



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Katja Ojala

# Jäähdytysenergiankulutuksen optimointi toimistokiinteistössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energiatekniikka

Insinöörityö

19.5.2021

Tekijä Otsikko	Katja Ojala Jäähdytysenergiankulutuksen optimointi toimistokiinteistössä
Sivumäärä Aika	32 sivua + 1 liite 19.5.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	Energiatekniikka
Ohjaajat	Energy Audit Manager Marko Hänninen Lehtori Tomi Hämäläinen
<p>Tämä insinöörityö käsittelee toimistokiinteistöjen jäähdytysjärjestelmien toiminnan optimointia energiankulutuksen ja olosuhteiden kannalta. Työ on tuotettu Assemblin Oy:n etähallintaosastolle. Opinnäytetyö sisältää katsauksen toimistokiinteistöjen jäähdytyksen teoriaan, esimerkkejä jäähdytyksen ongelmista todellisista toimistokiinteistöistä ja oppaan jäähdytyksen optimoinnista Assemblinin etähallintaosastolle.</p> <p>Toimistokiinteistöjen lämpökuormat ovat muuttuneet viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana. Jäähdytysjärjestelmien kokonaisvaltainen hahmottaminen ja niiden toiminnan ymmärtäminen auttavat kiinteistön jäähdytysjärjestelmän optimaaliseen hallintaan. Insinöörityössä käydään läpi todellisten toimistokiinteistöjen jäähdytysjärjestelmiä ja niiden ongelmia esimerkkeinä.</p> <p>Työn liitteenä on opas toimistokiinteistöjen jäähdytyksen optimoinnista. Oppaassa käydään läpi, mitä asioita tulee ottaa huomioon, kun kiinteistön jäähdytysenergiankulutus ei ole optimaalisella, tai jos kiinteistöltä tulee olosuhteilmoitus. Opas sisältää myös käytännön ohjeita jäähdytysjärjestelmien optimointiin.</p>	
Avainsanat	Toimistokiinteistöt, jäähdytys, energiatehokkuus, etähallinta

Author Title	Katja Ojala Optimizing Cooling Energy In Office Property
Number of Pages Date	32 pages + 1 appendices 19 May 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environment Technology
Professional Major	Energy Technology
Instructors	Marko Hänninen, Master of Science in Energy Technology, Energy Audit Manager Tomi Hämäläinen, Senior Lecturer
<p>This thesis describes optimizing cooling energy in office buildings. Optimizing is reviewed from the point of view energy consumption and conditions. The thesis is produced to Assemblin Oy's remote management department. The thesis includes the theory of cooling office buildings, examples of problems in real office buildings and a guide to optimizing cooling energy. The guide is directed to the use of Assemblin Oy's remote management department.</p> <p>Heat load of office buildings has changed over the last two decades. Management of the property cooling system and understanding its functions helps to manage the cooling system in the best possible way. The thesis studies real offices' building cooling systems and their problems.</p> <p>The thesis has a guide to optimizing cooling systems in office buildings as an appendix. The guide includes what to take in consideration if the property's energy consumption is not on the optimum level, or if there are condition complaints. The guide also includes practical instructions to optimizing the functioning of cooling systems.</p>	
Keywords	Office buildings, cooling, energy efficiency, remote management

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Talotekniset järjestelmät toimistorakennuksessa	1
2.1	Lämmitys	2
2.2	Jäähdytys	2
2.2.1	Kylmäkoneet	2
2.2.2	Kaukojäähdytys	4
2.3	Jäähdytyksen päätelaitteet	5
2.3.1	Puhallinkonvektorit	5
2.3.2	Jäähdytyspalkit	5
2.3.3	Jäähdytyssäteilijät	6
2.3.4	Ilmanvaihdolla jäähdytys ja yöjäähdytys	6
2.4	Tilojen olosuhteet	7
3	Jäähdytystarve ja lämpökuorma toimistokiinteistön huoneissa	8
3.1	Jäähdytystarpeen aiheuttajat	9
3.1.1	Esimerkkilaskelma auringon vaikutuksesta	10
3.1.2	Esimerkkilaskelma valaistuksen vaikutuksesta	12
3.2	Suunnitelmat ja käytäntö	13
3.3	Esimerkkikohteita	14
4	Jäähdytysjärjestelmien säätö	18
4.1	Tyypilliset ongelmat	19
4.2	Verkoston säätö	23
4.2.1	Venttiilien viritykset	24
4.2.2	Säätökäyrien muutokset	25
4.3	Ilmanvaihdon asetukset	25
4.4	Huonesäädinten asetukset	26
4.4.1	Käyttäjien tuntemukset ja viihtyvyys	27
4.4.2	Optimaalinen lämmityksen, jäähdytyksen ja ilmanvaihdon toiminta	27

4.5	Jäähdytysjärjestelmien optimointi	28
5	Yhteenveto	30
	Lähteet	31

#### Liitteet

Liite 1. Opas toimistokiinteistöjen jäähdytyksen optimointiin

## Lyhenteet

IV	Ilmanvaihto
LTO	Lämmöntalteenotto
LVI	Lämmitys, vesi ja ilma
RAU	Rakennusautomaatio
VJK	Vedenjäähdytyskone

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tarkastella toimistokiinteistöjen jäähdytysjärjestelmien optimaalista käyttöä, kun käytössä on rakennusautomaatiojärjestelmän etävalvomo. Työ toteutetaan Assemblin Oy:n rakennusautomaation alaisuudessa olevalle etähallintaosastolle. Insinööriyö sisältää oppaan, joka on suunniteltu Assemblin Oy:n etähallintaosaston käyttöön. Oppaan on tarkoitus selkeyttää jäähdytysjärjestelmien ongelmien tarkastelua ja luoda johdonmukainen prosessi toimistorakennusten jäähdytysjärjestelmien optimoinnille.

Työn tilannut Assemblin Oy on talotekniikka-alan yritys. Assemblin kehittää, toteuttaa ja ylläpitää energiaan, veteen ja ilmaan liittyviä järjestelmiä. Assemblin Oy on perustettu Ruotsissa, ja yritys toimii Ruotsin lisäksi Suomessa sekä Norjassa. Suomessa Assemblinilla on viisi toimipistettä ja 357 työntekijää. Koko Assemblin-konsernin henkilöstön määrä on noin 5 900 henkilöä.

## 2 Talotekniset järjestelmät toimistorakennuksessa

Talotekniikalla tarkoitetaan kiinteistön järjestelmien, teknisten palveluiden ja laitteiden kokonaisuutta. Talotekniikka pitää sisällään kiinteistön LVI-tekniikan, automaation ja sähkötekniikan. Talotekniikan on tarkoitus tehdä kiinteistöstä mahdollisimman toimiva asuin- ja työympäristö. (Talotekniikka AMK, päiväopiskelu 2021).

Toimistokiinteistöjen LVI-tekniikka käsittää kiinteistön lämmityksen, jäähdytyksen, ilmanvaihdon ja putkijärjestelmät. Jo kiinteistöjen rakentamista edeltävässä suunnitteluvaiheessa on tärkeää ottaa huomioon vuodenaikojen ja säätilanteiden aiheuttamat vaikutukset tilojen lämmityksen ja jäähdytyksen tarpeeseen. Ennakointi on suunnitteluvaiheessa oleellista. (Toimistotilat, tekninen suunnittelu 2000: 6.)

## 2.1 Lämmitys

Toimistokiinteistön lämmitys suunnitellaan tilojen tarpeiden mukaan. Kiinteistöjen lämmitysjärjestelmiä ovat kaukolämpö, maalämpö, lämpöpumppujärjestelmät, öljykattilat, maakaasulämmitys, sähkölämmitys ja aurinkolämmitys. Kaukolämpö on näistä lämmitysmuodoista yleisin. (Rakennusten lämmitys 2006.)

## 2.2 Jäähdytys

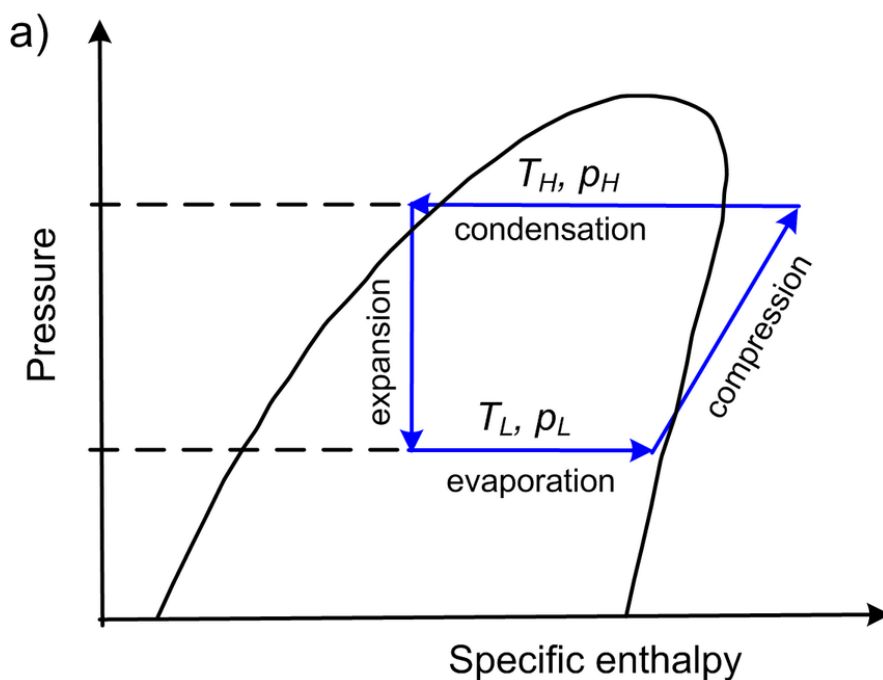
Toimistorakennuksissa lämpökuormaa aiheuttavat auringon säteily, valaistus, erilaiset koneet ja ihmiset. Tämän vuoksi kiinteistöissä tarvitaan jäähdytysjärjestelmä huolehti-  
maan tilojen jäähdytyksestä. Kiinteistöjen toimintaa eri vuodenaikoina simuloidaan jo suunnitteluvaiheessa, jotta saadaan kuva esimerkiksi tilojen lämpökuormasta. Tämä auttaa suunnittelemaan tilojen jäähdytystarvetta. (Toimistotilat, tekninen suunnittelu 2000: 6.)

Kiinteistön jäähdytys voidaan toteuttaa paikallisesti erilaisten kylmäkoneiden avulla tai kaukojäähdytyksellä (Jäähdytys 2021). Kiinteistöjen jäähdytysjärjestelmät voidaan jaotella seuraavalla tavalla: kaukojäähdytys, vedenjäähdytyskoneisto, maaviilennys sekä suora höyrystyskoneistot (keskitetyt sekä tilakohtaiset). Kiinteistöihin on rakennettu jäähdytysvesiverkosto, jonka avulla näiden järjestelmien tuottama tai tuoma jäähdytysenergia tuodaan tiloihin. Verkostossa on säätölaitteita, pumppuja, sekä paineentasaussäiliöitä. Koko verkosto on eristetty. (Kiinteistön jäähdytysjärjestelmän energiakatselmuksen ohje 2015.)

### 2.2.1 Kylmäkoneet

Kylmäkoneiden toimintaperiaate perustuu höyrystämiseen ja lauhduttamiseen. Kylmäaineen höyrystymisen avulla lämpöä voidaan siirtää nesteeseen tai siitä pois. Käytännössä kaikki lämpöä käyttävät prosessit voivat periaatteessa toimia jäähdytysnesteiden jäähdyttäjinä. Veden höyrystyminen vaatii lämpöenergiaa, johon perustuukin jäähdyttävä prosessin osuus. Kylmäkoneita voivat olla esimerkiksi erilaiset vedenjäähdytyskoneet, kompressorit ja lämpöpumput. (Aittomäki 2012: 49, 65.)

Alla olevassa kuvassa (kuva 1) nähdään karkea P-h-diagrammi, johon on havainnollistettu höyrystymis- ja lauhtumisprosessi. Prosessi kulkee seuraavasti vasemmasta alakulmasta katsottuna: ensin kylläinen seos muuttuu kylläiseksi höyryksi, jolloin entalpia nousee. Tällöin paine pysyy melko samana, todellisessa prosessissa on kuitenkin hie-man painehäviötä. Tämän jälkeen tulee puristusvaihe, jossa pyritään nostamaan entalpiaa vielä lisää. Tässä vaiheessa paine ja lämpötila nousevat. Tämän jälkeen tulee lauhtumisvaihe, jossa lämpötila laskee, ja kaasu alkaa jälleen tiivistymään eli kondensoitumaan tasaisessa paineessa. Viimeinen vaihe on kuristus, jossa prosessin painetta alennetaan. (Aittomäki 2012: 15–17.)



Kuva 1. P-h-diagrammi, johon on havainnollistettu höyrystymis- ja lauhtumisprosessi (Orzechowski ym. 2019: 2).

Erilaisia lämpöpumppujärjestelmiä voidaan käyttää kiinteistön jäähdyttämiseen, vaikka niiden pääasiallinen käyttötarkoitus on tuottaa lämpöä. Kuten muutkin kylmäkoneet, lämpöpumppujärjestelmät toimivat höyrystymis- ja lauhtumisprosessia hyödyntämällä. Lämpöpumpuissa on lauhtutin ja höyrystin, joiden välillä kylmäaine kulkee. (Aittomäki 2012: 336–337.)

Kiinteistön jäähdytysenergia voidaan tuottaa vedenjäähdytyskoneistolla. Vedenjäähdytyskoneikkoon on liitetty kiinteistön pattereita, joihin koneisto tuottaa jäähdytettyä kylmäainetta. Usein järjestelmässä on käytössä kylmää vettä, mutta myös kylmänkestävä liuos on mahdollinen jäähdytysneste. Vedenjäähdytyskoneet voivat olla sisätiloihin, usein konehuoneisiin, rakennettavia järjestelmiä tai ulos sijoitettavia ilmalauhdutteisia paketteja. Jäähdytysnesteen lämpötila on usein  $+7/+12\text{ °C}$ , kun se on jäähdytyspatterilla. (Aittomäki 2012: 329.)

Vedenjäähdytyskoneeseen voidaan liittää energiatehokkuuden lisäämiseksi vapaajäähdytysmahdollisuus. Vapaajäähdytyksessä käytetään kylmää ulkoilmaa jäähdytysnesteen viilentämiseksi. Tällöin tarvitaan vähemmän sähköä jäähdytyksen tarpeisiin. Kompressorilla käytetään usein vapaajäähdytyksen yhteydessä, mutta pääasiallinen jäähdytysteho saadaan ilmaiseksi ulkoilmasta. (Vapaajäähdytys – Suunnittelijan käsikirja 2021: 1.)

### 2.2.2 Kaukojäähdytys

Kiinteistön kaukojäähdytyksellä tarkoitetaan rakennuksen jäähdytystä energialaitoksen tarjoaman kaukojäähdytysenergian avulla. Kaukojäähdytysenergia kuljetetaan kiinteistöille kattavan jäähdytysvesiverkoston kautta. Kaukokylmän etu muihin jäähdytysjärjestelmiin nähden on se, ettei siinä käytetä ympäristölle vahingollisia kylmäaineita. Myös verkostojen vuodot ovat vaarattomampia tämän ansiosta. Kiinteistön sähköenergian kulutus vähenee, sillä kylmäenergiaa ei tarvitse tehdä sähköllä, toisin kuin kylmäkoneissa. Kiinteistökohtaiset koneelliset jäähdytysjärjestelmät ovat myös lyhytikäisempiä kaukojäähdytysjärjestelmään verrattuna. Hyötyjensä vuoksi kaukokylmä vaihdetaankin usein vanhan jäähdytysjärjestelmän tilalle. (Kiinteistöjen kaukojäähdytys 2010: 1.)

Kaukojäähdytysenergiaa voidaan tuottaa esimerkiksi kylmän meriveden, puhdistetun jäteveden tai tuotantolaitosten ylijäämälämmön avulla. Kaukojäähdytyksen palveluntarjoajan kaukojäähdytysverkosto vedetään kiinteistölle asti, jossa verkoston vesi kiertää kiinteistön verkostojen lämmönvaihtimien kautta, ja palaa lämpimämpänä takaisin verkostoon. Kiinteistön jäähdytysverkostot kuljettavat lämmönvaihtimilta jäähtynyttä vettä kiinteistön jäähdytyspattereille ja päätelaitteille jäähdyttäen kiinteistöä. Vastuu verkostosta on jäähdytyksen toimittajalla aina kiinteistön mittauskeskukselle asti. Kiinteistö vastaa

kiinteistössä olevasta jäähdytysverkostosta sekä laitteistosta jäähdytyksen mittauskeskukselta eteenpäin. Mittauskeskus sijoitetaan usein kaukojäähdytysrunkojohtojen ja ulkoseinän läheisyyteen, josta verkosto on vedetty kiinteistölle. (Kiinteistöjen kaukojäähdytys 2010: 1–3.)

## 2.3 Jäähdytyksen päätelaitteet

Jäähdytyksen päätelaitteilla tarkoitetaan huonetiloissa olevia laitteita, jotka jäähdyttävät tilaa. Päätelaitteita ovat esimerkiksi puhallinkonvektorit, jäähdytyspalkit ja jäähdytysseilijät. Tilojen jäähdytys voidaan toteuttaa myös ilmanvaihdon avulla. (Aittomäki 2012: 331–333.)

### 2.3.1 Puhallinkonvektorit

Puhallinkonvektorit on liitetty kiinteistön jäähdytysjärjestelmään, ja ne ovat käytännössä patterien ja puhaltimien yhdistelmiä. Moottorilla toimivien puhaltimien määrä riippuu konvektorista, niitä voi olla yksi tai useampi. Konvektorin tehoa säätelee venttiili, jota ohjaa joko automaatiojärjestelmä tai huonesäädin. Venttiili säätelee patterille tulevan kylmäaineen, nesteen tai veden määrää, ja säätää siten puhallettavan ilman lämpötilaa. Puhallinkonvektori voidaan sijoittaa tilan kattoon, seinään tai lattialle mallista riippuen. Konvektorissa on yleensä kondenssivesiallas ja kondenssinpoistoputkisto, jonka ansiosta kondenssista syntyvä vesi ei päädy tilaan. (Aittomäki 2012: 332–333.)

### 2.3.2 Jäähdytyspalkit

Jäähdytyspalkit liitetään kiinteistön jäähdytysjärjestelmään. Palkit voivat vastata samaan aikaan ilmanvaihdosta, jäähdytyksestä ja lämmityksestä. Palkeissa ei kuitenkaan ole kondenssivesiallasta, kuten puhallinkonvektoreissa. Tällöin kondenssi-ilmiötä täytyy välttää palkkijäähdytystä käytettäessä. (Pacific 2021.)

### 2.3.3 Jäähdytys säteilijät

Puhallinkonvektoreita ja jäähdytyspalkkeja käytettäessä tiloja jäähdytetään konvektiolla, kun niiden kautta ohjattu jäähtynyt ilma puhalletaan tilaan. Jäähdytys säteilijät poikkeavat tästä siten, että niillä jäähdytetään tiloja säteilyn avulla. Säteilijät voivat olla kaksitoimisia, eli tarpeen mukaan jäähdyttää tai lämmittää tiloja. Säteilijöihin voi myös olla liitettyä esimerkiksi valaistusta. (SmartClima-säteilylämmitin 2021.)

### 2.3.4 Ilmanvaihdolla jäähdytys ja yöjäähdytys

Jäähdytys voidaan toteuttaa myös esimerkiksi ilmanvaihtokoneen avulla. IV-koneissa olevalla jäähdytyspatterilla jäähdytetään tuloilman lämpötilaa, ja tuloilma puhalletaan huonetiloihin. Jäähdytyspatteri hyödyntää kiinteistössä olevaa jäähdytysjärjestelmää. (Aittomäki Antero (toim.) 2012: 321–333.)

Tuloilmalla jäähdyttäessä on kuitenkin huomioitava useita asioita. Tällöin jäähdytetään koko IV-koneen palvelualueutta tai jälkijäähdytyspatterin ilmanvaihtokanavahaaran palvelualueutta, eikä kohdistetusti yhtä huonetta. Jos osassa palvelualueella tulee tämän myötä liian viileät olosuhteet, saatetaan kyseistä tilaa lämmittää, jolloin lämmitys ja jäähdytys ovat samanaikaista. Tämän vuoksi jäähdyttäminen ilmanvaihdolla voi olla kalliimpaa ja epäkäytännöllisempää kuin paikallisilla jäähdytyksen päätelaitteilla. Lisäksi jäähdytyspatterien ja suodatinten likaaisuutta on seurattava, sillä tukkeutunut suodatin tai likainen patteri voivat heikentää ilmanvaihtokoneen jäähdytystehoa. Myös tilojen ilmamäärämittaus on normaalia suurempi jäähdytystarpeen johdosta.

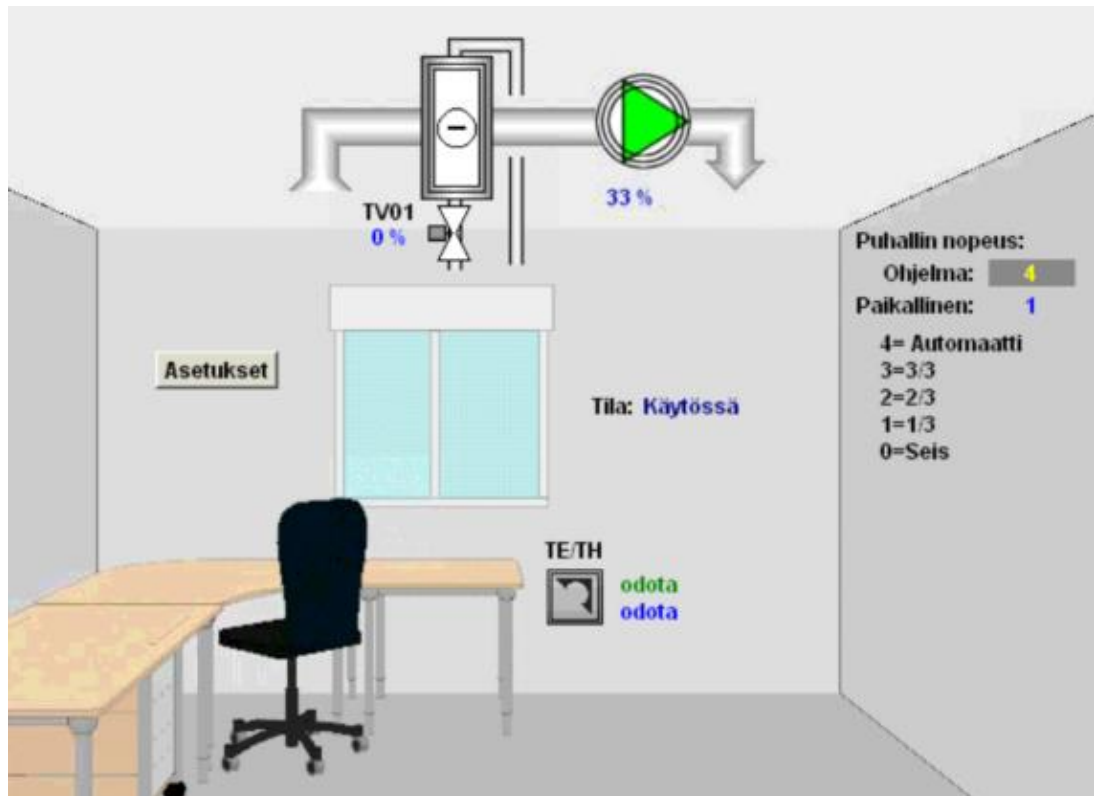
Rakennusten jäähdytyksessä on hyödynnetty ulkoilman jäähdytyspotentiaalia jo pitkään (Airaksinen ym. 2016: 33). Yötuuletuksen periaate on sama kuin vapaajäähdytyksessä, molemmissa tiloja viilennetään käyttämällä hyödyksi sisätilojen lämpötilaa viileämpää ulkoilmaa. Siinä missä vapaajäähdytyksessä viilennetään ulkoilmalla jäähdytysverkoston vettä, yötuuletuksessa viilennetään tiloja suoraan ulkoilmalla ilmanvaihtokoneen avulla. Yötuuletuksella on edullinen keino viilentää tiloja, sillä viileää ulkoilmaa on ilmaiseksi rajattomasti saatavilla. (Vapaajäähdytys – Suunnittelijan käsikirja 2021.)

Ilmanvaihdon yötuuletus toteutetaan käytännössä niin, että tulo- ja poistoilmakanavien raitis- ja jäteilmapellit avataan, ja tulo- sekä poistopuhallin käynnistetään, jolloin ulkoilma virtaa palvelualueelle. Yötuuletuksen toteutumisella on usein paljon rajaehtoja, joiden on täyttyvä, että toimintoa voidaan käyttää. Tällaisia ehtoja ovat esimerkiksi yötuuletuksen oma aikaohjelma, huoneilman kosteus sekä ulko- ja sisäilman riittävä lämpötilaero. Jos yksikin rajaehto ei täyty, ei ilmanvaihtokone käynnistä yötuuletusta. (Airaksinen ym. 2016: 33.)

## 2.4 Tilojen olosuhteet

Huonetilan olosuhteisiin vaikuttavat useat asiat. Näitä ovat lämpöolosuhteet, ilman laatu, valaistus, melu, kosteus, säteilyominaisuudet sekä sähköiset ominaisuudet. Ilman liike on keskeinen osa lämpöolosuhteita, samoin huonetilan lämpötilan hallinta. Jos halutaan saavuttaa hyvä ilmanlaatu huoneessa, tulee ilman olla tarpeeksi happipitoista. (Seppänen 1988: 3, 31.)

Kuten kuvasta 2 nähdään, ilmaa puhalletaan tilaan usein huonetilan yläosasta. Usein myös poistokanavat ovat huonetilan yläosassa. Käyttäjien viihtyvyys on huomioitava esimerkiksi tuloilman suuntauksessa sekä lämpötilassa, sillä ilman liike ja alhainen lämpötila voivat aiheuttaa vedon tunnetta. Vetoa voi myös syntyä kylmästä ikkunasta, joka aiheuttaa säteilemällä ja kylmän ikkunapinnan konvektiona tapahtuvaa lämmönsiirtoa. ikkunapuitteista voi myös tulla vetoa tiloihin, samoin seinien aukoista. Myös ilmavirran suuri nopeus voi lisätä vedon tunnetta tiloissa. (Seppänen 1988: 25–26.)



Kuva 2. Automaatiojärjestelmän valvomon mallikuva huonetilasta, jossa on puhallinkonvektori (Assemblin Oy 2021).

### 3 Jäähdytystarve ja lämpökuorma toimistokiinteistön huoneissa

Kun kiinteistöjen jäähdytystarvetta pyritään arvioimaan suunnitteluvaiheessa, otetaan huomioon seuraavat lämpökuormaan vaikuttavat tekijät aiheuttajat:

- ihmiset
- valaistus
- laitteet
- ilmanvaihto
- auringon säteily
- rakennuksen ominaisuudet.

Rakennuksen ominaisuuksiin vaikuttavat pinta-ala, suuntaus, ulkopuoliset varjostukset, rakennuksen massiivisuus, rakenteiden lämmönläpäisykertoimet ja pintojen

absorptiokertoimet. Kuorman suuruuden laskemiseen on käytössä eri menetelmiä. Laskentavaiheessa on tärkeää huomioida kuorman vaihtelut eri vuorokauden- ja vuoden-aikoina. Kokonaiskuva kuorman vaihtelusta auttaa jäähdytysjärjestelmän mitoituksessa ja valinnassa. Kiinteistön jäähdytysjärjestelmän valinnassa tulee ottaa huomioon sää, rakennuksen käyttöajat, sisälämpötilan tavoitearvot, lämpökuormat, ilmanvaihto, aurinkosuojaus, rakennuksen massiivisuus ja rakennuksen suuntaus. (Rakennuksen jäähdytystarpeen määrittäminen 1992: 1–4.)

### 3.1 Jäähdytystarpeen aiheuttajat

Kiinteistöä käyttävät ihmiset lisäävät kiinteistön lämpökuormaa. Yleisesti laskelmissa on käytetty seuraavia arvoja: yksi henkilö luovuttaa vapaata lämpöä 75 W ja sidottua lämpöä 40 W tilaan, eli yhteensä 115 W. Sidotulla lämmöllä tarkoitetaan pääosin uloshengityksen kosteaan ilmaan sitoutunutta lämpöenergiaa. Nämä laskenta-arvot on suunniteltu ihmiselle, joka tekee kevyttä työtä +25 °C:n huonelämpötilassa. (Rakennuksen jäähdytystarpeen määrittäminen 1992: 2.) Esimerkiksi rakennuskokoelmassa D5 käytetään kuitenkin laskennassa henkilön lämpökuormana 125 W, mikä on tuoreempi tieto. (Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2012: 31.)

Valaistus voi aiheuttaa kiinteistölle lämpökuormaa. Rakennustieto Oy:n Rakennuksen jäähdytystarpeen määrittämisen ohjekortin (1992) mukaan valaistuksen sähkötehon voidaan laskea suoraan muuttuvan lämmöksi. Ohjekortin mukaan valaisinten teho vaihtelee välillä 25...100 W/valaisin, johon lisätään noin 10 % virallisesta valaisimen sähkötehosta muuntajan häviötehon vuoksi. Ohjekortti on kuitenkin lähes 30 vuotta vanha, ja nykyään uusiin rakennettaviin tai saneerattaviin kiinteistöihin asennetaan pääasiassa LED-valaistus.

Lämpökuormaa nostavat erilaiset sähkölaitteet. Näiden tuoman lämpökuorman määrä on laitekohtainen, mutta yleisimmille sähkölaitteille on arvioitu suuntaa antavat laskenta-arvot. Jos kyseessä on iso, paljon lämpökuormaa lisäävä laite, voidaan tilan jäähdytystä tehostaan laitteen läheisyyteen sijoitetulla kohdepoistolla. (Rakennuksen jäähdytystarpeen määrittäminen 1992: 3.) Viimeisen 10 vuoden aikana sekä valaistuksen että laitekuormien suuruudet ovat LED-tekniikan ja tietokoneiden ja näyttöjen kehityksen myötä vähentyneet merkittävästi.

Edellä mainitut lämpökuorman aiheuttajat vaikuttavat tiloihin ympäri vuoden tasaisesti. Toisin sanoen kiinteistöjen sisäiset kuormat pysyvät pääsääntöisesti samanlaisina, ellei kiinteistöissä tehdä suurempia muutoksia. Suurin lämpökuorman kasvattaja on kuitenkin ulkoinen, vaihteleva kuorma: auringon säteily. Auringon säteilyn aiheuttaman lämpökuorman suuruuteen vaikuttavat ikkunoiden lämmönläpäisykerroin, aurinkosuojaus, ikkunoiden suuntaus sekä auringon säteilyn läpäisykerroin. Etelänpuoleisessa huonetilassa auringon kokonaissäteily on suurimmillaan klo 13–14. (Rakennuksen jäähdytystarpeen määrittäminen 1992: 3.)

### 3.1.1 Esimerkkilaskelma auringon vaikutuksesta

Seuraavaksi esitellään esimerkki, joka havainnollistaa, kuinka paljon auringonpaiste voi nostaa huoneen lämpötilaa. Laskelmassa verrataan identtisiä huoneita, joista toisen ikkuna on suunnattu etelään ja toisen pohjoiseen. Huoneiden pohja on 3 x 3 m ja korkeus 2,5 m. Huoneessa on yksi ikkunallinen ulkoseinä. Tämän seinän pinta-ala on 7,5 m<sup>2</sup>, josta 4 m<sup>2</sup> on ikkunaa. Teoreettinen rakennus, jossa huoneet sijaitsevat, sijoittuu Helsinkiin, jossa auringonvalon vuotuinen intensiteetti on 980 kWh/m<sup>2</sup> (Auringonsäteilyn määrä Suomessa 2021). Tarkasteluhetki on syyskuu, jolloin aurinko paistaa pystysuoralle ulkoseinäpinnalle 30°:n kulmassa. Tarkasteluajanjakso on yksi päivä.

Etelään päin olevan huoneen auringon aiheuttama lämpökuorma voidaan laskea kaavalla numero 1, jossa  $x$  on auringon aiheuttama kokonaislämpökuorma,  $y$  on pystypintaan kohdistuva auringon säteily tietyllä alueella,  $z$  on auringonsäteilyn läpäisyn korjauskerroin,  $A$  on ikkunan pinta-ala ja  $g$  on valoaukon läpäisykerroin. Esimerkin ikkunat sisältävät eristyslasin ja erillislasin. Tällaisen ikkunan valoaukon kokonaissäteilyn läpäisykerroin ( $g$ ) on 0,585. Trigonometrian avulla voidaan laskea auringonvalon intensiteetti pystysuoralle rakennuksen seinälle (muuttuja  $y$ ), jolloin intensiteetti on 1,55 kWh/m<sup>2</sup> päivässä. Muuttuja  $z$  on auringonsäteilyn läpäisyn korjauskerroin, joka huomioi erilaiset verhot ja varjostukset. Niitä ei oleteta tässä esimerkissä olevan, jolloin käytetään arvoa 0,75. Ikkunan pinta-ala on 4 m<sup>2</sup>, ja sitä kuvaa kaavassa muuttuja  $A$ . (Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2012: 32–33.)

$$x = y * z * A * g \quad (1)$$

$x$  = Auringon aiheuttama lämpökuorma

$y$  = pystypintaan kohdistuva auringon säteily

$z$  = auringonsäteilyn läpäisyn korjauskerroin

$A$  = ikkunan pinta-ala

$g$  = valoaukon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

Esimerkin arvoilla laskettuna etelän puolella olevan huoneen ikkunasta pääsee lävitse auringon aiheuttamaa lämpökuormaa 2,72 kWh päivässä. Tällöin auringon teho on auringon paistaessa huoneeseen (jos oletetaan paistamisen ajaksi 8 h) 340 W. Tämän lisäksi lämpöä johtuu myös jonkin verran rakennuksen seinän lävitse. Etelään suunnatun huoneen lämpökuorma voi siis nosta huomattavasti auringonvalon myötä verrattuna rakennuksen pohjoispuolella olevaan huoneeseen. Tämä voi johtaa tilanteeseen, jossa pohjoisen puolella olevassa huoneessa ei tarvita jäähdytystä, mutta etelän puolella olevassa huoneessa kuluu tavoitelämpötilassa pysymiseen saman verran jäähdytysenergiaa, kuin auringon lämpöenergiaa tulee huoneeseen. Vuodessa tämä näkyy suurena erona etelään ja pohjoiseen suunnattujen tilojen jäähdytysenergian kulutuksissa.

Esimerkkilaskelma havainnollistaa, miten paljon aurinko tiloja lämmittää tavallisen ikkunan kautta, jos auringonvalon paistamista ei estetä millään. Ongelmaa vähentävät verhot, kaihtimet ja muut varjostukset, kuten kaavasta 1 todettiin, mutta nämä voivat usein peittää ikkunasta nähtävää näkymää. Jos tilojen energiatehokkuutta halutaan parantaa ilman näitä toimenpiteitä, ikkunat voidaan kalvottaa. Tällöin ikkunoihin, usein ulkopinnalle, asennetaan auringonvaloa suodattavat kalvot. Suomen kiinteistökalvotus ilmoittaa esimerkiksi, että malli Neutral 20 suodattaa aurinkoenergiasta 62 % (3M Traditional Solar -kalvo 2021). Tällöin esimerkissä käsiteltyyn etelän puolen huoneeseen tulisi ikkunan kautta enää 1,03 kWh aurinkoenergiaa. Kalvotuksella voidaan siis kerralla laskea kiinteistön vuosittaisia jäähdytyskustannuksia ja parantaa tilojen olosuhteita.

Havainnollistetaan auringon säteilyn kuormaa vielä verrattuna muihin lämpökuorman lähteisiin. Seuraavat arvot on ilmoitettu noin 65 %:n käyttöasteella ympäristöministeriön

esimerkkikiinteistössä: Ihmisen muodostama lämpökuorma on keskimäärin  $5 \text{ W/m}^2$ , valaistuksen ominaisteho  $10 \text{ W/m}^2$  ja kuluttajalaitteiden ominaisteho on  $12 \text{ W/m}^2$ . Näitä arvoja käytetään laskennassa energiatehokkuusasetuksen (1010/2017), 11 § mukaisesti. (Energiatodistuksen laadintaesimerkki: uusi toimistotalo 2018: 15.)

### 3.1.2 Esimerkkilaskelma valaistuksen vaikutuksesta

Ihmisten aiheuttama lämpökuorma ei ole muuttunut, mutta valaistuksen lämpökuorma on tekniikan kehityksen myötä pienentynyt viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana, samoin laitekuorma. Tämän vuoksi vanhoilla, erilaisilla lähtötiedolla suunnitelluilla kiinteistöillä on tarvetta tehdä säätöjä ja muutoksia jäähdytyksen optimoimiseksi. Auringon aiheuttaman lämpökuorman vuoksi tarvitaan edelleen jäähdytystä, mutta tätä kuormaa voidaan pienentää luvussa 3.1 mainituin keinoin.

Valaistuksen aiheuttamaa lämpökuormaa, sen muutosta sekä muutosten aiheuttamia säästöjä voidaan arvioida pinta-alan tai valaisinluettelon perusteella. Kuvan 3 laskelmassa on käytetty perusteena vanhojen loisteputki-, halogeeni- tai hehkulamppuvalaisinten määrää. Lasketut muutokset toteutuvat tilanteessa, jossa vanhat valaisimet korvataan uusilla LED-valaisimilla, joiden lämpökuorma ja kulutus ovat huomattavasti aiempaa valaistusta pienempiä. Todellisuudessa laskelmissa täytyy usein olettaa säästöprosentti, sillä senhetkisten valaisinten tehot eivät ole tiedossa. Tämä laskelma on toteutettu niin, ettei vanhojen valaisinten tehoja ole välttämätöntä tietää. Laskijan täytyy kuitenkin arvioida uusien valaisimien tehot. Laskelmasta saadaan tarkempi, jos saatavilla on kiinteistön valaisinluettelot. Valaisinluetteloista saadaan olemassa olevien valaisinten tiedot ja valaistustehot laskelmien pohjaksi. Valaisintehojen lisäksi tarvitaan valaisimen vuosittaiset käyttötunnit. Valaisinten vuosittaiset käyttötunnit arvioidaan kunkin tilatyypin perusteella.

Esimerkki valaistusmuutoslaskelmasta (kuva 3): kiinteistössä on 100 kappaletta loisteputkivalaisimia, joista puolet ovat teholtaan 35 W ja puolet 49 W. Lisäksi kiinteistössä on 50 kappaletta pienoiskoistelamppuja, joiden teho on 52 W. Valaisinten vuosittaiset käyttötunnit arvioidaan tilan käyttöaikojen avulla. Vuosittaisten käyttötuntien arvio on laskettu olettaen, että valaistus on käytössä päivittäin klo 7–17 ympäri vuoden, pois lukien pyhäpäivät. Uusien valaisimien vuosikulutus on laskettu kertomalla valaisimien teho niiden

kappalemäärällä ja vuosittaisilla käyttötunneilla. LED-valaisimen oletetaan vähentävän energiankulutusta 60 % valaisimen aiemmasta vuosikulutuksesta. Tämän avulla on laskettu vanhojen valaisinten vuosittainen kulutus. Vuosittaiseksi säästöksi tässä laskelmassa tulee valaistusmuutoksesta 21 MWh vuodessa.

Vanhon valaisimen tehot (W)	Uusien valaisimen tehot (W)	KPL	Käyttötunnit (h/a)	Uusien valaisimen kulutus (MWh/a)	Vanhon valaisimen kulutus (MWh/a)	Säästö (MWh/a)
35	18	50	3500	3,2	7,9	4,7
49	31	50	3500	5,4	13,6	8,1
52	31	50	3500	5,4	13,6	8,1
Yhteensä		150,0		14,0	35,0	21,0

Kuva 3. Valaistusmuutoslaskelma, jossa vanhat valaisimet vaihdetaan LED-valaisimiksi.

Kun tiedetään energiansäästön suuruus, voidaan laskea muutoksen aiheuttama vuosittainen rahallinen säästö. Lisäksi voidaan laskea investointiarvio, kun uusittavien valaisinten määrä on tiedossa. Investointiarvion ja vuosittaisen kulutussäästön avulla voidaan laskea valaistusmuutokselle takaisinmaksuaika, mikä kertoo, kuinka pitkän ajan kuluttua investointi on maksanut itsensä takaisin kiinteistön omistajalle.

Laskelmasta huomataan, että valaistuksen aiheuttama vuosittainen sähkönkulutus puutoa valaistusmuutosten myötä alle puoleen. Tilojen valaistustaso ei putoa, joten erotus kulutuksissa on pääasiassa vanhan valaistuksen hukkalämpöä. Tällöin kesällä tilojen lämpökuorma pienenee, ja jäähdytystarve laskee.

### 3.2 Suunnitelmat ja käytäntö

Nykypäivänä edelleen tehdään suunnitelmia, joissa jäähdytysverkostojen menoveden lämpötilasäätö on vakio vuodenajasta riippumatta. Tämä johtaa siihen, että lämmityskaudella jäähdytysverkon täysi kapasiteetti on käytössä eikä verkoston toimintaa voida optimoida energiankulutuksen kannalta. Kun asetusarvo on verkostossa vakio, kesäisin kondenssikorotus voi viedä jäähdytystehon kokonaan pois silloin kun sitä eniten tarvittaisiin. Esimerkiksi 28–31.7.2018 kastepistelämpötila valtaosan ajasta yli 20 °C. Tällaisessa tilanteessa voidaan joutua turvautumaan yöaikaiseen jäähdytykseen, jossa IV-kone käy yöllä ja tuloilmaa jäähdytetään IV-koneen jäähdytyspatterilla.

Myös jäähdytysverkostoon liitettyjen varaajasäiliöiden lämpötilat suunnitellaan usein vakioiksi, vaikka talvisin kylmän veden tarve on vähäinen. Tämä lyhentää voimakkaasti vapaajäähdytyksen vuotuisia käyttötunteja. Lisäksi vakiolämpötila voi lisätä lauhduttimien puhaltimien kulutusta, kun niiden on toimittava täydellä teholla.

Suunnittelussa törmää toisinaan epäkäytännölliseen ratkaisuun, jossa IV-jäähdytysverkon yhteyteen suunnitellaan serveritilojen jäähdytystä tai piiriin on lisätty konvektoreita. Tällöin verkosto joudutaan pitämään paineellisena myös talviaikaan, vaikka itse IV-verkostolla ei ole jäähdytystarvetta. Vastaavasti jäähdytyksen optimointia haastaa, jos tilakohtaisiin palkkiverkostoihin liitetään ATK- tai serveritilojen jäähdytyksiä tai muita suurempien vakiolämpökuormallisten tilojen jäähdytyksiä, jotka vaativat ympäri vuoden kylmäenergiaa.

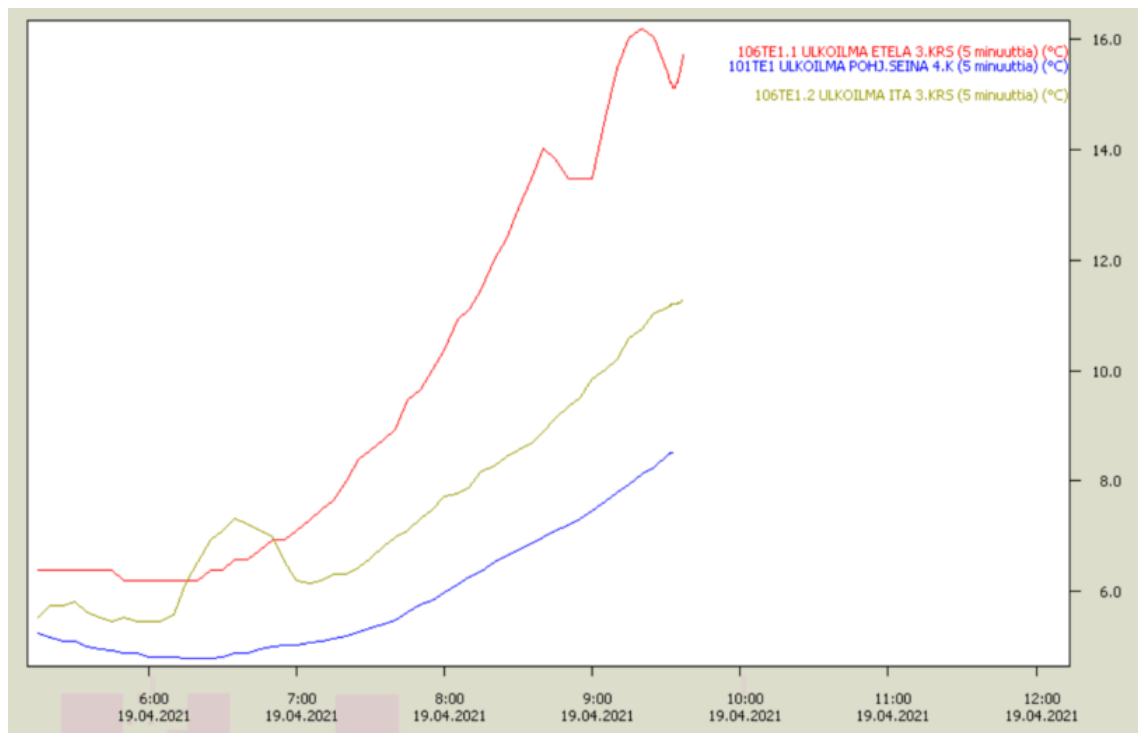
Tärkeää on itse verkoston lämpötila-asetusten lisäksi huomioida pumppujen oikeellinen ohjaus ja säätö. Etenkin isotehoisten pumppujen virheelliset säädöt ja pienempitehoisempien vapaajäähdytyspumppujen puute voivat johtaa huomattavan suuriin kulutuksiin. Jäähdytysjärjestelmän suunnitteluvaiheessa valittujen tuotteiden laatu vaikuttaa paljon säädettävyyteen. Säätöä auttavat laadukkaat venttiilit, hyvät trendi-historiatiedot, hälytysrajat ja hyvät koontisivut. Myös digitaaliset huonesäätimet, jotka sisältävät asetusarvon poikkeutuksen nollausmahdollisuuden ja ovat väylään liitettäviä, helpottavat kiinteistön jäähdytyksen toimintaa.

### 3.3 Esimerkkikohteita

Talvella ei siis nykyaikaisessa, oikein säädetyssä ja suunnitellussa toimistokiinteistössä ole jäähdytystarvetta juuri ollenkaan. Tämä vuoksi talven jäähdytysenergian kulutus tulisi keskimäärin olla noin 10 % tai alle kesän jäähdytysenergian kulutuksesta. Seuraavaksi esitellään todellisia esimerkkikiinteistöjä ja tarkastellaan niiden jäähdytysenergian kulutusta ja sen kehitystä. Esimerkkikiinteistöjen nimet on muutettu. Kaikista tämän luvun pylväsdiagrammeista voidaan huomata koronaviruksen vaikutukset maaliskuusta 2020 alkaen. Kulutus on kuitenkin vähentynyt joka kuukaudelta melko tasaisesti, joten diagrammeista voidaan hahmottaa kulutuskehitys.

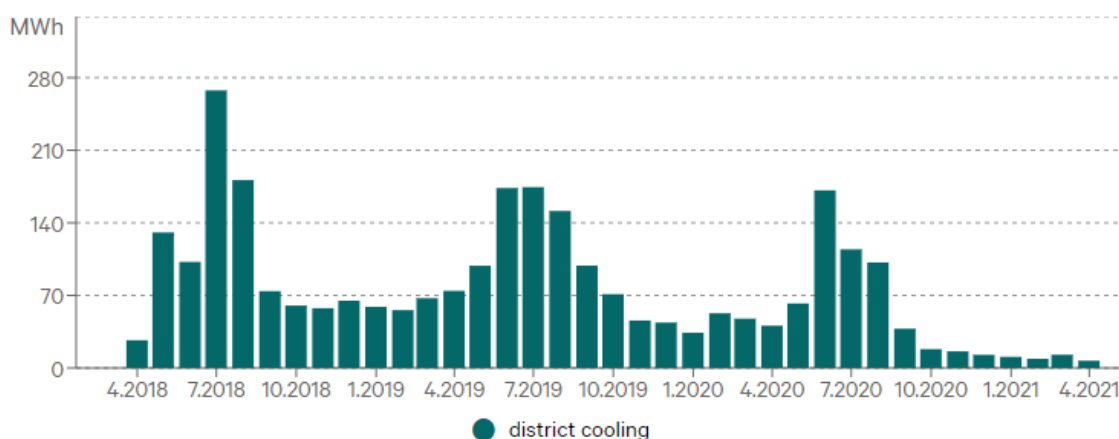
Ensimmäisenä esimerkki kiinteistönä on Länsilammenaukio 1. Länsilammenaukio 1 on rakennettu vuonna 2000, ja siihen on tehty energiatehokkuushanke vuonna 2020. Energiatehokkuushankkeen aikana jäähdytysverkoston vanhat venttiilit vaihdettiin Belimon palloventtiileiksi. Lisäksi jäähdytysverkosto tasapainotettiin, tiloihin asennettiin digitaaliset huonesäätimet ja automaatiojärjestelmä uusittiin. Kohteen automaatiojärjestelmään haettiin oikeat asetusarvot ja kohteen järjestelmien säätö tehtiin ammattilaisen toimesta. Käyttäjien tekemät huonesäätimien asetusarvojen poikkeutukset voidaan uudessa järjestelmässä nollata ns. massanollauksella. Tällöin järjestelmä pyyhkii pois käyttäjien tekemät muutokset huoneiden lämpötila-asetuksista, ja palauttaa huonelämpötilojen perusasetusarvon.

Auringon paistaessa eteläpuolelle sijoitettu lämpötilamittaus voi näyttää useita asteita korkeampia lämpötiloja, kuin pohjoispuolella oleva mittaus. Tämä voidaan havaita kuvasta 4, jossa on saman kiinteistön kolmen eri ulkolämpötila-anturin trendit samalta aikaväliltä. Kiinteistön eteläpuolen anturi (punainen viiva) mittaa useita asteita korkeampia lämpötiloja, kuin esimerkiksi pohjoispuolen anturi (sininen viiva). Myös auringon säteilyn intensiteettimittari antaa automaatiojärjestelmälle tietoa, kuinka suuri ulkoinen kuorma auringonpaisteesta kiinteistölle aiheutuu tietyllä hetkellä.



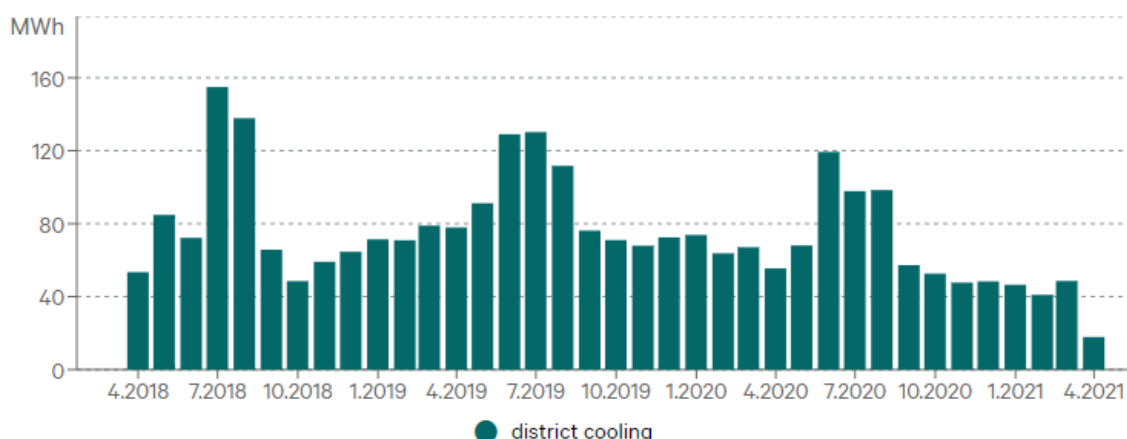
Kuva 4. Ulkolämpötilamittaukset kiinteistön eri sivuilla.

Länsilammenaukio 1:n automaation ohjelmoinnissa huomioitiin esimerkiksi aurinkokuorma siten, että jäähdytysverkon menoveden lämpötila säätyy eteläsivun lämpötilamittauksen mukaan. Tällöin jäähdytysenergiaa on tarjolla, kun sitä todella tarvitaan, ja kapasiteetti tulee käyttöön oikeaan aikaan. Energiatehokkuushankkeen valmistuttua jäähdytyksen kulutus asettui talvena 2020–2021 optimaaliselle tasolle, kun talven jäähdytysenergian kulutus oli 10 % kesän kulutuksesta (kuva 5). Ennen energiatehokkuushanketta talven jäähdytysenergian kulutus oli 30–50 % kesäajan kulutuksesta, kuten pylväsdiagrammista voidaan lukea. Kaikki ylimääräinen lämmityskauden aikainen jäähdytysenergian kulutus lisää lämmön kulutusta sekä olosuhdeongelmia ja epätasaisia lämpöolosuhteita.



Kuva 5. Kaukokylmän kuukausikulutukset kolmen vuoden aikajaksolta.

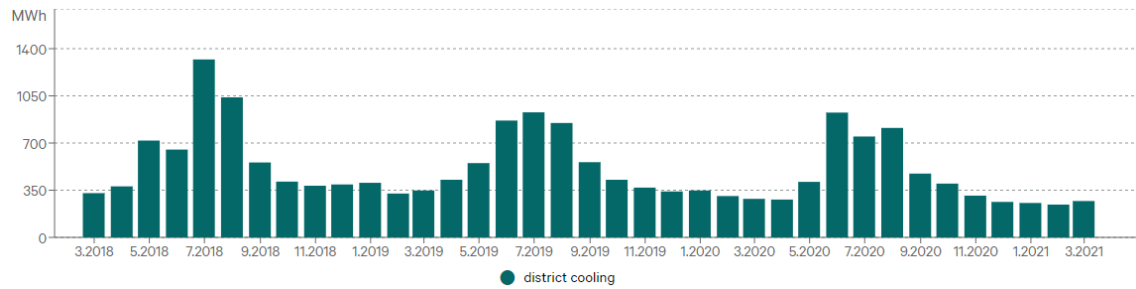
Toisena esimerkkinä on Napoleoninkatu 3. Tämä toimistokiinteistö on valmistunut yli sata vuotta sitten. Kiinteistön jäähdytysenergian kulutus on talvisin liian suurta kesän kulutukseen nähden. Kesäaikaan kesä–elokuussa on nähtävissä lämpimien kuukausien aikana noussut kulutus, muuten kulutus on melko tasaista (kuva 6). Osa kohteen tilojen jäähdytysjärjestelmistä on liitetty kiinteistön jäähdytyksen IV-verkostoon. Tämän vuoksi ilmanvaihtoverkosto on pidettävä paineistettuna myös talviaikaan, eikä verkoston pumppulle voida ohjelmoida kesäpysäytystoimintoa. Kun verkostossa on painetta, voi IV-koneen läpipäästävä jäähdytyspatterin venttiili aiheuttaa helposti nousua kulutuksissa. Kiinteistössä on ollut useita olosuhdeongelmia, ja jäähdytysverkon virtaamat on mitattu ja säädetty keväällä 2020.



Kuva 6. Napoleoninkatu 3:n jäähdytysenergian kulutukset viimeisen kolmen vuoden ajalta.

Napoleoninkatu 3:n tilanne ei ole ainutlaatuinen. Etenkin vanhemmissa rakennuksissa voi olla erikoisia ratkaisuja, kun alkuperäiset suunnitelmat ovat vanhoja ja kiinteistöjä on saneerattu vuosien varrella useaan kertaan. Lisäksi kiinteistöjen jäähdytysverkostot voivat vaatia säätöä, kiinteistön jäähdytyksen toimintaa ei välttämättä ole optimoitu tarkastelemalla jäähdytystä, lämmitystä ja ilmanvaihtoa kokonaisuutena ja laitekanta voi olla elinkaarensa päässä.

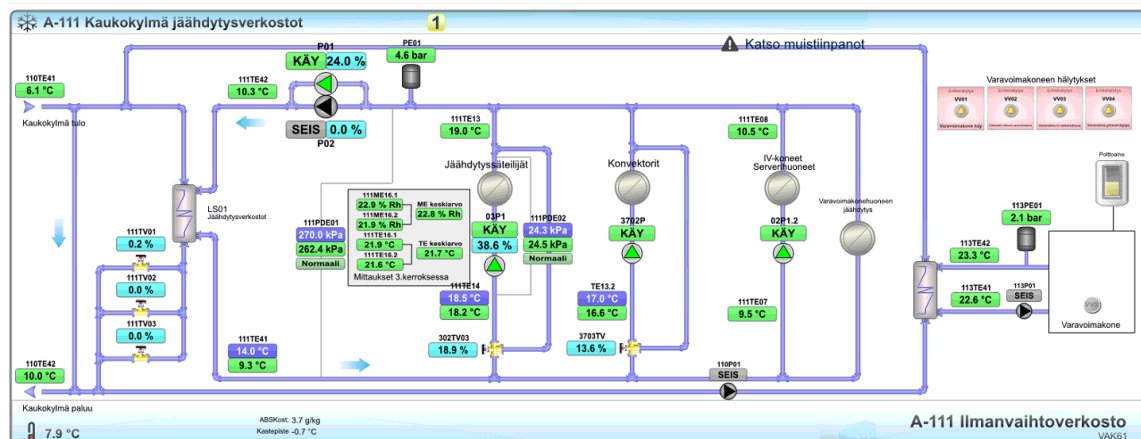
Alla olevassa pylväsdiagrammissa (kuva 7) on esitelty kahdeksasta toimistokiinteistöstä koostuvan kiinteistömässä jäähdytysenergiankulutus. Kiinteistöt ovat eri-ikäisiä toimistorakennuksia. Diagrammista voidaan nähdä, että talven jäähdytysenergian kulutus on noin 40–50 % kesäajan kulutuksesta. Kiinteistömässä jäähdytysenergian kulutuksessa on siis huomattava potentiaali, joka energiatehokkuushankkeella ja toimenpiteillä voidaan saavuttaa. Jos talven kulutus olisi 10 % kesäajan kulutuksesta, vuodessa voitaisiin tässä kiinteistömässä säästää normaalina vuona jäähdytysenergiankulutuksessa jopa 1 500 MWh. Tämä tarkoittaisi kiinteistömässä 105 000 euron säästöjä vuodessa, jos kaukokylmän hinnaksi oletetaan 70 €/MWh. Lisäksi, jos tiloissa on ollut päällekkäistä jäähdytystä ja lämmitystä, vähentää tämä kaukolämmönkin kulutusta huomattavasti. Tällainen kulutuksen optimointi vaatii kuitenkin usein melko suuria investointeja.



Kuva 7. Kahdeksan kiinteistön yhteenlaskettu jäähdytysenergian kulutus.

#### 4 Jäähdytysjärjestelmien säätö

Kiinteistön jäähdytysjärjestelmiä säädetään rakennusautomaation avulla. Tässä työssä tarkastellaan kiinteistöjä, joissa on käytössä rakennusautomaatiojärjestelmään kytketty etävalvomo. Jokaisella palveluntarjoajalla on omanlaisensa valvomopohja, ja jokainen valvomo on aina räätälöity kiinteistön mukaan. Valvomot ja kiinteistöt ovat yksilöllisiä, joten on kiinteistökohtaista, mitä kaikkia työkaluja valvomossa on käytettävissä jäähdytysjärjestelmien säätöön. Kuvassa 8 nähdään esimerkki valvomon jäähdytysjärjestelmästä.



Kuva 8. Jäähdytysjärjestelmän valvomosivu (Asemlin Oy 2021).

Kiinteistön jäähdytysjärjestelmässä on usein oma piiri ilmanvaihdon jäähdytykselle ja toinen päätelaitteille, kuten konvektoreille tai palkkijäähdyttimille. Näitä verkostoja voi olla useita, riippuen kiinteistön koosta. Verkostoilla on usein vähintään kaksi venttiiliä, jotka

mahdollistavat laajemman säätöalueen. Verkostoilla on myös vähintään yksi pumppu, sekä useita lämpötilamittauksia.

Jos kiinteistössä on jäähdytysjärjestelmä, sen on esitetty valvomossa omana sivunaan tai sivukokonaisuutenaan. Tältä sivulta tai sivuilta voidaan määrittää esimerkiksi kiinteistön jäähdytysverkoston menoveden lämpötila. Usein menoveden lämpötilan säätökäyrä on sidottu ulkolämpötilaan, jolloin talvella ulkoilman ollessa viileämpää, on menovesi lämpimämpää. Kesällä taas menovesi on viileämpää, jotta se riittää kiinteistön jäähdytystarpeisiin. Vaikka jäähdytysverkoston putket on eristetty, täytyy jäähdytysverkoston menoveden lämpötilassa huomioida kastepistelämpötila. Tarkoituksena on estää ilmassa olevan kosteuden tiivistymistä kondenssivetenä putkistojen ja päätelaitteiden pinnalle.

Kun jäähdytys on toteutettu paikallisilla jäähdyttimillä, jäähdytystä voidaan säätää huonekohtaisesti huonesäätimistä. Jos taas tilojen jäähdytys on toteutettu ilmastoinnin avulla, tiloihin tulevan tuloilman lämpötila säätyy poistoilman lämpötilan mukaan. Kun huonelämpötila ja sitä kautta poistoilman lämpötila ovat korkeampia, säätyy tuloilman lämpötilan asetusarvo matalammaksi, ja IV-koneen jäähdytyspatterin venttiilin avautuma kasvaa.

#### 4.1 Tyypilliset ongelmat

Kiinteistöjen jäähdytyksen optimoinnissa on useita haasteita. Jäähdytysjärjestelmän toteutus, kiinteistön koko ja kiinteistövalvomon toteutus vaikuttavat paljon siihen, miten paljon eri prosesseja ja laitteita kiinteistössä voidaan hallita etävalvomon avulla. Toimivuus riippuu myös kohteessa toimivan huoltohenkilöstön tietotasosta, käyttäjille tarkoitetun laitteiston helppokäyttöisyydestä ja kiinteistön jäähdytysjärjestelmän suunnittelusta.

Jäähdytysjärjestelmän toimivuutta voivat haitata vialliset venttiilit ja niiden toimilaitteet. Läpipäästävä venttiili kuluttaa jäähdytysenergiaa turhaan, kun todellista jäähdytystarvetta ei ole. Viallinen venttiili voi myös olla jatkuvasti kiinni, jolloin jäähdytysenergiaa ei saada. Venttiiliongelmat ovat hankalia huomata, mutta jos automaatiojärjestelmässä on mahdollisuus tutkia venttiilin säätöarvon ja menoveden lämpötilan trendejä, on niistä

mahdollista havaita viallinen venttiili. Myös lämpökameralla voidaan havaita vialliset venttiilit, kun venttiilin ajoasento on pakotettu.

Automaatioon liitetyn valvomon ohjelmoinnin laatu vaikuttaa jäähdytyksen optimointiin. Jäähdytyksen mukauttaminen kiinteistölle sopivaksi on vaikeaa, jos verkostojen menoveden lämpötilalla on vain vakiosäätöarvo. Ulkolämpötilaperusteinen säätökäyrä muuttaa menoveden asetusarvoa ulkolämpötilan mukaan. Ulkolämpötilaperusteinen säätökäyrä toimii parhaiten, kun se perustuu eteläjulkisivun lämpötilamittaukseen tai auringon säteilyintensiteettimittaukseen.

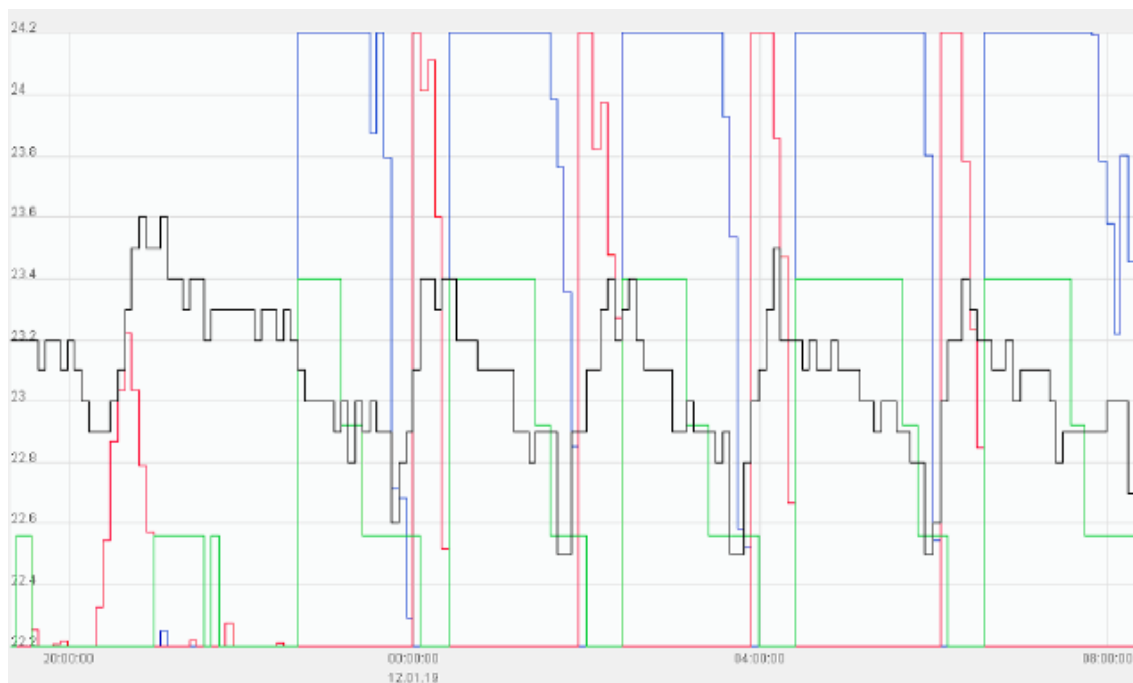
Kiinteistöissä voi olla satoja tiloissa olevia huonesäätimiä, joiden lämpötila-asetusta käyttäjät voivat muuttaa, eli poikkeuttaa, muutamilla asteilla. Asetusarvo säättää huonekohtaisia järjestelmiä ja pyrkii muuttamaan huoneen lämpötilan haluttuun arvoon. Riippuu säätimen ja valvomon asetuksista, kuinka paljon käyttäjä voi asetusarvoa muuttaa perusasetuksesta. Esimerkiksi jos tilan huonesäätimien perusasetus on 21,5 °C, ja poikkeutusta voi tehdä  $\pm 1,5$  °C, voivat huonelämpötila-asetukset olla tiloissa 20–23 °C.

Käyttäjät ei välttämättä osaa muuttaa asetusarvoa tai ei muista muuttaa asetusarvoa ulkolämpötilan muuttuessa. Tämä voi aiheuttaa huonot olosuhteet kyseisessä huoneessa. Tyypillisesti jäähdytyskauden alkaessa poikkeutukset on aseteltu mahdollisimman korkealle ja vastaavasti lämmityskauden alkaessa matalalle, mikä aiheuttaa ongelmia olosuhteissa sekä päällekkäistä lämmitystä ja jäähdytystä. Olosuhdeongelmien ilmaantumisessa on harjaantumattoman huoltomiehen tyypillinen ratkaisu pidentää ilmanvaihdon aikaohjelmia ja nostaa ilmanvaihdon sisäänpuhalluslämpötiloja, jolloin negatiivinen kierre on valmis.

Tämänkaltaisia ongelmia ehkäistään huonesäädinten asetusten keskitetyllä nollauksella. Keskitetty nollaus nollaa käyttäjien poikkeutukset ja palauttaa kaikkiin säätimiin perusasetuksen. Nollauksen toistuvuus riippuu tiloista. Nollaus voidaan toteuttaa esimerkiksi toimistotiloissa kaksi kertaa vuodessa, jäähdytys- ja lämmityskauden alussa, tai neuvottelutiloissa päivittäin. Tämä nollaus toteutetaan usein viikonloppuisin, jolloin tiloissa on mahdollisimman vähän käyttäjiä, jotta muutokset eivät häiritse tiloissa toimivien olosuhteita. Kiinteistön jäähdytyksen säätö on haastavaa, jos tilojen huonesäädinten asetusarvon keskitettyä nollausta ei ole ohjelmoitu automaatiojärjestelmään.

Huoneiden lämpötilan säädössä on tärkeää olla niin sanottu kuollut alue. Tämä tarkoittaa sitä, kuinka suurella astemäärällä huonelämpötila voi poiketa asetusarvostaan, ennen kuin jäähdytys tai lämmitys käynnistyy. Esimerkiksi: huonelämpötilan asetusarvo on 22 °C ja kuolleen alueen suuruus on  $\pm 1$  °C. Tällöin huonelämpötilan ollessa 21–23 °C ei ohjelma anna jäähdytykselle tai käynnistykselle lupaa. Jos kuollutta aluetta ei ole ohjelmoitu tai sen arvoa ei ole asetettu oikein, voi seurauksena olla jatkuvaa vuorottaista jäähdytystä sekä lämmitystä.

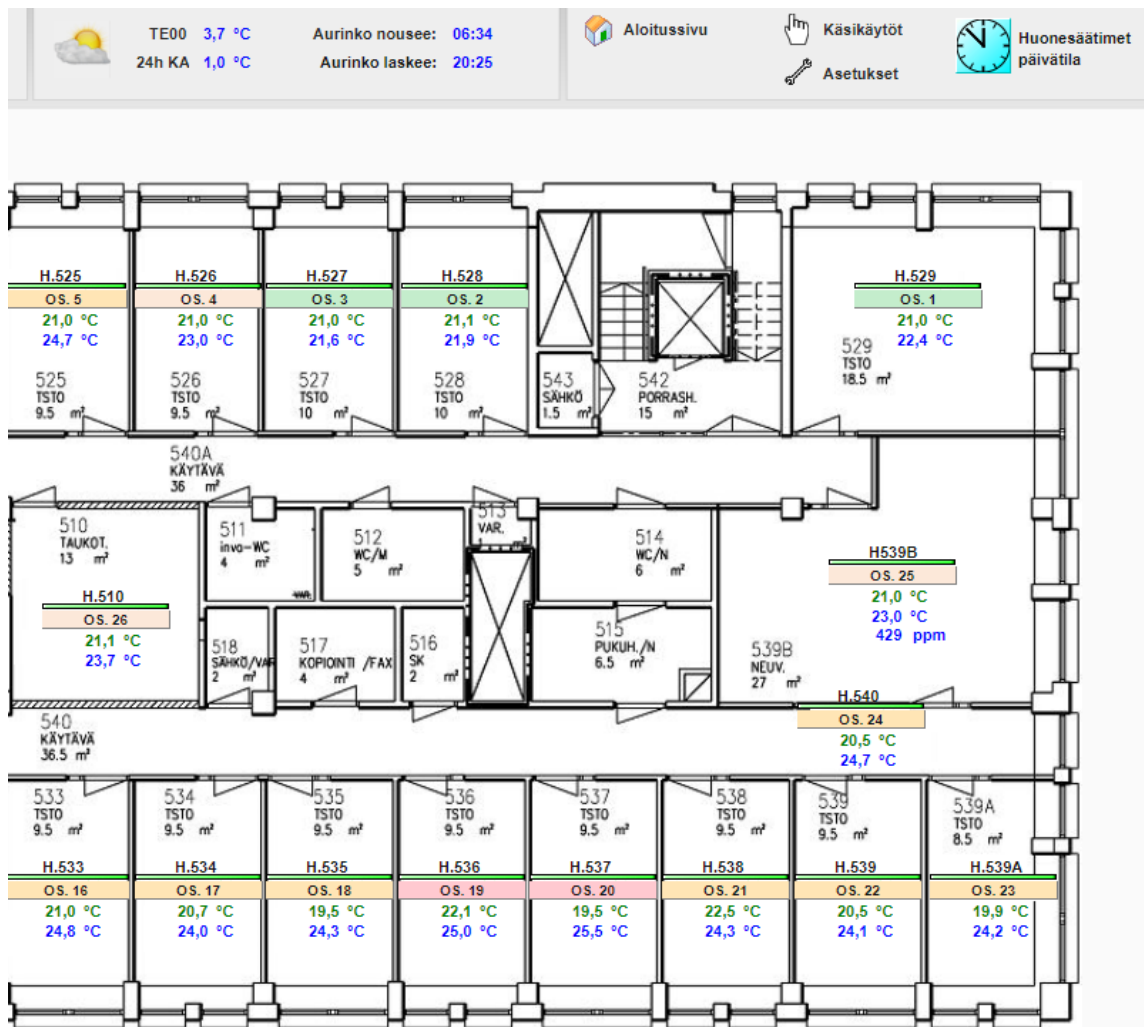
Alla näkyvästä trendidatasta (kuva 9) voidaan havaita, ettei kuollutta aluetta ole ohjelmoitu tai sen arvo on liian pieni. Jäähdytysventtiili (sininen käyrä) ja lämmitysventtiili (punainen käyrä) aukeavat vuoron perään täysin auki, eikä huonelämpötila (musta käyrä) pysy tasaisena. Tämä kuluttaa turhaan ylimääräistä energiaa ja huonontaa olosuhteita huonetilassa. Alla oleva trendikäyrä on myös mainio osoitus siitä, mitä tapahtuu, jos jäähdytysverkoston menoveden lämpötilaa ei säädetä ulkolämpötilan mukaan, palkkiventtiili on rikkoutunut ja auki tai huonelämpötila-asetusten poikkeutukset ovat vahvasti miinuksella.



Kuva 9. Vuorottainen jäähdytys ja lämmitys samassa huonetilassa. Sininen käyrä kuvaa jäähdytyspatterin venttiiliä, punainen lämmityspatterin venttiiliä (Assemblin Oy 2021).

Ongelmat huonetilan lämpötilan säädössä voivat aiheuttaa ilmanvaihdon ohivirtausta, epätasaisia lämpötilaoloja, tunkkaista sisäilmaa ja vetoa. Ongelmat voivat johtaa käyttäjän tai huoltohenkilön hätäisiin pikaratkaisuihin, jotka huonontavat tilannetta entisestään. Yksi pikaratkaisu voi olla nostaa alueen ilmanvaihdon tuloilman lämpötilaa. Jos tuloilma on liian lämmintä, huonetilan lämpötila voi nousta sen vuoksi asetusarvoonsa, jolloin ikkunoiden alla olevien lämmityspatterien termostaatit tulkitsevat, ettei patterin tarvitse lämmittää tilaa. Kun ikkunan alla oleva patteri viilenee, ikkunan edestä poistuu lämpöverho, jonka on tarkoitus estää vetoa, jota ikkunoista voi tulla. Seurauksena voi olla huono ilmanlaatu (lämmin raikas ilma pysyy huoneen yläosissa ja poistuu poistoilma-venttiileiden kautta, ns. ohivirtaus), vetoa (patterin muodostaman lämpöverhon poistuttua) ja huonelämpötilan vaihtelua. Tällöin olosuhteet ovat huonot, energiaa kuluu turhaan ja käyttäjät kärsivät tilanteesta.

Kappaleessa 3.1 käsiteltiin aurinkokuorman vaikutusta jäähdytystarpeeseen. Alla näkyvästä pohjakuvasta (kuva 10) huomataan, että kuvan alaosan huoneet ovat auringon puolella, sillä niiden lämpötilat ovat muita tiloja korkeampia. Tässä kiinteistössä jäähdytysverkoston jäähdytyslupa menee päälle vasta, kun ulkolämpötilan 24 tunnin keskiarvo ylittää 12 °C. Kuvan tilanteessa keskiarvo on vielä 1,0 °C. Tällöin, vaikka tiloissa on päivällä auringonsäteilyn vuoksi suuri lämpökuorma, ei tiloissa ole jäähdytystä. Kiinteistössä on myös yhdistetty lämmitykseen ja jäähdytykseen käytettävä lämpöpumppujärjestelmä. Järjestelmä on tällaisessa tilanteessa kankea, sillä toiminnan vaihtaminen lämmityksestä jäähdytykseksi ei onnistu nopeasti.



Kuva 10. Pohjakuva, jossa näkyvät huonelämpötilat (Assemblin Oy 2021).

## 4.2 Verkoston säätö

Jäähdytysverkoston menoveden lämpötilaa säädetään usein ulkolämpötilan avulla. Edelleen tehdään myös suunnitelmia, joissa menoveden lämpötila on vakio. Toisinaan IV-verkostossa voi olla myös ulkolämpötilarajaan perustuva pysäytystoiminto, jolloin verkoston pumput pysähtyvät ja venttiilit sulkeutuvat ulkolämpötilan laskiessa. Jos verkostossa ei ole tällaista pysäytystoimintoa, verkoston menoveden lämpötilaa nostetaan talviaikana säätöikäyrän avulla. Näin eliminoidaan läpipäästävien venttiilien aiheuttamaa turhaa energiankulutusta ja estetään käyttäjiä laittamasta päällekkäistä jäähdytystä ja lämmitystä tiloihin.

Joissain tilanteissa ei ole mahdollista pysäyttää verkostoa, vaikka sen pääasiallisella käyttökohteella ei olisi tarvetta jäähdytykselle. Esimerkiksi IV-verkostoihin voi olla liitettyä serveritilojen tai muiden tilojen jäähdytyksiä, jolloin säädöissä on otettava huomioon molempien järjestelmien jäähdytystarve. Tämä haastaa koko verkoston säätöä, sillä jos serveritilat tarvitsevat jäähdytystä, koko IV-verkoston menoveden lämpötila on pidettävä alhaisena. Serveritiloille on tästä syystä järkevää suunnitella oma verkostonsa.

Jäähdytysverkoston virtaamien on tärkeää olla oikein säädetty. Jos kiinteistön jäähdytysjärjestelmään tehdään muutoksia, tulee virtaamien mittaukset toteuttaa, jotta voidaan varmistua niiden oikeellisuudesta. Toisinaan heikko jäähdytysteho osassa kiinteistöä voi johtua virtaamien säätämättömyydestä.

#### 4.2.1 Venttiilien viritykset

Jäähdytysverkoston säädön lisäksi on tärkeää virittää jäähdytysjärjestelmän venttiilit. Venttiileitä ohjaa säädin, usein PID-säädin. Säätimen parametreja muuttamalla voidaan muokata venttiilin toimintaa, esimerkiksi sen tekemien muutosten nopeutta tai ennakkoin- tikykyä. Virittämätön venttiili aiheuttaa usein kustannuksia ja olosuhdeongelmia. Jos venttiili reagoi muutokseen liian nopeasti liian suurilla portailla, on seurauksena säädön huojuntaa. Tällöin sekä verkoston menoveden lämpötila, että venttiilin säätö sahaavat. Tämä lyhentää venttiilin elinkaarta. Venttiilin säätö ei kuitenkaan saa olla liian hidas, sillä tällöin menoveden lämpötila ei reagoi tarpeeksi nopeasti kuorman muutokseen, ja jäähdytysenergiaa ei välttämättä riitä hetkellisesti tarpeeksi laitteiden käyttöön. Tämä taas vaikuttaa olosuhteisiin kiinteistössä.

Kun venttiilin toiminnan havaitaan olevan ongelmallista, käydään usein läpi kertynyttä trendidataa venttiilin toiminnasta ja sen vaikutuksesta menoveden lämpötilaan. Tässä trendidatan läpikäynnissä voidaan havaita, jos venttiilin toiminta on viallista, eikä pelkäs- tään parametrien arvoista johtuvaa. Toisinaan venttiilin toiminnan tutkiminen vaatii lämpöti- lojen, venttiilin ja toimilaitteen fyysistä havainnointia kohteella: ajaako toimilaitte venttiilin karaa säätöä muutettaessa, liikkuuko kara oikeaan suuntaan ja näyttävätkö automaati- olla nähtävät lämpötilat samoja arvoja, kuin fyysiset mittarin verkostossa.

#### 4.2.2 Säättökäyrien muutokset

Jäähdytysverkostojen säättökäyriä muutetaan yleensä, jos kiinteistössä tapahtuu muutoksia tai kohteen käyttäjiltä tulee olosuhdereklamaatio. Säättökäyrämuutoksia tehdään pääsääntöisesti pienillä prosentuaalisilla muutoksilla kerralla, ja optimaalista säätökäyrää etsittäessä voidaan tehdä muutoksia useamman kerran. Liian raju yksittäinen muutos käyrässä voi lisätä olosuhdeongelmia.

Ilmanvaihtoverkoston säättökäyrää muutettaessa pyritään tilanteeseen, jossa IV-konekohtaisten jäähdytyspatterien venttiilien avautuma on enintään 80 % ulkolämpötilasta riippumatta. Tällöin venttiilillä on säätövaraa äkillisissä muutostilanteissa. Verkostoa ei myöskään kannata säätää niin, että venttiilien avautuma olisi jatkuvasti pieni. Pienillä säätöprosentteilla venttiilien ja toimilaitteiden toiminta ei ole optimaalista. Ilmanvaihtoverkoston säättökäyrämuutosten jälkeen verkoston toimintaa on seurattava, jotta voidaan varmistua, että venttiilit toimivat optimaalisella säätöalueella eri lämpötiloissa.

#### 4.3 Ilmanvaihdon asetukset

Ilmanvaihtokoneen sisäänpuhalluslämpötilan vaikutus tilojen olosuhteisiin sekä energiankulutukseen on suuri. Tuloilman lämpötila on tärkeää huomioida yhdessä huonejäähdytyksen kanssa, jotta vältytään päällekkäiseltä jäähdytykseltä ja lämmitykseltä. Jos tuloilma on liian kuumaa, tämä usein kompensoidaan turhalla ja ylimääräisellä päätelaitteiden jäähdytyksellä. Liian viileä tuloilma taas voi tuntua vetona käyttäjille.

Jos tuloilman, jäähdytyksen sekä verkostojen asetukset ovat kohdallaan, eikä viallisia toimilaitteita ole, on jäähdytysenergian kulutus lämmityskaudella vähäistä. Esimerkiksi IV-kone, jossa on LTO-kiekko, kuluttaa 23 °C pienehkössä kahden hengen toimistohuoneessa sisäänpuhalluksella yli kaksi kertaa enemmän lämpöenergiaa, kuin 19 °C:n tuloilmalla. Tämän lisäksi vähenee turha jäähdytysenergian kulutus. Jos tuloilman määrä huoneeseen on 50 l/s, on lämmitysenergian kulutus 700 kW/a tuloilman ollessa 23 °C ja 300 kW/a tuloilman ollessa 19 °C. Erotuksen verran, 400 kW/a edestä, on voitu tiloja jäähdyttää turhaan, jolloin tuloilman lämpötilaa laskemalla voidaan säästää 400 kW/a lämmitysenergiaa ja 400 kW/a jäähdytysenergiaa pelkästään tässä pienessä

huoneessa. Vastaavaa laskentaa voidaan suorittaa Motivan tarjoamalla MotiWatti-ohjelmalla.

#### 4.4 Huonesäädinten asetukset

Huonesäädin on huonekohtainen säädin, jolla voidaan hallita kyseisen tilan olosuhteita. Huonesäätimiä useita erilaisia toimittajasta riippuen. Huonesäätimet säätävät huonetilan lämpötilaa, ja käyttäjät voivat usein poikkeuttaa lämpötilaa halutessaan (kuva 11). Osassa automaatiojärjestelmissä on huonesäädinten asetusarvojen keskitetty nollaus, jolloin käyttäjän muutokset poistetaan aikaohjelmaan merkittynä aikana kaikista huonesäätimistä ja perusasetusarvot palautetaan. Osaava käyttäjä hyötyy huonesäätimestä, mutta jos huonesäätimen toimintaa ei ymmärrä, voi seurauksena olla olosuhdeongelmia, jotka johtuvat vääristä huonesäätimeen laitetuista lämpötilan asetusarvon poikkeutuksista.



Kuva 11. Huonesäädin (Assemin Oy 2021).

Valvomosta voidaan muuttaa huonesäädinten asetuksia, joita käyttäjät eivät näe. Näitä voivat olla erilaiset hälytysrajat, joiden ylittyessä tai alittuessa säädin antaa hälytyksen valvomoon (kuva 12). Huonelämpötilojen asetusarvot vaihtelevat vuodenajan ja kiinteistön mukaan.

Huonesäädin - Asetusarvot		
Kuvaus	Id	Arvo
Huoneilman lämpötila	Huoneilma	21.3 °C
Huoneilman asetusrarvo	Huoneilma_As	24.0 °C
Ylärajahälytys huoneilma	Huoneilma_YläRaja	27.0 °C
Alarajahälytys huoneilma	Huoneilma_AlaRaja	15.5 °C
Olosuhdehälytys huoneilma	Huoneilma_OlosuhdeH	Normaali
Venttiili -1=Auto, 0=Kiinni, 1=Auki	Pakko-ohjaus	-1.0

Kuva 12. Esimerkkikuva huonesäätimen asetuksista (Assemin Oy 2021).

#### 4.4.1 Käyttäjien tuntemukset ja viihtyvyys

Käyttäjien tuntemukset ovat aina yksilöllisiä, ja vaikka olosuhteiden pitäisi järjestelmien perustella olla kunnossa, voi kiinteistöltä silti tulla ilmoitus olosuhdeongelmasta. Esimerkiksi vedon tunne työpisteellä voi johtua ilmvirran liikkeestä, jolloin on syytä tarkastaa tuloilman suunta. Voi myös olla mahdollista, että kylmän ikkunan edessä oleva lämmityspatteri ei jostain syystä lämmitä, jolloin ikkunan edestä puuttuu lämpövero, ja tämä tuntuu käyttäjälle vetona.

#### 4.4.2 Optimaalinen lämmityksen, jäädytyksen ja ilmanvaihdon toiminta

Optimaalisessa tilanteessa tuloilman lämpötila on hieman huoneilman lämpötilaa viileämpää. Koska viileämpi ilman on tiheämpää, raikas tuloilma laskeutuu huonetilan yläosassa olevista tuloilmaelimistä huonetilan alaosaan saakka. Jos huonetilan lämpötilan hallinta ei toimi, lämpötilaero voi olla liian suuri tai päinvastainen. Tuloilma ollessa liian viileää suhteessa huonetilan lämpötilaan se tuntuu vetona tilassa. Jos taas tuloilma on lämpimämpää kuin poistoilma, tilanne voi johtaa tuloilman ohivirtaukseen. Tuloilma- ja poistoilmaelimet sijaitsevat yleensä huonetilan yläosassa. Jos tuloilma on huonelämpötilaa lämpimämpää, se ei laskeudu käyttäjien tasolle, vaan jää huonetilan yläosaan, ja siirtyy poistoilmakanavaan. Tällöin huonetilan ilma voi alkaa tuntua tunkkaiselta, ja sen hiilidioksidipitoisuus voi nousta.

Myös patteriverkoston säätökäyrän asetteluun on syytä kiinnittää huomiota kokonaisuudessa. Jos säätökäyrä on liian korkea, termostaattinen patteriventtiili sulkee ajoittain virtaaman lämmityspattereissa, jolloin ikkunoiden kylmäkonvektio alkaa. Tällöin käyttäjä tuntee vetoa sekä vaihtelevaa lämpötilaa, välillä liian kuumaa ja välillä liian kylmää. Paras tilanne on silloin, kun käyrä on aseteltu siten, että lämmityspattereissa on jatkuva virtaama ja lämpötilataso on oikea.

#### 4.5 Jäähdytysjärjestelmien optimointi

Jäähdytysjärjestelmien optimointi on tarpeen, jos kiinteistöllä esiintyy olosuhdeongelmia, tai jos kiinteistön kulutukset ovat optimitalannetta korkeammat. Kuten kappaleessa 3.3 todettiin, tulisi jäähdytysenergian kulutuksen olla lämmityskaudella huomattavasti kesäaikaa vähäisempää. Jos kulutus on lämmityskaudella yli 15–20 % jäähdytyskauden huipparvoista, tulee kiinteistön jäähdytyksen toimintaan kiinnittää huomiota. Myös jos yli 5–10 % päätelaitteista jäähdyttää kiinteistöllä lämmityskaudella, on tilannetta syytä tarkastella.

Seuraavaksi kuvataan jäähdytysjärjestelmien optimointia. Huonetilan asetusarvoksi asetetaan lämmityskaudella noin 23 °C, jotta vältetään turhaa jäähdytystä. Varmistetaan, että huonelämpötilojen asetusarvojen poikkeutusten keskitetty nollaus toimii, jos sellainen toiminto on käytössä. Jos säätimessä on kuollut alue, tarkastetaan, että se on tarpeeksi suuri. Näin vältetään vuorottaista jäähdytystä ja lämmitystä. Tarkastetaan, ettei patteriverkoston säätökäyrä ole liian korkea, eikä tuloilman lämpötila liian kuuma. Vältetään tilojen yllilämmittämistä. Sopiva tuloilman lämpötilataso on 17–19 °C. Optimitalanteessa IV-koneiden lämmityspatterien venttiilit ovat 20–80 % auki ja jäähdytysventtiilit ovat kiinni, kun lämmityskausi on kännissä. Pyydetään huoltohenkilöä tutkimaan huoneet, joissa on poikkeavia lämpötiloja.

Jos mahdollista, asetetaan ulkolämpötilasta riippuva säätökäyrä (ulkolämpötila / menoveden lämpötila), esimerkiksi seuraavilla pisteillä:

+20 °C / 7 °C

+10 °C / 14 °C

Tavoitteena on pitää jäähdytysverkostojen menoveden lämpötila mahdollisimman korkeana siten, että kiinteistö saa tarvitsemansa jäähdytystehon. Mitoituslämpötilan ja suuren jäähdytystarpeen aikaisen menoveden tulisi olla sama. Talvella tämä voi olla esimerkiksi 17–19 °C riippuen suurimmasta jäähdytystarpeesta. Jos kohteessa on ilmastointipalkkeja ja jäähdytyspaneelleita (eli kattosäteilijöitä), mitoitetaan jäähdytysvesi lämpötiloille 15 °C / 17...18 °C. Puhallinkonvektorit voidaan mitoittaa kondensoiviksi, jolloin menoveden lämpötila on 7...10 °C tai ei-kondensoiviksi, jolloin menoveden lämpötila on 15 °C. Puhallinkonvektorien mitoituslämpötilaero on yleensä 3...5 °C. Jos kyseessä on ei-kondensoiva järjestelmä, siihen on ohjelmoitu ns. kastepistesäätö. Tämän avulla kosteuden noustessa myös menoveden lämpötila nousee, jottei kondensointia tapahdu.

Lämmityskaudella huomioidaan, onko kiinteistössä suuria jäähdytystehoja vaativia serveritiloja tai muita suurta, tasaista lämpökuormaa aiheuttavia tiloja. Näiden riittävä jäähdytys on varmistettava. Auringon lämpökuormat on huomioitava. Jos kiinteistön jäähdytysverkosto ei säädy eteläpuolen ulkolämpötilanaturin mukaan, on verkostolämpötiloja laskettava jo helmikuun puolivälissä.

Vapaajäähdytyksen "lauhdutuksen" asetusarvo ei saa olla liian alhainen, vaan lauhduttimien on pystyttävä saavuttamaan asetusarvo. Sopiva asetusarvo on 1–2 °C korkeampi lämpötila, kuin konejäähdytyksen ulkolämpötilaraja. Tarkoitus on, että säiliön lämpötila on matalampi kuin verkostojen alin menoveden lämpötila, noin 1–2 °C alhaisempi.

Myös pumppujen toiminta tulee huomioida. Latauspumpun on aina käytävä mitoitusvirtaamalla höyrystimen jäätyksen estämiseksi konejäähdytyksessä. Lauhdutuspumpun taajuusmuuttaja säädetään verkoston paine-eron tai paluuveden lämpötilan mukaan. Verkostopumpun taajuusmuuttaja säädetään verkoston paine-eron mukaan. Paine-ero voi olla ulkolämpötilariippuvainen. Jos käytössä on vapaajäähdytys, tulee IV-verkoston pääkiertopumpun olla seis. Vapaajäähdytyskäytössä lataus- ja lauhdutuspumput voidaan säätää noin 30–40 % virtaamalle mitoitusvirtaamista, mutta kuitenkin siten, että säiliön lämpötila pysyy asetuksessaan, eli vapaajäähdytystehon tulee riittää.

## 5 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä tarkasteltiin toimistokiinteistöjen jäähdytyksen optimoinnin teoriaa ja käytäntöä. Tämän opinnäytetyön yhteydessä tuotettiin opas Assemblin Oy:n etähallintaosaston käyttöön. Opas otetaan käyttöön osastolla jäähdytykseen liittyvien ongelmien tai jäähdytysenergiankulutuksen nousun selvittämiseen. Insinööriyö toi tekijälleen paljon uutta tietoa toimistokiinteistöjen jäähdytyksen toiminnasta. Työn teoria pohjautuu alan luotettavina pidettyihin lähteisiin, ja lähteinä on käytetty kirjoja, verkkolähteitä ja erilaisia alan ohje- ja määräyskokoelmia.

Insinööriyö on käyttökelpoinen tilaajayritykselle. Insinööriyön aikana yrityksen useat edustajat osallistuivat työn ohjaukseen vastaavan ohjaajan lisäksi. Näin työhön saatiin usean talo- ja energiatekniikan alan ammattilaisen näkökulmia.

Insinööriyöstä voidaan todeta lopputulemana, että avain tehokkaaseen jäähdytysenergian hallintaan ja hyviin olosuhteisiin on hyvin suunniteltu, toteutettu ja optimoitu jäähdytysjärjestelmä. Tähän on tärkeää myös yhdistää toimiva huolto-organisaation asenne, jossa olosuhdereklamaatioiden syyt selvitetään ja ongelmat ja viat hoidetaan kuntoon. Tärkeää on juurisyiden selvittäminen ja ongelmien alkuperäisen lähteiden poistaminen, eikä pelkästään oireiden hoito aikaohjelmia ja asetusarvoja muuttamalla.

Rakennusten jäähdytystarve on muuttunut vuosien varrella, kun lämpökuormaa aiheuttaviin tekijöihin on pystytty vaikuttamaan teknologian kehittyttyä. Aiemmin kiinteistöjen käyttöaste on ollut melko stabiili tekijä. Tämä on kuitenkin muuttunut radikaalisti viimeisen vuoden aikana koronaviruksen myötä, eikä tilanne ole toistaiseksi palautunut ennalleen. Suuri osa toimistotyöstä, jota on mahdollista tehdä etänä, toteutetaan nykyisin toimiston ulkopuolella. Tällöin myös ihmisten tiloille aiheuttama lämpökuorma on muuttunut. Tulevaisuudessa nähdään, kuinka toimistotilojen käyttö ja niiden jäähdytystarve muuttuvat. Lisääntyneen etätyön vaikutus toimistokiinteistöjen käyttöön on lisää tutkimusta vaativa aihe tulevaisuudessa.

## Lähteet

Airaksinen, Miimu; Laitinen, Ari & Rämä, Miika. 2016. Verkkoaineisto. Jäähdytyksen teknologiset ratkaisut. <[https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaselvitys\\_VTT\\_221216.pdf](https://energia.fi/files/1359/Jaahdytysteknologiaselvitys_VTT_221216.pdf)>. Päivitetty 16.12.2016. Luettu 19.4.2021.

Aittomäki Antero (toim.). 2012. Kylmäteknikka. 4.painos. Porvoo: Suomen kylmäyhdistys ry.

Auringonsäteilyn määrä Suomessa. 2021. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringonsateilyn\\_maara\\_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa)>. Luettu 16.4.2021.

Energiatodistuksen laadintaesimerkki: uusi toimistotalo. 2018. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <[https://www.motiva.fi/files/16471/Energiatodistuksen\\_laadintaesimerkki\\_-\\_Uusi\\_toimistotalo.pdf](https://www.motiva.fi/files/16471/Energiatodistuksen_laadintaesimerkki_-_Uusi_toimistotalo.pdf)>. Päivitetty 1.11.2018. Luettu 27.4.2021.

SmartClima-säteilylämmitin. 2021. Verkkoaineisto. Caverion. <<https://www.caverion.fi/katalogi/palvelut/smartclima/>>. Luettu 19.4.2021.

Jäähdytys. 2021. Verkkoaineisto. Kotkan Energia. <<https://www.kotkanenergia.fi/yrityksille-ja-taloyhtioidelle/jaahdytys/>>. Luettu 1.4.2021.

Kiinteistöjen kaukojäähdytys. 2010. LVI 34-10462. Rakennustieto Oy.

Kiinteistön jäähdytysjärjestelmän energiakatselmuksen ohje. 2015. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/files/10893/Kiinteiston\\_jaahdytysjarjestelman\\_energiakatselmuksen\\_toteutusohje.pdf](https://www.motiva.fi/files/10893/Kiinteiston_jaahdytysjarjestelman_energiakatselmuksen_toteutusohje.pdf)>. Päivitetty joulukuussa 2015. Luettu 1.4.2021.

Orzechowski, Mateusz; Orzechowski, Tadeusz; Osowska M. & Równicka K. 2019. Verkkodokumentti. Domestic hot water supply with air-source CO2 heat pump. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <[https://www.researchgate.net/publication/330572993\\_Domestic\\_hot\\_water\\_supply\\_with\\_air-source\\_CO\\_2\\_heat\\_pump](https://www.researchgate.net/publication/330572993_Domestic_hot_water_supply_with_air-source_CO_2_heat_pump)>. Päivitetty 24.1.2019. Luettu 19.4.2021.

Pacific. 2021. Verkkodokumentti. Oy Swegon Ab. <<https://www.swegon.com/fi/tuotteet/huonelaitteet/vesikiertoiset-huonetuotteet/ilmastointipalkit-jaahdytyspalkit/pacific/>>. Luettu 19.4.2021.

Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Helsinki: ympäristöministeriö.

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

Rakennusten lämmitys. 2006. LVI 10-10397. Rakennustieto Oy.

3M Traditional Solar -kalvo. 2021. Verkkodokumentti. Suomen kiinteistökalvotus. <<https://www.kiinteistokalvotus.fi/3m-auringonsuojakalvot.html>>. Luettu 18.4.2021

Seppänen, Olli. 1988. Ilmastointiteknikka ja sisäilmasto. Suomen lvi-yhdistysten liitto. Rauma: LVI-Kustannus Oy.

Talotekniikka AMK, päiväopiskelu. 2021. Verkkodokumentti. Metropolia Ammattikorkeakoulu. <<https://www.metropolia.fi/fi/opiskelu-metropoliassa/amk-tutkinnot/talotekniikka>>. Luettu 24.4.2021.

Toimistotilat, tekninen suunnittelu. 2000. RT 95-10719. Rakennustieto Oy.

Vapaajäähdytys – Suunnittelijan käsikirja. 2021. Verkkodokumentti. Onninen. <<https://docplayer.fi/835304-Vapaajaahdytys-suunnittelijan-kasikirja.html>>. Luettu 2.4.2021.

Assemblin Oy omistaa oikeudet kuviin, joihin yritys on merkitty lähteeksi.

# Assemblin



2021-04-19

Assemblin Oy - Etähallinta

## Opas toimistokiinteistöjen jäähdytyksen optimointiin

Tämä opas on tarkoitettu Assemblinin etähallintayksikön käyttöön. Oppaan on tarkoitus auttaa selvittämään toimistokiinteistöjen jäähdytyksen ja jäähdytysenergian kulutuksen syitä.

### On tullut olosuhdeilmoitus, joka liittyy jäähdytykseen

Jäähdytykseen liittyvän olosuhdereklamoinnin tullessa pyritään selvittämään ilmoituksen juurisyy. Selvitä ensimmäiseksi seuraavat asiat:

- Minkälaiset olosuhteet tarkalleen ovat? Tuntuuko tiloissa vetoa, tunkkaisuutta, kosteutta kuumuutta, kylmyyttä tai muuta huomiota herättävää?
- Missä tiloissa olosuhdeongelmaa esiintyy?
- Onko huoltohenkilöstö käynyt kohteessa tutkimassa asiaa, ja jos kyllä, mitä havaintoja kohteessa on tehty?
- Liikkuuko ilma tuloilmakanavista tilaan?
- Toimivatko paikalliset jäähdytyksen ja lämmityksen päätelaitteet?
- Mikä on tilan/tilojen lämpötila?
- Toimiiko alueen IV-kone normaalisti, eikä palopeltejä ole lauennut?
- Kiinteistön jäähdytystavasta riippuen, tarkasta jäähdytysjärjestelmän toiminta automaatiojärjestelmän valvomosta:
  - Onko verkostojen menoveden lämpötila asetuksessaan?
  - Käyvätkö pumput normaalisti?
  - Toimivatko venttiilit oikein?
  - Ovatko huonesäädinten asetukset oikealla tasollaan?

- Toimivatko huonesäädinten asetusten poikkeutusten nollaukset?

Jos ongelman syy edelleen tuntematon, selvitetään seuraavat asiat:

- Tarkastele jäähdytysjärjestelmän ja mahdollisten huonetilojen trendejä, jotta näet miten olosuhteet ovat muuttuneet ja miten venttiilit ovat reagoineet huonelämpötiloihin.
- Mikä on tuloilman lämpötilan suhde huoneen ja poistoilman lämpötilaan? Voiko huonetilan yläosassa tapahtua tuloilman ohivirtausta?
- Mikä on kiinteistön sisäinen lämpökuorma? Kuinka auringon lämpökuormaa on pyritty hallitsemaan?
- Onko tiloissa päällekkäistä jäähdytystä ja lämmitystä?
- Jos ongelma on alueellinen ja jäähdytysverkostossa on vielä reserviä, onko jäähdytysverkon virtaamia tarkastettu?
- Tarkastele energiankulutusta. Onko kulutuksessa tapahtunut muutoksia?
- Onko jäähdytysverkon säätökäyrä sopiva?
- Onko huonesäätimen/huonesäätimien toiminnassa huomioitavaa?
- Onko lämmityspattereiden ja jäähdytyksen päätelaitteiden venttiileiden toiminta tarkastettu?
- Onko jäähdytysverkon kondenssikorotus voimassa (tyypillisesti loppukesän kuumilla ja kosteilla keleillä)?

Yhteistyö paikalla olevan huoltohenkilön kanssa on tärkeää, sillä hän on etäoperaattorin linkki ongelmatilanteen selvittämiseen paikan päällä.

### Jäähdytysenergian kulutus ei ole optimaalisella tasolla

Jäähdytyksen kulutuksen ollessa lämmityskaudella yli 15–20 % jäähdytyskauden huipparvoista tulee kiinteistön jäähdytyksen toimintaan kiinnittää huomiota. Jos jäähdytysenergian kulutuksessa huomataan poikkeavuutta tai jäähdytysenergiankulutuksen tulisi olla kiinteistön lämpökuorman perusteella pienempää, selvitetään seuraavat asiat:

- Onko jäähdytysverkon menoveden lämpötilan säätökäyrä optimaalinen?
- Onko jäähdytysverkostossa läpipäästäviä venttiilejä?
- Jos kyseessä on lämmityskausi, jäähdyttääkö yli 5–10 % tiloissa olevista päätelaitteista?
- Tarkastele valvomosta trendejä, jotta saat kuvan jäähdytysenergian kulutuksesta. Onko kulutuksen ajankohdassa tai suuruusluokassa jotain poikkeavaa?
- Ovatko ilmanvaihtokoneiden tuloilman säätökäyrät kohdallaan, eli onko tuloilma hieman alilämpöistä huonelämpötilaan nähden?
- Onko patteriverkon säätökäyrät kohdallaan?
- Oletko huomannut kiinteistössä tarvetta muutostöimenpiteille? Esimerkiksi ikkunalasien kalvotus aurinkoenergian lämpökuorman vähentämiseksi, automaation ohjelmointimuutoksien teko jäähdytyksen toiminnan tehostamiseksi tai

huonesäädinten asetusarvon poikkeutuksen keskitetyn nollauksen lisääminen järjestelmään.

## Jäähdytysjärjestelmien optimointi

- Vedenjäähdytyskone eli VJK
  - Koneella on paras COP, kun höyrystymislämpötila ja lauhtumislämpötila ovat lähellä toisiaan.
  - Selvitä sopiva lauhtumislämpötilataso teknisestä materiaalista. Usein 28 °C on sopiva taso, johon on hyvä pyrkiä.
  - Jos menolämpötilalle on mahdollista, aseta ulkolämpötilasta riippuva säätökäyrä (ulkolämpötila/menoveden lämpötila), esimerkiksi:

+20 °C / 7 °C

+10 °C / 14 °C

- Vapaajäähdytys
  - "Lauhdutuksen" asetusarvo ei saa olla liian alhainen, vaan lauhduttimien on pystyttävä saavuttamaan asetusarvo. Sopiva asetusarvo on 1–2 °C korkeampi lämpötila, kuin konejäähdytyksen ulkolämpötilaraja. Tarkoitus on, että säiliön lämpötila on matalampi kuin verkostojen alin menoveden lämpötila.
- Verkostojen lämpötilat
  - Tavoitteena on pitää verkostojen menoveden lämpötila mahdollisimman korkeana siten, että kiinteistö saa tarvitsemansa jäähdytystehon.
  - Selvitä IV-koneiden ja huonejäähdytyslaitteiden mitoituslämpötilat ennen verkoston säätöä.
  - Verkoston säädössä käytetään ulkolämpötilariippuvaista säätökäyrää, ja verkostoa säädetään mieluiten etelänpuoleisen lämpötilamittauksen mukaan.
  - Mitoituslämpötilan ja suuren jäähdytystarpeen aikaisen menoveden tulisi olla sama. Talvella tämä voi olla esimerkiksi 17–19 °C riippuen suurimmasta jäähdytystarpeesta.
  - Jos kohteessa on ilmastointipalkkeja ja jäähdytyspaneeleita (eli katto-säteilijöitä), mitoitetään jäähdytysvesi lämpötiloille 15 °C / 17...18 °C.
  - Puhallinkonvektorit voidaan mitoittaa kondensoiviksi, jolloin menoveden lämpötila 7...10 °C tai ei-kondensoiviksi, jolloin menoveden lämpötila 15 °C. Puhallinkonvektorien mitoituslämpötilaero on yleensä 3...5 °C. Jos kyseessä on ei-kondensoiva järjestelmä, siihen on ohjelmoitu ns. kastepistesäätö. Tämän avulla kosteuden noustessa myös menoveden lämpötila nousee, jottei kondensointia tapahdu.
  - Lisätietona: IV-koneiden jäähdytyspattereissa on usein käytetty jäähdytysveden mitoitusarvoina lämpötiloja 7 °C / 12 °C. Jos jäähdytyspatterissa on suurempi lämpötilaero (esim. 10 °C / 16 °C), tämä tarkoittaa sitä, että patteri ovat syvempi, mutta sen virtaama, putkisto ja

pumppauskustannukset ovat pienempiä. Helsingin kaukojäähdytyskohteissa ilmastointikoneiden jäähdytyspatterien mitoituslämpötilat ovat yleensä 10 °C /16...18 °C.

- Huonetilat lämmityskaudella
  - Huonetilan asetusarvo on noin 23 °C, jotta vältetään turhaa jäähdytystä.
  - Huonelämpötilojen asetusarvojen poikkeutusten keskitetty nollaus on tärkeä ominaisuus olosuhteiden ja kulutuksen hallinnan kannalta.
  - Tarkasta, ettei patteriverkoston säätökäyrä ole liian korkea, eikä tuloilman lämpötila liian kuuma. Vältetään tilojen ylikuumenemista. Sopiva tuloilman lämpötilataso on 17–19 °C
  - Jos säätimessä on kuollut alue, tarkasta, että se on tarpeeksi suuri. Vältetään vuorottaista jäähdytystä ja lämmitystä.
  - Optimitilanteessa lämmityspatterien venttiilit ovat 20–80 % auki ja jäähdytysventtiilit ovat kiinni.
  - Pyydä huoltohenkilöä tutkimaan huoneet, joissa on poikkeavia lämpötiloja.
- Verkostot lämmityskaudella
  - Pyritään, että verkostojen menovesien lämpötilat ovat mahdollisimman korkeat, mutta niin, ettei seurauksena ole ylikuumia tiloja.
  - Varmista, onko kiinteistössä suuria jäähdytystehoja vaativia serveritiloja. Näiden riittävä jäähdytys on varmistettava. Helpointa on, jos serveritiloilla on oma märkäverkko.
  - Auringon lämpökuormat on huomioitava. Jos kiinteistön jäähdytysverkosto ei säädy eteläpuolen ulkolämpötilan mukaan, on verkostolämpötiloja laskettava jo helmikuun puolivälissä.
- Muut huomiot lämmityskaudella
  - Jos käytössä on vapaajäähdytys, pyri tilanteeseen, jossa asetusarvo on konejäähdytyksen ulkolämpötilarajaa korkeampi 1–2 °C, mutta alinta verkoston menovettä alhaisempi 1–2 °C. Pyri myös nostamaan konejäähdytyksen asetusarvo mahdollisimman korkeaksi.
  - Varmista, että IV-jäähdytyksen pumput ovat seis vapaajäähdytyksen ollessa käytössä. Jos verkoston pumput käyvät, selvitä syy. Jos syynä ovat serveritilojen jäähdytys, ehdota tähän vaihtoehtoisia ratkaisuja. Vapaa jäähdytyksen ollessa käytössä varmista, että pumput käyvät minimitehoilla lataus-, lauhdutus- ja huonejäähdytysverkostoissa.
- Pumput
  - Latauspumpun on aina käytävä mitoitusvirtaamalla höyrystimen jäätyksen estämiseksi konejäähdytyksessä.
  - Lauhdutuspumpun taajuusmuuttaja säädetään verkoston paine-eron tai paluuveden lämpötilan mukaan.
  - Verkstopumpun taajuusmuuttaja säädetään verkoston paine-eron mukaan. Paine-ero voi olla ulkolämpötilariippuvainen. Jos käytössä on vapaa jäähdytys, tulee IV-verkoston pääkiertopumpun olla seis.

- Vapaajäähdytyskäytössä lataus- ja lauhdutuspumput voidaan säätää noin 30–40 % virtaamalle mitoitusvirtaamista, mutta kuitenkin siten, että säiliön lämpötila pysyy asetuksessaan, eli vapaajäähdytystehon tulee riittää.