



# Kiinteistön lämmityksen huipputehon rajoittaminen

Tatu Latostenmaa

OPINNÄYTETYÖ  
Huhtikuu 2021

Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
LVI-talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan tutkinto-ohjelma  
LVI-talotekniikka

LATOSTENMAA, TATU:  
Kiinteistön lämmityksen huipputehon rajoittaminen

Opinnäytetyö 46 sivua, joista liitteitä 7 sivua  
Huhtikuu 2021

---

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin erilaisia tapoja rajoittaa kiinteistön lämmityksen huipputehoa. Tarkasteltavat kiinteistöt olivat liikerakennus ja opetusrakennus, jotka ovat yleensä isoja kiinteistöjä ja näin ollen tarvitsevat paljon lämmitystehoa mitoitusilanteessa. Tavoitteena oli kehittää lämmityksen huipputehon rajoittamiseksi tapoja, joita voidaan käyttää olemassa oleviin kiinteistöihin sekä uudisrakennuksiin. Työn toimeksiantajana toimi Konsulttitoimisto Enersys Oy.

Tutkimus toteutettiin simuloimalla kahden kiinteistön koko vuoden energiankulutusta käyttämällä EQUA Simulation AB:n kehittämää IDA Indoor Climate and Energy -simulointiohjelmistoa. Ohjelmistosta kerättiin lämmitysjärjestelmien koko vuoden tuntiset tehontarpeet ja näitä tietoja analysoitiin Excel-ohjelmistolla.

Tutkimuksesta saatujen tulosten perusteella havaittiin, ettei samalla säätötavan muutoksella saada samanlaisia tuloksia käytettäessä eri lämmönjakotapoja. Tulosten pohjalta on järkevämpää ohjata energiankäyttöä yöajalle, kun käytetään säteilylämmitystä. Käytettäessä lattialämmitystä havaittiin, ettei lämmityksen huipputehoa voida rajoittaa tutkituilla tavoilla.

Tutkimuksessa käytettyjen tapojen hyödyntäminen useammassa kiinteistössä vaikuttaisi positiivisesti lämmityksen kulutusjousto. Energiankäytön jakaminen koko päivän ajalle mahdollistaa tasaisemman kuormituksen lämmöntuottojärjestelmässä, jolloin pätkäkäyntiä tapahtuisi mahdollisimman vähän. Tutkimusta voisi laajentaa asuinrakennuksiin saatujen tulosten pohjalta, koska Suomen rakennuskanta koostuu pääosin asuinrakennuksista.

---

Asiasanat: lämmityksen huipputeho, säätö, energiankäyttö

## **ABSTRACT**

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

LATOSTENMAA, TATU:  
Restricting The Heating Peak Power in Properties

Bachelor's thesis 46 pages, appendices 7 pages  
April 2021

---

The purpose of this thesis was to examine different methods to restrict the heating peak power in properties and how it would benefit the existing properties. The examined building types were a commercial building and a school building. These are usually large properties and therefore need a lot of heating power at a rated temperature. A consulting firm, Energys Oy, acted as the contractor for the work.

The study was carried out by simulating the annual consumption of energy in the two properties using the IDA Indoor Climate and Energy -simulation software developed by EQUA Simulation AB. The software collected the hourly power needs of heating systems annually and this data was analyzed by using Excel -software.

These results suggest that using the same method of control does not produce similar results when using different heat distribution systems. When using direct heating and directing its energy consumption to night time, it restricts heating power peak more than just lowering the heating control characteristic. When using underfloor heating, the heating peak power cannot be restricted by examined methods.

The next step to study would be to examine how these methods could work in a residential building and how they would affect the heating demand response in a city.

---

Key words: heating peak power, control, energy consumption

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	5
2	LÄMMÖNTUOTTO VESIKIERTOISEEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄÄN 6	
2.1	Kaukolämpö .....	6
2.1.1	Sopimusteho ja -vesivirta .....	7
2.1.2	Laskutusteho ja -vesivirta .....	8
2.2	Maalämpö ja maalämpöpumppujärjestelmä.....	9
2.2.1	Osa- ja täystehomitoitus .....	10
2.2.2	Energiakenttä .....	11
3	LÄMMÖNJAKO JA OHJAUS KIIINTEISTÖSSÄ .....	13
3.1	Lämmönjako vesikiertoisilla lämmitysjärjestelmillä.....	13
3.1.1	Lattialämmitys.....	13
3.1.2	Patterit ja säteilijät .....	14
3.2	Vesikiertoisen lämmityksen ohjaus .....	15
4	TUTKIMUSKOHTEET .....	17
4.1	Motonet.....	17
4.2	Hyvinvointikampuksen päiväkotit .....	18
5	SIMULOINTI .....	19
5.1	Dynaaminen simulointiohjelmisto .....	19
5.2	Simuloinnin tavoitteet .....	20
5.3	Simuloinnin suorittaminen .....	20
6	TUTKIMUSTULOKSET .....	26
6.1	Liikerakennus Motonet .....	26
6.1.1	Kaukolämpö .....	26
6.1.2	Maalämpö.....	29
6.2	Opetusrakennus päiväkotit.....	31
6.2.1	Kaukolämpö .....	31
6.2.2	Maalämpö.....	33
6.3	Yhteenveto .....	34
7	POHDINTA .....	36
	LÄHTEET .....	38
	LIITTEET .....	40
	Liite 1. Liikerakennus ostoenergiankulutusraportit .....	40
	Liite 2. Opetusrakennuksen ostoenergiankulutuksenraportit .....	44

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tarkoituksena on tarkastella ja kehittää tapoja rajoittaa kiinteistön lämmityksen huipputehoa. Näillä rajoituksilla voidaan pienentää nykyisten kiinteistöjen käytön aikaisia lämmityskustannuksia ja uusien kiinteistöjen lämmityksen investointikustannuksia. Aihe on saanut ideansa kiinteistölle lasketusta huipputehontarpeesta, jota ei käytetä lämmityskauden aikana kuin muutaman tunnin ajan. Tarve työlle tulee toimeksiantajalta Konsulttitoimisto Enersys Oy:ltä, joka haluaa selvittää millä tavoilla huipputehoa voidaan rajoittaa ja miten sitä voidaan soveltaa kiinteistöissä, joissa käytetään maalämpöä. Työn kohteina ovat kiinteistöt, joissa on vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä.

Lämmityksen huipputeholla tarkoitetaan korkeinta yhtäaikaista tehontarvetta, joka koostuu kiinteistön lämmitysjärjestelmien summasta. Huipputehoa rajoittamalla voidaan esimerkiksi pienentää kaukolämmön tilaustehoa ja tilausvirtaa, mikä johtaa halvempaan lämmitysjärjestelmän investointiin sekä käyttökustannuksiin. Sillä voidaan myös vähentää lisälämmityksen tarvetta maalämpökohteissa, joissa maalämpöpumppujärjestelmä on mitoitettu osatehoiseksi eli lämpöpumpulla ei voida yksinään tuottaa lämmityksen huipputehoa.

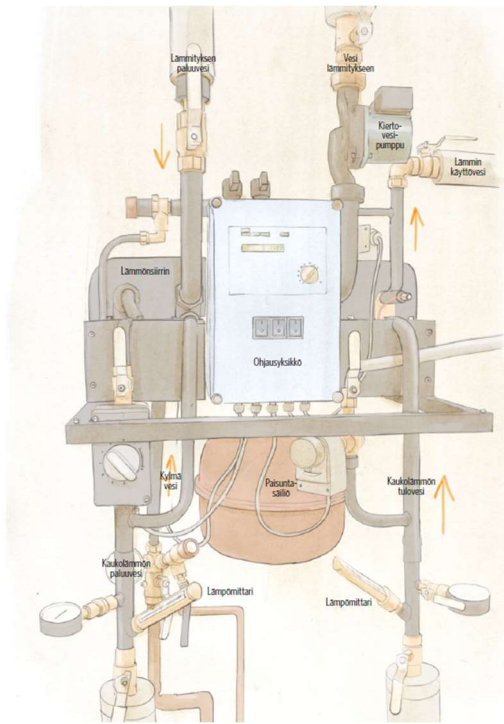
Tutkimus suoritetaan simuloimalla liikerakennuksen ja opetusrakennuksen energiankäyttöä. Simuloimiseen käytetään IDA ICE simulointiohjelmistoa ja tuloksia käsitellään Excel-ohjelmalla. Työssä keskitytään ohjaamaan kiinteistön energiankäyttöä ja -kulutusta, jotta lämmityksen huipputehoa voidaan rajoittaa. Näitä tapoja pitäisi pystyä käyttämään pääsääntöisesti olemassa oleviin kohteisiin ja silloin niitä pystytään hyödyntämään myös uudiskohteissa. Tutkittavia tapoja ovat lämmitysverkostojen säätökäyrän säätö, lämmitysverkostojen samanaikaisen käytön rajoitus ja energiankulutuksen aikaohjaus.

## 2 LÄMMÖNTUOTTO VESIKIERTOISEEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄÄN

### 2.1 Kaukolämpö

Suomen yleisin lämmitysmuoto on kaukolämpö ja sillä tuotetaan noin puolet Suomen lämmitysenergiasta. Kaukolämpöä tuotetaan erillisissä lämpölaitoksissa ja yhteistuotantolaitoksissa, joista yhteistuotanto on energiatehokkaampi tapa tuottaa energiaa, koska sähköntuotannon yhteydessä turbiineista syntyvä hukkalämpö otetaan talteen. (Motiva Oy 2019, Kaukolämpö.) Lämpöä siirretään kuuman veden avulla kaukolämpöverkossa tuotantolaitoksesta kiinteistön lämmönjakokeskukseen. Tämä verkko kulkee maan alla, joka sijoittuu yleisesti katujen ja kevyen liikenteen väylille. (Kaukolämpö.fi.)

Kiinteistössä sijaitsevaan lämmönjakokeskukseen lämmöntuotantolaitokselta tulevan veden lämpötila vaihtelee 65 – 115 °C välillä ja lämmöntuotantolaitokselle palaavan veden lämpötila vaihtelee 25 – 50 °C välillä riippuen ulkolämpötilasta ja lämpökuormasta. (Motiva Oy 2012, Lämpöä kotiin keskitetysti – Kaukolämpö.) Lämmönjakokeskus koostuu muutamasta eri laitteesta. Näitä laitteita ovat lämmönsiirtimet, paisunta- ja varolaitteet, ohjausyksikkö, lämmönjakojärjestelmien kiertovesipumput, säätöventtiilit sekä erilaiset mittarit ja anturit. (Energiateollisuus ry 2020, K1.) Kaukolämmön kiinteistössä sijaitseva lämmönjakokeskus esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Kaukolämmön lämmönjakokeskus (Motiva Oy 2012, Lämpöä kotiin keskitetysti – Kaukolämpö).

Liittyessä kaukolämpöverkkoon maksetaan kiinteistöön tehtävästä kaukolämpöliittymästä liittymämaksu. Kaukolämmön tuotanto- ja kaukolämpöverkkoinvestointien pääomakustannuksia katetaan liittymämaksulla. Maksu määräytyy kiinteistön tehontarpeeseen perustuvan sopimustehon tai sopimusvesivirran perusteella. Sopimustehona tai -vesivirtana käytetään kiinteistölle laskettua tuntista tehontarvetta mitoituslämpötilassa. (Rakennustieto Oy, LVI 10-10558.) Käytön aikana kaukolämpömaksu koostuu käytetyn energian energiamaksusta ja tehomaksusta, joka määräytyy tarvittavasta tehosta tai vesivirrasta (Rakennustieto Oy, LVI 10-10558).

### 2.1.1 Sopimusteho ja -vesivirta

Sopimusteho määräytyy yleisesti tuntisen tehontarpeen perusteella, joka on laskettu kyseisen paikkakunnan mitoitusulkolämpötilassa. Laskelmat lämmityksen, ilmanvaihdon ja lämpimän käyttöveden tehontarpeesta suorittaa LVI-suunnittelija ympäristöministeriön antamien määräysten ja ohjeiden perusteella. Tuntista tehontarvetta laskiessa voidaan käyttöveden osalta käyttää tuntista keskiarvoa,

vaikka lämmönsiirrin mitoitetaan hetkellisen huipputarpeen mukaan. Sopimustehon määrittämiseen kaukolämpöyrittäjä saa tarvitsemansa tiedot kiinteistön kaukolämpösuunnitelmista. Nämä tiedot tarkistetaan karkealla tasolla, jotta saadaan varmistettua, että mittauksin varmistettava laskutusteho vastaa sopimustehoa mahdollisimman hyvin. (Rakennustieto Oy, LVI 10-10558.)

Sopimusvesivirta määräytyy laskemalla sopimustehoon vaikuttavien lämmitysmuotojen tuntista tehontarvetta vastaavat vesivirrat yhteen. Laskettaessa vesivirtaa kullekin lämmitysmuodon lämmönsiirtimelle on käytettävä toimintalämpötiloja, jotka vastaavat ulkolämpötilaa, jossa on suurin tehontarve. Nämä lämpötilat ilmoittaa LVI-suunnittelija. (Rakennustieto Oy, LVI 10-10558.)

### 2.1.2 Laskutusteho ja -vesivirta

Laskutusteho ja -vesivirta voidaan määritellä kaukolämpöliittymälle kahdella eri tavalla. Joko käytetään liittymisvaiheen aikana laskettua sopimusteho tai -vesivirtaa tai käytetään todellista mitattua arvoa, jota seurataan säännöllisesti ja laskutusteho tai -vesivirtaa muutetaan automaattisesti. (Rakennustieto Oy, LVI 10-10558.)

Tehdään esimerkkilasku, jossa nähdään millä tavalla lämmityksen huipputehon rajoittaminen vaikuttaisi kaukolämmön vuotuisen perusmaksuun. Ensimmäisenä vuonna rakennuksen laskutustehona käytetään liittymisvaiheessa laskettua sopimustehoa ja toisena vuonna käytetään todellista mitattua arvoa. Sopimustehoksi rakennukselle on laskettu lämmitystehoa 240 kW ja todellinen mitattu lämmitysteho on 192 kW, joka on 80 % sopimustehosta. Laskuesimerkeissä käytetään arvonlisäverollisia hintoja Vantaan Energian myyntihinnastosta vuodelle 2021, joka on esitetty kuvassa 2. Kaukolämmön perusmaksu lasketaan kaavalla

$$\text{Perusmaksu} = \text{Vakio-osa} + \text{Laskutusteho} \cdot \text{Muuttuva osa.} \quad (1)$$

Kaukolämmön perusmaksuksi saadaan käytettäessä sopimustehoa laskutustehona kaavalla (1)



$$1\,719,41 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 240 \text{ kW} \cdot 43,37 \frac{\text{€}}{\text{kW}} = 12\,128,21 \text{ €/a.}$$

Kaukolämmön perusmaksuksi saadaan käytettäessä todellista arvoa laskutustehona kaavalla (1)

$$1\,719,41 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 192 \text{ kW} \cdot 43,37 \frac{\text{€}}{\text{kW}} = 10\,046,45 \text{ €/a.}$$

Vuotuinen säästö on näiden kahden perusmaksun erotus, kun käytetään laskutustehona todellista mitattua arvoa

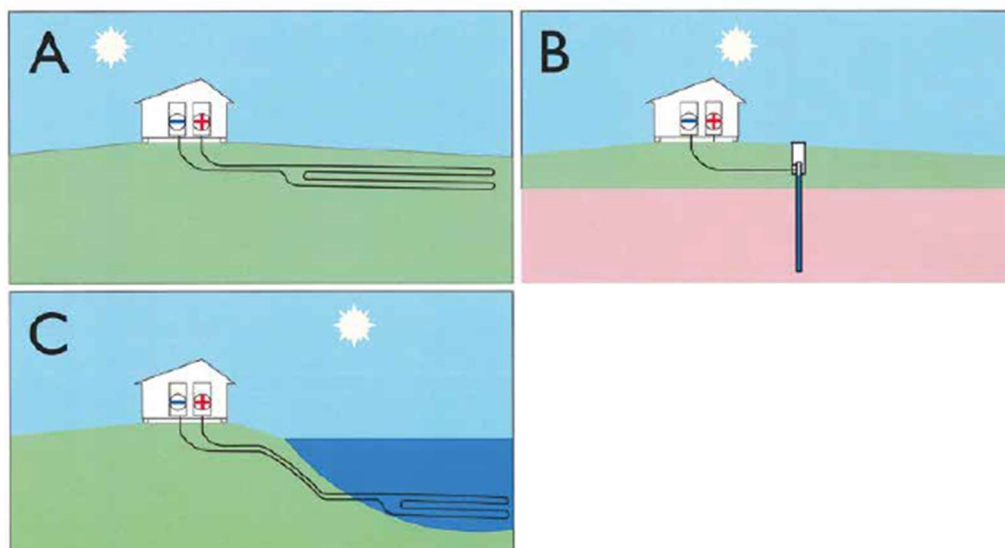
$$12\,128,21 \frac{\text{€}}{\text{a}} - 10\,046,45 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 2\,081,76 \text{ €/a.}$$

Laskutusteho	Arvonlisäveroton hinta		Arvonlisäverollinen hinta	
	Vakio-osa	Muuttuva osa	Vakio-osa	Muuttuva osa
kW	€/vuosi	€/kW, vuosi	€/vuosi	€/kW, vuosi
0...9	497,87	0,00	617,36	0,00
10...29	0,00	49,78	0,00	61,73
30...99	40,47	48,44	50,18	60,06
100...249	1386,62	34,98	1719,41	43,37
250...699	5357,00	19,09	6642,68	23,68
700...	10818,33	11,30	13414,73	14,01

KUVA 2. Kaukolämmön myyntihinnasto vuodelle 2021 (Vantaan Energia, Myyntihinnasto 2021).

## 2.2 Maalämpö ja maalämpöpumppujärjestelmä

Maalämpö on osaksi maa- ja kallioperän pintaosiin varastoitunutta lämpöenergiaa ja osaksi syvemmillä kallioperässä se on geotermistä energiaa, joka on peräisin radioaktiivisten aineiden hajoamisesta. Samaa lämpöenergiaa mikä varastoituu maaperään, varastoituu myös vesistöihin. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 7.) Tätä energiaa kerätään maalämpöpumppujärjestelmän avulla ja sillä tuotetaan kiinteistön tarvitsemaa lämpöenergiaa. Kuvassa 3 on esitetty maalämpöpumppujärjestelmän käyttämät energialähteet.



KUVA 3. Maalämpöpumppujärjestelmän energialähteitä (Juvonen & Lapinlampi, 2013, 9). A on maapiiri, B on energiakaivo ja C on vesistöpiiri.

Maalämpöpumppujärjestelmä koostuu keruupiiristä, lämpöpumpusta tai lämpöpumpuista, siirtoputkistosta, vesivaraajista, kiertovesipumpuista, paisunta- ja varolaitteista. Seuraavaksi lyhyt kuvaus järjestelmän toiminnasta. Keruupiirissä kiertävään lämmönkeruunesteeseen sitoutunut energia siirretään lämpöpumpulle kiertovesipumpun avulla. Lämpöpumpun sisäisen kylmäainepiirin ja kompressorin avulla energia siirretään kiinteistön lämmitysjärjestelmään. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 10.)

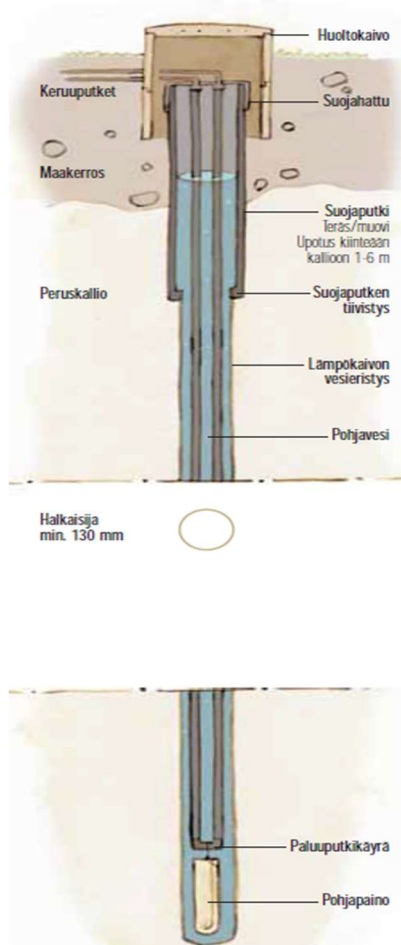
### 2.2.1 Osa- ja täystehomitoitus.

Maalämpöpumppujärjestelmän lämpöpumpun teho mitoitetaan joko osa- tai täysteholle. Osatehomitoituksessa lämpöpumpun teho mitoitetaan normaalisti noin 50 – 80 % teholla kiinteistön lämmityksen huipputehon tarpeesta. Tällöin lämpöpumppu pystyy tuottamaan noin 80 – 99 % koko vuoden lämmitysenergiantarpeesta. Lämmityksen huipputehon tarpeen aikana lisälämpö tuotetaan vesivaraajaan asennettavilla sähkövastuksilla tai erikseen asennettavalla sähkökattilalla. (Rakennustieto Oy 2001, RT 50-10755.)

Täystehomitoituksessa lämpöpumpun teho mitoitetaan kattamaan lämmityksen huipputehon tarve. Tällöin lämpöpumpulla tuotetaan kokonaan kiinteistön lämmitysenergiatarve. Täystehomitoituksessa lämmitysjärjestelmä on hyvä varustaa isommalla vesivaraajalla kuin osatehomitoituksessa jotta vältetään lämpöpumpun liian lyhyiltä käyntijaksoilta. (Rakennustieto Oy 2001, RT 50-10755.)

## 2.2.2 Energiakenttä

Energiakaivolla tarkoitetaan syvälle kallioon porattu porareikää, johon lasketaan U-mallinen keruuputkisto. Kaivon rakenne on esitetty kuvassa 4. Energiakaivon syvyys vaihtelee 120 – 300 metrin välillä riippuen kiinteistön energiatarpeesta. Usean energiakaivon muodostamaa aluetta kutsutaan kaivokentäksi tai energiakentäksi. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 8.)



KUVA 4. Energiakaivon rakenne (Motiva Oy 2012, Lämpöä omasta maasta).

Energiakentän mitoitus tehdään kiinteistön energian ja tehontarpeen, lämpöpumpun hyötysuhteen ja maaperän ominaisuuksien perusteella. Näin ollen energiakentästä tulee joko energia- tai tehomitoitteinen. Hyvinä kokemuseräisinä mitoitusperusteina energiakaivosta saatavalle energialle on 85 – 95 kWh/m, ja teholle 30 – 35 W/m. (Korhonen & Simppala 2020.)

### 3 LÄMMÖNJAKO JA OHJAUS KIINTEISTÖSSÄ

#### 3.1 Lämmönjako vesikiertoisilla lämmitysjärjestelmillä

Käytettäessä vesikiertoisia lämmitysjärjestelmiä lämpöä voidaan jakaa lattialämmityksen, patteriverkoston, säteilijöiden ja ilmalämmityksen avulla. Näiden järjestelmien lämmöntuotantotapana voidaan käyttää kaikkia yleisiä lämmöntuotantotapoja. Tässä työssä keskitytään käyttämään kaikkia edellä mainittuja järjestelmiä paitsi ilmalämmitystä.

Taulukossa 1 on esitetty näiden järjestelmien yleisiä mitoituslämpötiloja uudisrakennuksessa. LVI-suunnittelijan on mitoitettava järjestelmät siten, että menovedenlämpötila on korkeintaan 60 °C ja paluuedenlämpötila on korkeintaan 30 °C (Energiateollisuus ry 2020, K1). Näistä järjestelmistä soveltuvin maalämmölle on lattialämmitys, koska sinne tuotetaan matalalämpöistä menovettä.

TAULUKKO 1. Lämmitysjärjestelmien yleisiä mitoituslämpötiloja.

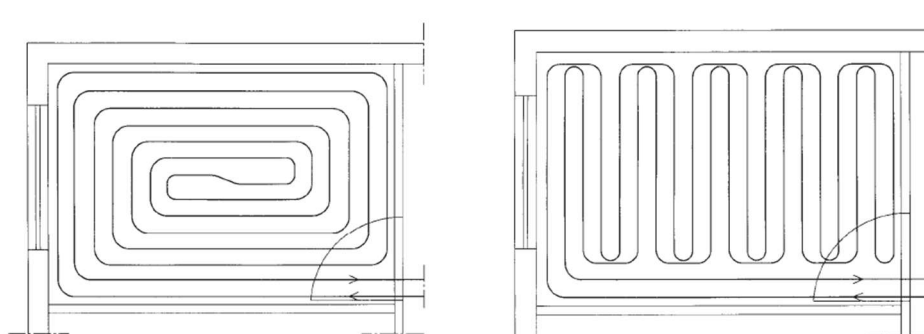
Lämmitysjärjestelmä	Menovedenlämpötila	Paluuedenlämpötila
Lattialämmitys	35 °C	30 °C
Patteri- ja säteilijälämmitys	45 °C	30 °C
Ilmanvaihto	50 °C	30 °C

##### 3.1.1 Lattialämmitys

Lattialämmitystä voidaan käyttää kaikenlaisissa rakennuksissa ja lattiarakenteissa, jos rakenteiden lämmöneristävyys on tarpeeksi hyvä. Tätä järjestelmää käytetään usein pientaloissa ja kerrostaloissa. (Rakennustieto Oy 1996, LVI 13-10261.)

Lattialämmityksessä lämmintä vettä kierrätetään lattiaan asennettuihin muoviputkiin. Kiinteistön jokaisessa huoneessa kiertää yleensä yksi putkilenkki, mutta isoimmista tiloista näitä putkilenkkejä on useampi. Putkilenkit on suunniteltava ja asennettava siten, ettei lattian sisään jää liitoksia. (Rakennustieto Oy 2006,

LVI 10-10397.) Yleisin putkilenkin asennustapa on spiraalijako, jolloin lattian pintalämpötila on tasainen. Toinen asennustapa on rivijako, jota käytetään yleensä puulattiassa lattiarakenteen takia. (Rakennustieto Oy 1996, LVI 13-10261.) Kuvassa 5 on esitetty kyseiset asennustavat.



KUVA 5. Spiraali- ja rivijako (Rakennustieto Oy 1996, LVI 13-10261).

### 3.1.2 Patterit ja säteilijät

Patteriverkostossa lämmintä vettä kierrätetään huoneeseen sijoitettavissa pattereissa, jotka luovuttavat lämmön huoneeseen pääsääntöisesti konvektion avulla. Pattereita on olemassa neljä erilaista tyyppiä, jotka ovat radiaattori, konvektori, putkipatteri ja erikoispatteri. Radiaattori on levypatteri, joka luovuttaa lämpöä patterin läpi virtaavaan huoneilmaan ja säteilemällä. Konvektori on levypatteri, joka luovuttaa lämpönsä sen läpi virtaavaan huoneilmaan. Putkipatteri on joko nimensä mukaan yhdestä putkesta koostuva patteri tai useasta vierekkäin olevasta putkesta koostuva kokonaisuus. Erikoispattereita käytetään erilaisissa sisustusratkaisuissa ja ne voivat olla sellaisia, joilla lämmitetään ilmanvaihdon tarvitsemaa korvausilmaa. (Rakennustieto Oy 2002. LVI 12-10343.)

Pattereille käytetään kolmenlaista lämmönjakotapaa, jotka ovat yksiputki-, kaksiputkijärjestelmä ja käännetty paluuputkijärjestelmä. Näiden lämmönjakotapojen putkitus voidaan toteuttaa joko ylä- tai alajakoisena, joilla molemmilla on omat etunsa. Yksiputkijärjestelmässä lämpöä jaetaan pattereihin kytkemällä pattereita sarjaan eli lämmönlähteestä tuleva vesi kiertää patterista toiseen ja sen jälkeen takaisin lämmönlähteeseen. Kerrostaloissa tai isommissa kiinteistöissä käytetään apuna jakotukkeja, joilta lämmintä vettä jaetaan sarjaan kytketyille pattereille. Kaksiputkijärjestelmässä jokaiselta patterilta kytketään oma

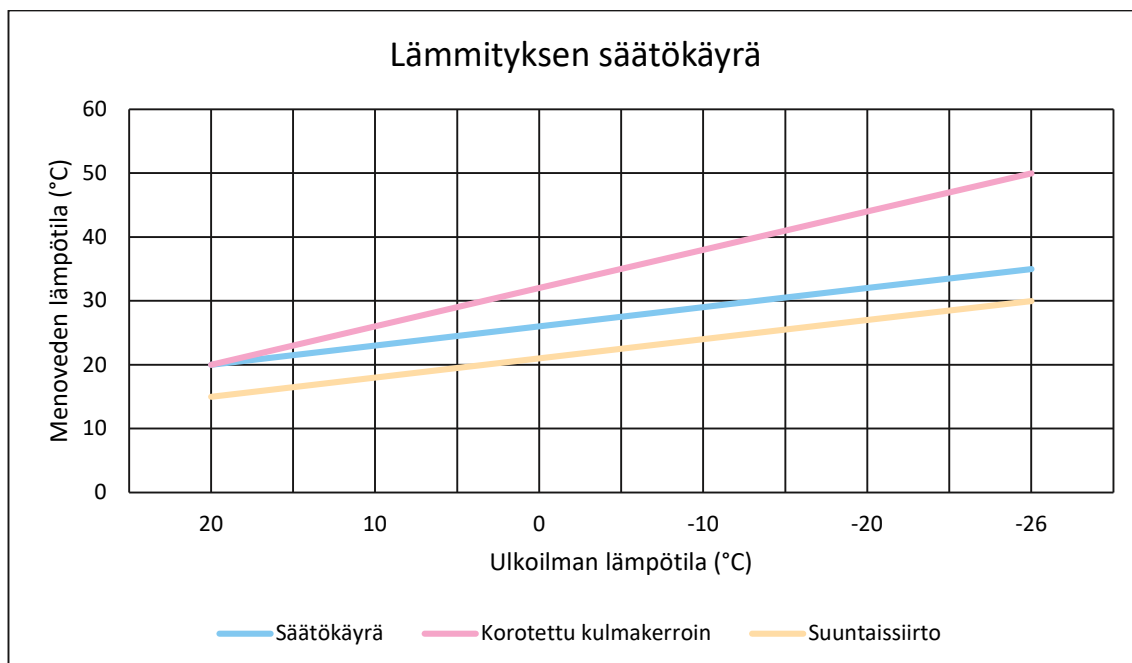
meno- ja paluuputki suoraan runkolinjaan tai jakotukkiin. Tällä tavalla jokaiselle patterille jaetaan saman lämpöistä vettä toisin kuin yksiputkijärjestelmällä. Käännetyssä paluuputkijärjestelmässä patterit kytketään runkolinjaan siten, että niiden virtauspiirit ovat suunnilleen yhtä pitkiä. Eli lämmitysputken pituus lämmönlähteeltä patterille ja takaisin on jokaisella patterilla lähes sama. (Rakennustieto Oy 2002. LVI 12-10343.)

Säteilylämmitysjärjestelmässä käytetään lämmityselementtejä, jotka asennetaan yleensä huoneen kattoon. Nämä säteilijät luovuttavat lämpönsä pääosin säteilemällä lämpöä huoneen pintoihin, ja osaksi lämpöä siirtyy suoraan huoneilmaan konvektion avulla. Tämän takia säteilijöillä voidaan lämmittää melkein kaikenkokoisia ja -tyyppisiä huoneita. (Oy Lindab Ab, Kattolämmityksen opas.)

### **3.2 Vesikiertoisen lämmityksen ohjaus**

Vesikiertoista lämmitysjärjestelmää ohjataan lämmityksen säätökeskuksen avulla, jolla ohjataan lämmitysjärjestelmän kiertovesipumppuja ja venttiileitä. Säätökeskukseen voi kytkeä erilaisia aikataulutoimintoja, ja siitä voi säätää lämmityksen säätökäyrää. Säätökäyrän avulla säädetään lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötilaa ulkoilman lämpötilan mukaan. (Rakennustieto Oy 2006, Rakennusten lämmitys.) Eli mitä kylmempää ulkona on, sitä kuumempaa vettä lämmitysjärjestelmän menovesi on.

Säätökäyrän asettelussa muutetaan yleensä sen kulmakerrointa ja/tai tasoa eli tehdään suuntaissiirto. Kulmakerrointa eli säätökäyrän jyrkkyyttä muuttamalla voidaan vaikuttaa huonelämpötiloihin, jos ne ovat joko liian korkeat tai matalat ulkolämpötilan ollessa lähellä mitoitustilannetta. Suuntaissiirtoa käytetään, jos huonelämpötilat pysyvät tasaisesti liian korkeina tai matalina eri ulkolämpötiloissa. (Motiva Oy 2021, Vesikiertoinen lämmitys.) Kuviossa 1 on esitetty lineaarinen säätökäyrä (sininen), jossa muutetaan kulmakerrointa (punainen) ja tehdään suuntaissiirto (keltainen).



KUVIO 1. Säätökäyrän asettelun muutos. Sininen esittää lähtötilannetta, punaisella esitetään kulmakertoimen muuttaminen ja keltaisella esitetään suuntaissiirto.

Säätökeskuksesta riippuen voi käytettävissä olla erilaisia aikataulutoimintoja ja kompensointeja, joilla menoveden lämpötilaa voidaan laskea tai nostaa, kun tietyt kriteerit täyttyvät. Kompensointeja ovat esimerkiksi sisälämpötila-, tuuli- ja aurinkokompensointi, pakkaspuolitus ja yö- tai päivälämpötilan pudotus. (Motiva Oy 2018, Lämmityksen säätökäyrä.) Näiden erilaisten aikataulutoimintojen ja kompensointien seuraaminen ja toteuttaminen manuaalisesti käytössä olevaan kiinteistöön on työlästä ja aikaa vievää. Kaukolämmölle on kehitetty älykäs ohjaustapa, joka jatkuvasti valvoo, säätää ja hallitsee koko lämmitysjärjestelmää korkean hyötysuhteen ja luotettavuuden takaamiseksi (Lin ym. 2017, Technologies in Smart District Heating System).



## 4 TUTKIMUSKOHTEET

### 4.1 Motonet

Yhdeksi tämän työn tutkimuskohteeksi valittiin Motonet liikerakennus. Kyseinen kohde valittiin sen takia, koska se kuvastaa isoa osaa tämän tyyllisiä liikerakennuksia. Tyypillistä tämänlaisille liikerakennuksille on iso ja korkea asiakastila, paljon varastotilaa, henkilöstön taukotilat sekä toimistotilat. Kuvassa 6 on esitetty IFC malli Motonet liikerakennuksesta.



KUVA 6. Liikerakennuksen IFC malli.

Kohteen pinta-ala on noin 2 400 m<sup>2</sup> ja rakennustilavuutta sillä on noin 15 000 m<sup>3</sup>. Kohteen lämmöntuotto on toteutettu maalämpöpumppujärjestelmällä, jonka varalämmityksenä käytetään sähkövastuksia vesivaraajissa. Kohteen lämmönjakotapoina on käytetty oviverhopuhaltimia asiakastiloissa, pattereita toimistotiloissa, lattialämmitystä väestönsuojassa ja säteilijöitä kassojen yläpuolella. Ilmanvaihdon tuloilman lämmitykseen käytetään vesikiertoisia pattereita. Kohdetta simuloitaessa on tehty yksinkertaistuksia lämmönjakoon liittyen ja käytetty kaukolämpöä yhtenä lämmöntuotantomuotona.

## 4.2 Hyvinvointikampuksen päiväkotä

Toiseksi tutkimuskohteeksi valittiin hyvinvointikampuksen päiväkotä. Kyseinen kohde valittiin sen takia, koska se kuvastaa keskikokoista opetusrakennusta, joka soveltuu päiväkodiksi ja hieman normaalia pienemmäksi kouluksi. Tyypillisessä opetusrakennuksessa on iso ja korkea sisäpelikenttä, useita luokkahuoneita, pitkät käytävät ja iso ruokailutila. Kuvassa 7 on esitetty IFC malli hyvinvointikampuksen päiväkodista.



KUVA 7. Opetusrakennuksen IFC malli.

Kohteen pinta-ala on noin 3 200 m<sup>2</sup> ja rakennustilavuutta on noin 9 400 m<sup>3</sup>. Kohteen lämmöntuotto on toteutettu maalämpöpumpputjärjestelmällä, jonka varalämmityksenä käytetään sähkökattilaa lämmityksen vesivaraajassa ja sähkövastuksia lämpimän käyttöveden vesivaraajissa. Kohteen lämmönjakotapana käytetään vesikiertoista lattialämmitystä ja ilmanvaihdon tuloilman lämmitykseen käytetään vesikiertoisia pattereita. Kohdetta simuloitaessa kaukolämpöä on käytetty yhtenä lämmöntuotantomuotona.

## 5 SIMULOINTI

### 5.1 Dynaaminen simulointiohjelmisto

Tässä työssä kohteiden teknisten ominaisuuksien vaikutusta lämmityksen huipputeeseen ja energiankäyttöön tutkitaan IDA Indoor Climate and Energy -simulointiohjelmistolla, joka tunnetaan yleisimmin nimellä IDA ICE. Kyseinen ohjelmisto on ruotsalaisen EQUA Simulation AB:n kehittämä ja myös ylläpitämä. Sen avulla voidaan tutkia kohteen monivyöhykemallin lämpöasetta ja koko rakennuksen energian kulutusta. (EQUA Simulation AB 2020.)

Ohjelmistoon voidaan tuoda kaikki yleisimmät 2D ja 3D CAD-tiedostot sekä IFC malleja, joiden luontiin on käytetty esim. ArchiCAD, AutoCAD Architecture, MagiCAD ja Revit suunnitteluohjelmistoja. Tuotavan IFC mallin tai CAD-tiedoston pohjalta ohjelmistolla luodaan kohteelle simuloitavia vyöhykkeitä. Vyöhykkeitä voidaan määrittellä tila- ja huoneistokohtaisesti tai koko rakennus voidaan määrittellä yhdeksi vyöhykkeeksi. (EQUA Simulation AB 2020.) Vyöhykkeiden lukumäärällä voidaan vaikuttaa kohteen simuloinnin nopeuteen ja tarkkuuteen. Kuvassa 8 esitetään miten vyöhykkeiden määrää on vähennetty yhdistämällä vierekkäisiä tiloja.



KUVA 8. Useiden tilojen yhdistäminen yhdeksi vyöhykkeeksi. Punaisella alueella kuvataan yhtä vyöhykettä.

## 5.2 Simuloinnin tavoitteet

Simuloinnin tavoitteena on tutkia miten kohteiden teknisten ominaisuuksien muuttaminen vaikuttaa lämmityksen huipputehoon ja energiankäyttöön. Molemmissa kohteissa simulointeja on suoritettu käyttämällä kaukolämpöä tai maalämpöpumppua lämmöntuottoon, ja käyttämällä eri lämmönjakotapoja tilojen lämmitykseen. Molemmissa kohteissa ilmanvaihdon tuloilman lämmitys on toteutettu vesikiertoisella patterilla.

Näiden simulointien avulla pyritään selvittämään millä säätöteknisillä ominaisuuksilla voidaan rajoittaa lämmityksen huipputehoa ja vaikuttaa kaukolämmön laskutustehoon sekä maalämpöpumppujärjestelmän sähköllä tuotetun varalämmityksen käyttöön. Olemassa oleville kohteille, joissa käytetään kaukolämpöä tämä vähentäisi kaukolämpölaskua lämmityskaudella. Maalämpöpumppujärjestelmässä tämä vaikuttaisi varalämmityksen käyttöön kovimmilla pakkasilla ja siihen kuinka paljon vuoden lämmitysenergiasta tuotettaisiin maalämpöpumpulla.

## 5.3 Simuloinnin suorittaminen

Simuloinnin suorittaminen aloitettiin valitsemalla rakennusta vastaava käyttötarkoitusluokka, jolloin ohjelmisto asettaa automaattisesti YM 1010 mukaiset asetusarvot, rakennuksen vakioidun käytön, lämpökuormat, vyöhykekohtaiset ilmavirrat, sekä lämmitys- ja jäähdytysrajat. Näitä käytettiin molempien kohteiden lähtötietoina eikä niihin tehty muutoksia simulointeja suorittaessa paitsi lämmitysrajaan. Kuvissa 9, 10 ja 11 on esitetty kyseisiä lähtötietoja.

a) seinä	0,17 W/(m <sup>2</sup> K);
b) massiivipuuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm	0,40 W/(m <sup>2</sup> K);
c) yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09 W/(m <sup>2</sup> K);
d) ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,17 W/(m <sup>2</sup> K);
e) maata vasten oleva rakennusosa	0,16 W/(m <sup>2</sup> K);
f) ikkuna, kattoikkuna, ovi, kattovalokupu, savunpoisto- ja uloskäyntiluukku	1,0 W/(m <sup>2</sup> K).

KUVA 9. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimien vertailuarvot (Finlex 2017).

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

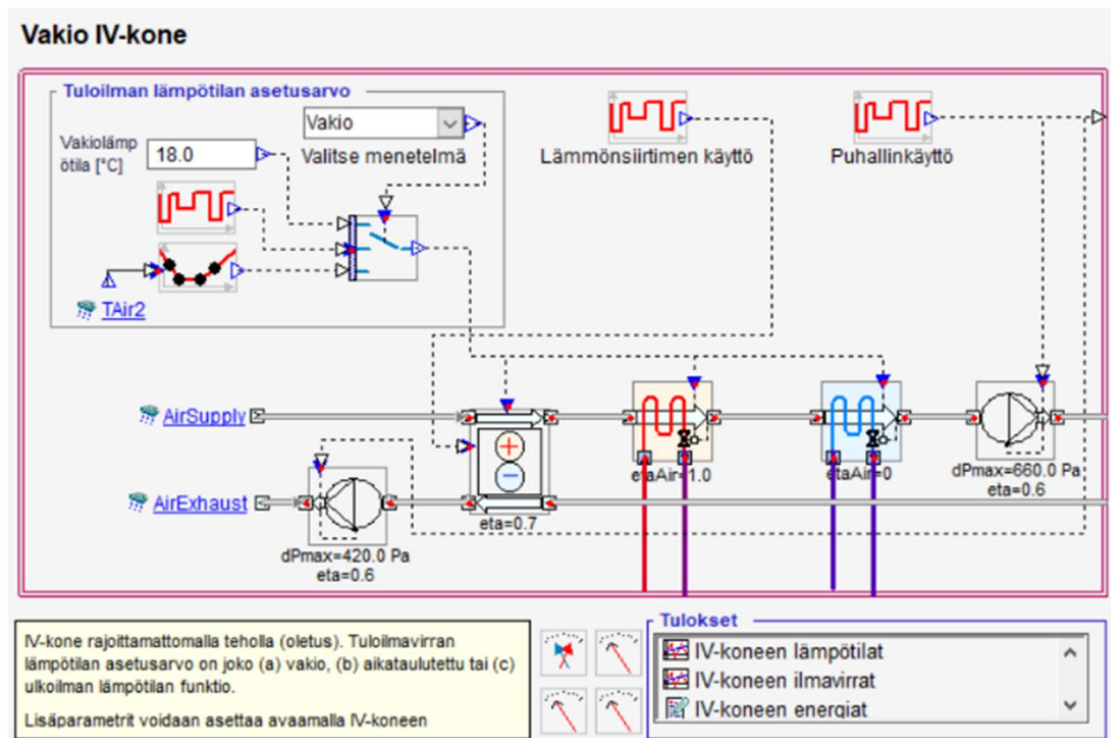
KUVA 10. Vyöhykkeiden ilmavirrat ja lämmitys- ja jäähdytysrajat (Finlex 2017).

Käyttötarkoitussluokka	Kellonaika	Käyttöaika		Käyttöaste	Sisäinen lämpökuorma lämmitettyä nettoalaa kohti		
		Vuorokautinen h/24h	Viikoittainen d/7d		-	Valaistus W/m <sup>2</sup>	Kuluttajalaitteet W/m <sup>2</sup>
Luokka 1)	00:00-24:00	24	7	valaistus 0,1 muut 0,6	6	3	2
Luokka 2)	00:00-24:00	24	7	valaistus 0,1 muut 0,6	9	4	3
Luokka 3)	07:00-18:00	11	5	0,65	10	12	5
Luokka 4)	08:00-21:00	13	6	1	19	1	2
Luokka 5)	00:00-24:00	24	7	0,3	11	4	4
Luokka 6)	08:00-16:00	8	5	0,6	14	8	14
Luokka 7)	08:00-22:00	14	7	0,5	10	0	5
Luokka 8)	00:00-24:00	24	7	0,6	7	9	8

KUVA 11. Rakennuksen vakioitu käyttö ja sisäiset lämpökuormat (Finlex 2017).

Tämän jälkeen ohjelmistoon tuotiin kohteiden IFC mallit kuten kuvissa 6 ja 7 on esitetty. IFC mallin perusteella rakennukselle tehtiin simuloitava muoto luomalla vyöhykkeet, mikä tässä työssä tapahtui yhdistämällä vierekkäisiä samanlaisia tiloja kuten kuvassa 8 on esitetty.

Simuloinneissa kohteiden ilmanvaihto toteutettiin yhdellä ilmanvaihtokoneella simulointien yksinkertaistamiseksi. Todellisuudessa näissä kohteissa käytettäisiin muutamaa ilmanvaihtokonetta, mutta simuloitaessa samaan lopputulokseen päästään myös yhdellä ilmanvaihtokoneella, kun kaikkia erillisiä koneita olisi ohjattu samalla tavalla. Ohjelmiston tekemä jäähdytyspatteri on tässä työssä sammutettu. Kuvassa 12 on esitetty käytetty ilmanvaihtokone.



KUVA 12. Vesikiertoisella patterilla varustettu ilmanvaihtokone.

Tilojen lämmitys tuotettiin lattialämmityksellä tai kattosäteilijöillä. Näihin molempiin löytyy IDA ICE:stä valmiit objektit, joilla voisi myös toteuttaa tilojen viilennyksen, mutta tässä työssä tämä ominaisuus poistettiin asettamalla laitteiden viilennysteho nolnaan. Samalla voidaan määrittää objekteille niiden lämmitysteho, säädin ja anturi, jonka mukaan objekti lämmittää vyöhykettä. Objektien säätö on esitetty kuvassa 13. Nämä objektit lisätään jokaisen vyöhykkeen lattia- tai kattoelementtiin riippuen siitä käytetäänkö lattialämmitystä vai kattosäteilijöitä, ja venytetään se koko alueelle. Kuvassa 14 on esitetty lattiaelementtiin liittänyt lattialämmityspotkisto.



Yleislomake Geometria

**Lattialämmitys ja -jäähdytys (lämpötilasäätö)**

	Jäähdytys	Lämmitys	
Mitoitusteho	0	40.0	W/m <sup>2</sup>
	0.0	1504.0	W
dT(vesi) maksimiteholla	5.0	5.0	°C
Säädin	PI		
Anturi	Ilman lämpötila		

1) Lattialämmitys asetetaan annettuun syvyyteen lattiarakenteeseen, joka on määritelty koko lattialle.  
2) Mitoitustehosta ja lämpötilaerosta lasketaan veden maksimimassavirta. Todellinen teho mitoituslanteessa voi jäädä pienemmäksi, jos lattiarakenteen lämmönvastus on liian suuri.

**Massavirta**

Virtaussäätö (2-tieventtiili)

Lämpötilasäätö (3-tieventtiili). Virtaus lasketaan mitoitus-tehon ja tämän dT:n avulla: 3 °C

**Sijainti laatussa**

Syvyys pinnasta 0.04 m

**Lämmönsiirtokerroin**

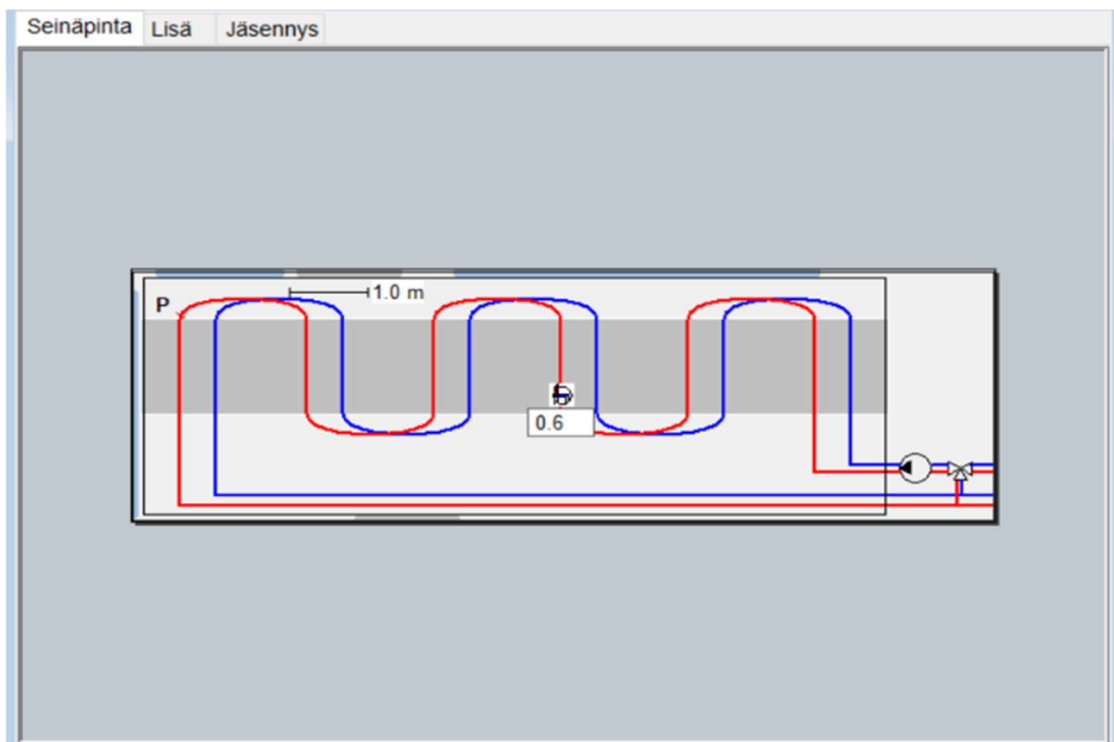
Veden ja rakenteen välinen lämmönsiirtokerroin 30 W/(m<sup>2</sup>·K)

\* EN 15377-1 standardin mukaan:  
1/H-vesi-putkiripa = R<sub>w</sub> + R<sub>r</sub> + R<sub>x</sub> = R<sub>t</sub> - R<sub>z</sub>

Lattialämmitys asetetaan annettuun syvyyteen lattiarakenteeseen, joka on määritelty koko lattialle.

Normaalisti 6 alumiinirivolla puurakenteessa ja 30 putkille betonissa. Kokonaislämmönsiirto on normaalisti suuresti riippuvainen lattialämmityksen alapuolisesta ja yläpuolisesta rakenteesta, jolloin tämä parametri ei ole kovin paljon merkitystä.

KUVA 13. Lattialämmityksen säätövalikko.



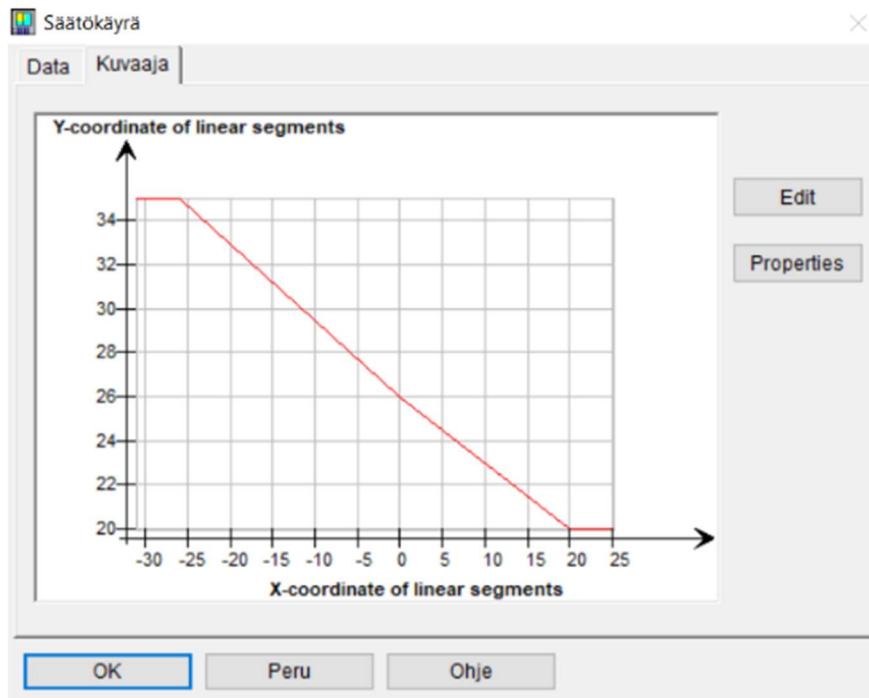
KUVA 14. Lattiaelementtiin lisätty lattialämmityspotkisto.

Simuloinneissa lämmöntuottoon käytettiin joko kaukolämpöä tai maalämpöjärjestelmää. Kumpaakin näistä käytettiin kohteiden lämmöntuottojärjestelmänä, ja niiden valinta ja lämmitystehon muokkaus tehtiin ohjelmiston primäärijärjestelmä-välilehden kautta. Kaukolämpöä käytettäessä simuloinnit tehtiin rajoittamattomalla lämmitysteholla, jotta mahdolliset lämmityksen huipputehon kasvut voitaisiin havaita. Saman välilehden alta pystyy muokkaamaan lämmityksen säätökäyrää ja ilmanvaihtokoneen lämmityspatterin menoveden lämpötilaa. Lämmityksen säätökäyrän kulmakertoimen muuttaminen oli yksi tässä työssä tutkittavista tavoista. Kuvassa 15 on esitetty primäärijärjestelmä-välilehti ja kuvassa 16 on esitetty lämmityksen säätökäyrä.



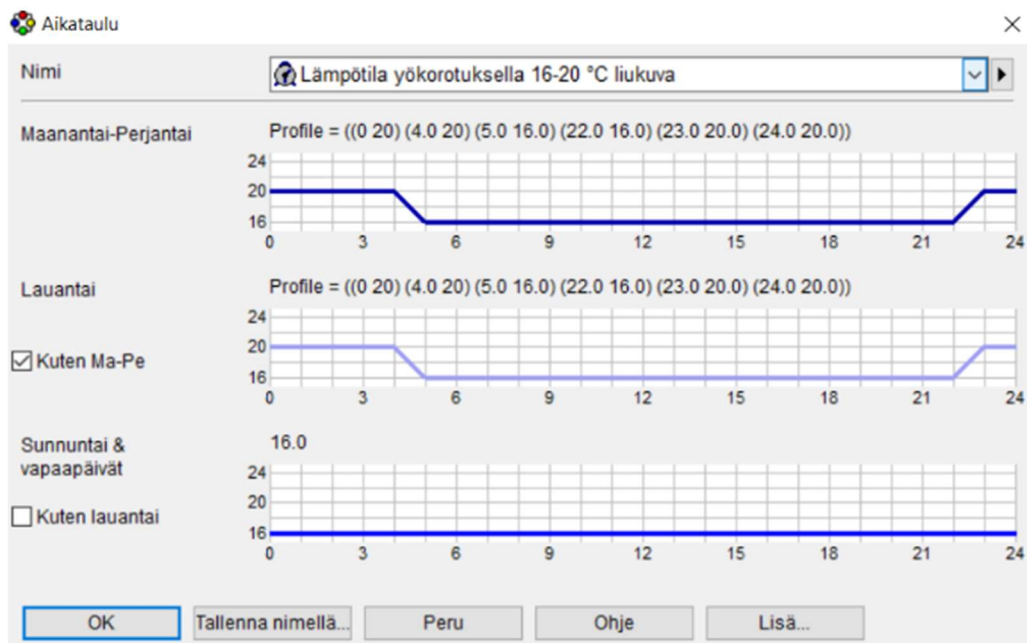
KUVA 15. Primäärijärjestelmä-välilehti.





KUVA 16. Lämmityksen säätökäyrä.

Simuloitaessa tutkittiin myös, miten lämmönjakojärjestelmän käyttö yöaikaan vaikuttaa lämmityksen huipputehoon. Tämä säätötekniinen ominaisuus toteutettiin ohjelmistolla nostamalla vyöhyke kohtaisesti lämmitysrajaa yöllä ja laske-  
malla sitä päivällä. Kuvassa 17 on esitetty vyöhykekohtainen lämmitysrajan siirto.



KUVA 17. Aikataulu vyöhykkeen lämmitysrajalle.

## 6 TUTKIMUSTULOKSET

### 6.1 Liikerakennus Motonet

Liikerakennus Motonetille suoritettiin yhteensä 16 simulointia, joista kaksi ovat niin sanottuja perusversiota missä lämmitysjärjestelmän säätökäyrään ei ole tehty muutoksia ja lämmityksen käyttö on ohjattu päivälle. Tällä tavalla määriteltiin lämmityksen huipputeho käytetylle lämmönjakotavalle, jotka tälle rakennukselle olivat säteily- ja lattialämmitys. Simuloinnit suoritettiin energiasimulointeina ja simuloitava ajan jakso määriteltiin yhdeksi vuodeksi.

#### 6.1.1 Kaukolämpö

Kaukolämmön lämmitysteho pidettiin simuloinneissa rajoittamattomana, jotta muutokset lämmityksen huipputehoon voitaisiin havaita. IDA ICE ohjelmistosta saadusta datasta valittiin käsiteltäväksi Excel-ohjelmaan tunti kohtainen lämmitysjärjestelmien lämmitystehon keskiarvo. Lämmitystehoa tarvitsivat IV-koneen lämmityspatteri, vyöhykkeiden tilalämmitys ja lämpimän käyttöveden valmistus. Taulukossa 2 esitetään lämmitysjärjestelmien tarvitsema maksimi lämmitysteho, näiden maksimi lämmitystehojen summa eli kaukolämmön sopimusteho sekä lämmityksen huipputeho säätötekniikan muutoksen mukaan, kun käytettiin säteilylämmitystä, jonka perusversio on ”Menovesi 45 °C”. Säätötekniikana muutoksina käytettiin tilalämmityksen säätökäyrän jyrkkyyden muuttamista korottamalla tai laskemalla menoveden lämpötilaa mitoituslämpötilassa, ja tilalämmityksen käytön ohjausta yölle. Taulukossa 3 esitetään samat asiat kuin taulukossa 2, mutta lämmönjakotapana käytettiin lattialämmitystä, jonka perusversio on ”Menovesi 35 °C”.

TAULUKKO 2. Lämmitystehot käytettäessä säteilylämmitystä liikerakennuksessa.

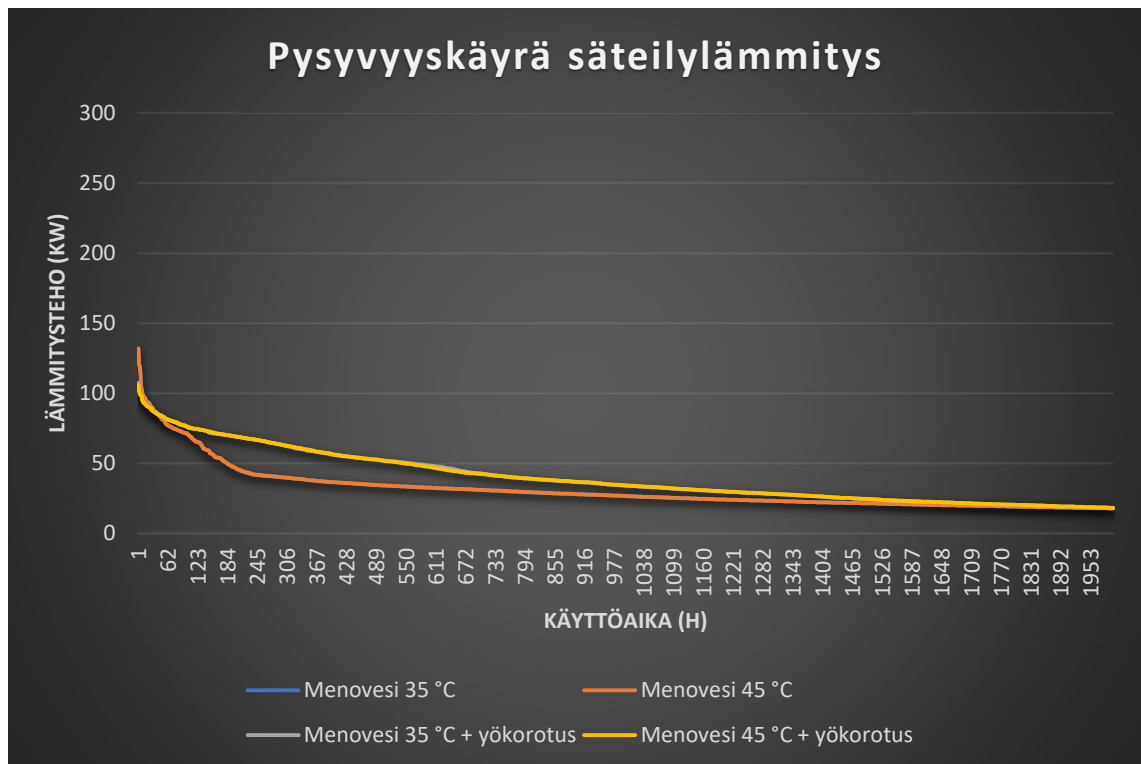
	Maks. IV (kW)	Maks. Tila (kW)	Maks. LKV (kW)	Huippu- teho (kW)	Sopimusteho (kW)
Menovesi 35 °C	100	35	3	130	138
Menovesi 45 °C	100	36	3	132	139
Menovesi 35 °C + yö korotus	98	102	3	108	203
Menovesi 45 °C + yö korotus	98	100	3	106	201

TAULUKKO 3. Lämmitystehot käytettäessä lattialämmitystä liikerakennuksessa.

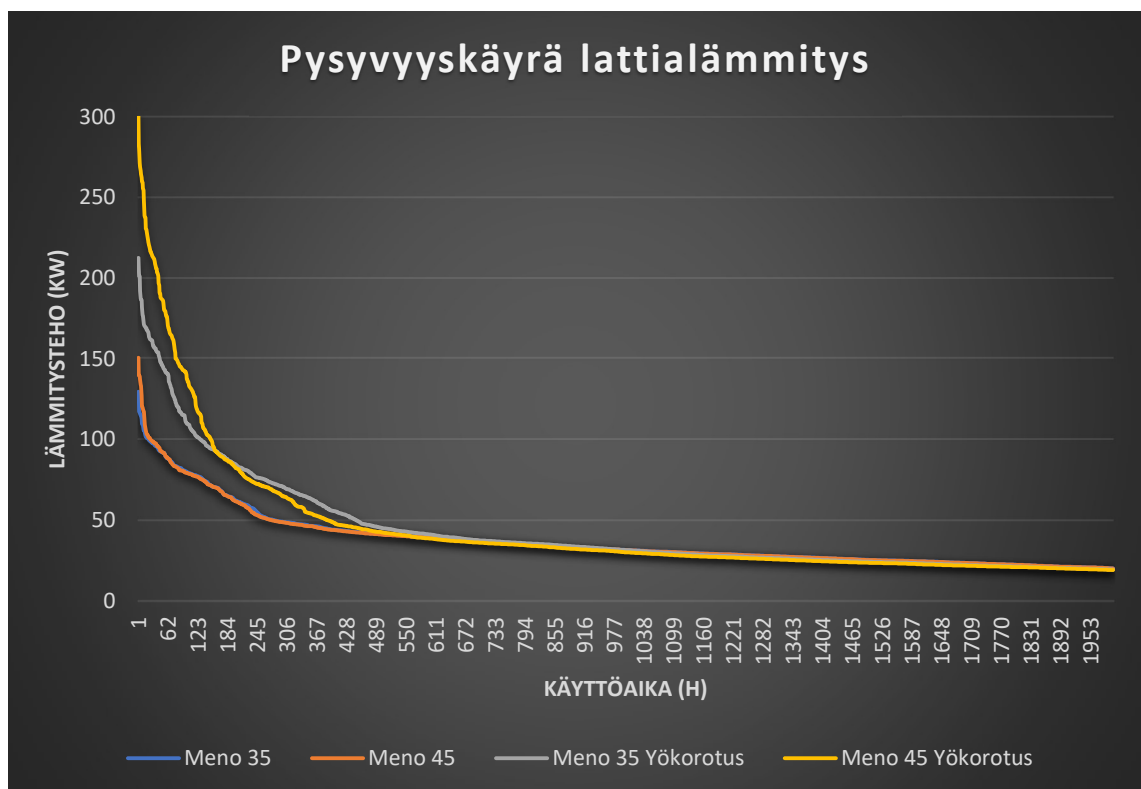
	Maks. IV (kW)	Maks. Tila (kW)	Maks. LKV (kW)	Huippu- teho (kW)	Sopimusteho (kW)
Menovesi 35 °C	106	125	3	130	234
Menovesi 45 °C	106	135	3	151	245
Menovesi 35 °C + yö korotus	100	204	3	213	307
Menovesi 45 °C + yö korotus	99	294	3	301	396

Tulosten perusteella huomataan, että liikerakennuksessa lämmityksen huipputehoa voidaan rajoittaa parhaiten perusversioon nähden ohjaamalla tilälämmityksen käyttöä yöajalle käytettäessä säteilylämmitystä. Lattialämmitystä käytettäessä lämmityksen huipputehoa ei voitu rajoittaa perusversioon nähden, mutta huomioitavaa on, että huipputeho on huomattavasti sopimustehoa pienempi.

Datasta tehtiin taulukoiden lisäksi lämmityksen pysyvyyskäyriä. Näiden pysyvyyskäyrien tarkoituksena on havainnollistaa lämmitystehoa käyttöajan funktiona. Kuviossa 2 esitetään lämmityksen pysyvyyskäyrät eri säätöteknisille muutoksille käytettäessä säteilylämmitystä. Käyttöaikana käytetään väliä 1 – 2000, koska se vastaa suunnilleen lämmityskauden tunteja. Kuviossa 3 esitetään samat asiat kuin kuviossa, mutta lämmönjakotapana käytetään lattialämmitystä.



KUVIO 2. Säteilylämmityksen pysyvyyskäyrä liikerakennuksessa.



KUVIO 3. Lattialämmityksen pysyvyyskäyrä liikerakennuksessa.

## 6.1.2 Maalämpö

Maalämpöpumpun lämmitystehon määrittämiseen käytettiin kaukolämmön perusversioiden lämmityksen huipputehoa, joka oli noin 130 kW. Liikerakennukseen maalämpöpumppu mitoitettiin osatehoiseksi, joka teoriaosuuden mukaan olisi 100 kW. Tarvittava lisälämpö lämmityksen huipputehon aikana tuotettiin sähkökattilalla.

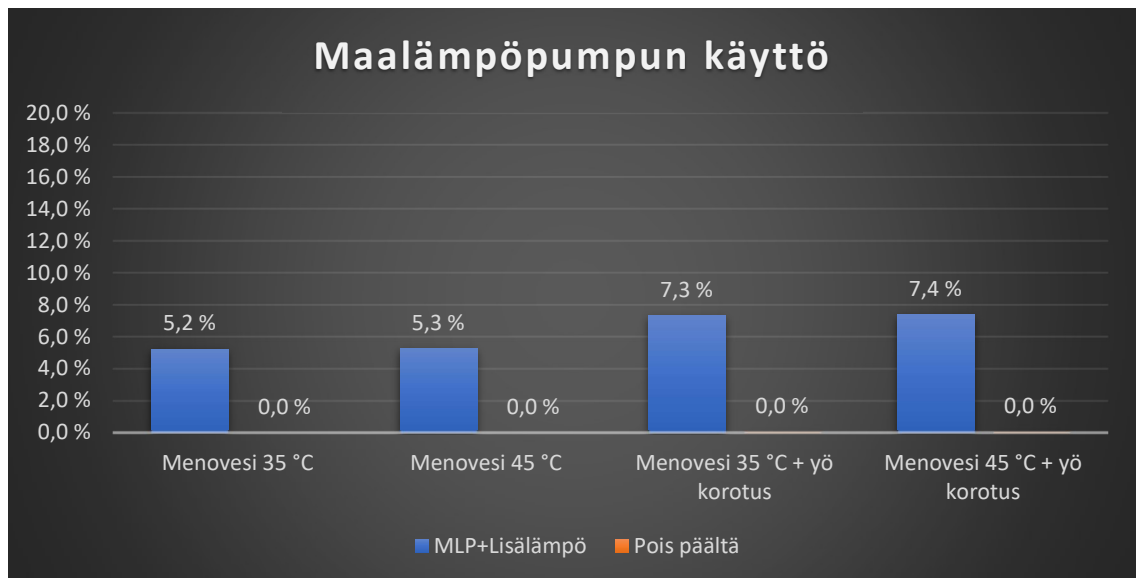
Maalämpöpumppujärjestelmää käytettäessä haluttiin tutkia säätötekniisten muutosten vaikutusta maalämpöpumpun kuormitukseen sekä lisälämmön käyttöön. Taulukoissa 4 ja 5 esitetään lisälämmön kulutus ja teho säätötekniisen muutoksen mukaan. Näiden taulukoiden tiedot on kerätty IDA ICE:n energiaraporttien ostoenergiankulutusraporteista (liite 1). Kuviossa 4 ja 5 esitetään kuinka kauan maalämpöpumppu käy täydellä teholla ja kuinka kauan se on pois päältä prosentuaalisesti koko vuoden tunneista.

TAULUKKO 4. Lisälämmön kulutus ja teho käytettäessä säteilylämmitystä liikerakennuksessa.

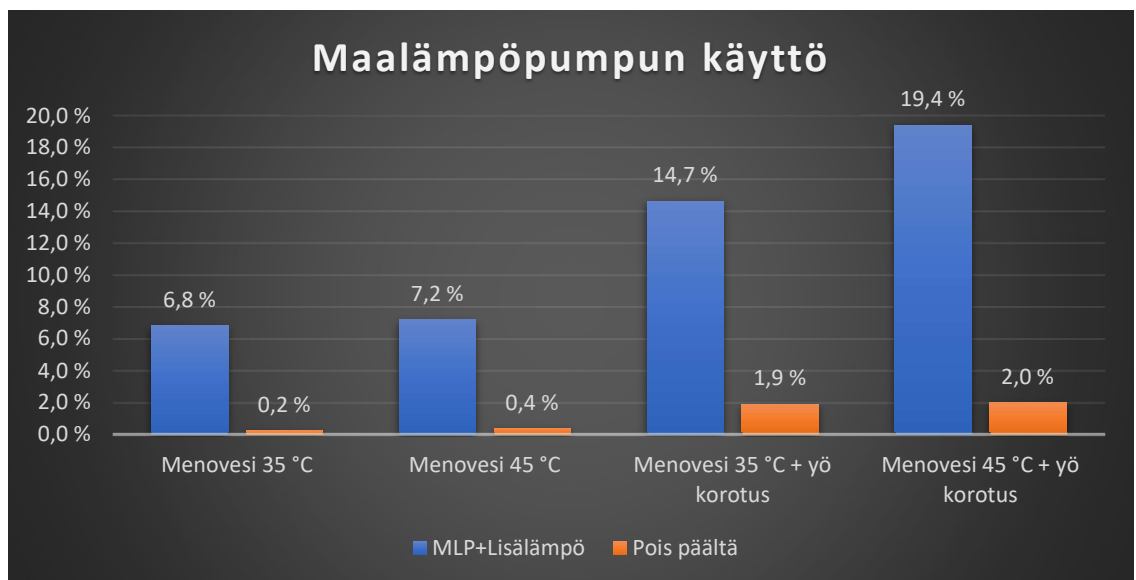
	Kulutus (kWh)	Teho (kW)
Menovesi 35 °C	227	3,77
Menovesi 45 °C	232	3,88
Menovesi 35 °C + yö korotus	192	1,42
Menovesi 45 °C + yö korotus	193	1,43

TAULUKKO 5. Lisälämmön kulutus ja teho käytettäessä lattialämmitystä liikerrakennuksessa.

	Kulutus (kWh)	Teho (kW)
Menovesi 35 °C	291	5,65
Menovesi 45 °C	389	6,82
Menovesi 35 °C + yö korotus	1587	20,7
Menovesi 45 °C + yö korotus	3324	22,95



KUVIO 4. Maalämpöpumpun käyttö säteilylämmityksellä liikerakennuksessa.



KUVIO 5. Maalämpöpumpun käyttö lattialämmityksellä liikerakennuksessa.

Tulosten perusteella huomataan, että lisälämmön kulutusta ja tarvetta voidaan pienentää ohjaamalla tilalämmityksen käyttöä yölle käytettäessä säteilylämmitystä. Toisaalta vähiten lämpöpumpun ja lisälämmityksen yhteiskäyttöä tapahtuu silloin, kun lämmityksen säätökäyrän jyrkkyyttä lasketaan.

Käytettäessä lattialämmitystä liikerakennuksen lämmönjakotapana vähiten lisälämmön kulutusta ja tarvetta sekä lämpöpumpun ja lisälämmityksen yhteiskäyt-

töä tapahtuu silloin, kun säätötekniisiä muutoksia ei tehdä. Näiden muutosten tekeminen lisää lisälämmön kulutusta ja tarvetta sekä tällöin lämpöpumppu on pois päältä eniten vuoden aikana.

## **6.2 Opetusrakennus päiväkot**

Opetusrakennus päiväkodille suoritettiin yhteensä 6 simulointia, joista yksi on niin sanottu perusversio missä lämmitysjärjestelmän säätökäyrään ei ole tehty muutoksia ja lämmityksen käyttö on ohjattu päivälle. Tällä tavalla määriteltiin lämmityksen huipputeho käytetylle lämmönjakotavalle, joka tälle rakennukselle oli lattialämmitys. Simuloinnit suoritettiin energiasimulointeina ja simuloitava ajan jakso määriteltiin yhdeksi vuodeksi.

### **6.2.1 Kaukolämpö**

Kaukolämmön lämmitysteho pidettiin simuloinneissa rajoittamattomana, jotta muutokset lämmityksen huipputehoon voitaisiin havaita. IDA ICE -ohjelmistosta saadusta datasta valittiin käsiteltäväksi Excel-ohjelmaan tunti kohtainen lämmitysjärjestelmien lämmitystehon keskiarvo. Lämmitystehoa tarvitsivat IV-koneen lämmityspatteri, vyöhykkeiden tilalämmitys ja lämpimän käyttöveden valmistus. Taulukossa 6 esitetään lämmitysjärjestelmien tarvitsema maksimi lämmitysteho, näiden maksimi lämmitystehojen summa eli kaukolämmön sopimusteho sekä lämmityksen huipputeho säätötekniisen muutoksen mukaan, kun käytettiin lattialämmitystä, jonka perusversio on ”Menovesi 35 °C”. Säätötekniisinä muutoksina käytettiin tilalämmityksen säätökäyrän jyrkkyyden muuttamista korottamalla tai laskemalla menoveden lämpötilaa mitoituslämpötilassa, ja tilalämmityksen käytön ohjausta yölle.

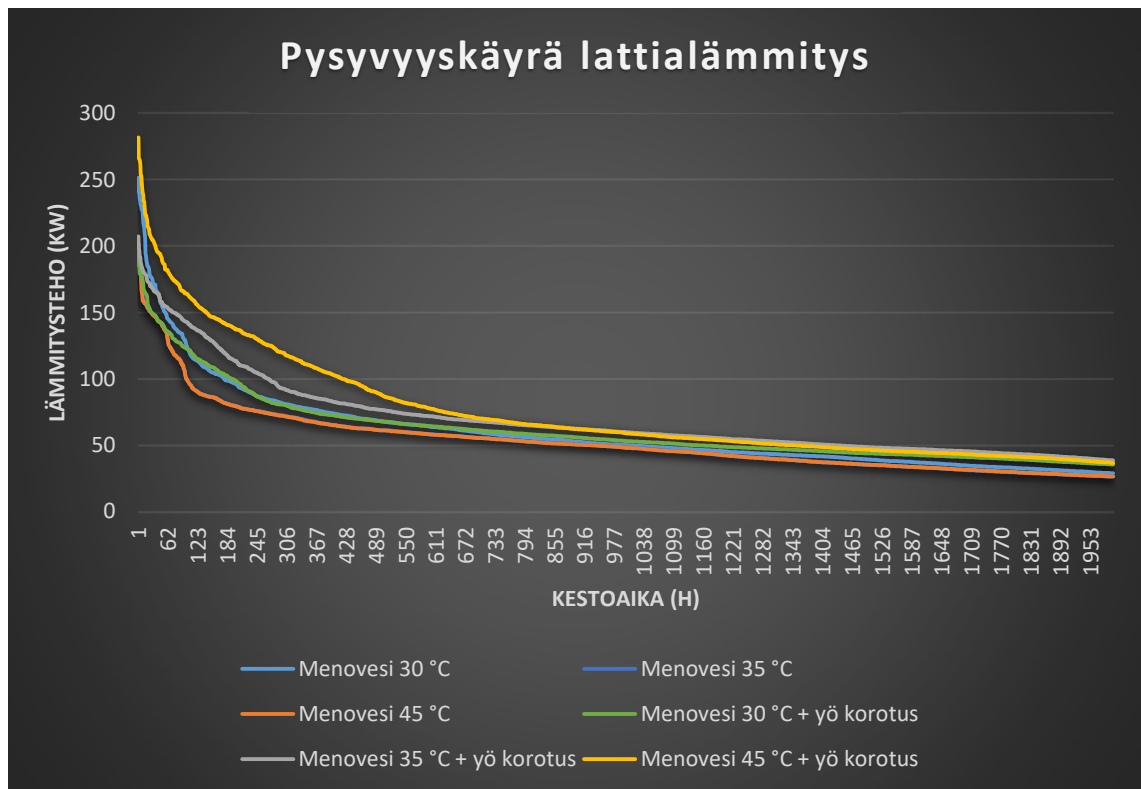
TAULUKKO 6. Lämmitystehot käytettäessä lattialämmitystä opetusrakennuksessa.

	Maks. IV (kW)	Maks. Tila (kW)	Maks. LKV (kW)	Huippu- teho (kW)	Sopimusteho (kW)
Menovesi 30 °C	184	69	21	252	273
Menovesi 35 °C	189	61	21	202	271
Menovesi 45 °C	189	61	21	202	271
Menovesi 30 °C + yö korotus	180	136	21	198	337
Menovesi 35 °C + yö korotus	181	193	21	208	395
Menovesi 45 °C + yö korotus	177	271	21	282	469

Tulosten perusteella huomataan, että tilalämmityksen säätökäyrän jyrkkyyden laskulla ja käytön ohjauksella yölle voidaan rajoittaa huipputehoa perusversioon verrattuna. Tämä rajoitus on kuitenkin vain muutaman kilowatin, mutta kuten lii-kerakennuksessa lämmityksen huipputeho on huomattavasti sopimustehoa pienempi.

Datasta tehtiin lii-kerakennuksen tavoin taulukoiden lisäksi lämmityksen pysyvyyskäyriä. Kuviossa 6 esitetään lämmityksen pysyvyyskäyrät eri säätöteknisille muutoksille käytettäessä lattialämmitystä. Käyttöaikana käytetään väliä 1 – 2000, koska se vastaa suunnilleen lämmityskauden tunteja.





KUVIO 6. Lattialämmityksen pysyvyyskäyrä opetusrakennuksessa.

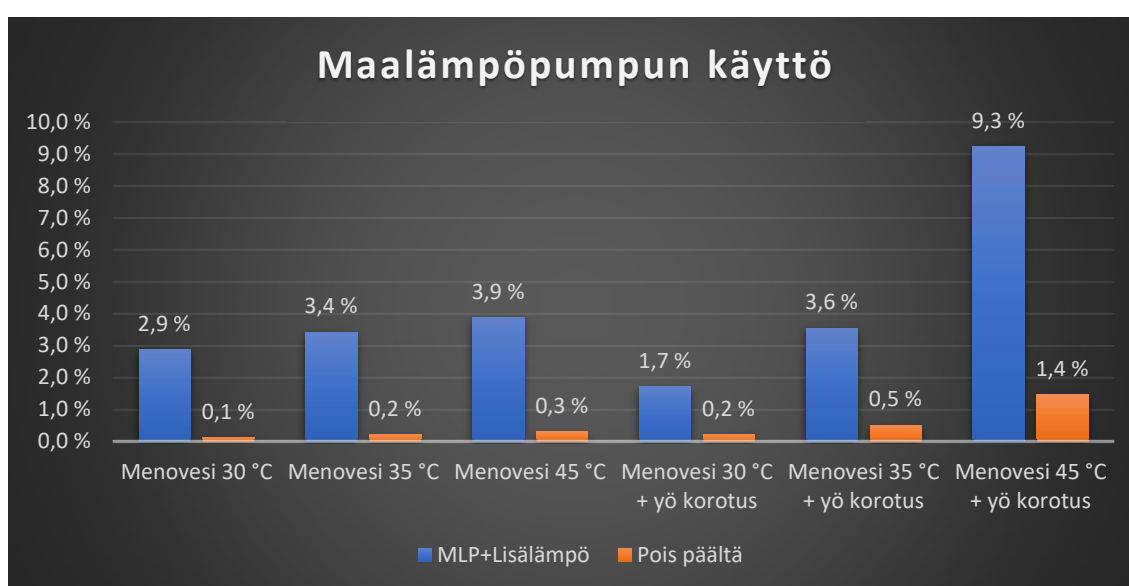
### 6.2.2 Maalämpö

Maalämpöpumpun lämmitystehon määrittämiseen käytettiin kaukolämmön perusversioiden lämmityksen huipputehoa, joka oli noin 220 kW. Liikerakennukseen maalämpöpumppu mitoitettiin osatehoiseksi, joka teoriaosuuden mukaan olisi 150 kW. Tarvittava lisälämpö lämmityksen huipputehon aikana tuotettiin sähkökattilalla.

Maalämpöpumppujärjestelmästä tutkittiin samoja asioita kuin liikerakennuksen järjestelmästä. Taulukossa 7 esitetään lisälämmön kulutus ja tarve säätötekni- sen muutoksen mukaan. Tämän taulukon tiedot on kerätty IDA ICE:n energiara- portin ostoenergiankulutusraporteista (liite 2). Kuviossa 7 esitetään kuinka kauan maalämpöpumppu käy täydellä teholla ja kuinka kauan se on pois päältä prosentuaalisesti koko vuoden tunneista.

TAULUKKO 7. Lisälämmön kulutus ja teho käytettäessä lattialämmitystä opetusrakennuksessa.

	Kulutus (kWh)	Teho (kW)
Menovesi 30 °C	286	13,2
Menovesi 35 °C	348	12,18
Menovesi 45 °C	432	12,16
Menovesi 30 °C + yö korotus	137	10,13
Menovesi 35 °C + yö korotus	162	8,42
Menovesi 45 °C + yö korotus	834	10,59



KUVIO 7. Maalämpöpumpun käyttö lattialämmityksellä opetusrakennuksessa.

Tulosten perusteella huomataan, että lämmityksen säätökäyrän lasku ja lämmityksen käytön ohjaus yölle vähentää lisälämmön kulutusta ja tarvetta eniten. Maalämpöpumpun ja lisälämmön yhteiskäyttöä tapahtuu myös tässä tilanteessa vähiten.

### 6.3 Yhteenveto

Liikerakennuksessa käytettäessä säteilylämmitystä huomattiin lämmityksen ohjauksen yölle rajoittavan parhaiten lämmityksen huipputehoa. Myös säätökäyrän jyrkkyyden laskemisella oli rajoittava vaikutus, mutta tällöin sisätilojen lämpötila

saattaa hieman laskea alle lämmitysrajan kovilla pakkasilla. Käytettäessä lattialämmitystä ja ohjaamalla lämmitystä yölle huomattiin sillä olevan lämmityksen huipputehoa kasvattava vaikutus kuten myös säätökäyrän jyrkkyyden nostamisella. Tämä johtunee siitä, että rakennuksen lattia on pääosin maanvastaista betonilattiaa, mikä viiletessään liikaa vastaanottaa lämpöä tehokkaasti ja aiheuttaa tarpeettomia huipputeho piikkejä lämmitykseen.

Opetusrakennuksessa lattialämmityksen käytön ohjaus yölle rajoitti hieman lämmityksen huipputehoa, kun samalla laskettiin hieman lämmityksen säätökäyrän jyrkkyyttä. Tämä todennäköisesti johtui siitä, että vain noin puolet lattiapinta-alasta oli maanvastaista betonilattiaa ja loput lattiapinta-alasta oli välipohjaa, joka ei pääsee viilenemään liikaa kovillakaan pakkasilla. Näin ollen lämmityksen ohjauksesta yölle voisi olla hyötyä kerrostaloissa, joissa käytetään lattialämmitystä, koska suurin osa lattiasta koostuu välipohjasta.

Käytettäessä maalämpöpumppujärjestelmää huomattiin lämmityksen ohjauksen vähentävän lisälämmön kulutusta ja tehon tarvetta, paitsi liikerakennuksessa käytettäessä lattialämmitystä. Tämä kumminkin lisäsi hieman lämpöpumpun pätkäkäyntiä, muttei merkittävästi. Yleensä ottaen järkevämpää onkin laskea lämmityksen säätökäyrää ja tuottaa lämpöpumpulla matalampaa menovettä, jolloin lämpöpumppu toimii korkeammalla hyötysuhteella.

## 7 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella ja kehittää tapoja rajoittaa kiinteistön lämmityksen huipputehoa. Tavoitteena näille tavoille oli pienentää olemassa olevan kohteen käytön aikaisia lämmityskustannuksia ja uudiskohtaiden lämmitysjärjestelmän laitteiden investointikustannuksia. Tutkittuja tapoja piti siis pystyä käyttämään kohteeseen missä lämmitysjärjestelmää ohjataan automaation avulla. Työssä käytettävät kohteet olivat liikerakennus ja opetusrakennus, joiden lämmitykseen käytetään vesikiertoista lämmitysjärjestelmää. Molemmissa kohteissa lämmöntuotantoon käytettiin kaukolämpöä tai maalämpöpumpua.

Työssä asetetut tavoitteet toteutuivat molemmissa kohteissa. Tulosten perusteella lämmityksen säätökäyrän muuttamisella ei vaikuteta rajoittavasti lämmityksen huipputehoon käytettäessä lattialämmitystä, jos se muodostuu nykyään uudisrakennuksille yleisten meno- ja paluuveden lämpötilojen mukaan. Säteilylämmitystä käytettäessä säätökäyrän muuttamisella voitiin vaikuttaa rajoittavasti huipputehoon, mutta tällöin sisätilojen lämpötila voi pudota hieman alle lämmitysrajan kovilla pakkasilla. Lämmitysverkostojen samanaikaisen käytön rajoituksella ja energiankulutuksen ohjaamisella yölle huomattiin olevan lämmityksen huipputehoa rajoittava vaikutus. Tällä tavalla voidaan pienentää käytön aikaisia lämmityskustannuksia ja maalämpöpumpun investointikustannuksia, mutta kaukolämmön lämmönjakokeskuksen lämmönsiirtimien kokoa pitäisi kasvattaa, joka lisää hieman keskuksen investointikustannuksia.

Positiivisten tulosten perusteella tutkimusta voisi laajentaa asuinrakennuksiin, jotka kattavat suurimman osan Suomen rakennuskannasta sekä miten kiertoilman käyttö ilmanvaihtokoneissa vaikuttaisi lämmityksen huipputehoon. Jos käytetyillä tavoilla voidaan rajoittaa asuinrakennusten lämmityksen huipputehoa niin tämän vaikutusta lämmityksen kulutusjoustoon kaukolämpöverkostossa olisi myös syytä tutkia.

Tätä työtä tehdessä huomasi ja oppi, ettei kaikkia mahdollisia säätötekniisiä muutoksia kannata välttämättä tehdä samaan kohteeseen ja ettei samoilla muutoksilla saada aikaan samanlaisia tuloksia eri lämmönjakotavoilla. Ennen rajoitustapojen käyttöä onkin mietittävä minkälainen lämmitysjärjestelmä rakennuksessa on ja minkä tyyppinen rakennus on kyseessä.

## LÄHTEET

Energiateollisuus ry. 2020. Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2020. [Verkkajulkaisu]. Luettu 9.3.2021. [https://energia.fi/fi-les/5423/JulkaistuK1\\_2020\\_Energiateollisuus\\_ry\\_%28paiv.\\_20201119%29.pdf](https://energia.fi/fi-les/5423/JulkaistuK1_2020_Energiateollisuus_ry_%28paiv._20201119%29.pdf)

Energiateollisuus ry. n.d. Kaukolämpö. [Verkkajulkaisu]. Luettu 9.3.2021. <https://kaukolampo.fi/>

EQUA Simulation AB. 2020. IDA Indoor Climate and Energy. [Verkkajulkaisu]. Luettu 2.4.2021. <https://www.equa.se/fi/ida-ice>

Finlex. 2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Julkaistu 12/2017. Luettu 12.4.2021. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>

Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo. Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöministeriö. Luettu 10.3.2021. [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO\\_2013.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4&isAllowed=y)

Korhonen Saku & Simppala Matti. 2020. Konsulttitoimisto Enersys Oy. Asian-tuntijahaastattelu. 1.6.2020.

Lin G., Xuyang C., Jiaxin N., Wanning L., Tao H., Chao B., Junhong Y. 2017. Technologies in Smart District Heating System. Elsevier Ltd. Luettu 15.4.2021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217363270>

LVI 10-10397. 2006. Rakennusten lämmitys. Helsinki: Rakennustieto Oy. Vaatii käyttöoikeuden. Luettu 26.3.2021. <https://kortistot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/kortit/LVI%2010-10397>

LVI 10-10558. 2015. Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina. Suositus K15/2014. Helsinki: Rakennustieto Oy. Vaatii käyttöoikeuden. Luettu 10.3.2021. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/LVI%2010-10558>

LVI 12-10343. 2002. Vesikiertoinen patterilämmitys. Helsinki: Rakennustieto Oy. Vaatii käyttöoikeuden. Luettu 20.3.2021. <https://kortistot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/kortit/LVI%2012-10343>

LVI 13-10261. 1996. Vesikiertoinen lattialämmitys. Helsinki: Rakennustieto Oy. Vaatii käyttöoikeuden. Luettu 20.3.2021. <https://kortistot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/kortit/LVI%2013-10261>

Motiva Oy. 2012. Lämpö kotiin keskitetysti - Kaukolämpö. [Verkkajulkaisu]. Julkaistu 07/2012. Luettu 9.3.2021. [https://www.motiva.fi/files/7963/Lampoa\\_kotiin\\_keskitetysti\\_Kaukolampo.pdf](https://www.motiva.fi/files/7963/Lampoa_kotiin_keskitetysti_Kaukolampo.pdf)

Motiva Oy. 2012. Lämpöä omasta maasta - Maalämpöpumput. [Verkkajulkaisu]. Julkaistu 07/2012. Luettu 12.3.2021. [https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/kaikki\\_julkaisut/lampoa\\_omasta\\_maasta\\_maalampopumput.9236.shtml](https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/kaikki_julkaisut/lampoa_omasta_maasta_maalampopumput.9236.shtml)

Motiva Oy. 2018. Lämmityksen säätökäyrä ja lämpimän käyttöveden oikea lämpötila. [Verkkajulkaisu]. Päivitetty 4.9.2018. Luettu 26.3.2021. [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/lahtotilanteeseen\\_tutustuminen/lammituksen\\_saatokayra\\_ja\\_lampiman\\_kayttoveden\\_oikea\\_lampotila](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/lahtotilanteeseen_tutustuminen/lammituksen_saatokayra_ja_lampiman_kayttoveden_oikea_lampotila)

Motiva Oy. 2019. Kaukolämpö. [Verkkajulkaisu]. Päivitetty 26.3.2019. Luettu 9.3.2021. [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo)

Motiva Oy. 2021. Vesikiertoinen lämmitys – ylläpito ja säätö. [Verkkajulkaisu]. Päivitetty 2.3.2021. Luettu 26.3.2021. [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/hyva\\_arki\\_kotona/kodin\\_saatolaitteet/vesikiertoinen\\_lammitys\\_-\\_yllapito\\_ja\\_saato](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/kodin_saatolaitteet/vesikiertoinen_lammitys_-_yllapito_ja_saato)

Oy Lindab Ab. n.d. Kattolämmityksen opas. [Verkkajulkaisu]. Luettu 26.3.2021. [www.lindab.com/fi/Documents/Ilmastointi/esitteet%20ja%20dokumentit/Kattol%C3%A4mmitys.pdf](http://www.lindab.com/fi/Documents/Ilmastointi/esitteet%20ja%20dokumentit/Kattol%C3%A4mmitys.pdf)

RT 50-10755. 2001. Maalämmitys. Helsinki: Rakennustieto Oy. Vaatii käyttöi-  
keuden. Luettu 12.3.2021. <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2050-10755>

Vantaan Energia. n.d. Kaukolämmön Myyntihinnasto 1.1.2021 alkaen. [Verkkajulkaisu]. Luettu 9.4.2021. [https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/vantaanenergia/uploads/20210107153025/Kaukolammon\\_myyntihinnasto\\_010121.pdf](https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/vantaanenergia/uploads/20210107153025/Kaukolammon_myyntihinnasto_010121.pdf)

## LIITTEET

## Liite 1. Liikerakennus ostoenergiankulutusraportit

1 (4)

## Ostoenergiankulutusraportti

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	200171	77.3	200171	77.3	49.24	240205	92.8
LVI sähkö	56574	21.9	56574	21.9	10.84	67889	26.2
Sähkölämmitys, kiinteistö	227	0.1	227	0.1	3.77	272	0.1
Yhteensä, Kiinteistösähkö	256972	99.2	256972	99.2		308366	119.1
Yhteensä	256972	99.2	256972	99.2		308366	119.1
Laitteet, asukas	10535	4.1	10535	4.1	2.59	12642	4.9
Lämmitys, asukas	35850	13.8	35850	13.8	35.55	43020	16.6
Yhteensä, Asukkaan sähkö	46385	17.9	46385	17.9		55662	21.5
	Tuotettu energia		Myyty energia		Tuotettu		
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	0	0.0	0	0.0		0	0.0
Yhteensä	303357	117.1	303357	117.1		364028	140.6

## Ostoenergiankulutusraportti

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	200186	77.3	200186	77.3	49.24	240223	92.8
LVI sähkö	56568	21.8	56568	21.8	10.84	67882	26.2
Sähkölämmitys, kiinteistö	232	0.1	232	0.1	3.88	279	0.1
Yhteensä, Kiinteistösähkö	256986	99.2	256986	99.2		308384	119.1
Yhteensä	256986	99.2	256986	99.2		308384	119.1
Laitteet, asukas	10536	4.1	10536	4.1	2.59	12643	4.9
Lämmitys, asukas	35847	13.8	35847	13.8	35.48	43017	16.6
Yhteensä, Asukkaan sähkö	46383	17.9	46383	17.9		55660	21.5
	Tuotettu energia		Myyty energia		Tuotettu		
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	0	0.0	0	0.0		0	0.0
Yhteensä	303369	117.1	303369	117.1		364044	140.6



**Ostoenergiankulutusraportti**

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	200321	77.4	200321	77.4	49.24	240385	92.8
LVI sähkö	54020	20.9	54020	20.9	10.84	64824	25.0
Sähkölämmitys, kiinteistö	192	0.1	192	0.1	1.42	230	0.1
Yhteensä, Kiinteistösähkö	254533	98.3	254533	98.3		305439	117.9
Yhteensä	254533	98.3	254533	98.3		305439	117.9
Laitteet, asukas	10543	4.1	10543	4.1	2.59	12652	4.9
Lämmitys, asukas	39731	15.3	39731	15.3	35.41	47677	18.4
Yhteensä, Asukkaan sähkö	50274	19.4	50274	19.4		60329	23.3
	Tuotettu energia		Myyty energia		Tuotettu		
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	0	0.0	0	0.0		0	0.0
Yhteensä	304807	117.7	304807	117.7		365768	141.2

**Ostoenergiankulutusraportti**

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	200314	77.4	200314	77.4	49.24	240377	92.8
LVI sähkö	53989	20.9	53989	20.9	10.84	64787	25.0
Sähkölämmitys, kiinteistö	193	0.1	193	0.1	1.43	231	0.1
Yhteensä, Kiinteistösähkö	254496	98.3	254496	98.3		305395	117.9
Yhteensä	254496	98.3	254496	98.3		305395	117.9
Laitteet, asukas	10543	4.1	10543	4.1	2.59	12651	4.9
Lämmitys, asukas	39743	15.4	39743	15.4	35.38	47692	18.4
Yhteensä, Asukkaan sähkö	50286	19.4	50286	19.4		60343	23.3
	Tuotettu energia		Myyty energia		Tuotettu		
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	0	0.0	0	0.0		0	0.0
Yhteensä	304782	117.7	304782	117.7		365738	141.2

3 (4)

**Ostoenergiankulutusraportti**

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	200168	77.3	200168	77.3	49.24	240202	92.8
LVI sähkö	56594	21.9	56594	21.9	10.84	67913	26.2
Sähkölämmitys, kiinteistö	291	0.1	291	0.1	5.65	349	0.1
Yhteensä, Kiinteistösähkö	257053	99.3	257053	99.3		308464	119.1
Yhteensä	257053	99.3	257053	99.3		308464	119.1
Laitteet, asukas	10535	4.1	10535	4.1	2.59	12642	4.9
Lämmitys, asukas	31417	12.1	31417	12.1	31.82	37700	14.6
Yhteensä, Asukkaan sähkö	41952	16.2	41952	16.2		50342	19.4
	Tuotettu energia		Myyty energia		Tuotettu		
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	0	0.0	0	0.0		0	0.0
Yhteensä	299005	115.5	299005	115.5		358806	138.5

**Ostoenergiankulutusraportti**

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	200164	77.3	200164	77.3	49.24	240197	92.8
LVI sähkö	56580	21.9	56580	21.9	10.84	67896	26.2
Sähkölämmitys, kiinteistö	389	0.2	389	0.2	6.82	467	0.2
Yhteensä, Kiinteistösähkö	257133	99.3	257133	99.3		308560	119.1
Yhteensä	257133	99.3	257133	99.3		308560	119.1
Laitteet, asukas	10535	4.1	10535	4.1	2.59	12642	4.9
Lämmitys, asukas	31199	12.1	31199	12.1	31.59	37439	14.5
Yhteensä, Asukkaan sähkö	41734	16.1	41734	16.1		50081	19.3
	Tuotettu energia		Myyty energia		Tuotettu		
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	0	0.0	0	0.0		0	0.0
Yhteensä	298867	115.4	298867	115.4		358641	138.5

4 (4)

**Ostoenergiankulutusraportti**

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	200330	77.4	200330	77.4	49.24	240396	92.8
LVI sähkö	54085	20.9	54085	20.9	10.84	64902	25.1
Sähkölämmitys, kiinteistö	1587	0.6	1587	0.6	20.7	1905	0.7
Yhteensä, Kiinteistösähkö	256002	98.9	256002	98.9		307203	118.6
Yhteensä	256002	98.9	256002	98.9		307203	118.6
Laitteet, asukas	10544	4.1	10544	4.1	2.59	12652	4.9
Lämmitys, asukas	33944	13.1	33944	13.1	31.62	40733	15.7
Yhteensä, Asukkaan sähkö	44488	17.2	44488	17.2		53385	20.6
	Tuotettu energia		Myyty energia		Tuotettu		
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	0	0.0	0	0.0		0	0.0
Yhteensä	300490	116.0	300490	116.0		360588	139.2

**Ostoenergiankulutusraportti**

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	200331	77.4	200331	77.4	49.24	240397	92.8
LVI sähkö	54068	20.9	54068	20.9	10.84	64882	25.1
Sähkölämmitys, kiinteistö	3324	1.3	3324	1.3	22.95	3989	1.5
Yhteensä, Kiinteistösähkö	257723	99.5	257723	99.5		309268	119.4
Yhteensä	257723	99.5	257723	99.5		309268	119.4
Laitteet, asukas	10543	4.1	10543	4.1	2.59	12652	4.9
Lämmitys, asukas	32816	12.7	32816	12.7	31.48	39379	15.2
Yhteensä, Asukkaan sähkö	43359	16.7	43359	16.7		52031	20.1
	Tuotettu energia		Myyty energia		Tuotettu		
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	0	0.0	0	0.0		0	0.0
Yhteensä	301082	116.3	301082	116.3		361299	139.5

## Liite 2. Opetusrakennuksen ostoenergiankulutuksenraportit

1 (3)

**Ostoenergiankulutusraportti**

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	54686	16.9	54686	16.9	26.22	65623	20.3
LVI sähkö	57916	17.9	57916	17.9	18.91	69499	21.5
Sähkölämmitys, kiinteistö	286	0.1	286	0.1	13.2	343	0.1
Yhteensä, Kiinteistösähkö	112888	34.9	112888	34.9		135465	41.9
Yhteensä	112888	34.9	112888	34.9		135465	41.9
Laitteet, asukas	31248	9.7	31248	9.7	14.98	37498	11.6
Lämmitys, asukas	61641	19.1	61641	19.1	50.62	73969	22.9
Yhteensä, Asukkaan sähkö	92889	28.7	92889	28.7		111467	34.5
	Tuotettu energia		Myyty energia		Tuotettu		
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	0	0.0	0	0.0		0	0.0
Yhteensä	205777	63.6	205777	63.6		246932	76.3

**Ostoenergiankulutusraportti**

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	54685	16.9	54685	16.9	26.22	65622	20.3
LVI sähkö	57803	17.9	57803	17.9	18.91	69364	21.4
Sähkölämmitys, kiinteistö	348	0.1	348	0.1	12.18	417	0.1
Yhteensä, Kiinteistösähkö	112836	34.9	112836	34.9		135403	41.9
Yhteensä	112836	34.9	112836	34.9		135403	41.9
Laitteet, asukas	31250	9.7	31250	9.7	14.98	37500	11.6
Lämmitys, asukas	61786	19.1	61786	19.1	50.64	74143	22.9
Yhteensä, Asukkaan sähkö	93036	28.8	93036	28.8		111643	34.5
	Tuotettu energia		Myyty energia		Tuotettu		
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	0	0.0	0	0.0		0	0.0
Yhteensä	205872	63.6	205872	63.6		247046	76.4



## Ostoenergiankulutusraportti

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	54692	16.9	54692	16.9	26.22	65630	20.3
LVI sähkö	57790	17.9	57790	17.9	18.91	69348	21.4
Sähkölämmitys, kiinteistö	432	0.1	432	0.1	12.16	519	0.2
Yhteensä, Kiinteistösähkö	112914	34.9	112914	34.9		135497	41.9
Yhteensä	112914	34.9	112914	34.9		135497	41.9
Laitteet, asukas	31251	9.7	31251	9.7	14.98	37501	11.6
Lämmitys, asukas	61664	19.1	61664	19.1	50.6	73997	22.9
Yhteensä, Asukkaan sähkö	92915	28.7	92915	28.7		111498	34.5
	Tuotettu energia		Myyty energia		Tuotettu		
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	0	0.0	0	0.0		0	0.0
Yhteensä	205829	63.6	205829	63.6		246995	76.4

## Ostoenergiankulutusraportti

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	54681	16.9	54681	16.9	26.22	65617	20.3
LVI sähkö	57895	17.9	57895	17.9	18.91	69474	21.5
Sähkölämmitys, kiinteistö	137	0.0	137	0.0	10.13	165	0.1
Yhteensä, Kiinteistösähkö	112713	34.8	112713	34.8		135256	41.8
Yhteensä	112713	34.8	112713	34.8		135256	41.8
Laitteet, asukas	31243	9.7	31243	9.7	14.98	37492	11.6
Lämmitys, asukas	61640	19.1	61640	19.1	50.73	73968	22.9
Yhteensä, Asukkaan sähkö	92883	28.7	92883	28.7		111460	34.5
	Tuotettu energia		Myyty energia		Tuotettu		
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	0	0.0	0	0.0		0	0.0
Yhteensä	205596	63.6	205596	63.6		246716	76.3

3 (3)

### Ostoenergiankulutusraportti

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	54686	16.9	54686	16.9	26.22	65623	20.3
LVI sähkö	57853	17.9	57853	17.9	18.91	69424	21.5
Sähkölämmitys, kiinteistö	162	0.1	162	0.1	8.42	194	0.1
Yhteensä, Kiinteistösähkö	112701	34.8	112701	34.8		135241	41.8
Yhteensä	112701	34.8	112701	34.8		135241	41.8
Laitteet, asukas	31248	9.7	31248	9.7	14.98	37498	11.6
Lämmitys, asukas	63699	19.7	63699	19.7	50.64	76439	23.6
Yhteensä, Asukkaan sähkö	94947	29.4	94947	29.4		113937	35.2
	Tuotettu energia		Myyty energia		Tuotettu		
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	0	0.0	0	0.0		0	0.0
Yhteensä	207648	64.2	207648	64.2		249178	77.0

### Ostoenergiankulutusraportti

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	54685	16.9	54685	16.9	26.22	65622	20.3
LVI sähkö	57851	17.9	57851	17.9	18.91	69421	21.5
Sähkölämmitys, kiinteistö	834	0.3	834	0.3	10.59	1001	0.3
Yhteensä, Kiinteistösähkö	113370	35.0	113370	35.0		136044	42.1
Yhteensä	113370	35.0	113370	35.0		136044	42.1
Laitteet, asukas	31250	9.7	31250	9.7	14.98	37500	11.6
Lämmitys, asukas	63262	19.6	63262	19.6	50.67	75914	23.5
Yhteensä, Asukkaan sähkö	94512	29.2	94512	29.2		113414	35.1
	Tuotettu energia		Myyty energia		Tuotettu		
CHP tuotto	0	0.0	0	0.0	0.0	0	0.0
Yhteensä, Tuotettu sähkö	0	0.0	0	0.0		0	0.0
Yhteensä	207882	64.3	207882	64.3		249458	77.1