat ovat tyypillisesti 7 °C /12 °C. Korkeampaakin jäähdytysveden menolämpötilaa kuin 7 °C tai suurempaa meno- ja paluuveden lämpötilaeroa voidaan mitoitukseen käyttää, jos se on järjestelmän jäähdytyslaitteiden kannalta tarkoituksenmukaista. (6, s. 329.)



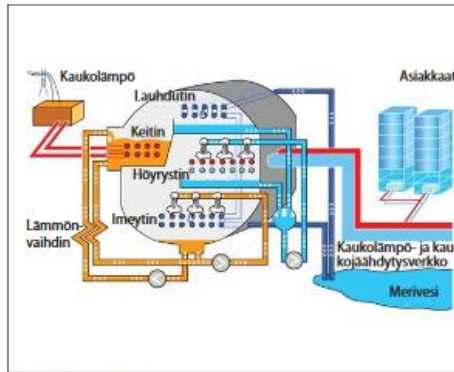
Kuva 11. Ulos asennettava vedenjäähdytyskoneikko tuloilman jäähdytyksessä (6, s. 331).



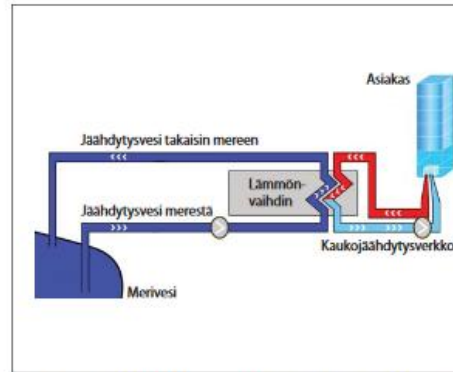
Kuva 12. Ilmalauhdutteinen vedenjäähdytyskone (11).

2.4.2 Kaukokylmä

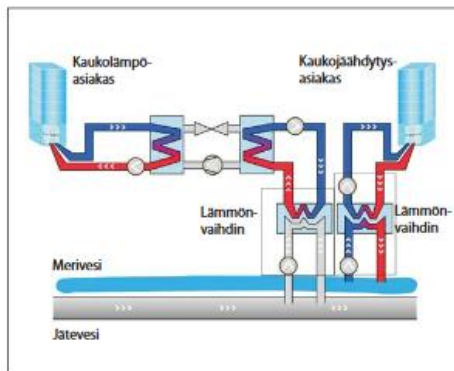
Kaukokylmä on suurissa kaupungeissa yleinen ratkaisu kiinteistön jäähdytyskeinona. Lämpölaitos myy jäähdytysvettä verkostostaan kiinteistölle. Lämmönsiirtimen kautta kylmä vesi johdetaan jäähdytyslaitteille. Energialaitos tuottaa kaukokylmää absorptiotekniikalla, vapaajäähdytyksellä merivedestä, kompressoritekniikalla tai suurilla lämpöpumpuilla. (12)



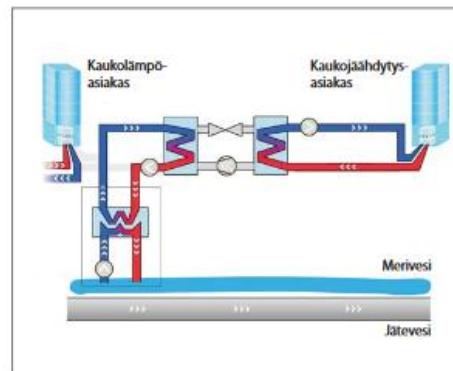
Kuva 1. Absorptiojäähdytys.



Kuva 2. Talvikauden jäähdytystuotanto merestä (vapaajäähdytys).



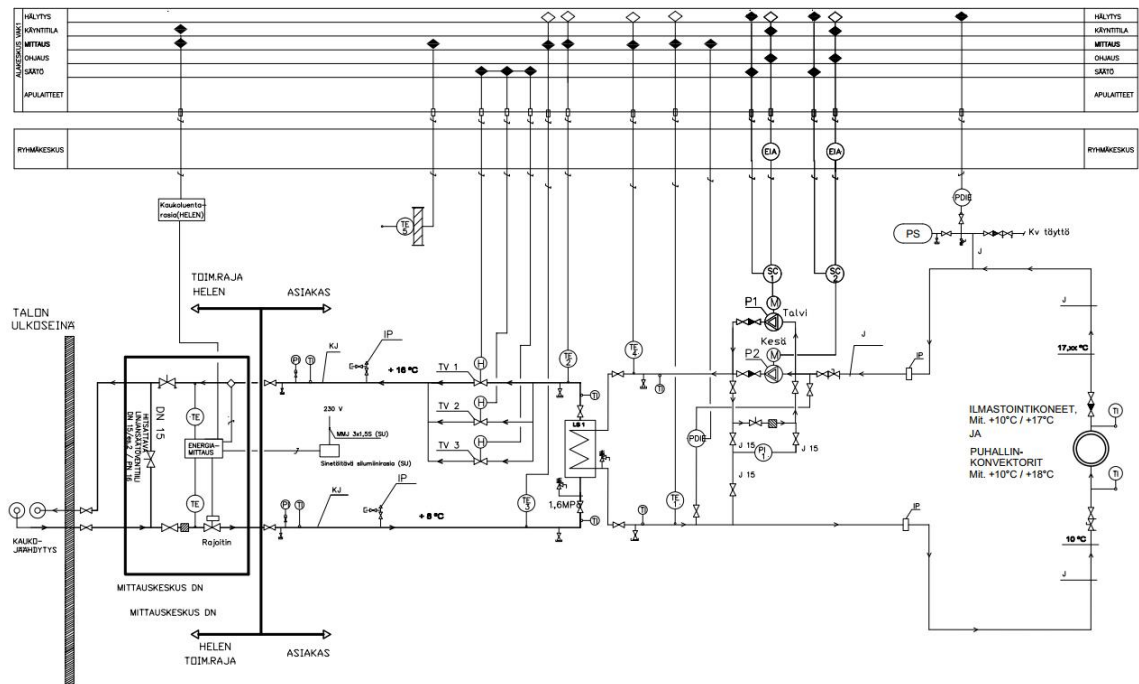
Kuva 3. Lämpöpumpun toimintaperiaate talvella.



Kuva 4. Lämpöpumpun toimintaperiaate kesällä.

Kuva 13. Kaukojäähdytyksen tuotantomenetelmiä (12).

Kaukokylmän etuna on pieni investointikustannus, sillä kylmän veden tuotannosta vastaa energialaitos. Kaukojäähdytyksen asiakkaan hankittavaksi jää kaukojäähdytyksen alajakokeskus sekä kiinteistön jäähdytysvesiverkosto laitteineen. Helsingin energian ohjeen mukaan kaukokylmään liitetyn kiinteistön jäähdytysverkoston veden mitoituslämpötilat ovat ensiöpuolella $8\text{ °C} / 16\text{ °C}$ ja toisiopuolella $10\text{ °C} / 18\text{ °C}$. (13) Kuvassa 14 on esitetty Helsingin Energian mallikaavio kiinteistön jäähdytyskytkentäkaaviosta. Kaaviossa jäähdytyksen tehoa ohjataan kaukojäähdytyksen paluupuolen venttiileillä kiinteistön jäähdytysverkoston menoveden sekä ulkoilman lämpötilan perusteella. Sääto aktivoituu, kun ulkoilman lämpötila nousee yli kesäasetusarvon (5 °C).



Kuva 14. Esimerkkikytkentäkaavio asuinrakennuksen kaukojäähdytysjärjestelmästä (14).

2.4.3 Tuloilman jäähdytys

Tuloilmaa jäähdyttäessä jäähdytysjärjestelmä voi olla suora höyrysteinen tai välillinen. Tuloilman jäähdytys voidaan toteuttaa myös keskitetysti tai hajautetusti riippuen rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmästä. Ilmastoinnin välillinen jäähdytys voidaan toteuttaa keskitettyyn tai asuntokohtaiseen tuloilmakoneeseen tai sen tuloilmakanavaan asennettavalla nestekiertoisella jäähdytyspatterilla. Tyypilliset mitoituslämpötilat jäähdytyspatterin nesteelle ovat 7 °C / 12 °C.

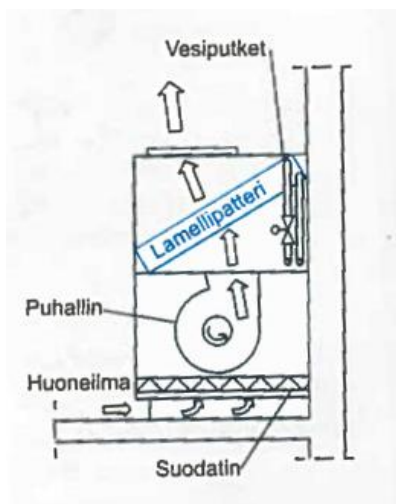
2.4.4 Puhallinkonvektorit

Puhallinkonvektorit ovat puhaltimella varustettuja lamellipattereita, joita voidaan käyttää sekä lämmittämiseen että jäähdyttämiseen. Laite kierrättää huoneilmaa, joka voi asennustavasta ja laitteen mallista riippuen olla erikseen kanavoitu laitteelle. Puhallinkonvektoreita voidaan asentaa kattoon, seinälle, lattialle, ikkunapenkkiin tai alaslaskettuun kattoon. Jäähdyttäminen perustuu pakotettuun konvektioon laitteen puhaltimen kierrättä-

essä ilmaa laitteen jäähdytyspatterin läpi. Patterissa kiertävä jäähdytysneste on vedenjäähdytysjärjestelmästä saatava vesi tai kylmäliuos. Laitteet mitoitetaan tyypillisesti nesteen lämpötiloille 7 °C / 12 °C ja huoneilman olosuhteille 24 °C / 50 % RH. Puhallinkonvektorit voidaan myös mitoittaa korkeammilla lämpötilatasoilla kondensoimattomiksi. Kondensoivien laitteiden kondenssivedet johdetaan kiinteistön viemärijärjestelmään. Laitteen tehonsäätö toteutetaan puhaltimen pyörimisnopeutta muuttamalla tai säätämällä patterin vesivirtaa kolmitieventtiilillä. (15, s. 203; 6, s. 332–333.) Kuvassa 15 on alakattoon asennettava kasettimallinen puhallinkonvektori, kuva 16 esittää havainneku-
van ikkunapenkkimallisesta laitteesta.



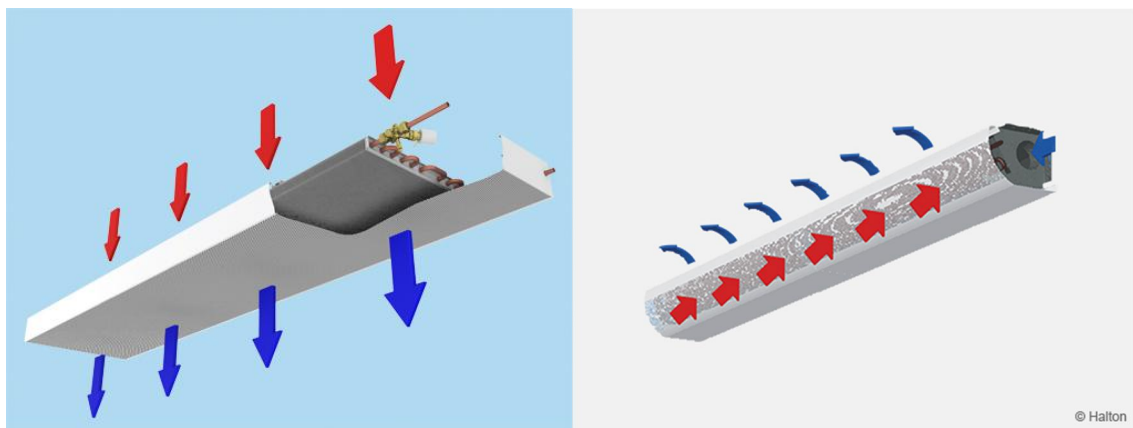
Kuva 15. Puhallinkonvektori (16).



Kuva 16. Ikkunapenkkiin asennettava puhallinkonvektori (15, s. 203).

2.4.5 Jäähdytyspalkit

Jäähdytyspalkit ovat kattoon asennettavia nauhamaisia jäähdytyslaitteita, joiden jäähdytys perustuu säteilyyn ja luonnolliseen konvektioon. Niiden etuna on äänettömyys ja minimaalinen vedon tuntu. Jäähdyttämiseen kylmän ilman puhaltamisella liittyy riskejä riittävän suuren jäähdytystehon suhteen. Liian viileä tuloilma lisää vedon tunnetta, ja alentaa asumisviihtyvyyttä. Säteilyyn perustuvassa palkissa kiertävä viileä neste jäähdyttää palkin, joka absorboi huoneesta yllämpöä. Jäähdytyspalkit voidaan jakaa toimintatansa mukaan passiivi- ja aktiivipalkkeihin. Passiivipalkissa lämmin ilma kiertää painovoimaisesti palkin läpi. Aktiivipalkkiin on liitetty myös rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän tuloilma, joka mahdollistaa tehokkaamman jäähdytyksen pakotetun konvektion muodossa. Jäähdytyspalkit mitoitetaan aina kondensoimattomiksi. Palkkeja sisältävässä tilassa tämä tarkoittaa sitä, että tilan tuloilmaa on usein jäähdytettävä (kuivattava), jotta kondenssia ei muodostu. Palkit eivät täten myöskään sovellu suurilla kosteuskuormilla omaaviin tiloihin. Aktiivipalkkien tuloilmavirta mitoitetaan ilmanvaihdon tarpeen, ei jäähdytystehon mukaan, jolloin vedon vaara on pienempi kuin pelkällä jäähdytetyllä tuloilmalla jäähdyttämässä. Jäähdytyspalkkeille tyypilliset nesteen lämpötilat ovat 15 °C / 18 °C. Palkkien tehoa säädetään kolmitieventtiilein. (6, s. 330; 15, s. 204; 5, s. 95.) Kuvassa 17 on esitetty passiivi- ja aktiivipalkin toiminta.



Kuva 17. Passiivi- ja aktiivipalkki (17; 18).

2.4.6 Lattiaviilennys

Lattiaviilennyksen lämmönsiirto perustuu termisen massan viilentämiseen. Lattiarakenne varustetaan putkistolla, jossa kiertää jäähdytetty vesi. Lattiaviilennyksen etuna on se, että se voidaan toteuttaa samalla putkistolla kuin lattialämmitys. Maksimaalisen jäähdytystehon kannalta parhaiten soveltuvat lattian pintamateriaalit ovat kivi ja keraamiset materiaalit, mutta myös eristävämät materiaalit, kuten parketti- ja laminaattilattiat soveltuvat lattiaviilennyksen käyttöön. Lattiaviilennysputkistossa kiertävän veden lämpötilan tulee olla riittävän korkea, jotta rakenteisiin ei tiivisty kosteutta ja asumisviihtyvyys pysyy tyydyttävällä tasolla. Sisäilmastoluokituksessa 2018 on asetettu lattiapinnan minimilämpötilaksi 18 °C. (2) Lattiaviilennysverkoston veden mitoituslämpötilat ovat menovedelle 16 °C...19 °C ja meno- ja paluuveden lämpötilaero 3–5 °C. Kiertopiirin tehoa säädetään termostaatilla. Termostaatin tulee lämpötilan lisäksi mitata kosteusolosuhteita mahdollisen kosteuden tiivistymisen estämiseksi. (19)

3 Keskitetyn ja hajautetun jäähdytysjärjestelmän kustannusvertailu

Jäähdytysjärjestelmien kustannusvertailussa tarkastellaan keskitetyn välillisen jäähdytysjärjestelmän ja hajautetun suorahöyrysteisen järjestelmän investointikustannuksia asuinkerrostalokohteessa. Vertailua varten tarkastellaan jäähdytysjärjestelmien toteutussuunnitelmia ja niiden perusteella lasketaan kustannusarvio. Laskennassa huomioidaan laitteiden ja materiaalien hankinta sekä järjestelmien asennuskustannukset.

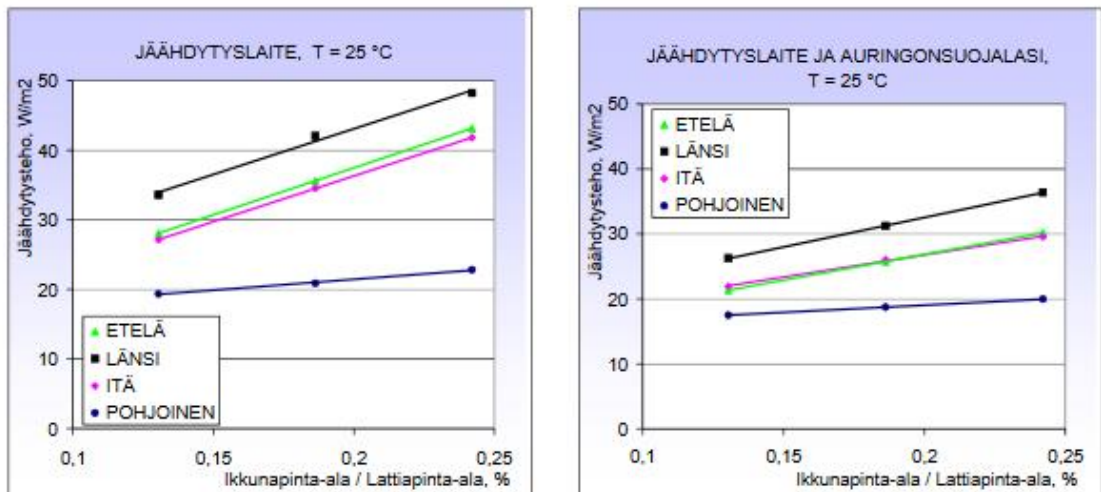
3.1 Kohteen kuvaus

Jäähdytysjärjestelmien kustannusvertailun pohjana käytetään olemassa olevaa asuinkerrostalorakennusta. Kohde valikoitui vertailun kohteeksi sen soveltuvuuden takia molemmille vertailun kohteena oleville järjestelmille.

Kohde sijaitsee Etelä-Suomessa. Rakennuksessa on 27 asuntoa kuudessa kerroksessa. Kohteen jokaisessa asunnossa on parveke. Tämä mahdollistaa ilmalämpöpumppujen

ulkoyksiköiden esteettisemmän sijoittelun. Kohteen keskitetyt hormit ja rakennuksen katolla sijaitseva ilmanvaihtokonehuone ovat keskitetyn jäähdytysjärjestelmän toteutusta varten otolliset.

Eri jäähdytysjärjestelmien mitoitus ja kustannusvertailua varten työhön tarvitaan jäähdytyksen tavoitetaso. Normaalisti rakennuksen jäähdytystä suunniteltaessa tulisi aina suorittaa kohteen kannalta yksilöity simulointi rakennuksen sisäisistä ja ulkoisista lämpökuormista dynaamisella laskentaohjelmalla riittävän tarkan tehontarpeen selvittämiseksi. Koska työn aiheena on kustannusvertailu, jäähdytystehontarpeen tarkka määrittely ei ole olennaista. Jäähdytysjärjestelmien mitoittamiseksi ja vertailun suorittamiseksi käytetään jäähdytystehontarpeena 30 W/m^2 . Tehontarpeen arvio perustuu RT-korttiin ”Kesäaikaisten lämpötilojen hallinta asuinkerrostaloissa”. (1) Työssä esitetyn esimerkkiasunnon ikkunat ovat etelää kohti suunnatut. Huoneiston ikkunapinta-alan ja lattiapinta-alan suhde on noin 0,2. Kuvan 18 mukaisesti mitoittuna tarvittavaksi jäähdytystehoksi muodostuu noin 27 W/m^2 . Täten voidaan päätellä, että mitoitusarvo 30 W/m^2 riittää suuntaa-antavaksi mitoitusperusteeksi kaikille rakennuksen asunnoille. Työssä esitetyn esimerkkiasunnon jäähdytystehontarpeeksi muodostuu mitoitusarvon 30 W/m^2 perusteella $2\,025 \text{ W}$.

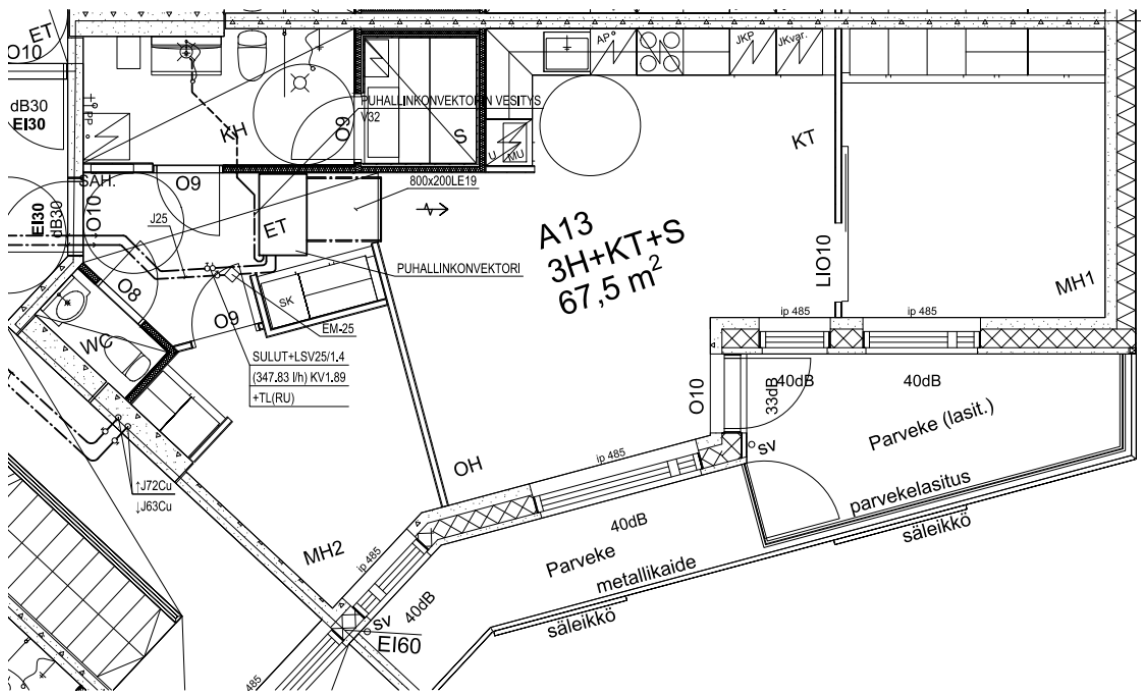


Kuva 18. Huonekohtainen jäähdytystehontarve (1).

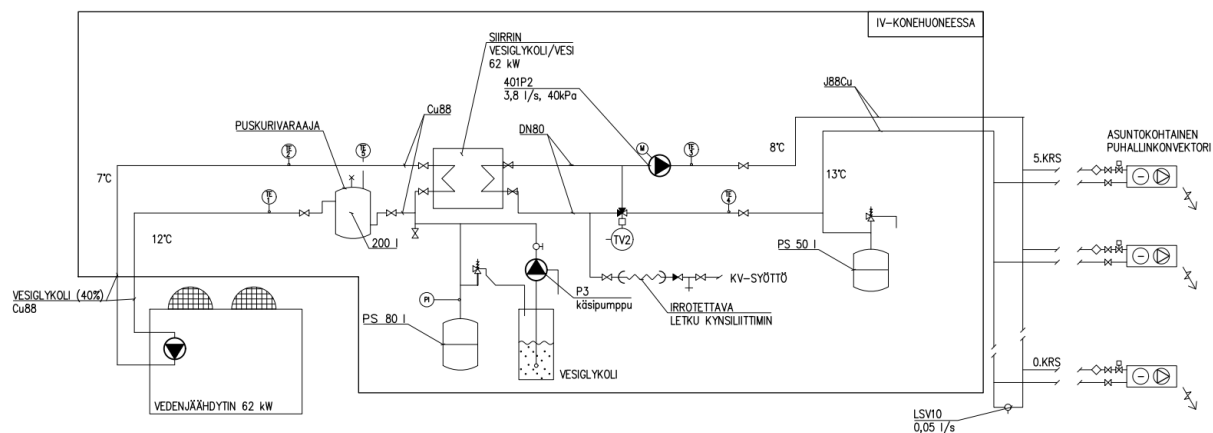
3.2 Keskitetyn välillisen jäähdytysjärjestelmän kuvaus

Keskitetty välillinen jäähdytys toteutetaan rakennuksen vesikatolla sijaitsevalla ilmalauhdutteisella vedenjäähdytyskoneikolla asuntokohtaisin puhallinkonvektorein. Vedenjäähdytyskoneikko viilentää etyleeniglykoliliuosta, joka ilmanvaihtokonehuoneessa sijaitsevalla lämmönsiirtimellä edelleen viilentää jäähdytysvesiverkon vettä. Vedenjäähdyttimen käynnin tasaamiseksi IVKH:ssa on puskurivaraaja kylmäliuokselle. Kohteessa on jäähdytysvesinousulinjoille keskitetty hormi, joista jäähdytysputkilinjat jaetaan kerroskohtaisesti asuntojen puhallinkonvektoreille.

Asuntokohtaiset puhallinkonvektorit ovat kanavoitavia alakattoasenteisia malleja, ja ne sijoitetaan eteisen alakaton otsapintaan puhaltamaan viileää ilmaa olohuonetta kohti. Puhallinkonvektorien jäähdytyspattereiden kondenssivedet johdetaan kylpyhuoneen lattiakaivoon. Kuvassa 19 on esitetty esimerkkiasunnon pohjakuva keskitetyn järjestelmän toteutuksesta, ja kuvassa 20 on esitetty keskitetyn jäähdytysjärjestelmän toimintakaavio.



Kuva 19. Esimerkkiasunnon toteutus keskitetyllä jäähdytysjärjestelmällä.



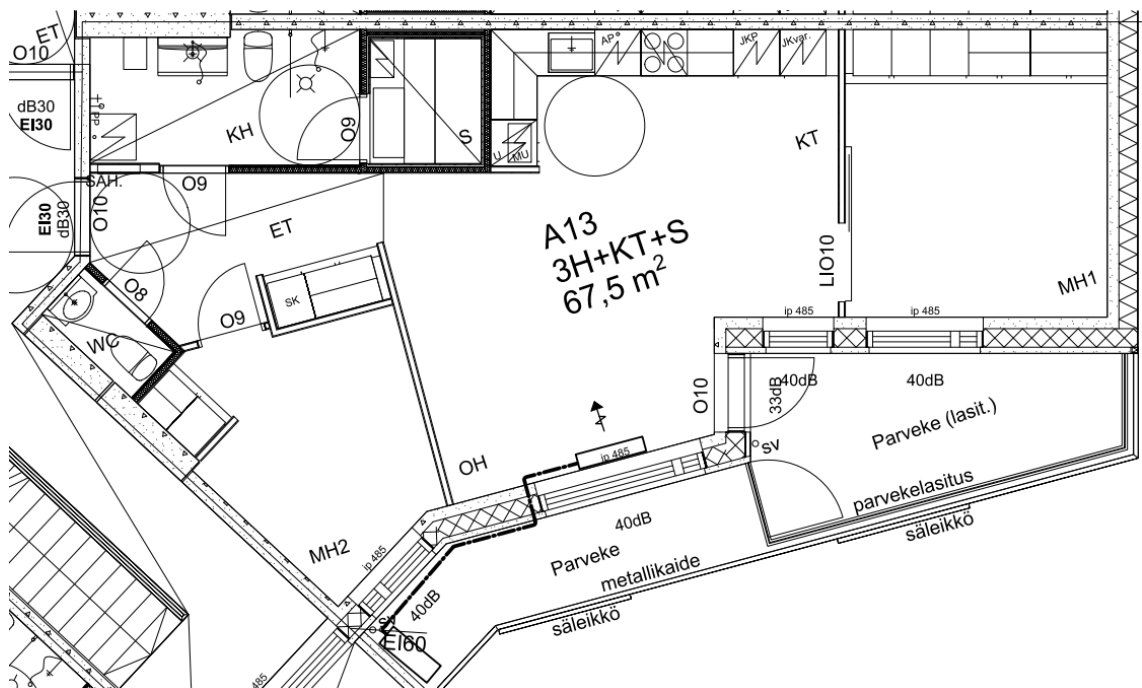
Kuva 20. Kohteen jäähdytysjärjestelmäkaavio.

Keskitetty vedenjäähdytyskoneikko on Carrierin valmistama ilmalauhdutteinen nestejäähdytin mallia 30RBS-070. Keskitetyn järjestelmän asuntokohtaiset jäähdytyslaitteet ovat Carrierin valmistamia kanavoitavia puhallinkonvektoreita, mallia 42NL349. Konvektori on EC-puhaltimella varustettu, ja sen jäähdytysteho on puhaltimen pyörimisnopeuden mukaan 1,2–4 kW. Laitteiden hinnat on kysytty Carrierilta sähköpostihaastattelulla (20). IVKH:ssa sijaitseva vesi-etyleeniglykoliliuoslämmönsiirrin on Swepin valmistama tuote. Siirtimen mitoitus sekä hinta on kysytty sähköpostihaastattelulla (21). Järjestelmän putkien, putkiosien, solukumieristeiden, venttiilien, kylmäliuoksen sekä IVKH:n paisunta- ja nestesäiliöiden hintatiedot sain Onnisen verkkohinnastoista (22; 23). Jäähdytysverkoston kiertopumpun hinta-arvion sain Grundfosin pumppumitoitusohjelmasta (24) Kivi- villaeristeiden hinnat hain Parocin verkkohinnastosta (25). Jäähdytysverkoston asuntokohtaisten energiamittareiden hinnan sain Cobalta sähköpostihaastattelulla (26). Konvektoreiden vaatimien kanavien ja kanavaosien hinnat ovat peräisin FläktGroupin verkkohinnastosta (27). Järjestelmän asennuskustannusten arvio laskettiin talotekniikka-alan LVI-toimialan vuoden 2018 työehtosopimuksessa ilmoitettuihin normituntihintoihin perustuen (28). Asentajan tuntipalkkana käytettiin palkkaryhmän 2 tuntipalkkaa.

Vedenjäähdytyskoneen valmistajan ilmoittama kylmäkerroin laitteelle on 2,74. Lukema on ilmoitettu höyrystimelle tulevan nesteen lämpötiloilla 7 °C / 12 °C ja ulkoilman lämpötilalla 35 °C. Suunnitellun järjestelmän vesi-glykolipiirin mitoitustämpötilat ovat 7 °C / 12 °C. Lämmönsiirtimen toisiopuolen jäähdytysveden mitoitustämpötilat ovat 8 °C / 13 °C.

3.3 Hajautetun suorahöyrysteisen järjestelmän kuvaus

Hajautettu suorahöyrysteinen jäähdytysjärjestelmä toteutetaan asuntokohtaisilla split-mallisilla ilmalämpöpumpuilla. Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö sijoitetaan olohuoneen ulkoseinälle, ulkoyksikkö asunnon parvekkeen lasittamattomalle osalle. Mikäli ulkoyksikkö sijaitsee lasitetulla parvekkeella, laitteen käyttö jäähdytykseen vaatii parvekelasitusten avaamista käytön ajaksi. Jos parvekelasitukset ovat kiinni, nousee lauhduttimelle tulevan ilman lämpötila liian suureksi, joka estää laitteen toiminnan. Ilmalämpöpumpun sisäyksikön kondenssivedet johdetaan parvekkeiden sadevesiurien kautta hulevesiviemäriin. Kuvassa 21 on esitetty esimerkkiasunnon pohjakuva hajautetun järjestelmän toteutuksesta.



Kuva 21. Esimerkkiasunnon toteutus ilmalämpöpumpulla.

Kohteeseen suunnitellut ilmalämpöpumput ovat Mitsubishi Electricin valmistamia. Laitteiden malli on MSZ-LN35VGHZ. Laitteen jäähdytysteho on 1,3–3,5 kW. Laitetoimitukseen kuuluvan ilmalämpöpumpun ulkoyksikön malli on MUZ-LN35VGHZ. Hajautetun järjestelmän hintatiedot sain Innoair Oy:n verkkosivuilta (29). Hinta sisältää laitteiston sekä asennuksen.

Ilmalämpöpumpun valmistajan ilmoittama kylmäkerroin laitteelle jäähdytettävän tilan sisälämpötilalla 27 °C ja ulkoilman lämpötilalla 35 °C on 4,3. Valmistajan ilmoittama toiminta-alue jäähdytyskäyttöön on ulkoilman lämpötiloilla -10 °C...46 °C.

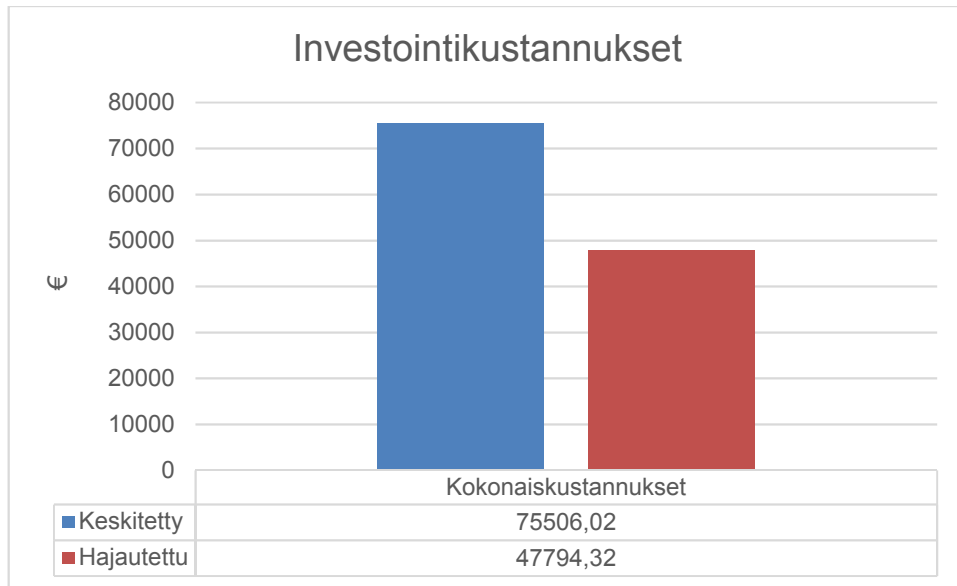
3.4 Järjestelmävalinnan suurimmat erot

Vertailtavien järjestelmien suurimmat erot lienevät rakennusmateriaalien investointikustannuksissa. Jäähdytysputkea tarvitaan huomattavasti enemmän keskitetyllä järjestelmällä, sillä hajautetussa putkietäisyydet ovat pienemmät. Keskitetyssä järjestelmässä jäähdytysverkoston sekä vedenjäähdyttimen lisäksi kulueränä ovat asuntokohtaiset jäähdytyslaitteet. Hajautetussa järjestelmässä kustannuksia asuntokohtaisten yksiköiden lisäksi ei tule. Loppukäyttäjän näkökulmasta erot ovat lähinnä esteettisiä. Keskitetyn järjestelmän puhallinkonvektorit pitänevät hajautetun järjestelmän ilmalämpöpumppujen sisäyksiköitä suurempaa ääntä johtuen puhallinkonvektorin jäähdytyspatterin korkeammasta lämpötilasta. Tällöin halutun jäähdytyksen tason saavuttaminen vaatii konvektorin puhaltimelta suurempaa pyörimisnopeutta. Toisaalta hajautetussa järjestelmässä lisämelua tuottaa ilmalämpöpumpun ulkoyksikkö. Jäähdytyslaitteen sijoitus huoneessa on erilainen. Lämpöpumpun ulko- ja sisäyksikkö jäävät näkyville, kun taas keskitetyn järjestelmän puhallinkonvektoreista näkyvät alakattoasennuksen myötä vain säleiköt. Ilmalämpöpumpuilla saadaan tuotettua myös lisälämmitystä. Keskitetyllä vedenjäähdytyskoneella taas saadaan helposti toteutettua myös keskitettyyn tuloilmakoneeseen asennettavalla jäähdytyspatterilla tuloilman jäähdytys asuntokohtaisten konvektoreiden lisäksi.

4 Kustannuslaskelmat

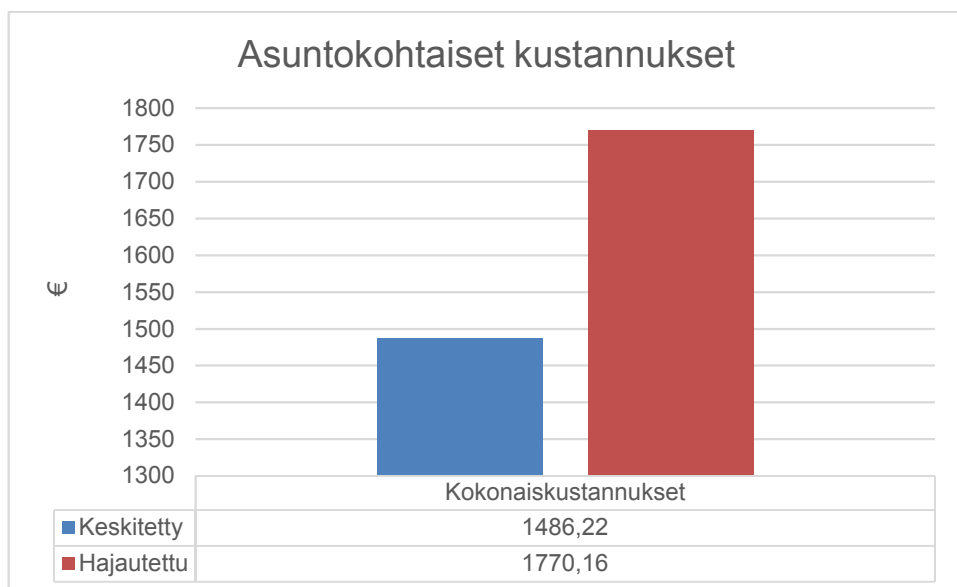
4.1 Investointikustannukset

Keskitetyn järjestelmän kokonaiskustannukset ovat valtavat verrattuna hajautettuun järjestelmään. Järjestelmien investointikustannukset on esitetty kuvassa 22. Keskitetyn ja hajautetun järjestelmän investointikustannusten erotus on noin 28 000 euroa. Keskitetyn järjestelmän kokonaiskustannukset jaettuna asuntojen määrällä on noin 2 800 euroa. Asuntokohtaisen ilmalämpöpumpun hinta asennuksineen on noin 1 770 euroa.



Kuva 22. Keskitetyn ja hajautetun järjestelmän kokonaisinvestointikustannukset.

Kuvassa 23 tarkastellaan keskitetyn järjestelmän asuntokohtaisten asennusten hintoja hajautetun järjestelmän vastaaviin. Vertailtaessa ainoastaan asuntokohtaisia asennuksia on keskitetty järjestelmä edullisempi.



Kuva 23. Asuntokohtaisten laitteiden investointi- ja asennuskustannukset.

Kokonaisinvestointikustannuksissa esiintyvä ero selittyy siis keskitetyn järjestelmän jäähdytysvesiverkoston hankinta- ja asennuskustannuksilla, joita hajautetussa järjestelmässä ei esiinny. Varsinaisen putkiston lisäksi kustannuksia lisää itse vedenjäähdytin ja sen toimintaan liittyvät IVKH:n laitteet. Keskitetty järjestelmä ei menesty kustannusvertailussa hajautetun järjestelmän kanssa.

4.2 Käyttökustannukset

4.2.1 Energiakustannukset

Ilmalämpöpumpun kylmäkerroin on 4,3. Vedenjäähdytyskoneen valmistajan ilmoittama kylmäkerroin on 2,74.

Nykyaikaisten ilmalämpöpumppujen kylmäkerroin on merkittävän suuri. Laitteiden energiatehokkuus on myyntivaltti. Hajautetun järjestelmän ilmalämpöpumput kuluttavat energiaa vain kompressorin ja sisä- sekä ulkoyksiköiden puhaltimien osalta. Perinteisessä uudisasuinkerrostalohankkeessa ilmalämpöpumppujen energiakustannukset lankeavat asunnon omistajalle.

Ilmalämpöpumppujen vertailukohtana käytetty vedenjäähdytyskone on kylmäkertoimeltaan heikompi. Itse kylmälaitoksen kompressorin sekä lauhduttimen puhaltimen tekemän työn lisäksi keskitetyssä järjestelmässä energiaa kuluttavat jäähdytysvesiverkoston kiertopumppu sekä puhallinkonvektoreiden puhaltimet ja säätölaitteet. Tässä vertailussa keskitetyn järjestelmän asuntoihin on asennettu jäähdytysveden virtaamaa ja lämpötilaa mittaavat energiamittarit, joiden avulla vedenjäähdyttimen ja jäähdytysveden kiertopumpun energiakustannuksia on helpompi jakaa asukkaiden välillä.

4.2.2 Huoltokustannukset

Keskitetyn järjestelmän huoltokustannukset jakaantuvat taloyhtiölle. Keskitetyssä järjestelmässä huoltokohteita voidaan katsoa olevan enemmän kuin hajautetussa järjestelmässä. Asuntokohtaisten jäähdytyslaitteiden lisäksi huollettavana on vedenjäähdytyskone sekä sen toimintaan liittyvät komponentit. Keskitetyssä järjestelmässä on kaksi kompressoria ja yksi lauhdutinpuhallin. Huoltokohteita hajautetussa järjestelmässä ovat

lämpöpumppujen sisä- ja ulkoyksiköiden komponentit, jotka sisältävät 27 kompressoria ja lauhdutinpuhallinta.

5 Huomiot, päätelmät

Keskitetyn järjestelmän investointikustannukset asuntoa kohti voivat suuremmissa teholuokissa alittaa hajautetun järjestelmän kustannukset. Jäähdytettävän rakennuksen asuntojen lukumäärä vaikuttaa tuloksiin merkittävästi. Hajautetun järjestelmän kustannukset ovat suoraan verrannollisia asuntojen määrään, kun taas keskitetyssä järjestelmässä kustannusrakenne ei ole lineaarinen.

6 Yhteenveto

Tässä työssä suoritetun kustannusvertailun perusteella hajautettu jäähdytysjärjestelmä asuntokohtaisin ilmalämpöpumpuin toteutettuna on kokonaisuudessaan huomattavasti edullisempi investointikustannuksiltaan kuin keskitetty järjestelmä. Järjestelmien välinen ero investointikustannuksissa on 27 711,70 euroa. Myös energiatehokkuuden ja huollettavien yksiköiden määrän perusteella kannalta hajautettu järjestelmä on parempi.

Työssä olisi ollut syytä selvittää järjestelmien käyttökustannuksia tarkemmin energiasimuloinnin ja huoltokustannusten osalta. Myös eri järjestelmien hintatietoja olisi ollut syytä tarkastella tarkemmilla arvoilla. Valmistajilta ja jälleenmyyjiltä tiedustellut ja LVI-alan tukkuliikkeiden ilmoittamat hinnat voivat erota hyvin paljon urakoitsijoiden todellisista hinnoista.

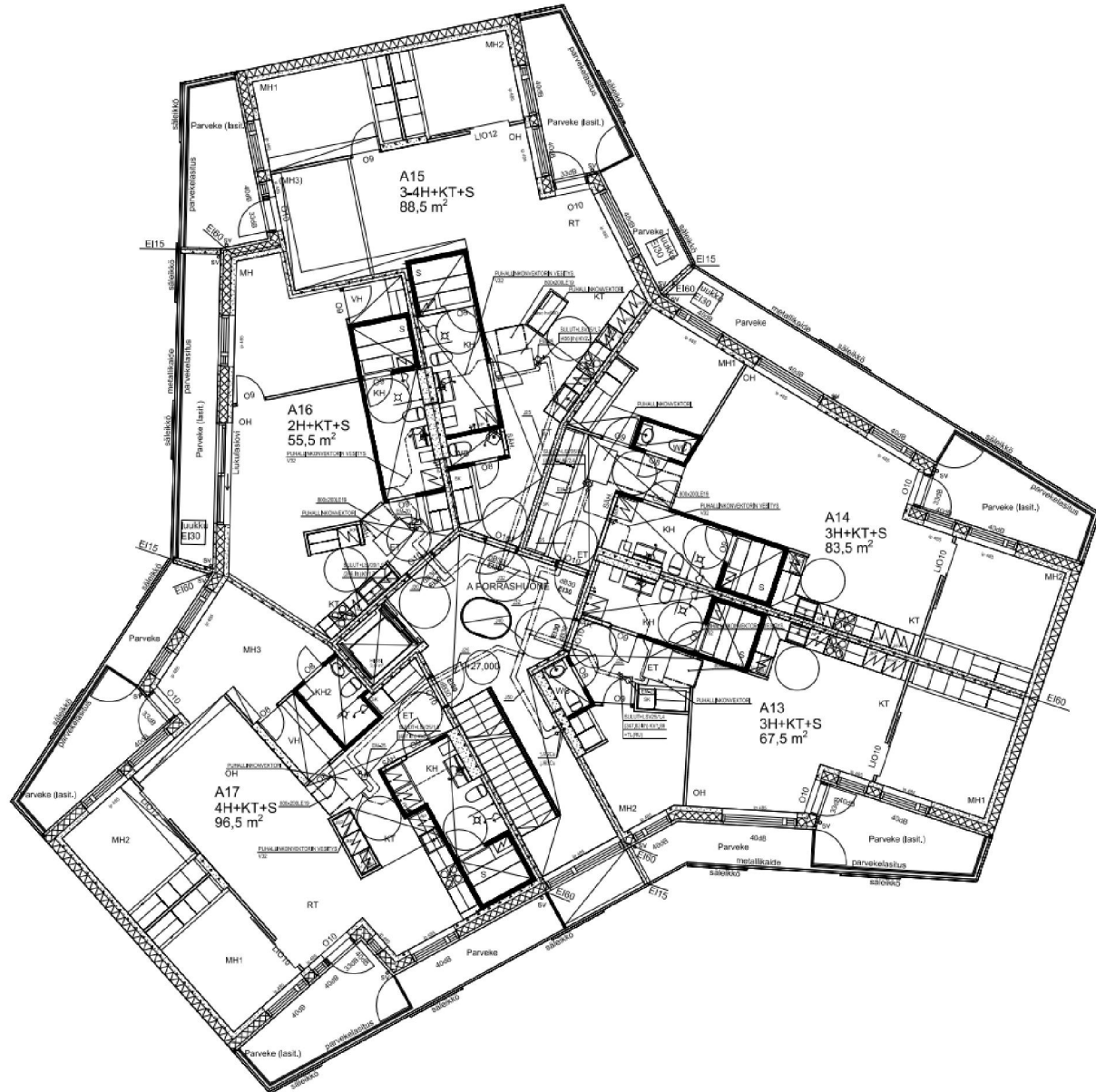
Lähteet

- 1 Kesäaikaisten lämpötilojen hallinta asuinkerrostaloissa. 2007. Ohjetiedosto. LVI30-10416. Rakennustieto Oy.
- 2 Sisäilmastoluokitus 2018. 2018. Verkkoaineisto. Sisäilmastoyhdistys ry.
- 3 Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriö.
- 4 Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. Helsinki. Ympäristöministeriö.
- 5 Kaappola Esko, Hirvelä Aulis, Jokela Matti, Kianta Jani. 2015. Kylmätekniiikan perusteet, 4. painos. Helsinki: Opetushallitus.
- 6 Aittomäki A. (toim.). 2012. Kylmätekniiikka, 4. painos. Porvoo: Suomen Kylmäyhdistys ry.
- 7 Hakala Pertti & Kaappola Esko. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Helsinki: Opetushallitus.
- 8 Mitsubishi Electric-MSZ-LN ilmalämpöpumppu. Verkkoaineisto. Scanoffice Oy. <<https://www.scanoffice.fi/tuote/mitsubishi-electric-msz-ln-ilmalampopumppu/>> Luettu 2.3.2019
- 9 MUZ-LN 50 VG. Verkkoaineisto. Mitsubishi Electric Corporation. <<http://www.mitsubishielectric.com/products/airconditioning/lr/index.html>> Luettu 2.3.2019
- 10 38RA 040-160. Verkkoaineisto. Carrier Oy. <http://staging.finland.carrier.com/images/PSD/38RA040_160/13800.pdf> Luettu 2.3.2019
- 11 30RB 039-160/30RQ 039-160. Verkkoaineisto. Carrier Oy. <http://staging.finland.carrier.com/images/PSD/30RBS_RQS039_160/13461_PSD_12_2009_30RBS_30RQS_LR.pdf> Luettu 2.3.2019
- 12 Kaukojäähdytysjärjestelmät. 2009. Ohjetiedosto. RT 56-10967. Rakennustieto Oy.
- 13 Rakennusten kaukojäähdytys, Yhtenäiset laatuvaatimukset, suositukset ja ohjeet. 2014. Energiateollisuus ry.

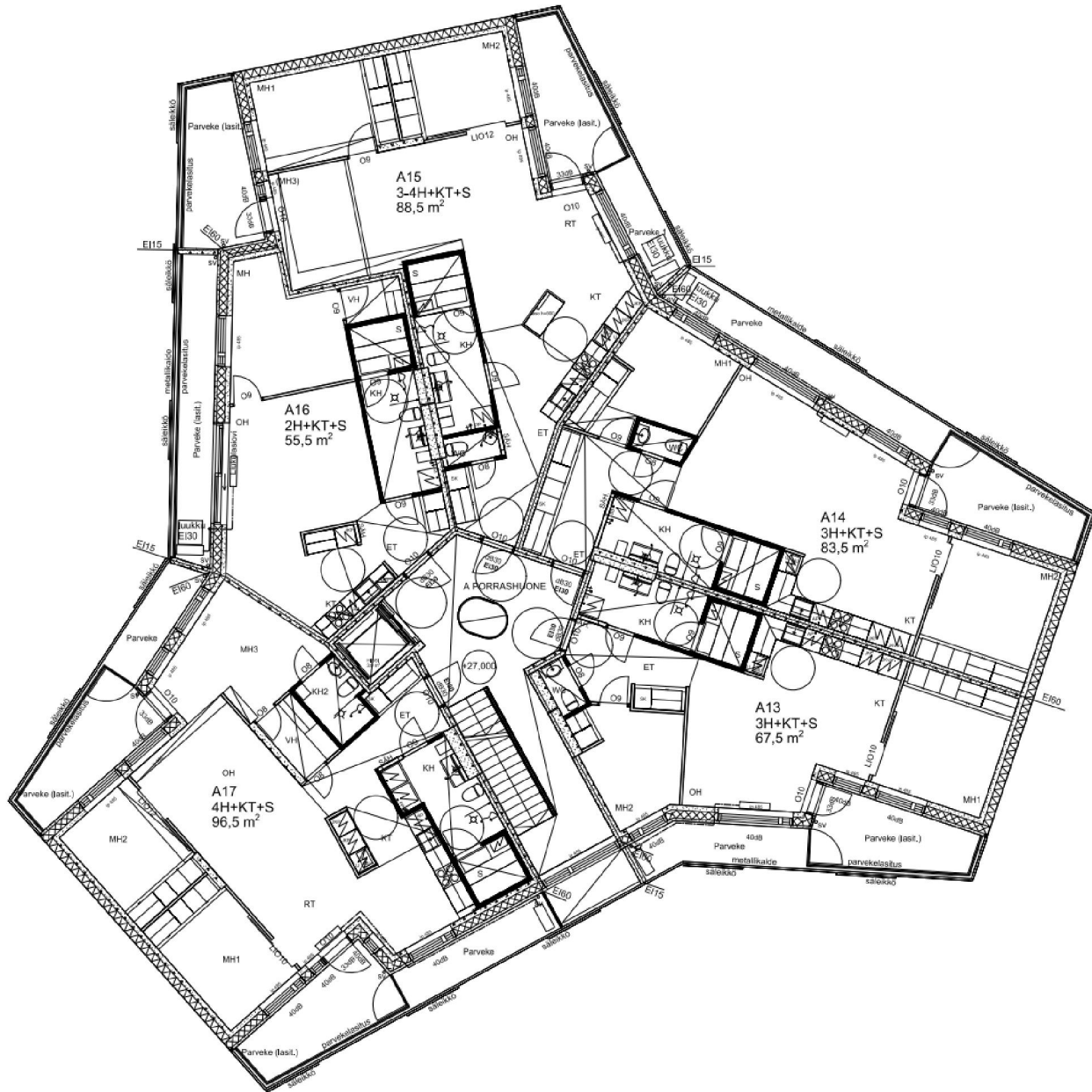
- 14 Kaukojäähdytyksen järjestelmäohje. Verkkoaineisto. Helen Oy. < <https://www.helen.fi/globalassets/jaahdytys/ammattilaiset/kaukojaahdytys-2017/jarjestelma-opas.pdf>>. Luettu 10.3.2019.
- 15 Seppänen Olli & Seppänen Matti. 2007. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka, 4. painos. Espoo: SIY Sisäilmastotieto Oy.
- 16 42GW. Verkkoaineisto. Carrier Oy. < http://staging.finland.carrier.com/images/PSD/42GW200_700/14202_01_12_LR.pdf> Luettu 2.3.2019
- 17 CPA-Chilled beam. Verkkoaineisto. Halton Group. <https://www.halton.com/fi_FI/halton/products/-/product/CPA> Luettu 2.3.2019
- 18 CBH-Jäähdytyspalkki. Verkkoaineisto. Halton Group. <https://www.halton.com/fi_FI/halton/products/-/product/CBH> Luettu 2.3.2019
- 19 Lattialämmitys- ja viilennysratkaisut kerrostaloissa. Verkkoaineisto. Uponor Oy <<https://www.uponor.fi/yritys/uutisia/lattialammityksen-kasikirja>>. Luettu 9.3.2019.
- 20 Jylhänkangas Petteri. 2019. Aluemyyntipäällikkö, Carrier Oy. Sähköpostikeskustelu. 26.2.2019.
- 21 Hakonen Jari. 2019. Aluemyyntipäällikkö, HögforsGST Oy. Sähköpostikeskustelu. 12.3.2019
- 22 LV-tuotteet sekä prosessiputkistotuotteet. Verkkoaineisto. Onninen Group. <https://www.onninen.com/SiteCollectionDocuments/Finland%20Documents/Excel_Pricelists/LV-tuotteet-sap.xlsx> Luettu 2.3.2019
- 23 Kylmätuotteet. Verkkoaineisto. Onninen Group. < https://www.onninen.com/SiteCollectionDocuments/Finland%20Documents/Excel_Pricelists/Kylmatuotteet-sap.xlsx> Luettu 2.3.2019
- 24 Grundfos product center/ pumpun mitoitusohjelma. Verkkoaineisto. Oy Grundfos pumput Ab. < <https://product-selection.grundfos.com/front-page.html?custid=GSF&qcid=465348450>> Luettu 2.3.2019
- 25 Tekniset eristeet/ talotekniikka/ hinnasto 1.1.2019. Verkkoaineisto. Paroc. <<https://www.paroc.fi/-/media/files/brochures/finland/paroc-ti-hvac-pricelist-2019-fi.ashx?la=fi-fi>> Luettu 2.3.2019
- 26 Löytynoja Mika. 2019. Toimitusjohtaja, COBA International Oy. Sähköpostikeskustelu 26.2.2019.

- 27 FläktGroup hinnasto 1.1.2019. Verkkoaineisto. FläktGroup.
<<https://www.flaktgroup.com/link/7aac0e5d4dec4bfab797c79c1b1d904a.aspx>>
Luettu 2.3.2019
- 28 Talotekniikka-alan LVI-toimialan työehtosopimus. 2018 Verkkoaineisto. Rakennusliitto Ry. < <https://www.finlex.fi/data/tes/4463/TT146TaloLvi1805.pdf>> Luettu 2.3.2019
- 29 Mitsubishi Electric LN35 VGW ilmalämpöpumppu. Verkkoaineisto. Innoair Oy.
<https://www.innoair.fi/epages/innoair.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/Innoair/Products/MSZ-LN35VGW> Luettu 13.3.2019

Keskittetty jäähdytysjärjestelmä, peruskerros



Hajautettu jäähdytysjärjestelmä, peruserkerros



Keskittetty jäähdytysjärjestelmä, vesikatto/IVKH

