



Jäähdytyksen suunnitteluopas

Arttu Laukkanen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2023

Talotekniikan tutkinto-ohjelma
LVI-talotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Talotekniikan tutkinto-ohjelma
LVI-talotekniikka

LAUKKANEN, ARTTU:
Jäähdytyksen suunnitteluopas

Opinnäytetyö 43 sivua, joista liitteitä 2 sivua
Toukokuu 2023

Hyvä sisäilma ja sisälämpötilan hallinta ovat merkittävä osa nykyistä rakentamista. Ilmastonmuutos sekä kasvavat sisäilman laatuun ja lämpötilaan kohdistuvat vaatimukset lisäävät jäähdytystarvetta rakennuksissa.

Opinnäytetyössä tutkittiin rakennusten jäähdytystarvetta, sen muodostumisen lähtökohtia sekä erilaisia jäähdytysratkaisuja. Työ koostuu teoriaosuudesta sekä tutkimusosuudesta, jossa selvitettiin esimerkkirakennuksen jäähdytystarvetta eri laskentatavoin ja vertailtiin kahta jäähdytysjärjestelmää ostoenergian näkökulmasta.

Työn teoriaosuudessa käsitellään ensin sisäilmasto-olosuhteita ja niiden vaikutusta jäähdytystarpeeseen. Lisäksi käydään läpi, miten jäähdytystarve määräytyy ja millä tavoin se pystytään määrittämään. Teoriaosuudessa esitellään myös erilaisia kylmäntuottotapoja sekä jäähdytyksen jakamista rakennuksiin. Tutkimusosuudessa selvitetään 15-kerroksisen kerrostalon liiketilojen jäähdytystarvetta eri menetelmin. Tämän jälkeen tehdään ostoenergiavertailu kahden eri järjestelmän kesken. Teoriaosuuden ja tutkimusosuuden pohjalta koottiin jäähdytyksen suunnitteluun opas.

Työn tuloksista huomattiin, miten jäähdytystarpeen erilaiset laskentatavat eroavat toisistaan ja dynaaminen simulointi on tarkin tapa selvittää rakennuksen jäähdytystarve. Jäähdytysjärjestelmien ostoenergiavertailu osoitti, että järjestelmien välillä on selviä eroja.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree programme in Building Services Engineering
HVAC Systems

LAUKKANEN ARTTU:
Cooling Design Guide

Bachelor's thesis 43 pages, appendices 2 pages
April 2023

Good indoor air and temperature control is an important part of modern building design. Increasing demands on indoor air quality and indoor air temperature are contributing to the growing need for cooling.

This thesis studied the cooling demand in buildings. The thesis consists of a theoretical part and a research part, where the cooling demand of an example building was investigated and a comparison of the purchased energy for two different cooling systems was made.

The theoretical part of the work discusses indoor climatic conditions and how these affect the cooling demand, how cooling demand is determined and how it can be determined, different methods of cooling and how cooling can be divided into buildings.

In the research part, the cooling demand of a 15-storey apartment building is investigated using different methods. This will be followed by a comparison of the purchasing energy of two different systems.

The study shows how the different methods of calculating cooling demand differ from each other. Comparison of the energy consumption of the cooling systems showed how much difference there is between the different systems. Based on the theoretical part and the research part, a cooling design guide was made.

Key words: cooling, cooling devices, HVAC systems

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	PERUSTEET JÄÄHDYTYKSELLE	6
	2.1 Sisäilmasto.....	6
	2.2 Kosteuden merkitys jäähdytyksessä	9
	2.3 Ilmastonmuutoksen vaikutus sisälämpötiloihin.....	10
	2.4 Jäähdytystarpeen määrittäminen	12
	2.5 Jäähdytystarpeen laskenta	15
3	KYLMÄNTUOTTO	17
	3.1 Lämpöpumput ja muut kylmäkoneet	19
	3.2 Maalämpöpumpun keruupiiri	21
	3.3 Kaukojäähdytys.....	22
4	JÄÄHDYTYKSEN JAKOTAVAT	24
	4.1 Tuloilman viilennys.....	24
	4.2 Jäähdytyskonvektorit.....	25
	4.3 Ilmalämpöpumput.....	25
	4.4 Lattiaviilennys.....	26
	4.5 Muut jäähdytyksen jakotavat	27
	4.5.1 Jäähdytyspalkit.....	27
	4.5.2 Jäähdytyspaneelit.....	27
5	JÄÄHDYTYSTARPEEN TUTKIMINEN LIIKETILOISSA	28
	5.1 Tutkittava kohde.....	28
	5.2 Jäähdytystarpeen laskenta tutkittavaan kohteeseen.....	30
	5.3 Jäähdytysjärjestelmien ostoenergian vertailu.....	33
6	TUTKIMUSTULOKSIEN YHTEENVETO	35
7	POHDINTA	36
	LÄHTEET.....	38
	LIITTEET	42
	Liite 1. Jäähdytyksen suunnitteluopas	42

1 JOHDANTO

Ilmaston lämpeneminen sekä rakennuksen käyttäjien lisääntyvä vaatimustaso lämpötilan hallinnalle kasvattaa jäähdytyksen merkitystä rakennuksissa. Opinnäytetyön tarkoitus on tutkia rakennusten jäähdytystarvetta sekä erilaisia ratkaisuja jäähdytyksen toteuttamiseksi. Työn kirjallisuusselvityksen sekä tutkimustulosten pohjalta rakennettiin jäähdytyksen suunnitteluopas suunnittelijoiden käyttöön. Työ on toteutettu Rejlers Rakentaminen Oy:n toimeksiannosta.

Opinnäytetyössä käsitellään rakennuksen jäähdytystarpeita ja niiden toteutustapoja. Työssä käydään läpi lämpötilan vaikutusta ihmisen terveyteen ja työkykyyn, millaisia vaatimuksia sisäilman olosuhteille on jäähdytykselle sekä tutkitaan ilmastonmuutoksen vaikutusta jäähdytystarpeen. Tämän lisäksi selvitetään, miten jäähdytystarve määräytyy rakennukseen ja millaisia jäähdytysratkaisuja on olemassa.

Työn tutkimusosuudessa selvitetään 15-kerroksisen kerrostalon liiketilojen jäähdytystarvetta dynaamista simulointiohjelmaa käyttäen. Simulointiohjelmasta saatuja tuloksia verrataan kokemusperäisen ja lämpökuormiin perustuvan laskentatavan tuloksiin. Lisäksi tutkimusosuudessa vertaillaan kirjallisuusselvityksessä saatujen tietojen perusteella eri jäähdytysratkaisujen energiankulutusta.

2 PERUSTEET JÄÄHDYTYKSELLE

Hyvä sisäilma ja sisälämpötilan hallinta ovat merkittävä osa nykyistä rakentamista. Ilmastonmuutos ja käyttäjien vaatimukset sisäilman laadulle ja sisäilman lämpötilalle ovat kasvaneet, mikä vaikuttaa jäähdytystarpeen kasvuun uusissa sekä korjattavissa rakennuksissa. Rakennusten jäähdytyksellä saadaan estettyä korkeiden sisälämpötilojen aiheuttamia negatiivisia vaikutuksia. (Airaksinen, Vainio, Vesanen & Ala-Kotila 2015, 5; Sandberg 2016a, 37.)

2.1 Sisäilmasto

”Hyvä sisäilmasto on yksi rakentamisen tärkeimpiä tavoitteita. Sisäilmaston lopulliseen laatuun vaikuttavat yhtä lailla lämmitys-, ilmanvaihto- ja ilmastointilaitteet, rakennustekniikka, rakennustyöt ja käytetyt materiaalit kuin rakennuksen käyttö ja kunnossapito.” (RT 07-11299 Sisäilmastoluokitus 2018, 3.)

Sisäilmasto tarkoittaa rakennuksessa ihmisten terveyteen ja viihtyvyyteen vaikuttavia fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä ja nämä ovat jaettu lämpöoloihin sekä ilman laatuun (Sandberg 2016a, 37). Lämpötilan hallinta on osa hyvää sisäilmastoa. Korkea sisälämpötila vaikuttaa negatiivisesti ihmisen suorituskykyyn, terveyteen ja yleiseen viihtyvyyteen sekä lisää sairaskohtauksien riskiä. (Sandberg 2016a, 40–42.)

Sisäilmastoluokitus 2018 on ohjekortti, jonka tarkoitus on olla talotekniikan suunnittelun ja urakoinnin tukena hyvän sisäilmaston saavuttamiseksi. Kyseinen dokumentti on laajassa käytössä toimitilarakennusten sisäilmastavoitteiden saavuttamiseksi. Sisäilmastoluokitus 2018 on koottu Sosiaali- ja terveysministeriön sekä Ympäristöministeriön asetusten, tutkimustiedon ja käyttäjäkokemusten pohjalta. (RT 07-11299 Sisäilmastoluokitus 2018, 1–2.)

Sisäilmastoluokitus kertoo kolmesta eri sisäilmaston tavoitearvosta, jotka ovat S1-, S2- ja S3-luokitukset. S3-luokitus kertoo määräysten mukaisesta sisäilmastosta, kun taas luokat S1 ja S2 kertovat määräyksiä paremmasta sisäilmastosta. S3-luokkaa käytetään pääosin asuinrakennuksien sisäilmastoa toteuttaessa ja S1- ja S2-luokkia hyödynnetään esimerkiksi toimistoissa ja opetusrakennuksissa. (RT 07-11299 Sisäilmastoluokitus 2018, 5–6.)

Jokaiselle luokalle on dokumentissa määritelty operatiiviselle lämpötilalle omat raja-arvonsa. Jokaiselle sisäilmastoluokan operatiivisen lämpötilan ylärajana pidetään Ympäristöministeriön asetuksen 1009/2017 mukaista +27 °C. Tämä alittaa Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksen 545/2015 mukaisen kesäajan sisäilman lämpötilan, joka tulee olla +18 - +32 °C välillä. Tämä asetuksen sisäilman lämpötila on asetettu terveydellisten vaikutusten arviointiin. (Finlex 1009/2017; Finlex 545/2015.)

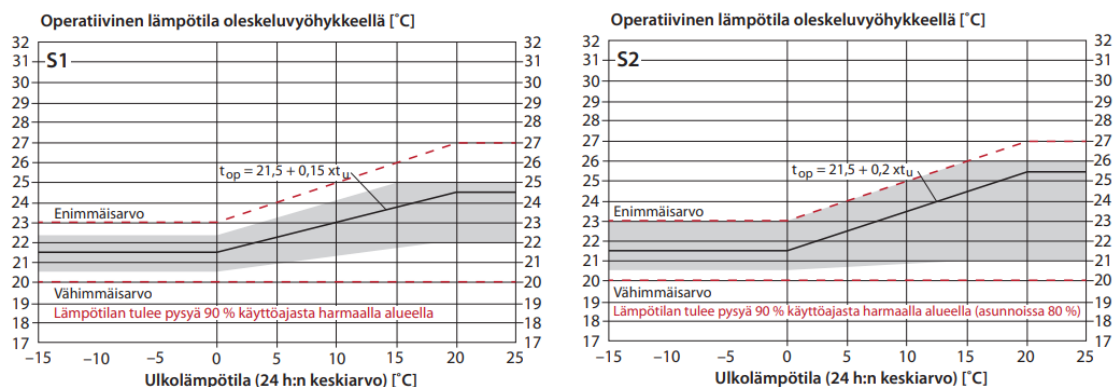
Kuitenkin Ympäristöministeriön asetuksen 1010/2017 mukaan eri rakennustyypeille on asetettu laskennalliset kesäajan huonelämpötilat. Näistä arvoista rakennuksen sisälämpötila ei saa ylittyä yli 150 astetunnin kesäkuun 1. päivä ja elokuun 31. päivän välisenä aikana. (Finlex 1010/2017.) Nämä rakennustyyppit ja niiden jäähdytysrajat nähdään taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Rakennusten käyttötarkoituseriöluokkien jäähdytysrajat. (Finlex 1010/2017)

Käyttötarkoituseriöluokka	Luokan kuvaus	Jäähdytysraja (°C)
1	Pienet asuinrakennukset, rivitalot, pienkerrostalot	27
2	Asuinkerrostalo	27
3	Toimistorakennus, terveyskeskus	25
4	Liikerakennus, tavaratalo, kauppakeskus, yli 2000m ² päivittäistavarakauppa, teatteri, ooppera-, konsertti ja kongressitalo, elokuvateatteri, kirjasto, museo	25
5	Majoitusliikerakennus, hotelli, asuntola, vanhainkoti, hoitolaitos	25
6	Opetusrakennus ja päiväkoti	25
7	Liikuntahalli pl. Uimahalli ja jäähalli	25
8	Sairaala	25
9	Muu rakennus, varasto, uimahalli, jäähalli, alle 2000m ² päivittäistavarakauppa	25

Kuten taulukosta 1 nähdään, jäähdytysraja asuinrakennuksissa on 27 °C ja muissa rakennustyypeissä, kuten toimitiloissa, 25 °C.

Sisäilmastoluokissa S1 ja S2 on määritelty lämpötilan raja-arvot eri ulkolämpötilojen mukaan. Nämä raja-arvot nähdään kuvassa 1.



KUVA 1. Luokkien S1 ja S2 operatiivisen lämpötilan raja-arvot (RT 07-11299 Sisäilmastoluokitus 2018, 6).

Kun katsotaan kuvasta 1 sisäilmastoluokan S1 taulukkoa, nähdään punaisella katkoviivalla lämpötilan enimmäis- ja vähimmäisarvot, mustalla viivalla kerrotaan operatiivisen lämpötilan tavoitearvoa. Harmaalla-alueella kuvataan operatiivisen lämpötilan sallittua vaihtelua. Tällä harmaalla alueella sisälämpötilan tulee pysyä 90 % käyttöajasta. Esimerkkinä luokassa S1 nähdään, että operatiivisen lämpötilan tulee olla 25 °C ulkolämpötilan ollessa 20 °C tai enemmän. Määräyksien ja sisäilmastoluokkien raja-arvoja vertaillen, huomataan näiden olevan yhtenäisiä keskenään.

2.2 Kosteuden merkitys jäähdytyksessä

Kostea sisäilma vaikuttaa rakennuksen rakenteisiin, ihmisen terveyteen sekä siihen, miltä lämpötila tuntuu ihmisestä. Kun ilma sisältää paljon vesihöyryä, ihmisen kehosta lähtevän vesihöyryn on vaikeampi siirtyä ympäröivään ilmaan, mikä voi aiheuttaa tukalaa tunnetta. Jäähdytyksellä pystytään poistamaan ilmasta kosteutta, jolloin samassa lämpötilassa kuiva ilma ei tunnu yhtä tukalalta kuin kostea ilma. (Talotekniikkainfo 2021a.)

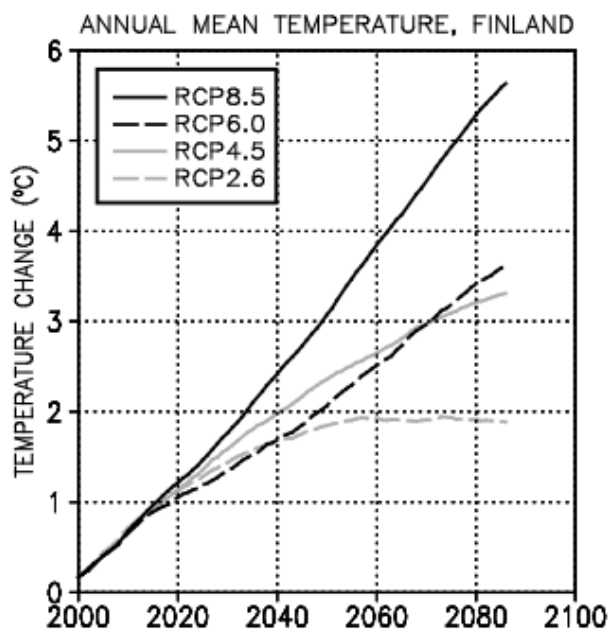
Ilman kosteus on ilmassa olevaa vesihöyryä, jonka määrä riippuu ilman lämpötilasta. Ilmassa olevaa kosteutta kuvataan yleisesti suhteellisena kosteutena, mikä ilmoitetaan prosenttilukuna. Kyseinen prosenttiluku kertoo, kuinka paljon ilma sisältää vesihöyryä suhteessa siihen miten paljon kyseisissä lämpötilassa ilma voi vesihöyryä varastoida. Kosteussisältö kertoo, kuinka monta grammaa vesihöyryä kilogrammassa ilmaa on. Kosteussisältö voi olla eri lämpötiloissa sama, vaikka suhteellinen kosteus olisi molemmissa eri, sillä lämmin ilma pystyy varastoimaan enemmän vesihöyryä kuin kylmä ilma. Esimerkiksi jos ilman kosteussisältö olisi 5 g/kg, niin 25 °C lämpötilassa suhteellinen kosteus olisi 40 % ja 10 °C lämpötilassa suhteellinen kosteus olisi 70 %. (Ilmatieteenlaitos 2020.)

Kun ilma saavuttaa 100 % suhteellisen kosteuden, ei ilma pysty varastoimaan enempää vesihöyryä ja ilmasta alkaa kondensoitumaan vettä. Tätä kutsutaan kastepisteeksi. Eri lämpötilojen kastepisteitä sekä suhteellisia kosteuksia pystytään tarkastelemaan Mollier-diagrammia käyttäen. Jäähdytystä suunniteltaessa tulee huomioida kosteuden poistuminen ja Mollier-diagrammia käytetään sen selvittämiseen. Mitoituksessa ulko-olosuhteina käytetään 30 °C ja 57 kJ/kg entalpia-arvoa (Ilmatieteenlaitos 2020; RT 07-11299 Sisäilmastoluokitus 2018, 14.)

2.3 Ilmastonmuutoksen vaikutus sisälämpötiloihin

Ilmastonmuutos on merkittävä tekijä rakennusten jäähdytystarpeen kasvuun. Viimeisen 40-vuoden aikana ilmasto on lämmennyt 0,2–0,4 °C vuosikymmentä kohden. Ilmastonmuutoksen seurauksena Suomen lämpötilat nousevat etenkin talvisin ja hellejaksot yleistyvät ja pidentyvät. Tulevaisuuden ilmaston olosuhteita ja lämpötiloja on laskettu ja niiden pohjalta on luotu vuonna 2013 erilaisia ilmastoskenaarioita eli RCP-skenaarioita. RCP-skenaariot eivät ole ennusteita vaan ne arvioivat maailmanlaajuisten päästöjen kehitystä neljässä eri skenaariossa. (Ilmasto-opas 2017; Ilmasto-opas n.d; Ilmatieteenlaitos n.d.)

Skenaariota ovat RCP2.6 missä päästöt on saatu jyrkkään laskuun vuoden 2020 jälkeen, RCP4.5 missä päästöt kasvavat hieman aluksi mutta kääntyvät laskuun vuoden 2040 kohdilla. RCP6.0 tarkoittaa päästöjen pysymistä vuoden 2013 tasolla, mutta vuosisadan loppuun mennessä päästöt ovat kasvaneet melko suuriksi. RCP8.5 tarkoittaa päästöjen kasvun jatkumista nyt ja tulevaisuudessa. Kuvassa 2 nähdään 4 eri ilmastoskenaarioiden vaikutusta Suomen ulkolämpötilan nousulle. (Ilmasto-opas n.d.)



KUVA 2. Suomen keskilämpötilan nousu RCP-skenaarioittain (Ruosteenoja, Jylhä & Kämäräinen 2016, 24.)

Kuten kuvassa 2 nähdään, RCP2.6 -skenaarion toteutuessa, ulkolämpötilan nousu saadaan hillittyä kahteen asteeseen, kun taas skenaariossa RCP8.5 ulkolämpötilan nousua ei saada hillittyä vaan se jatkaa vielä vuoden 2080 jälkeenkin kasvamista, jolloin lämpötilan nousu olisi yli viisi astetta. Energiatohokkuudella on suuri merkitys, jottei tämä RCP8.5 -skenaario toteudu.

Farahani ym. (2022) tekemän tutkimuksen mukaan, jäähdytystarve Suomen toimistorakennuksissa voi kasvaa tulevaisuudessa jopa 7–17 % rakennusta kohden ja energiankulutus jäähdytyksessä voi kasvaa jopa 50 %. Jäähdytys siis tulee olemaan tulevaisuudessa entistä isommassa osassa talotekniikkaa. (Farahani ym. 2022; Ilmatieteenlaitos 2022.)

2.4 Jäähdytystarpeen määrittäminen

Rakennuksen jäähdytystarpeen laskeminen poikkeaa lämmitystarpeen laskennasta. Kun lämmitystarvetta lasketaan, voidaan olettaa rakennuksen olevan stationääritilassa eli rakennuksen rakenteisiin ei varaudu lämpöä eikä se sitä luovuta. Kuitenkin jäähdytystarpeen laskennassa rakennus ei ole stationääritilassa eli rakenteisiin varautunut lämpö tulee ottaa huomioon. Rakennuksen lämpötaaseeseen vaikuttavia tekijöitä ovat: (Sandberg 2016b, 420–421.)

- Auringon säteily
- Sisäiset kuormat kuten ihmiset, laitteet ja valaistus
- Ulkoilman lämpötila
- Tuloilman lämpötila
- Ilmankosteus
- Kosteuden varastoituminen
- Rakenteiden lämmönvarastoitumiskyky
- Ilmavirtaukset kuten ilmanvaihto, vuotoilma ja siirtoilma

Rakennuksen jäähdytystarvetta voidaan pienentää myös passiivisin keinoin. Auringon lämmittävä vaikutus on keskimäärin 100 W/m^2 rakennuksessa mutta se voi olla jopa 1000 W/m^2 . Aurinkosuojauksella pystytään vähentämään tai parhaimmillaan poistamaan auringosta aiheutuva jäähdytystarve. Aurinkosuojaus voidaan toteuttaa tilan sisä- tai ulkopuolelle sekä automaatiolla voidaan myös ohjata aurinkosuojien liikettä kellonajan ja päivänvalon mukaan. Erilaisia aurinkosuojia ovat esimerkiksi sälekaihtimet tai markiisit. (Motiva 2023; Talotekniikkainfo 2021b; Energiatalous 2016.)

Auringonsäteilyä johtuvaa lämmittävää vaikutusta voidaan myös vähentää käyttämällä ikkunoita, joissa on pieni auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin. Auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin eli g-arvo kertoo kuinka paljon ikkunan pintaan tulevista auringonsäteistä pääsevät ikkunan läpi lämmittämään tilaa. (Hammerglass n.d.)

Jäähdytystarpeen laskemisessa tulee huomioida tilojen käyttötarkoitukset ja suunnitellut henkilömäärät. Ihminen luovuttaa lämpöä keskimäärin 125 W henkilöä kohden ja lämmön luovutus riippuu työn raskaudesta. Fyysinen työ lisää ihmisen tuottamaa lämpöä, kun taas rauhallista istumatyötä tekevä luovuttaa vähemmän lämpöä. Tiloissa tulee huomioida kuinka paljon henkilöitä voi tilassa olla. Esimerkiksi toimistorakennuksessa talvella, kun työntekijät ovat omilla työpisteillään, jäähdytystarvetta tuskin on. Mutta kun sama ihmismäärä on yhdessä neuvottelutilassa, voi syntyä jäähdytystarvetta. Myös erilaiset laitteet kuten tietokoneet luovuttavat lämpöä ympäristöönsä. (Airaksinen, Vainio, Vesanen & Alakotila 2015, 9; RT 07-11299 Sisäilmastoluokitus 2018, 14.)

Sisäisien kuormien määrittelyssä voidaan myös käyttää Sisäilmastoluokituksessa olevia arvoja tai Ympäristöministeriön asetuksessa 1010/2017 energialaskentaan käytettäviä arvoja. Näitä voidaan käyttää silloin kun ei tiedetä tilan todellista käyttöä. Sisäilmastoluokituksen arvot näkyvät taulukossa 2 ja Ympäristöministeriön asetuksen arvot näkyvät taulukossa 3. Nämä arvot poikkeavat toisistaan siten, että Sisäilmastoluokituksen lämpökuormat ovat hieman suurempia kuin Ympäristöministeriön asetuksessa. (RT 07-11299 Sisäilmastoluokitus 2018, 14; Finlex 1010/2017.)

TAULUKKO 2. Tilojen käyttöprofiilit ja lämpökuormat Ympäristöministeriön asetuksen mukaan. (Finlex 1010/2017.)

Käyttöluokka	Käyttöaika päivässä (h)	Käyttöaika viikossa (d)	Kellonaika	Valaistuskuorma (W/m ²)	Laitekuorma (W/m ²)	Henkilökuorma (W/m ²)
Luokka 1	24	7	00:00 - 24:00	6	3	2
Luokka 2	24	7	00:00 - 24:00	9	4	3
Luokka 3	11	5	07:00 - 18:00	10	12	5
Luokka 4	13	6	08:00 - 21:00	19	1	2
Luokka 5	24	7	00:00 - 24:00	11	4	4
Luokka 6	8	5	08:00 - 16:00	14	8	14
Luokka 7	14	7	08:00 - 22:00	10	0	5
Luokka 8	24	7	00:00 - 24:00	7	9	8

TAULUKKO 3. Tilojen käyttöprofiilit ja lämpökuormat Sisäilmastoluokitus 2018 mukaan. (RT 07-11299 Sisäilmastoluokitus 2018, 14.)

Käyttöluokka	Käyttöaika päivässä (h)	Käyttöaika viikossa (d)	Kellonaika	Henkilötiheys (m ³ /hlö)	Valaisuskuorma (W/m ²)	Laitekuorma (W/m ²)	Henkilökuorma (W/m ²)
Asuintilat pientalo	24	7	00:00 – 24:00	37	8	2,4	2
Asuintilat kerrostalo	24	7	00:00 – 24:00	25	8	3	3
Toimistotilat	11	5	07:00 – 18:00	12	12	15	6
Neuvottelutilat	9	5	08:00 – 17:00	3	12	18–60	25
Opetustilat	8	5	08:00 – 16:00	2	18	12	35
Päiväkodin ryhmätilat	11	5	07:00 – 18:00	2	18	12	35
Liiketilat	14	7	07:00 – 21:00	17	15–70	8	5
Hotellihuone	24	7	00:00 – 24:00	19	14	7	4
Ravintolatilat	12	7	10:00 – 22:00	3	20	20	26
Urheilutilat	16	7	07:00 – 23:00	21	20	24	5
Terveydenhoitotilat	24	7	00:00 – 24:00	8	9	3	10

2.5 Jäähdytystarpeen laskenta

Rakennuksen jäähdytystarpeen laskentaa voidaan suorittaa monella eri tapaa. Ensimmäinen tapa on kokemuspohjainen arvio jäähdytystarpeesta, missä jäähdytettävän tilan pinta-ala kerrotaan 50–60 W/m². Samalla kokemuspohjaisella tavalla voidaan mitoittaa kuutiopohjaisesti. Tampereen sähkölaitokselta kerrottiin heidän mitoittavan kaukojäähdytysjärjestelmän rakennukseen käyttämällä arvoa 5 W/m³. (Toshibasuomi n.d; Lepistö 2021.)

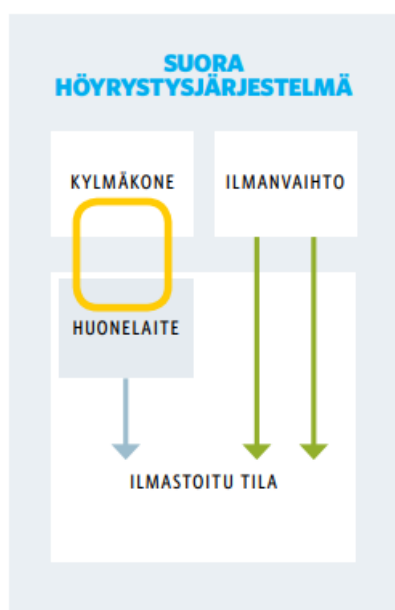
Toinen tapa jäähdytystarpeen määrittämiselle on laskea tilaan kohdistuva lämpökuorma. Laskettavia lämpökuormia ovat tilaan kohdistuva auringon säteily ikkunoista, henkilömäärät, valaistuksen lämpökuorma sekä laitekuorma.

Kolmas tapa on laskea yhden ja kahden aikavakion mallilla. Näissä aikavakio malleissa lasketaan, miten tilan pinnoissa ja ilmassa lämpö siirtyy sekä miten paljon lämpökuormaa tilaan tulee ja näistä saadaan monimutkaisia yhtälöitä jäähdytystarpeen laskemiseksi. (Sanberg 2016b, 422.) Tämä kuitenkin ei ole hirveän yleinen tapa laskea jäähdytystarvetta työelämässä.

Neljäs tapa jäähdytystarpeen laskentaan on dynaamisen simulointiohjelman kuten Equan IDA Indoor Climate and Energy käyttäminen. Dynaamisessa simuloinnissa rakennuksen 3D-tietomallia simuloidaan hyödyntämällä rakennuksen sijainnin mukaisia paikallisia sääoloja, lämpötiloja ja auringon säteilyä testivuoden mukaisilla arvoilla. Tämän lisäksi ohjelmassa pystytään kertomaan erikseen tiloille arvioidut henkilö- ja laitekuormat sekä selvittämään, mitkä tilat lämpenevät yli sallittujen rajojen ja miten erilaiset varjostukset ja aurinkosuojaukset vaikuttavat jäähdytystarpeeseen. Jäähdytystarvetta selvittäessä, simuloidaan rakennus 1.6.–31.7. väliseltä ajalta. Dynaaminen simulointi on tarkimpia tapoja selvittää rakennuksen jäähdytystarvetta. (Equaonline 2013, 9)

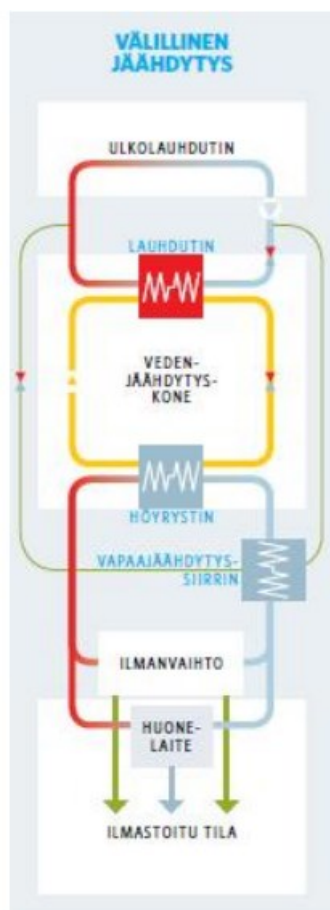
3 KYLMÄNTUOTTO

Kylmäntuottotavat voidaan jakaa kahteen päätapaan: suorahöyrysteisiin ja välillisiin järjestelmiin. Suorahöyrysteisissä järjestelmissä jäähdytetään suoraan tilan ilmaa kierrättämällä se höyrystimen kautta. Tällaisia laitteita ovat esimerkiksi ilmalämpöpumput. Kuvasta 3 nähdään suorahöyrystymisjärjestelmän toimintaperiaate. (Laitinen, Rämä, & Airaksinen 2016, 4–5.)



KUVA 3. Suorahöyrystysjärjestelmän toimintaperiaate (Laitinen, Rämä, & Airaksinen 2016, 5).

Välilliset järjestelmät tarkoittavat, että kylmä siirretään kylmälähteeltä jäähdytysvesiverkostoon, mistä tämä siirtyy jäähdytettävän tilan huonelaitteelle. Rakennuskohtaiset järjestelmät ovat yleensä välillisiä järjestelmiä ja esimerkkinä välillisestä järjestelmästä toimii kylmäntuotto kaukojäähdytyksellä ja sieltä tuleva kylmä siirretään erilliseen jäähdytysverkostoon, joka kulkee eri huoneiden konvektoreille. Periaatekuva välillisen järjestelmän toiminnasta nähdään kuvassa 4. (Laitinen, Rämä, & Airaksinen 2016, 5–6.)



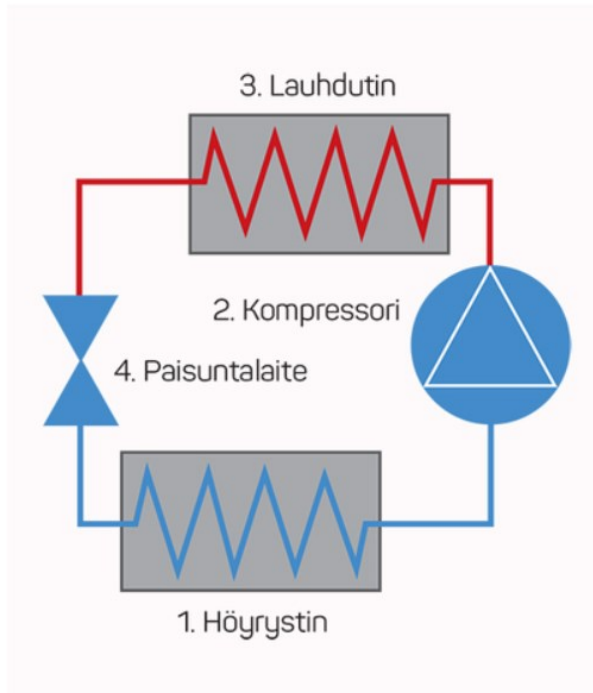
KUVA 4. Välillisen jäähdytysjärjestelmän toimintaperiaate (Laitinen, Rämä, & Airaksinen 2016, 6).

Kylmää voidaan myös tuottaa vapaajäähdytyksellä. Vapaajäähdytys on kylmäntuottomalli, missä kylmäntuottoon hyödynnetään viileää ulkoilmaa ilman erillistä jäähdytyskonetta. Vapaajäähdytyksen toiminta vaatii jäähdytettävää tilaa kylmemmän ympäristön toimiakseen, joten vapaajäähdytystä voidaan hyödyntää rakennuksissa missä on ympärivuotista jäähdytystarvetta. Vapaajäähdytys on yleensä yhdistetty aktiiviseen jäähdytykseen. Aktiivinen jäähdytys taas tarkoittaa koneellista kylmäntuottoa, jossa hyödynnetään erilaisia kompressor- tai lämpöpumppujärjestelmiä. Tätä kylmäntuottoa käytetään, kun passiivisella jäähdytyksellä ei saada katettua jäähdytystarvetta. (Motiva 2020; Laitinen, Rämä, & Airaksinen 2016, 33–34; Swegon n.d.a.)

3.1 Lämpöpumput ja muut kylmäkoneet

Lämpöpumput ovat laitteita, jotka perustuvat aineen olomuodon muutokseen. Lämpöenergiaa voidaan ottaa joko ilmasta tai maaperästä. Lämpöpumpuissa käytetään kylmäainetta, jonka avulla voidaan siirtää lämpöenergiaa kylmästä tilasta lämpimään. Kun tilaa halutaan jäähdyttää, siirretään lämpöenergiaa pois jäähdytettävästä tilasta. Lämpöpumpun hyötysuhdetta kuvaa kylmäkerroin, joka kertoo kuinka paljon jäähdytysenergiaa se tuottaa verrattuna sähköenergiaan. Esimerkiksi kylmäkertoimen ollessa kolme, saadaan jäähdytysenergiaa kolme kilowattia, kun käytetään sähköenergiaa yksi kilowatti. (Kylmäextra 2020; Motiva n.d.; Edilex 2011, 9)

Lämpöpumppuja voidaan käyttää lämmitykseen sekä jäähdytykseen. Jäähdyttäessä kylmäaine höyrystyessään sitoo lämpöenergiaa itseensä ja lauhtuessaan vapauttaa lämpöenergiaa ympäristöön. Höyrystin on jäähdytettävää tilaa kylmempi ja lauhtutin on ulkoilmaa lämpimämpi. Kylmäaineen höyrystymiseen tarvittava lämpöenergian määrä on kompressorin käyttämän energian verran pienempi mitä kylmäaineen lauhtuessa vapautuu. Kylmäprosessin tärkeimmät komponentit ovat kompressori, höyrystin, lauhtutin sekä paisuntaventtiili. Komponentin sekä kylmäprosessin jäähdyttäessä näkyvät kuvassa 5. (Kylmäextra 2020; Motiva n.d.)



KUVA 5. Jäähdytyksen kylmäprosessi (Kylmäextra 2020).

Kylmäprosessissa kylmäaine ottaa lämpöenergiaa tilasta höyrystimelle, jossa kylmäaine muuttuu nesteestä kaasuksi. Kylmäaineen höyrystyessä se sitoo energiaa itseensä ja aiheuttaa jäähdytystä tilaan. Neste höyrystyy silloin, kun höyrystimessä oleva lämpötila ylittää kylmäaineen kiehumispisteen. Mitä pienempi paine verkostossa on, sitä pienempi kylmäaineen kiehumispiste on. (Kylmäextra 2020.)

Höyrystimeltä kylmäaine siirtyy kompressorille imun avulla. Kompressori puristaa mekaanisesti matalapaineisen kaasun korkeapaineiseksi kaasuksi, mikä luo lämpöenergiaa kylmäaineeseen ja nostaa kaasun höyrystymislämpötilan korkeammaksi kuin matalapaineisen kaasun. Kompressorilta korkeapaineinen kaasu siirtyy lauhduttimelle, missä se muuttuu takaisin nesteeksi vapauttaen lämpöenergiaa lämmittäen ympärillä olevaa tilaa. Kaasu muuttuu takaisin nesteeksi, kun lauhduttimen lämpötila on alhaisempi kuin kylmäaineen höyrystymislämpötila. (Kylmäextra 2020.)

Lauhduttimelta kylmäaineneste siirtyy takaisin höyrystimelle paisuntalaitteen kautta. Paisuntalaite muuttaa korkeapaineisen nesteen takaisin matalapaineiseksi nesteeksi sekä annostelee höyrystimelle menevää kylmäaineen määrää, jotta kompressorille menisi täysin höyrystynyttä kylmäainekaasua. Näin kylmäprosessi alkaa uudelleen. (Kylmäextra 2020.)

3.2 Maalämpöpumpun keruupiiri

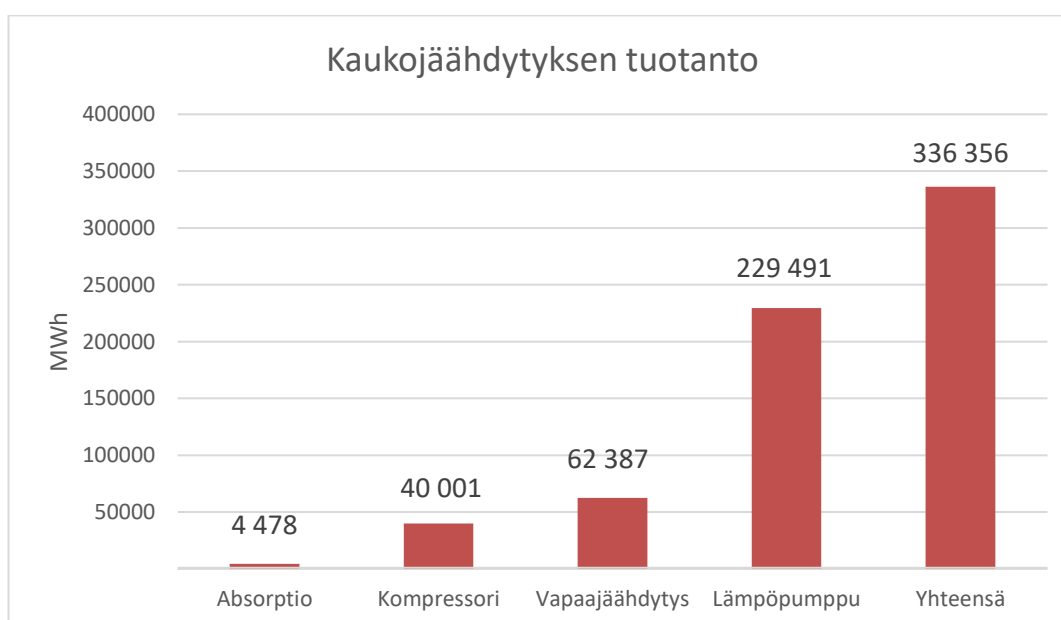
Rakennuksen jäähdytyksessä voidaan hyödyntää maalämpöpumpun keruupiiriä maaviilennykseen, jossa energialähteenä toimivat joko energiakaivot tai vesistö. Maaviilennyksessä rakennuksesta tullut lämpö siirretään energialähteeseen ja jos käytössä on energiakaivo, siirtyvä lämpöenergia lämmittelee kaivoa tulevaa lämmityskautta varten parantaen maalämpöpumpun hyötysuhdetta. Keruupiirin nestettä voidaan kierrättää suoraan energialähteeltä jäähdytyksen jakeluun, jolloin lämpöpumppua ei tarvitse. Maaviilennystä voidaan käyttää myös aktiivisena viilennyksenä, hyödyntäen maalämpöpumppua vedenjäähdytyskoneena, jos vapaajäähdytys ei kata jäähdytystarvetta. (Kylmäextra 2021; Motiva 2020; Energia-
tehokaskoti 2021.)

Maaviilennys toimii erinomaisesti kohteisiin, joihin on tulossa maalämpöjärjestelmä. Etuina maaviilennyksessä ovat hyvä mahdollisuus passiiviseen viilennykseen, jolloin ylimääräistä energiaa ei tarvitse kylmäntuottoon, sekä mahdollisuus hyödyntää laitetta vedenjäähdytyskoneena, jolloin tilaa säästyy rakennuksessa, kun ei tarvitse tuottaa kylmää toisella laitteella. Kuitenkin jäähdytystä suunniteltaessa tulee huomioida energiakaivoista saatava viilennys.

3.3 Kaukojäähdytys

Kaukojäähdytyksessä kylmä tuotetaan keskitetysti energialaitoksilla ja kylmä jäähdytysvesi tuodaan usealle eri rakennukselle maan alla kulkevilla putkilla kaukolämmön tapaisesti. Kaukojäähdytyksen toiminta perustuu siihen, että rakennuksen hukkalämmöllä lämmitetään kylmää kaukojäähdytysvettä lämmönvaihtimen avulla. Hukkalämpö siirretään energialaitokselle, jota voidaan hyödyntää kaukolämpöverkostossa. (Tuomenoja 2020; Louko 2019.)

Kaukojäähdytyksen toiminta perustuu siihen, että rakennuksen hukkalämmöllä lämmitetään kylmää kaukojäähdytysvettä lämmönvaihtimen avulla. Hukkalämpö Kaukojäähdytystä pidetään energiatehokkaana ja ympäristöystävällisenä vaihtoehtona verrattuna rakennuskohtaiseen jäähdytysjärjestelmään. Kaukojäähdytysjärjestelmissä päästään suurempiin laitoskokoihin, mikä lisää energiatehokkuutta. Kylmää voidaan tuottaa energialaitoksilla hyödyntäen vesistöjen kylmää vettä vapaajäähdytyksenä sekä lämpöpumppuja tai muita kompressorijärjestelmiä käyttäen. (Laitinen, Rämä, & Airaksinen 2016, 7.) Kuviosta 1 nähdään eri kaukojäähdytyksen tuotantotavat vuodelta 2021.



KUVIO 1. Kaukojäähdytyksen tuotanto Suomessa vuonna 2021 (Energia 2023).

Kuten kuviosta 1 nähdään, lämpöpumpuilla tuotettu jäähdytys kattaa noin 70 % Suomen kaukojäähdytystuotannosta. Vapaajäähdytyksellä saadaan tuotettua noin 18 % ja muilla kompressorijärjestelmillä tuotetaan noin 12 % kapasiteetista. Huomioitavana on, että absorptiolla tuotettu kaukojäähdytys on minimaalista eikä kyseisiin järjestelmiin ole investoitu vuosiin. (Energia 2023; Laitinen, Rämä, & Airaksinen 2016, 8.)

Kaukojäähdytysjärjestelmät hyödyttävät myös asiakasta, sillä järjestelmä vaatii vähemmän tilaa paikallisiin jäähdytysjärjestelmiin verrattuna, jäähdytyskoneiden ääni- ja värinäongelmat vältetään sekä järjestelmän huoltovastuu siirtyy pois kiinteistön vastuulta. Kuitenkin kaukojäähdytyksen saatavuus on toistaiseksi heikkoa Suomessa. Kaukojäähdytysverkostoja on vain muutamilla paikkakunnalla, esimerkiksi Helsingissä, Tampereella ja Turussa. Tämän lisäksi verkostoa ei välttämättä ole rakennettu paikkakunnan keskeisten alueiden ulkopuolelle. Esimerkkinä tästä nähdään kuvassa 6 Tampereen kaukojäähdytysverkoston kattavuus. (Energia 2023; Laitinen, Rämä, & Airaksinen 2016, 7–8; Tampereen Sähkölaitos n.d.)



Kuva 6. Tampereen kaukojäähdytysverkoston kattavuus (Tampereen Sähkölaitos n.d.)

4 JÄÄHDYTYKSEN JAKOTAVAT

4.1 Tuloilman viilennys

Tuloilman viilennys on helppo tapa viilentää rakennusta. Tuloilman viilennyksessä tilan tai rakennuksen ilmanvaihtokone varustetaan jäähdytyspatterilla. Jäähdytyspatteri viilentää tuloilmaa 15–18 °C, jonka jälkeen ilma puhalletaan eri tiloihin jäähdyttämään. (RT 50-10910 Kesäaikaisten lämpötilojen hallinta asuinkerrostaloissa 2007; Talotekniikkainfo 2021b.)

Tuloilman jäähdytysteho riippuu täysin tilaan puhallettavasta ilmamäärästä ja tuloilman lämpötilasta. Kokemusperäisellä mitoituksella voidaan laskea tuloilman jäähdytystehoksi 10 W/l/s tai 10–20 W/m². Jäähdytystehoa voidaan kasvattaa lisäämällä tuloilmamäärää tai pienentämällä puhallettavan ilman lämpötilaa. Tilaan puhallettava lämpötila ei kuitenkaan tule alittaa 15 °C sillä matala tuloilman lämpötila aiheuttaa vedontunnetta ja vähentää siten tilan viihtyvyyttä. (RT 50-10910 Kesäaikaisten lämpötilojen hallinta asuinkerrostaloissa 2007; Talotekniikkainfo 2021b.)

Tuloilman viilennyksessä tulee kuitenkin huomioida ilmavaihtokanaviston tilan tarve. Jäähdyttäessä kanavisto tulee lämpöeristää, jottei kanavistoon sisälle ja ulkopinnalle ilmasta kondensoidu vettä. Myös kanavakokoihin ja päätelaitteisiin tulee kiinnittää huomioita, sillä korkeat ilmavirrat voivat lisätä ilmannopeutta, mikä aiheuttaa vedontunnetta ja ääntä järjestelmästä.

Tuloilman viilennyksellä voidaan kattaa kaikki tai osa jäähdytystarpeesta, jolloin se hyvin sopii muiden jäähdytysjärjestelmien rinnalle tukemaan pääjäähdytysjärjestelmää. (RT 50-10910 Kesäaikaisten lämpötilojen hallinta asuinkerrostaloissa 2007; Talotekniikkainfo 2021b.)

4.2 Jäähdytyskonvektorit

Konvektorit ovat laitteita, joilla pystytään lämmittämään tai jäähdyttämään tilaa kierrättämällä sisäilmaa konvektorin sisällä olevan patterin läpi. Konvektorin jäähdytyspatterissa kulkee keskitetysti tuotettua jäähdytysvettä tai maalämpönestettä, josta viileä siirretään huoneilmaan. (Biottori n.d.)

Konvektorista voidaan saada jäähdytystehoja jopa 8 kW yhtä laitetta kohden. Tämä kuitenkin riippuu täysin kierrätettävän nesteen lämpötilaerosta, konvektorin läpikulkevan ilman lämpötilaerosta sekä konvektorin puhallusnopeudesta. Jäähdyttäessä tulee kuitenkin huomioida ilmasta kondensoitua vesi. Kondensoitua vesi voidaan huomioida joko kondenssiveden poistolla konvektorista tai kiertävän nesteen lämpötilaa nostamalla sekä lämpötilaeroa pienentämällä. Konvektoreissa kiertävän veden mitoituslämpötiloina on tyypillisesti 7/12 °C tai 15/18 °C. Konvektorit ovat oiva ratkaisu keskitettyjen jäähdytysjärjestelmien jakotavaksi. (Chiller n.d.; Sandberg 2016a, 281.)

4.3 Ilmalämpöpumput

Ilmalämpöpumput ovat paikallisia lämpöpumppuja, missä omassa järjestelmässään on ulkoyksikkö sekä yksi tai useampi sisäyksikkö, joka toimii konvektorin tavoin. Järjestelmän toiminta perustuu kappaleessa 2.3.1 on kerrottuun kylmäprosessiin.

Tavallisilla ilmalämpöpumpuilla saadaan jäähdytystehoja keskimäärin 3 kW mutta ilmalämpöpumpuista on mahdollista saada jopa 15 kW jäähdytystehoja. Ilmalämpöpumppujen kylmäkerroin voi olla jopa viisi mikä tekee niistä todella energiatehokkaita. Yhdellä sisäyksiköllä voidaan jäähdyttää noin 30–100 m² aluetta. Sisäyksikkö toimii konvektorin tavoin, joten jäähdytystehoon vaikuttaa kappaleessa 2.4.2 mainitut asiat. Kuitenkin sisäyksiköt poistavat kosteutta tilasta parantaen sisäilman laatua. (Scanoffice 2023; Motiva 2022; Sanberg 2016a, 262)

Ilmalämpöpumput ovat helppoja ja halpoja jäähdytysjärjestelmiä muihin järjestelmiin verrattuna. Ne ovat hyviä laitteita yksittäisten tilojen viilentämiseen, mutta ulkoyksikön tilan tarve ja kondenssinpoisto sisäyksiköltä tulee huomioida suunnittelussa.

4.4 Lattiaviilennys

Lattiaviilennys on kustannustehokas viilennystapa, missä hyödynnetään lattiassa olevia lattialämpöputkia myös viilennykseen. Lattiaviilennyksen toiminta perustuu lattiapinta-alan ja huoneen väliseen pieneen lämpötilaeroon. Lattiaviilennys ei aiheuta kylmyyden tunnetta jaloissa eikä kondensoitumisriskiä ole sillä lattian pinnan lämpötilaa ei lasketa alle 20 °C. (Uponor n.d.)

Lattiaviilennyksestä saatava jäähdytysteho riippuu huoneen ja lattian lämpötilojen erosta. Kuvasta 7 nähdään saatava jäähdytysteho lämpötilaeroon verrattuna.



KUVA 7. Lattiaviilennyksen teho lämpötilaeroilla (Uponor 2022, 13).

Kuten kuvasta 7 voidaan päätellä, että lattiaviilennyksestä saatava teho esimerkiksi 3–6 °C lämpötilaerolla on 20–40 W/m², mikä toimii myös hyvänä kokemusperäisenä mitoitusmenetelmänä. Mitoitus ei huomioi auringon tuottamaa lämpöä lattiapinta-alaan, vaan tarkka jäähdytysteho tulee selvittää dynaamisella simuloinnilla. (Uponor 2022, 13; Talotekniikkainfo 2021b.) Myös tilassa olevat huonekalut ja matot vähentävät lattiaviilennyksestä saatavaa tehoa.

4.5 Muut jäähdytyksen jakotavat

4.5.1 Jäähdytyspalkit

Jäähdytyspalkki on ilmanvaihtokanavaan asennettava jäähdytyslaite. Laitteessa ei ole erillistä puhallinta, sillä laitteen toiminta perustuu tuloilman viilentämiseen. Laite asennetaan tuloilmakanavan päätelaitteeksi, missä tuloilma menee jäähdytyspalkin sisällä olevan jäähdytyspatterin läpi viilentäen ilmaa. Jäähdytyspalkilla saadaan jäähdytysteho noin 1,5 kW. (Swegon n.d.b.)

Jäähdytyspalkki on hyvä ratkaisu tiloihin, missä ei ole korkeaa jäähdytystarvetta, mutta tuloilman viilennys ei riitä sitä kattamaan. Kuitenkin tuloilman viilennys tulee olla jäähdytyspalkkia käyttäessä, sillä jäähdytyspalkilla ei pysty poistamaan kosteutta tilasta. (Sandberg 2016a, 281)

4.5.2 Jäähdytyspaneelit

Jäähdytyspaneelit ovat kattoon asennettavia paneeleja, jotka jäähdyttävät tilaa säteilemällä. Jäähdytyspaneelien läpi kierrätetään viileää nestettä, josta paneeli säteilee jäähdytystä tilaan. Jäähdytyspaneeleista on mahdollista saada 150 W/m² jäähdytysteho. Jäähdytyspaneelit eivät kondensoi ja jäähdytyksenjako tapahtuu säteilemällä, jolloin tilaan ei kohdistu ilmavirtauksia eikä vedon tunnetta. (Rakennusfakta 2020; Lindab n.d., 10)

5 JÄÄHDYTYSTARPEEN TUTKIMINEN LIIKETILOISSA

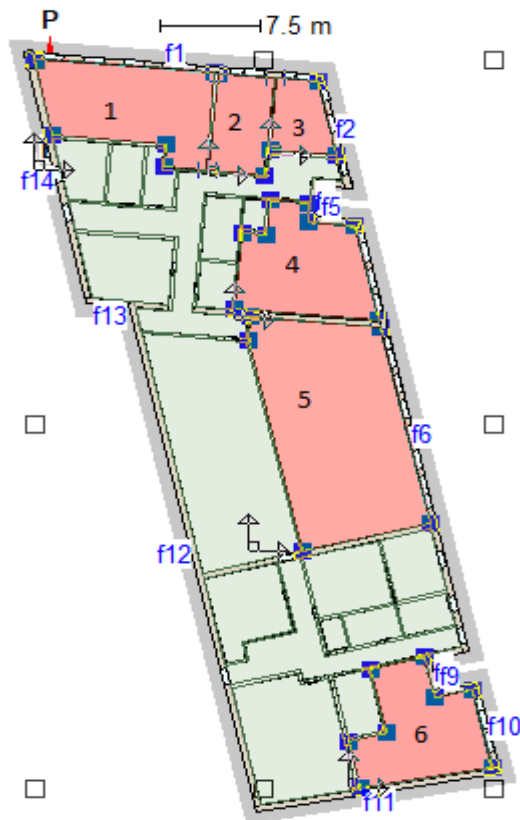
5.1 Tutkittava kohde

Esimerkkikohteena toimii Helsingin Pasilaan rakennettava 15-kerroksinen asuin-kerrostalo, jonka kivijalassa on kuusi liiketilaa. Kohteen liiketiloihin tutkitaan ja vertaillaan kahta eri jäähdytysratkaisua. Jäähdytystarve laskettiin dynaamisella simuloinnilla, jonka tuloksia verrattiin kokemuspäiseen laskentatapaan sekä lämpökuormiin perustuvaan laskentatapaan.

Kohteesta luotiin tietomalli, joka näkyy kuvassa 8. Kyseistä tietomallia käytettiin IDA ICE -ohjelmassa jäähdytystarpeen sekä jäähdytysratkaisujen toimivuuden selvittämiseksi. Vaikka rakennus on 15-kerrosta korkea, luotiin malliin vain kolme ensimmäistä kerrosta, sillä ylemmillä kerroksilla ei ole vaikutusta liiketilojen jäähdytykseen.



KUVA 8. Simulointimalli



KUVA 9. Liiketilöjen sijainti rakennuksessa

Rakennuksen pohjapiirros nähdään kuvassa 9, johon on myös merkittynä numeroituna sekä punaisella värillä liiketilät. Pohjapiirroksesta huomiona, että liiketila viisi on kahdessa kerroksessa. Kyseisessä liiketilassa on kahden kerroksen edestä huonekorkeutta sekä yläparvi, missä ei ole seinää. Tämä kyseinen tila siis omaa suuren huonetilavuuden. Liiketilät 1–3 ovat rakennuksen pohjoispuolella, liiketilät 4–5 ovat idänpuolella ja liiketila 6 sijaitsee rakennuksen eteläpuolella.

5.2 Jäähdytystarpeen laskenta tutkittavaan kohteeseen

Rakennuksen lähtötietoina lämpökuormille käytetään Sisäilmastoluokituksessa olevia liiketiloille olevia arvoja, jotka kappaleessa 2.4 olevassa taulukossa 3. Ilmanvaihdoksi liiketiloissa oletetaan $2 \text{ dm}^3/\text{s}, \text{m}^2$ tuloa ja poistoa, sillä tilojen tarkkaa käyttötarkoitusta ei ole tiedossa. Rakennusten U-arvoina sekä ikkunoiden g-arvona toimii IDA ICE:n liiketilojen oletusarvot. Lämpökuormiin perustuvassa laskentatavassa ikkunaan tulevien auringon säteilytehona käytetään kokemuspäristä suunnitteluarvoa, joka on $200\text{--}650 \text{ W/m}^2$ riippuen ikkunoiden sijainnista ilmansuuntiin nähden. Kohteessa ei ole huomioitu aurinkosuojauksia tai varjostuksia, sillä tutkittiin jäähdytystarpeen kattamista koneellisin keinoin. Jäähdytysrajana käytetään käyttötarkoitukseluokan neljä mukaista jäähdytysrajaa, mikä on $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Näillä lähtötiedoilla saatiin suoritettua kesäaikainen jäähdytystarvesimulointi liiketiloihin, mikä sijoittuu aikavälille 1.6.–31.7. Simulointi tulokset löytyvät taulukosta 4.

Taulukko 4. Maksimijäähdytystehon tarve.

Tila	Jäähdytettävä alue (m^2)	Jäähdytystehon tarve (W/m^2)	Kokonaisjäähdytysteho (W)	Maksimilämpötila ($^\circ\text{C}$)	Jäähdytysrajan astetuntisumma ($^\circ\text{Ch}$)
Liiketila 1	84	51,2	4298	32	5565
Liiketila 2	34	53,4	1814	32	6111
Liiketila 3	24,5	73,4	1797	35	7366
Liiketila 4	75	65,8	4933	34	6790
Liiketila 5	226	86,2	19488	35	6792
Liiketila 6	70	52,3	3664	32	4650

Kuten taulukosta 4 huomataan, liiketiloihin kohdistuu suuri jäähdytystarve. Tilojen maksimilämpötilat ovat jo terveydelle haitallisia sekä jäähdytysrajan astetunnit ylittävät sallitun 150 astetunnin. Näin ollen tilojen jäähdytys on välttämätöntä.

Dynaamisen simuloinnin tulosten lisäksi laskettiin jäähdytystarve lämpökuormiin perustuvalla laskentatavalla käyttäen taulukkolaskentaohjelmaa, johon syötettiin tilan lähtötiedot. Taulukosta 5 nähdään esimerkki liiketila 1 lämpökuormalaskennasta. Jokaisesta liiketilasta laskettiin erikseen jäähdytystarve lämpökuormilla.

Taulukko 5. Lämpökuormien laskenta.

	Liiketila 1	
Auringon säteilyteho	200	W/m ²
Ikkunapinta-ala	19	m ²
Läpäisykerroin g	0,55	
Auringon lämpökuorma	2090	W
Ihmisten lämmönluovutus	125	W/KPL
Ihmiset	20	KPL
Ihmisten lämpökuorma	2500	W
Valaistus	19	W/m ²
Pinta-ala	84	m ²
Valaistuksen lämpökuorma	1596	W
Muut laitetehot (arvio)	200	W
Kokonaislämpökuorma	6386	W

Jäähdytystarvetta laskettiin myös kokemusperäisesti, jossa jäähdytysteho laskettiin 60 W/m². Kokemusperäistä laskennan ja lämpökuormiin perustuvan laskennan tuloksia vertailtiin dynaamisen simuloinnin tuloksiin. Tämän vertailun tulokset näkyvät taulukossa 6.

Taulukko 6. Laskentatapojen vertailu.

Tila	Kokemusperäinen laskenta			Lämpökuormiin perustuva laskenta		
	Jäähdytet- tävä alue (m ²)	Kokonais- jäähdytys- teho (W)	Ero simu- lointitulok- seen (%)	Jäähdy- tystehon tarve (W/m ²)	Kokonais- jäähdytys- teho (W)	Ero simu- lointitulok- seen (%)
Liike- tila 1	84	5040	117 %	76	6386	149 %
Liike- tila 2	34	2040	112 %	76	2616	144 %
Liike- tila 3	24,5	1470	82 %	206	5046	281 %
Liike- tila 4	75	4500	91 %	123	9238	187 %
Liike- tila 5	226	13560	70 %	136	30944	159 %
Liike- tila 6	70	4200	115 %	107	7463	204 %

Kuten vertailusta 6 huomataan, kokemusperäinen laskenta poikkeaa hieman dynaamisen simuloinnin tuloksista. Isoimpana muuttujana oli liiketila viisi, jossa oli korkea huonekorkeus. Tämän takia kyseisen tilan jäähdytysteho eroaa reilusti simulointituloksista. Huomiona kokemusperäisestä laskentatavasta, jos miettii tiloja yhtenä kokonaisuutena ja jakaa simulointituloksesta saadun kokonaisjäähdytystehon jäähdytettävien tilojen pinta-alalla, saadaan jäähdytystehoa neliötä kohden 70 W/m². Tämä on hieman suurempi kuin käytetty 60 W/m² mutta kokemusperäinen laskenta toimii hyvänä tapana arvioida rakennuksen jäähdytystarvetta ennen simulointien tekoa.

Lämpökuormiin perustuvassa laskentatavassa jäähdytystarve on todella paljon suurempi kuin dynaamisessa simuloinnissa. Isoin ero oli pienimmässä liiketilassa eli liiketila kolmessa. Kyseisessä tilassa olisi melkein kolmikertainen jäähdytystarve simulointituloksiin verrattuna. Näihin suurin eroihin todennäköisesti vaikuttaa se, että lämpökuormilla laskeminen ei huomio tilasta poistuvaa lämpöenergiaa sekä tilojen käyttöaikoja.

5.3 Jäähdytysjärjestelmien ostoenergian vertailu

Vertailun kohteiksi valittiin ilmalämpöpumput sekä kaukojäähdytys, jonka jako tapahtuu konvektoreilla. Molemmissa tapauksissa käytetään tuloilman viilennystä, jonka lämpötila on 18 °C. Tuloilmalla ei pystytä kattamaan tarvittavaa jäähdytystarvetta, mutta tuloilmaa viilentämällä saadaan puhallettavasta ilmasta poistettua kosteutta, mikä vaikuttaa ihmisen mukavuuteen tilassa.

Kaukojäähdytys valittiin kohteeseen, sillä kyseisen kohteen lämmitys hoidetaan kaukolämpöä käyttäen ja kohde on kaukojäähdytyksen saatavuusalueella. Tämän takia erikseen ei ole kannattavaa hoitaa maalämpöä käyttäen jäähdytystä. Katolle asennettavia lauhduttimia ei otettu vertailuun, sillä jäähdytystä tapahtuu vain ensimmäisissä kerroksissa, jolloin katolla ei olisi kannattavaa tuottaa kylmää. Toinen vertailukohde on ilmalämpöpumput, jotka valittiin tilaajan toiveesta. Näiden lämpökertoimena käytettiin kolmea.

Vertailu pääosin tapahtui tarkastelemalla ostoenergian määrää jäähdytettävää tilaa kohden, sillä molemmilla jäähdytysjärjestelmillä saadaan katettua jäähdytystarve. Kuitenkin ostoenergiankulutuksessa on hieman eroja toisiinsa. Taulukossa 7 nähdään energiankulutuksen erot.

Taulukko 7. Jäähdytysjärjestelmien ostoenergiankulutus.

	Ostoenergian- kulutus (kWh)	Ostoenergian- kulutus (kWh/m²)
Kaukojäähdytys + konvektorit	37218	72,48
Ilmalämpöpumput	17508	34,10

Kuten taulukosta 7 nähdään, ilmalämpöpumput käyttävät reilusti vähemmän ostoenergiaa kuin kaukojäähdytys konvektoreilla. Tähän todennäköisesti vaikuttaa ilmalämpöpumppujen lämpökerroin sekä ilmalämpöpumpun nesteen suuri lämpötilaero.

Ostoenergioista saadaan laskettua kuinka paljon kyseiset järjestelmät kuluttavat. Hinta-arviona käytetään kaukojäähdytyksessä Turun energian tarjoamaa kaukojäähdytyksen energian hintaa mikä on 59,90 €/MWh. Ilmalämpöpumpulle käytetään vuoden 2022 kesäajan keskimääräistä verollista hintaa, mikä on 0,15 €/kWh. Hintatarkastelussa on 1.6.–31.7. välinen aika. Hintavertailu nähdään taulukossa 8. (Turkuenergia n.d.; Tilastokeskus 2023.)

TAULUKKO 8. Energian hinnat jäähdytysjärjestelmissä.

	Energian hinta (€/kWh)	Energian kulutus (kWh/m²)	Hinta kesäaikana (€/m²)	Hinta päivässä (€/m²)
Kaukojäähdytys + konvektorit	0,059	72,48	4,28	0,07
Ilmalämpöpumput	0,15	34,10	5,12	0,08

Kuten taulukosta 8 huomataan, kaukojäähdytys on hieman halvempaa kuin ilmalämpöpumpulla jäähdyttäminen. Tämä johtuu sähkön hinnasta verrattuna kaukojäähdytyksen hintaan. Hintaero ei kuitenkaan ole päivätasolla hirveän suuri, mutta kesäajalta hintaeroa tulee. Esimerkkinä 84 m² liiketila 1, johon kesäajalta kaukojäähdytys maksaa noin 360 €, kun taas ilmalämpöpumpulla jäähdyttäminen maksaa noin 430 €. Näillä energianhinnoilla kaukolämpö tulee kesäajalta noin 90 € halvemmaksi.

6 TUTKIMUSTULOKSIEN YHTEENVETO

Kuten kappaleessa 5 tehtyjen tutkimusten mukaan huomataan, jäähdytys on liiketiloissa lähes välttämätöntä. Liiketilojen alhainen jäähdytysraja, suuri valaistus-teho ja ihmismäärä vaikuttavat merkittävästi jäähdytystarpeeseen. Lisäksi esimerkiksi kohteen suuret ikkunat, ikkunoiden sijainti suhteessa aurinkoon sekä puuttuva aurinkosuojaus vaikuttavat kohteen suureen jäähdytystarpeeseen.

Laskentatapojen vertailussa huomattiin lämpökuormiin perustuvan laskentatavan olevan todella paljon dynaamisen simuloinnin tulosta suurempi. Tähän eroon todennäköisesti vaikuttaa poistuvan lämpöenergian huomioimatta jättäminen. Kokemusperäinen laskenta tapa on hyvinkin lähellä dynaamisen simuloinnin tuloksia. Tämä laskentatapa eroaa vain 15 % dynaamisesta simuloinnista, joten pidän kokemusperäistä laskentaa hyvänä jäähdytystarpeen arvioinnista. Kuitenkin jäähdytystarve tulee aina selvittää dynaamisella simuloinnilla tarkan tuloksen saamiseksi.

Jäähdytystapojen energiankulutusta vertaillessa huomattiin ilmalämpöpumppujen tarvitsevan vähemmän ostoenergiaa. Kuitenkin jäähdytyskustannuksia vertaillessa kaukojäähdytys oli halvempi. Sähkönhinnan korkea nousu vuonna 2022 varmasti vaikutti tähän. Ilmalämpöpumpusta kuitenkin on mahdollista saada kannattavampi käyttämällä ilmalämpöpumppua, jossa on suuri lämpökerroin.

Tutkimuksen kohteessa tultiin lopputulokseen, että kaukojäähdytys on kannattavampaa kuin ilmalämpöpumpuilla jäähdyttäminen. Kuitenkin jokainen rakennus on erilainen ja toimivimmat jäähdytysratkaisut tulee dynaamisella simuloinnilla selvittää. Tutkimuksen sekä kirjallisuusselvityksen pohjalta tehtiin jäähdytys suunnittelun opas, joka löytyy liitteestä 1.

7 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia rakennusten jäähdytystarvetta ja erilaisia jäähdytysratkaisuja. Sisäilmalla on suuri vaikutus ihmisten terveyteen, joten nämä asettavat korkeat kriteerit lämpötilojen hallinnalle. Jos ilmastonmuutos jatkuu samalla trendillä, rakennusten jäähdytyskausi pitenee ja jäähdytykseen kuluvan energian määrä kasvaa.

Rakennuksen jäähdytystarpeeseen laskenta on monimutkaisempaa kuin lämmitystarpeen laskenta. Lämmitystarvetta laskiessa huomioidaan, kuinka paljon lämpöä tilasta johtumalla lähtee pois, kun taas jäähdytystä laskiessa tulee ottaa huomioon lämmönsiirtymisen tilasta pois lisäksi, lämpökuormat sekä rakenteisiin varastoitunut lämpö. Laskentatapoja on monia, joista dynaaminen simulointi on tärkein.

Jäähdytysjärjestelmiä tutkiessa huomattiin, että jäähdytystä voidaan tuottaa monella tapaa. Lämpöpumpput ovat energiatehokkaita järjestelmiä, jolla saadaan tuotettua paljon lämpöenergiaa pienellä sähköenergian kustannuksella. Kaukojäähdytys on myös energiatehokas tuotantotapa, sillä jäähdytystä tuotetaan keskitetysti isoissa energialaitoksissa. Kaukojäähdytyksen heikkoutena on kuitenkin sen heikko saatavuus.

Tutkimuksesta huomattiin, että jäähdytys on liiketiloissa lähes välttämätöntä. Liiketilojen alhainen jäähdytysraja, suuri valaistusteho ja ihmismäärä vaikuttavat merkittävästi jäähdytystarpeeseen. Esimerkkikohteen suuret ikkunat, ikkunoiden sijainti suhteessa aurinkoon sekä puuttuva aurinkosuojaus vaikuttaa kohteen suureen jäähdytystarpeeseen. Hyvällä aurinkosuojauksella pystyisi varmasti laskemaan merkittävästi rakennuksen koneellista jäähdytystarvetta.

Laskentatapojen vertailussa huomattiin lämpökuormiin perustuvan laskentatavan poikkeavan reilusti dynaamisen simuloinnin tuloksesta. Kuitenkin kokemuseräinen laskentatapa oli lähellä dynaamisen simuloinnin tulosta. Joten kokemuseräinen laskentatapa on oiva tapa arvioida rakennuksen jäähdytystarvetta, mutta tarkka jäähdytystarve saadaan vain dynaamisella simuloinnilla.

Ostoenergiavertailussa huomattiin ilmalämpöpumppujen kuluttavan vähemmän energiaa kuin kaukojäähdytysjärjestelmän. Kuitenkin kaukojäähdytyksen energiakustannukset ovat pienemmät kuin ilmalämpöpumpuissa. Vaikka kaukojäähdytys oli tässä vertailussa kannattavampi, voi ilmalämpöpumput tulla kannattavimmiksi parantamalla laitteiden lämpökerrointa. Tulee myös huomioida, että jokainen rakennus on yksilöllinen ja ratkaisut eivät ole kaikkiin samat.

Kirjallisuusselvitys antoi paljon uutta tietoa jäähdytystarpeen määrittelystä ja kuinka laaja alue jäähdytys on. Jäähdytys on jatkuvassa kasvussa ja jäähdytysratkaisuja on monia. Tutkimus antoi konkreettista tietoa mistä jäähdytys muodostuu ja mitkä asiat jäähdytystarpeeseen vaikuttaa. Lisäksi tekninen osaaminen dynaamiseen simulointiin kasvoi.

Työtä voisi kehittää ottamalla enemmän eri jäähdytysratkaisuja vertailuun sekä ottaa järjestelmien elinkaarikustannukset huomioon. Lisäksi työn pohjalta voisi kehittää taulukkolaskentatyökalun jäähdytystarpeen laskentaan, mikä perustuu aikavakioimalleihin.

LÄHTEET

- Airaksinen, M., Vainio, T., Vesanen, T. & Ala-Kotila, P. 2015. Rakennuksen jäähdytysmarkkinat. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy 18.12.2015. Viitattu 16.1.2023. https://energia.fi/files/399/Rakennusten_jaahdytysmarkkinat_18-12-2015.pdf
- Biottori. n.d. Puhallinkonvektorit. Verkkosivu. Viitattu 24.4.2023. <https://www.biottori.fi/tuoteryhma/puhallinkonvektorit-919028>
- Chiller. n.d. Optimaalinen puhallinkonvektori. BOX-puhallinkonvektori. Tekninen opas. Viitattu 24.4.2023. <https://www.biottori.fi/tuoteryhma/puhallinkonvektorit-919028>
- Edilex. 2011. Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas. Viitattu 24.4.2023. https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/jaahdytys_laskentaopas_2011.pdf
- Equaonline. 2013. User Manual IDA Indoor Climate and Energy. Viitattu 20.2.2023. <http://www.equaonline.com/iceuser/pdf/ICE45eng.pdf>
- Energia. 2023. Kaukojäähdytystilasto. Kaukojaahdytys v.2022. Excel-tiedosto. Viitattu 20.2.2023 <https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/kaukojaahdytys-tilasto.html#material-view>
- Energialalous. 2016, Auringon potentiaali. Viitattu 20.2.2023. <https://www.energiatalous.fi/?p=305>
- Energiatehokaskoti. 2021. Viilennysratkaisuja. Verkkosivu. Viitattu 18.1.2023. <https://www.energiatehokaskoti.fi/korjaaminen/viilennysratkaisuja>
- Farahani, A., Jokisalo, J., Lestinen, S., Korhonen, N., Jylhä, K. & Kosonen, R. 2022. Dimensioning of the cooling system in Finnish office buildings using the new cooling design days for the current and future climates. REHVA Journal. Viitattu 24.4.2023. <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/dimensioning-of-the-cooling-system-in-finnish-office-buildings-using-the-new-cooling-design-days-for-the-current-and-future-climates>
- Finlex 1009/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Ympäristöministeriö. Viitattu 16.1.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>
- Finlex 1010/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Ympäristöministeriö. Viitattu 16.1.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>
- Finlex 545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Sosiaali- ja terveysministeriö. Viitattu 16.1.2023. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>

Hammerglass. n.d. U-arvo & g-arvo. Mikä on g-arvo? Verkkosivu. Viitattu 25.4.2023. <https://www.hammerglass.fi/ukk/u-arvo-g-arvo/>

Ilmasto-opas. 2017. Ennustettu ilmastonmuutos Suomessa. Viitattu 20.2.2023. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/ennustettu-ilmastonmuutos-suomessa>

Ilmasto-opas. n.d. Ilmastonmuutokseen sopeutumisen haasteet ja mahdollisuudet. Viitattu 20.2.2023. <https://www.ilmasto-opas.fi/artikkelit/ilmastonmuutokseen-sopeutumisen-haasteet-ja-mahdollisuudet>

Ilmatieteenlaitos. 2020. Ilman kosteus. Viitattu 18.4.2023. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>

Ilmatieteenlaitos. 2022. Toimistorakennusten jäähdytysjärjestelmien suorituskyky riittää, mutta jäähdytystarve kasvaa ilmaston lämmetessä. Viitattu 24.4.2023. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/uutinen/2v6df3klXoSeVfAfUdHwCj>

Ilmatieteenlaitos. n.da. Miten ilmastonmuutos näkyy Suomen lämpötiloissa. Viitattu 20.2.2023. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilmastonmuutoskysymyksiä>

Kylmäextra. 2020. Kylmäprosessi eli miten kylmää syntyy. Verkkosivu. Viitattu 12.1.2023. https://www.kylmaextra.fi/lehdet/kylmaextra_2_2020/kylmaprosessi_eli_miten_kylma_syntyy

Kylmäextra. 2021. Jäähdytys eli miten se toimii. Verkkosivu. Viitattu 16.1.2023. https://www.kylmaextra.fi/lehdet/kylmaextra_2_2021/jaahdytys_eli_miten_se_toimii

Laitinen, A., Rämä, M. & Airaksinen, M. 2016. Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy 16.12.2016. 20.2.2023. https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaselvitys_VTT_221216.pdf

Lepistö, S. 2021. Tampereen Sähkölaitos. Esitys. 3.12.2021

Lindab. n.d. Lindab Indoor Climate Solutions. Tekninen opas. Viitattu 24.4.2023. https://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/assets/production/OGZiOTI1NTItO-GRjNC00NWJmLTljYTgtYmVknDRiNjA1Y2Qw/5249722791571169347/prod_overview_water_GLOBAL.pdf?t=1620092406&_hstc=236047006.f500c054dcdacccd1d2ba1383a0af997.1682638084810.1682638084810.1682638084810.1&_hssc=236047006.1.1682638084810&_hsfp=1070423265

Louko, E. 2019. Jäähdytys viilentää tehokkaasti – miten se oikeasti toimii?. Helen.fi 28.05.2019. Viitattu 20.2.2023. <https://www.helen.fi/ajankohtaista/ajassa/kaukojaahdytys/kaukojaahdytys-viilentaa-tehokkaasti>

Motiva. 2020. Viilennystavat lämpöpumppujärjestelmissä. 16.1.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumppujen_hankintaopas_kunnille_ja_taloyhtioille/viilennystavat_lampopumppujarjestelmissa

Motiva. 2022. Ilmalämpöpumppu (ILP). Viitattu 24.4.2023. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologia/ilmalampopumppu

Motiva. 2023. Aurinkosuojaus. Viitattu 20.2.2023. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiöt_-_yhdessä_energiatehokkaasti/taloautomaatio/aurinkosuojaus

Motiva. n.d. Lämpöä ilmassa. Sähköäkin kuluu, kun lämpöä tuotetaan lämpöpumpulla. Viitattu 16.1.2023. https://www.motiva.fi/files/7964/Lampoa_ilmassa_Ilmalampopumput.pdf

Rakennusfakta. 2020. Lämmittävä ja jäähdyttävä ITUGRAF-kattosäteilypaneeli. Verkkosivu. Viitattu 24.4.2023. <https://www.rakennusfakta.fi/lammittava-ja-jaahdyttava-itugraf-kattosateilypaneeli-162626/uutiset.html>

RT 07-11299 Sisäilmastoluokitus. 2018. RT-kortisto. Rakennustieto Oy. Vaatii käyttöoikeuden. <https://kortistot.rakennustieto.fi/>

RT 50-10910 Kesäaikaisten lämpötilojen hallinta asuinkerrostaloissa. 2007. Rakennustieto Oy. 27.2.2023. Vaatii käyttöoikeuden. <https://kortistot.rakennustieto.fi/>

Ruosteenoja, K., Jylhä, K. & Kämäräinen M. 2016. Climate Projections for Finland Under the RCP Forcing Scenarios. Geophysica. Viitattu 20.2.2023. https://www.geophysica.fi/pdf/geophysica_2016_51_1-2_017_ruosteenoja.pdf

Sandberg, E. 2016a. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointiteknikka osa 1. Talotekniikkajulkaisut Oy.

Sandberg, E. 2016b. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointiteknikka osa 2. Talotekniikkajulkaisut Oy.

Scanoffice. 2023. Mitsubishi Electric RW Hyper Heating. Ladattava tekninen esite. Viitattu 24.4.2023. <https://scanoffice.fi/tuote/mitsubishi-electric-rw-hyper-heating-ilmalampopumppu/>

Swegon. n.d.a Vapaa- vai kompressorijäähdytys. Verkkosivu. 20.2.2023. <https://www.swegon.com/fi/opaat/tekniikat/vapajaahdytys-vai-kompressorikylma/>

Swegon. n.d.b Adriatic. Verkkosivu. Viitattu 24.4.2023. <https://www.swegon.com/fi/tuotteet/huonelaitteet/vesikiertoiset-huonetuotteet/ilmastointipalkit-jaahdytyspalkit/adriatic/>

Talotekniikkainfo. 2021a. Omakotitalon viilennys. Viitattu 18.4.2023. <https://talotekniikkainfo.fi/ratkaisut-etusivu/omakotitalon-viilennys>

Talotekniikkainfo. 2021b. Jäähdytyksen ja viilennyksen ero. <https://talotekniikkainfo.fi/ratkaisut-etusivu/jaahdytyksen-ja-viilennyksen-ero>

Tampereen Sähkölaitos. n.d. Liittyminen kaukojäähdytysverkkoon. Verkkosivu. Viitattu 20.2.2023. <https://www.sahkolaitos.fi/yrityksille-ja-taloyhtiaille/jaahdytys-ratkaisut/liittyminen/>

Tilastokeskus. 2023. Sähkön keskimääräinen kuluttajahinta nousi uuteen ennätykseen vuoden 2022 viimeisellä neljänneksellä. Viitattu 24.4.2023. <https://www.stat.fi/julkaisu/cl8la15p5lsmd0cw1981ta2nc>

Toshibasuomi. n.d. Jäähdytyslaitteet. Verkkosivu Viitattu 20.2.2023. <https://www.toshibasuomi.fi/jaahdytyslaitteet/>

Tuomenoja, M. 2020. Hukkalämmöstä jäähdytystä – mitä on kaukolämpö?. Afry.com 05.03.2020. Viitattu 20.2.2023. <https://afry.com/fi-fi/artikkeli/hukkalammosta-jaahdytysta-mita-kaukokylma>

Turkuenergia. n.d. Kaukojäähdytys taloyhtiöille. Verkkosivu. Viitattu 24.4.2023. <https://www.turkuenergia.fi/taloyhtiot-ja-isannoitsijat/lammitys-ja-jaahdytys/jaahdytysratkaisut-taloyhtiolle/kaukojaahdytys-taloyhtiolle/>

Uponor 2022. Lattialämmityksen ja -viilennyksen käsikirja. Ladattava tekninen opas. Viitattu 30.1.2023. <https://www.uponor.com/fi-fi/tuotejarjestelmat/lattialammitys-viilennys#arkkitehti-ja-suunnittelija>

Uponor. n.d. Vesikiertoinen lattialämmitys ja -viilennys. Verkkosivu. Viitattu 30.1.2023. <https://www.uponor.com/fi-fi/tuotejarjestelmat/lattialammitys-viilennys#arkkitehti-ja-suunnittelija>

LIITTEET

Liite 1. Jäähdytyksen suunnitteluopas

Jäähdytyksen suunnitteluopas, 2023, ArLa

1 (2)

Yleisiä ohjeita jäähdytysuunnitteluun:

- Tarkan tuloksen saa vain simuloimalla rakennuksen.
- Hyvä arvio jäähdytystarpeesta on 60 W/m².
- Pelkillä lämpökuormilla ei voida laskea tarkasti jäähdytystarvetta (menetelmä ei huomioi tilasta poistuvaa lämpöä).
- Jäähdytysrajana toimii +27 °C asuinrakennuksissa ja +25 °C muissa rakennuksissa.
- Yleisimmät mitoituslämpötilat 7/12 °C tai 15/18 °C.
- Ulkoilman olosuhteet mitoituksessa 30 °C ja entalpia 57 kJ/kg.
- Aurinkosuojauksella voidaan pienentää reilusti jäähdytystarvetta (Aurinko voi lämmittää ikkunan läpi keskimäärin 100 W/m²).
- Jos tilojen käyttöprofiilit ja lämpökuormat ei ole tiedossa, voidaan hyödyntää Sisäilmaluokitus 2018 antamia arvoja (TAULUKKO 1).
- Kylmäntuotto tapoja on kaukojäähdytys sekä lämpöpumput kuten maalämpö, ilmalämpö tai lauhduttimet. Valinta tehdään tilan tarpeen ja mahdollisuuksien mukaan.
- Jakotapojen ominaisuudet ja jäähdytystehot löytyvät taulukosta 2.

TAULUKKO 1. Tilojen käyttöprofiilit ja lämpökuormat Sisäilmastoluokitus 2018 mukaan.

Käyttöluokka	Käyttöaika päivässä (h)	Käyttöaika viikossa (d)	Kellonaika	Henkilötiheys (m ² /hlö)	Valaistuskuorma (W/m ²)	Laitekuorma (W/m ²)	Henkilökuorma (W/m ²)
Asuinitilat pientalo	24	7	00:00 – 24:00	37	8	2,4	2
Asuinitilat kerrostalo	24	7	00:00 – 24:00	25	8	3	3
Toimistotilat	11	5	07:00 – 18:00	12	12	15	6
Neuvottelutilat	9	5	08:00 – 17:00	3	12	18–60	25
Opetustilat	8	5	08:00 – 16:00	2	18	12	35
Päiväkodin ryhmätilat	11	5	07:00 – 18:00	2	18	12	35
Liiketilat	14	7	07:00 – 21:00	17	15–70	8	5
Hotellihuone	24	7	00:00 – 24:00	19	14	7	4
Ravintolatilat	12	7	10:00 – 22:00	3	20	20	26
Urheilutilat	16	7	07:00 – 23:00	21	20	24	5
Terveystilat	24	7	00:00 – 24:00	8	9	3	10

(jatkuu)

TAULUKKO 2. Jäähdytyksen jakotapojen koonti

2 (2)

<p>Tuloilman viilennys</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jäähdytystehon arvio 10 W/l/s tai 10–20 W/m² • Puhallettavan ilman lämpötila 15–18 °C (alle 15 °C ilmanlämpötila voi aiheuttaa vedon tunnetta) • Huomioitava kanaviston eristäminen ja ylimääräinen tilantarve 	<p>Puhallinkonvektorit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jäähdytystehoa voidaan saada jopa 8 kW konetta kohden, keskimääräinen teho 2 kW konetta kohden • Tulee huomioida kondenssiveden poisto • Samaa laitetta voidaan käyttää myös lämmityksessä
<p>Ilmalämpöpumput</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keskimääräinen jäähdytysteho 3 kW, voidaan saada jopa 15 kW yhtä laitetta kohden • Yhden sisäyksikön jäähdytysalue noin 30–100 m² • Yhdellä ulkoyksiköllä voi olla useampi sisäyksikkö • Tulee huomioida ulkoyksikön tilantarve, kondenssiveden poisto ja putkiston asennukset ovat kylmätöitä 	<p>Lattiaviilennys</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jäähdytystehon arvio 20–40 W/m² • Ei aiheuta kondensoitumisriskiä, sillä lattianpinnan lämpötilaa ei lasketa alle 20 °C • Voidaan käyttää lattialämmitykseen tarkoitettua piiriä
<p>Jäähdytyspaneelit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jäähdytysteho jopa 150 W/m² • Ei aiheuta vedontunnetta eikä tarvitse kondenssiveden poistoa • Ei poista kosteutta, joten tuloilmaviilennys suositeltavaa rinnalle • Samaa laitetta voidaan käyttää myös lämmityksessä 	<p>Jäähdytyspalkit</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jäähdytysteho jopa 1,5 kW • Ei tarvitse huomioida kondenssiveden poistoa • Ei poista kosteutta, joten tuloilmaviilennys suositeltavaa rinnalle • Samaa laitetta voidaan käyttää myös lämmityksessä