

Uudisrakennuksen E-luvun laskenta ja energiatodistuksen eroavaisuudet eri lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien välillä

Christian Strömberg

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Energia- ja ympäristötekniikka
Tunnistenumero:	16653
Tekijä:	Christian Strömberg
Työn nimi:	Uudisrakennuksen E-luvun laskenta ja energiatodistuksen eroavaisuudet eri lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien välillä
Työn ohjaaja (Arcada):	Kim Skön
Toimeksiantaja:	Rejlers Finland Oy
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Rakennusluvan myöntäminen majoitusliikerakennuksille edellyttää energiatodistuksen laatimista. Energiatodistus perustuu laskennalliseen E-lukuun. E-lukuun vaikuttavat kohteen lämmitetty pinta-ala sekä kokonaisenergia. Opinnäytetyö tarkastelee Helsingissä sijaitsevan majoitusliikerakennuksen eri energiamuotoja hyödyntävien järjestelmien energiankulutusta. Lämmitysjärjestelmissä vertailtiin kaukolämpöä, maalämpöä, sähköä ja fossiilisen polttoaineen energiakulutuksen eroavaisuuksia käyttäen IDA ICE -ohjelmistoa. Rakennuksen jäähdytys simuloitiin samanaikaisesti lämmityssimuloinnin kanssa IDA ICE -ohjelmalla käyttäen jäähdytysjärjestelminä kaukokylmää, maalämpöä, sähköä sekä polttoainetta. Käytännössä lämmityksen sekä jäähdytyksen simulointi tapahtuu IDA ICE -ohjelmassa vaihtamalla energiamuotoa. Ohjelma päättää itse, miten se hyödyntää kyseistä energiamuotoa ja tekee muutokset primäärijärjestelmään. Maalämmön primäärijärjestelmään jouduttiin tekemään eniten muutoksia verrattuna muihin energiamuotojen primäärijärjestelmiin. Eri energiamuotojen valmiiden simulointien välillä voidaan nähdä selvä ero. Tulosten perusteella maalämpö on nykyhetken säädösten mukaan paras vaihtoehto, kun tavoitellaan mahdollisimman alhaista E-lukua rakennukselle. Maalämmön simulaation tuloksena saatiin rakennuksen E-luvuksi 155 kWh/(m²vuosi), jolloin energiatodistuksen luokka on B. Maalämpö oli ainoa energiamuoto, joka alitti ympäristöministeriön asettaman energiakulutuksen ylärajan, joka on majoitusliikerakennuksille 160 kWh/(m²vuosi). Maalämmön lisäksi myös kaukolämmön energiamuodolla saavutettiin B-luokan energiatodistus. Kaukolämmön E-luvuksi saatiin 168 kWh/(m²vuosi). Maantieteellisestä syystä johtuen tarkastellussa majoitusliikerakennuksessa ei voida käyttää maalämpöä. Kohteessa on päädytty käyttämään kaukolämpöä ja -kylmää. Tästä johtuen rakennuksen energiakulutus on liian korkea, josta johtuen kohde joudutaan osittain suunnittelemaan uudelleen energiakulutuksen pienentämiseksi.</p>	
Avainsanat:	E-luku, Energiatodistus, IDA ICE
Sivumäärä:	29+4
Kieli:	Suomi
Hyväksymispäivämäärä:	14.2.2019

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Energi- och Miljöteknik
Identifikationsnummer:	16653
Författare:	Christian Strömberg
Arbetets namn:	Uudisrakennuksen E-luvun laskenta ja energiatodistuksen eroavaisuudet eri lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien välillä
Handledare (Arcada):	Kim Skön
Uppdragsgivare:	Rejlers Finland Oy
<p>Sammandrag:</p> <p>För att göra ett energicertifikat måste man räkna byggnadens E-tal. Det får man genom att räkna den totala energiförbrukningen delad med den värmda nettoarean (kWh/m²år). I arbetet har E-talet räknats med hjälp av simulationsprogrammet IDA ICE. Miljöministeriet har kategoriserat byggnaderna på basis av storlek och användningsändamål. Examensarbetet fokuserar på en hotellbyggnad lokaliserad i Helsingfors, alltså användningskategori 5. Varje kategori graderas alfabetiskt, där A är bäst och G är sämst på basis av E-talet. Energicertifikat kan endast skrivas av en person som har giltigt lov. Med hjälp av programmet fick man pålitliga simulationsresultat och det gick att dra en tydlig slutsats om vilken energiform det lönar sig använda för både uppvärmning samt kylning av fastigheten. De bästa resultaten fick man med jordvärme, vars E-tal blev 155 (kWh/m²år). Energiprestandaklassen för hotellbyggnader i B-klass är från 91 till 170 (E-tal), det betyder att byggnaden är B-klassad. Fastän de bästa resultaten var jordvärme så kan man inte utnyttja jordvärme i fastigheten, eftersom den är placerad i centrala Helsingfors och det finns planer på att bygga en tunnel rakt under den, vilket betyder att jordvärme inte kan utnyttjas. Fastigheten kommer att anslutas till fjärrvärme och fjärrkyla; problemet är att med den energiformen kommer byggnaden att förbruka 168 (kWh/m²år) enligt IDA ICE simuleringen, vilket överskrider Miljöministeriets anvisning 1010/2017 i vilken inkvarteringsbyggnader (t.ex. hotell) inte får överskrida 160 (kWh/m²år). Byggnadslov kan inte godkännas innan förbrukningen har konstaterats understiga 160 (kWh/m²år), därför måste hen som gjort energisimuleringarna meddela de som planerar byggnaden att energiförbrukningen måste sänkas. Det finns inget rätt sätt att sänka energiförbrukningen, men i vanliga fall handlar det om att byta halogenlampor till LED-lampor och förbättra U-värdena på byggnaden. Då byggnaden har planerats om och den är godkänd, kommer den att ha energiprestandaklass B i energicertifikatet.</p>	
Nyckelord:	E-tal, Energicertifikat, IDA ICE
Sidantal:	29+4
Språk:	Finska
Datum för godkännande:	14.2.2019

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO.....	5
2.	TEORIA.....	5
2.1	Energiatehokkuus.....	5
2.2	Energiatodistus.....	7
2.3	Lämmitysjärjestelmät.....	11
2.4	Maalämpöteoria.....	12
3.	IDA ICE -SIMULOINTI.....	13
3.1	Kohde	13
3.1	Laskenta	15
3.2	IDA ICE -simulointi	16
3.3	Maalämmön simulointi	17
3.4	Kaukolämmön ja -kylmän simulointi	21
3.5	Sähkölämmityksen ja -jäähdytyksen simulointi.....	21
3.6	Kaasu- tai polttoainejärjestelmän simulointi.....	22
4.	TULOS	23
5.	POHDINTA	27
6.	JOHTOPÄÄTÖKSET	28
	LÄHTEET	29
	LIITTEET	30

1. JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoite on käydä läpi koko energiatodistuksen laadintaprosessi jäähdetyille uudisrakennukselle. Jotta energiatodistuksen voi tehdä, täytyy ensin selvittää rakennuksen E-luku. E-luku selvitetään hyödyntäen IDA ICE -simulaatiota. Tavoitteena on verrata eri järjestelmien energiamuotoja ja tehdä havaintoja tehokkuuden eroavaisuuksista. Täten saamme selville järjestelmän joka antaa parhaan energiatodistuksen tarkasteltavalle rakennukselle IDA ICE -simulaatioiden perusteella.

Eri lämmitys- ja jäähdetyjärjestelmiä vertaillaan Helsingissä sijaitsevaan majoitusliikerakennukseen, hyödyntäen vuoden 2018 tammikuussa voimaan astuneita ympäristöministeriön asetuksia 1048/2017, 1010/2017 ja valtioneuvoston asetusta 788/2010. Vertailussa tavoitellaan mahdollisimman korkealuokkaista energiatodistusta. Työssä ei oteta huomioon mahdollisia kustannuseroavaisuuksia järjestelmien välillä, keskitymme pelkästään E-lukuvertailuun ja energiatodistukseen ja sen tekoon.

Opinnäytetyön aihe sekä kohde on saatu Rejlers Finland Oy:ltä. Opinnäytetyössä tarvittava IDA ICE -ohjelma on myös Rejlersin tarjoama. IDA ICE valittiin opinnäytetyön simulointiohjelmaksi koska se on Suomessa suosituin ohjelma energiatodistuksen E-luvun ja energiatehokkuuden simuloimiseen.

2. TEORIA

2.1 Energiatehokkuus

Energiatehokkuutta voidaan tarkastella E-luvulla, joka on laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku. E-luku on määritelty ympäristöministeriön laatimassa säädöskaaviossa 1048/2017. Ostoenergia, ostoenergian energiamuodonkerroin

(Taulukko 1) sekä lämmitetyn nettoalan suhde määrittelevät E-luvun:

$$E - luku = \frac{\text{ostoenergia} \cdot \text{energiamuotokerroin}}{\text{lämmitetty nettoala vuodessa}} = \frac{\text{kokonaisenergia}}{\text{lämmitetty nettoala vuodessa}} \text{ (kWh/m}^2\text{vuosi)} \quad (1)$$

Energiamuotojen kertoimet on säädetty maankäyttö- ja rakennuslain nojalla valtioneuvoston asetuksessa (788/2017), rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista.

Taulukko 1. Energiamuotojen kertoimet. (788/2017).

Energiamuoto	Energiamuotokerroin
sähkö	1,2
kaukolämpö	0,5
kaukojäähdytys	0,28
fossiiliset polttoaineet	1,0
rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet	0,5

Lämpöpumpulla varustetun rakennuksen lämmityksen sähkönkulutus voidaan laskea lämmitysenergiatarpeen, järjestelmähyötysuhteen, SPF-luvun sekä energiamuotokerroimen avulla (RakMk d5 2015):

$$\text{lämmityksen sähkönkulutus lämpöpumpulla} = \frac{\text{lämmitysenergiatarve}}{\text{järjestelmähyötysuhde} \cdot \text{SPF} - \text{luku}} \cdot \text{energiamuotokerroin} \quad (2)$$

Kokonaisenergiatarve rakennukselle jossa ei ole lämpöpumppua:

$$\text{kokonaisenergia} = \text{lämmitysenergiatarve} \cdot \text{järjestelmähyötysuhde} \cdot \text{energiamuotokerroin} \quad (3)$$

SPF-luku (*seasonal performance factor*) on kuluneen vuoden tuotetun energian ja ostetun energian suhde.

$$\text{SPF} - \text{luku} = \frac{\text{tuotettu energia}}{\text{ostettu energia}} \quad (4)$$

Mitä korkeampi SPF-luku lämpöpumpulla on, sitä tehokkaampi ja energiatuottoisampi rakennuksen lämpöpumppu on.

Rakennuksen rakenteiden kuten ulkoseinien, ikkunoiden, alapohjien ja yläpohjien lämpöhäviöt ovat riippuvaisia U-arvoista, pinta-aloista sekä lämpötilaerosta.

$$\text{Lämmitysenergiantarve} = \sum U - \text{arvo} \cdot A \cdot \Delta t \cdot 1000 \text{ (kWh)} \quad (5)$$

U-arvo eli lämpöläpäisykerroin on ominainen jokaiselle rakennuksen osalle kuten ulkoseinälle, ikkunalle ja alapohjalle riippuen rakenteen materiaalista. U-arvo lasketaan seuraavasti:

$$U - \text{arvo} = \frac{P}{A\Delta T} \text{ (W/m}^2\text{K)} \quad (6)$$

Jossa P on lämpöteho, A on pinta-ala ja ΔT lämpötilan muutos. Rakennusmateriaalien kehitys on johtanut parempiin U-arvoihin vuosien varrella. Mitä alhaisempi U-arvo, sitä energiatehokkaampi rakennus on.

2.2 Energiatodistus

Energiatodistus tulee esittää rakennuslupaa hakiessa sekä myynnin tai vuokrauksen yhteydessä. On poikkeuksia, milloin energiatodistusta ei kuitenkaan tarvita. Seuraaville rakennuksille ei tarvitse esittää energiatodistusta (Motiva 2018):

- rakennus, jonka kerrosala on alle 50 neliömetriä
- loma-asumiseen tarkoitettuun asuinrakennus, jota ei käytetä majoituselinkeinoon harjoittamiseen
- määräajan paikallaan pysytettävä tai tilapäinen rakennus, jonka käyttöaika on enintään kaksi vuotta

- teollisuus- ja korjaamorakennus
- muuhun kuin asuinkäyttöön tarkoitettu maatilarakennus, jossa energiantarve on vähäinen tai jota käytetään alalla, jota koskee kansallinen alakohtainen energiatehokkuussopimus
- rakennus, jota käytetään hartauden harjoittamiseen ja uskonnolliseen toimintaan
- rakennus, jota suojellaan rakennusperinnön suojelemisesta annetun lain mukaan(498/2010), kaavassa annetun suojelumääräyksen tai maailman kulttuuri- ja luonnonperinnön suojelemisesta tehdyn yleissopimuksen (SopS 19/1987) mukaiseen maailmanperintöluetteloon hyväksymisen nojalla osana määrättyä ympäristöä tai sen erityisten arkkitehtonisten tai historiallisten ansioiden vuoksi siltä osin, kuin sen luonne tai ulkonäkö muuttuisi energiatehokkuutta koskevien vähimmäisvaatimusten noudattamisen vuoksi tavalla, jota ei voida hyväksyä.
 - Energiatodistuksen laatiminen ei muuta rakennuksen luonnetta tai ulkonäköä, joten energiatodistus laaditaan yleisesti ottaen myös suojelluille rakennuksille. Suojelupäätös vaikuttaa energiatodistuksessa annettaviin suosituksiin energiatehokkuuden parantamisesta.
- sellainen puolustushallinnon käytössä oleva rakennus, johon tai jonka käyttöön liittyy salassa pidettävää tietoa.

Jotta suurten, pienten ja eri käyttötarkoituksiin tarkoitettujen rakennuksien energiatodistuksia voidaan vertailla tasapuolisesti, energiatodistukset laaditaan käyttötarkoituseräluokan perusteella. Rakennukset jaetaan 9 eri käyttötarkoituseräluokkaan (Taulukko 2).

Taulukko 2. Rakennusten käyttötarkoitukseluokat. Säädek 1048/2017.

Pienet asuinrakennukset	(käyttötarkoitukseluokka 1 a-c)
Rivitalot ja 2-kerroksiset asuinkerrostalot	(käyttötarkoitukseluokka 1d)
Rakennukset on jaettu seuraavasti: Asuinkerrostalot	(käyttötarkoitukseluokka 2)
Toimistorakennukset	(käyttötarkoitukseluokka 3)
Liikerakennukset	(käyttötarkoitukseluokka 4)
Majoitusliikerakennukset	(käyttötarkoitukseluokka 5)
Opetusrakennukset ja päiväkodit	(käyttötarkoitukseluokka 6)
Liikuntahallit (lukuun ottamatta uimahalleja ja jäähalleja)	(käyttötarkoitukseluokka 7)
Sairaalat	(käyttötarkoitukseluokka 8)
Muut rakennukset	(käyttötarkoitukseluokka 9)

Energiatodistuksen päätarkoituksena on määrittää rakennuksen energialuokka, tai energiakulutus joka esitetään E-luvun muodossa. Yksittäiset käyttötarkoitukseluokat jaetaan vielä energiatehokkuusluokkiin E-luvun perusteella, jossa A on paras energiatehokkuus luokka ja G on huonoin mahdollinen luokitus.

Opinnäytetyön kohde, majoitusliikerakennus sijoittuu käyttötarkoitukseluokkaan 5. Majoitusliikerakennuksia ovat hotellit, asuntolat, palvelutalot, vanhainkodit sekä hoitolaitokset. Taulukossa 3 on esitetty energiatehokkuusluokat käyttötarkoitukseluokan 5 rakennuksille. Jotta paras energiatehokkuusluokka A voidaan saavuttaa, rakennuksen E-luku tulee olla 90 kWh/(m²vuosi) tai alle (taulukko 3).

Taulukko 3. Käyttötarkoitukseluokan 5 energiatehokkuusluokat (SäädK 1048/2017).

Energiatehokkuusluokka	E-luku (kWh/m ² vuosi)
A	E-luku £ 90
B	91 £ E-luku £ 170
C	171 £ E-luku £ 240
D	241 £ E-luku £ 280
E	281 £ E-luku £ 340
F	341 £ E-luku £ 450
G	451 £ E-luku

Energiatodistuksen voi laatia vain henkilö jolla on voimassa oleva pätevyys. Energiatodistus pätevyys tasoja on kaksi; perustaso ja ylemmän tason pätevyys. Molempiin tasoihin vaaditaan tekniikan alan ammattikorkeakoulu tutkinto tai ylempi korkeakoulututkinto. Perustason tutkinnon voi saada hyväksytyksi työkokemuksen perusteella tekemällä rakennusten energiatehokkuuteen liittyvää työtä vähintään kolme vuotta, tai suorittamalla siihen liittyvän koulutuksen. Ylemmän tason pätevyyden voi saada suorittamalla perustason energiatodistuksen laatijapätevyyden ja suorittamalla vuoden verran työkokemusta energiatehokkuuden laskennasta dynaamisella laskentamenetelmällä, tai suorittamalla perustason koulutuksen lisäksi myös ylemmän tason koulutuksen. Molemmat pätevyudet ovat voimassa seitsemän vuotta. Rajatulla voimassaoloajalla varmistetaan laatijan pätevyys. Energiatodistuksen laatijalta vaaditaan ylemmän tason pätevyys aina kun rakennus on jäädytetty.

Energiatodistukset jaetaan kahteen eri luokkaan; normaali energiatodistus ja kevennetyn menettelyn mukainen energiatodistus. Kevennetyn energiatodistuksen voi laatia tietyissä erityistilanteissa. Motiva on ohjeistanut erityistilanteet, joissa voidaan laatia energiatodistus kevennetyn menetelmän mukaan (Motiva 2018):

Kevennettyä menettelyä voi käyttää, jos myytävä tai vuokrattava kohde (rakennus, kiinteistö, huoneisto tai sen hallintaoikeus enintään kaksi asuinhuoneistoa käsittävässä asuinrakennuksessa) on arvoltaan vähäinen.

- Kohteen arvo määritellään vähäiseksi, jos kohteen myyntihinta alittaa 50 000 euroa.
- Kohteen vuokra kuukaudessa alittaa 350 euroa.

Muu perusteltu syy kevennetyn menettelyn käyttämiseen:

- Kohde myydään tai vuokrataan lähisukulaisten välillä
- Kohdetta ei esitellä julkisesti myyntiä varten tai tarjota myytäväksi julkisesti esillä olevalla ilmoittelulla

Kevennetyn menettelyn mukaisesti energiatodistus laaditaan omalla lomakkeellaan, ja rakennuksen energiatehokkuutta kuvataan tunnuksella H (Motiva 2018).

Kevennetyn energiatodistuksen laatijalla ei tarvitse olla pätevyyttä. Rakennuksesta vastuussa oleva henkilö kuten myyjä tai vuokraaja voi tehdä kevennetyn energiatodistuksen itse. Jotta normaali energiatodistus voitaisiin laatia, täytyy laatijalla olla voimassa oleva lain edellyttämä pätevyys.

2.3 Lämmitysjärjestelmät

Rakennuksen lämmitysjärjestelmän vuosihyötysuhteella on merkittävä vaikutus rakennuksen kokonaisenergiakulutukseen. Taulukossa 4 esitetään lämmitysjärjestelmien vuosihyötysuhteita. Järjestelmän vuosihyötysuhteen lisäksi tulee ottaa huomioon apulaitteiden sähkön ominaiskulutus. Esimerkiksi huonekohtaisella sähkölämmityksellä on korkea vuosihyötysuhde ja apulaitteiden sähkön ominaiskulutus on nolla (Taulukko 4).

Taulukko 4. Lämmitysjärjestelmien vuosihyötysuhteita. 1 = öljy, 2 = kaasu, 3 = hyötysuhde alemman lämpöarvon mukaan. 1048/2017.

Lämmöntuotto	Vuosihyötysuhde	Apulaitteiden sähkön ominaiskulutus kWh/(m ² vuosi)
Öljy/kaasu, standardikattila	0,90	0,24 (1) 0,11 (2)
Öljy, kondenssikattila (3)	0,95	0,25
Kaasu, kondenssikattila (3)	1,01	0,12
Pellettikattila	0,84	0,13
Puukattila energiavaraajalla	0,82	0,25
Kaukolämpö	0,97	0,07
Huonekohtainen sähkölämmitys	1,00	0,00

2.4 Maalämpöteoria

Teoriassa maalämpöjärjestelmän lämmityksen lämpöpumpun sähkönkulutuksen voi laskea kaavalla 2. Esimerkiksi jos lämmitysenergiatarve on 20000 kWh, kohteessa on vesiradiaattorijärjestelmä, jonka järjestelmän hyötysuhde on 0,9 ja maalämpöpumpun SPF-luku on 3,5, rakennuksen lämmitysenergiakulutus on:

$$\text{lämmityksen sähkönkulutus lämpöpumpulla} = \frac{20\,000}{0,9 \cdot 2,5} \cdot 1,2 = 10\,666,66 \text{ kWh} \quad (2)$$

Maalämmölle sovelletaan sähkön energiakerrointa 1,2 (Taulukko 1). Koska järjestelmä hyödyntää lämpöpumppua, energiamuodonkerroin jaetaan laskennallisella lämpökertoimella (SPF-luvulla). Tällöin ylläolevan esimerkin maalämmön energiakerroin on 0,34. Energiamuodonkerroimeen vaikuttaa myös järjestelmän suunnitteluratkaisut. Maalämmön SPF-luku riippuu järjestelmässä käytettävistä lämpötiloista (taulukko 5).

Maalämmön simulointi IDA ICE -ohjelmalla on vaativampaa verrattuna muihin energiamuotoihin primäärijärjestelmään tehtävien muutoksien takia. Teoriassa IDA ICE laskee energiakulutuksen yllä olevan esimerkin perusteella.

Taulukko 5. Maalämpöpumppujen SPF-luvut, Säädk 1048/2017.

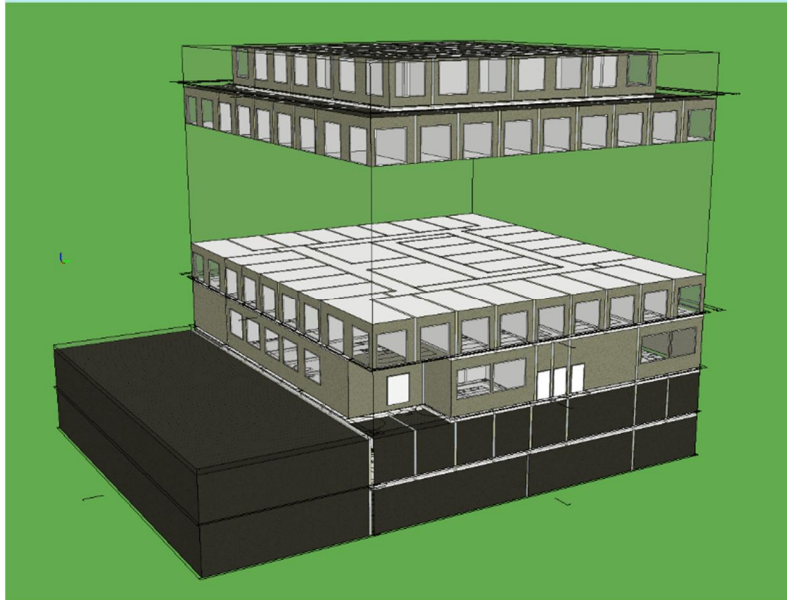
Maalämpöpumppu	SPF-luku	
	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila, -3 °C	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila, +3 °C
Tilojen lämmitys		
30°C	3,4	3,5
40°C	3,0	3,1
50°C	2,7	2,7
60°C	2,5	2,5
Käyttöveden lämmitys		
60°C	2,3	2,3

3. IDA ICE -SIMULOINTI

3.1 Kohde

Opinnäytetyön IDA ICE -simulaatioiden kohteena on kuvassa 1 esitetty majoitusliikerakennus. Kyseessä on Helsingissä sijaitseva hotellirakennus, jonka maaperän pinta-ala on 1309,9 m², tilavuus on 26100,5 m³ ja lattia-ala 8377 m². Kohteessa käytetään vesiradiaattorijärjestelmää 70/40 lämpötiloilla, joka liittyy kaukolämmön alakeskukseen. Kaukokylmään on myös liitytty käyttöveden ja jäähdytyksen kanssa. Uudisrakennus on rakennettu määräysten mukaisesti, joten simuloidessa otetaan huomioon D3-2012 ja C4-2012 määräykset ja niiden asettamat arvot (kuva 2). Ilmanvaihtokoneiden lämmöntalteenotto hyötysuhteet ovat väliltä 0,63-0,7 (kuva 3).

Valaistus ja laitteiden käyttöaste ja muu kuorma on asetettu D3 mukaisesti. Vuodot, ikkunat ja seinät ovat myös D3:n mukaiset. Kohteen keskimääräinen U-arvo on 0,3461 W/m²K.



Kuva 1. IDA ICE 3D malli tutkimus kohteesta.

Rakennuksen oletusarvot	
Rakenteet	
Ulkoseinät	D3 2012 ulkoseinä(betoni),lammin tila
Sisäseinät	Eristetty sisäseinä 1
Välipohjat	C4 2012 välipohja(betoni)
Ulkokatto	D3 2012 yläpohja(betoni),lammin tila
Alapohja	D3 2012 alapohja maata vasten, lammin tila
Kellarin maanvastainen seinä	D3 2012 ulkoseinä(betoni),lammin tila
Maanvastainen laatta	D3 2012 alapohja maata vasten, lammin tila
Lasitus	D3 2012 ikkuna, lammin tila
Ovien rakenne	D3 2012 ovi, lammin tila
Lasitukseen integroitu suojaus	Sälekaihtimet uloimpien lasien välissä

Kuva 2. Rakennuksen oletusarvot, IDA ICE

Ilmanvaihtoa ei ole muutettu eri simulaatiomallien välillä. Tuloilman lämpötilaksi on asetettu 18°C ja ilmanvaihtokoneita on 6 kappaletta. Koska mallissa on 4 identtistä kerrosta, niitä ei piirretä erikseen, vaan kerroksen alueet kopioidaan vastaamaan puuttuvien kerroksien kokonaista huonemäärää. Kohteen kaikki rakenteet vastaavat 2012 määräyksiä D3 ja C4. Kohteen ulkoseinä on betonia ja sisäseinät eristettyjä. Välipohjat, yläpohja sekä alapohja ovat betonia, kellarin seinät maata vasten betonia ja ikkunoiden välissä käytetään sälekaihtimia ulompien lasien välissä. Koska kohde sijaitsee Helsingissä, käytämme Helsingin ilmastoa simulointiasetuksissa. Vuotoilman määräksi on asetettu kiinteä $0,133\text{m}^3/(\text{h}/\text{m}^2)$ ulkovaippa). Maaperän asetuksissa käytetään C4 2012 hiekka.

General	Outline	Code
Heat exchanger		
Main parameters		
Effectiveness	<input type="text" value="0.67"/>	0-1
Capacity	<input type="text" value="n.a."/>	m ³ /s <input checked="" type="checkbox"/> unknown
Additional settings		
Minimum allowed leaving temperature	<input type="text" value="5"/>	°C (set >0 to avoid frost formation)

Kuva 3. Ilmanvaihtokoneen TK01 lämmönsiirrin, IDA ICE

3.1 Laskenta

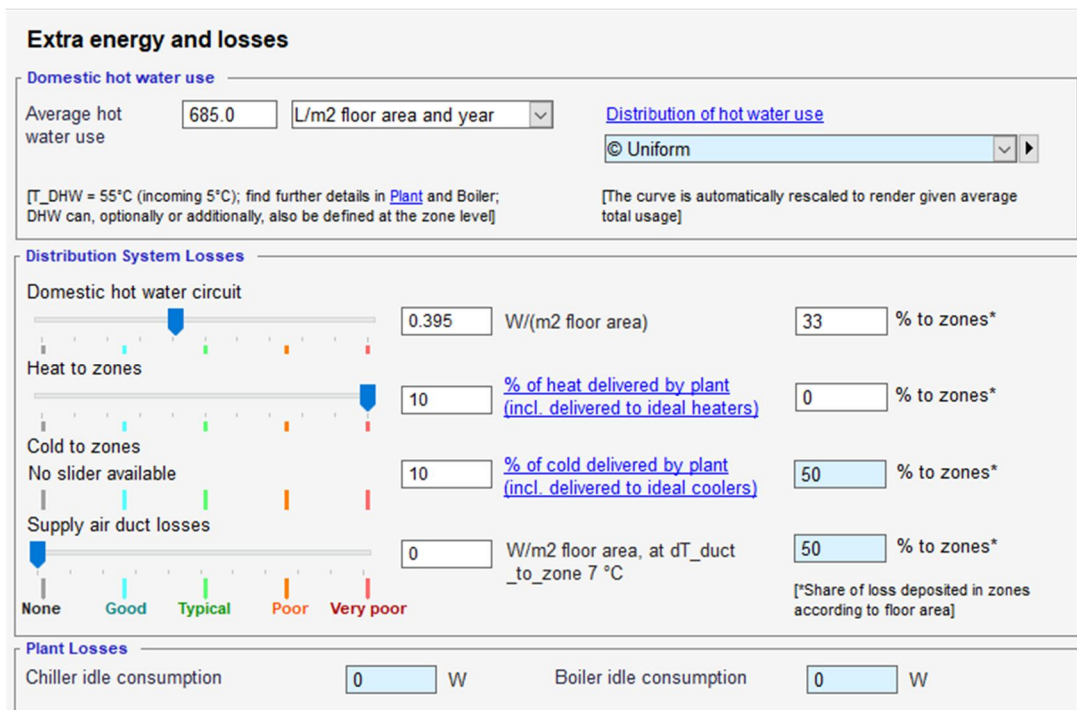
Energiakulutuksen laskenta suoritetaan IDA ICE 4.8 -ohjelmalla (expert lisenssillä), josta voidaan suoritetusta simulaatiosta tulostaa energiatodistuksen lähtötiedot ja alustavan Excel mallin energiatodistusta varten. IDA ICE on alan parhaita sovelluksia ja suosittu laskentatyökalu energiatodistusta laatiessa ympäri Suomen, tästä syystä sitä on myös hyödynnetty opinnäytetyössä. Energiakulutuksen pystyy myös laskemaan käsin esim. Excelillä, mutta mikäli kohteita on paljon, on nopeampaa, luotettavampaa ja ammattimaisempaa käyttää esimerkiksi IDA ICE -ohjelmaa. IDA ICE -ohjelma mahdollistaa simuloinnin eri lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmillä, mikä mahdollistaa

järjestelmien vertailun. Kun virallinen energiatodistus on tulostettu ARA-järjestelmästä, IDA ICE -mallia ei voida enää muokata. Tämä estää virallisten tulosten tai asetusten manipuloinnin jälkikäteen. Mikä on asiakkaan sekä suunnittelijan etu.

3.2 IDA ICE -simulointi

Jokaiselle eri energiamuotosimulaatiolle on luotu oma tiedosto saman alkuperäisen tiedoston pohjalta. Tällä on varmistettu, että simulaatioiden tulokset ovat luotettavia eikä niissä olla simuloitu toisen energiamuodon asetuksilla.

Maalämmön simulaatiossa lisäämään SPF-luvut COP (*coefficient of performance*) arvojen eli hyötysuhteiden kohdalle. Muissa tapauksissa lisätään COP-arvot COP-kohtaan.



Kuva 4. Rakennuksen lisäenergiat ja häviöt, IDA ICE

Simulaatiossa asetettiin lämpimän käyttöveden kulutukseksi $685\text{dm}^3/\text{m}^2\text{a}$, lämpimän käyttöveden putkiston lämpöhäviöksi asetettiin $0.395\text{W}/\text{m}^2$ josta 33% päätyy suoraan huoneisiin (kuva 4). Primäärijärjestelmän tuottama lämpöenergian hukkalämpö ja -jäähdytys asetettiin 10% (kuva 4). Simulaatioissa kohteen ilmanvaihto oletetaan vuotamattomaksi. Hyvin asennettu ilmanvaihto ei vuoda teoriassa, käytännössä se riippuu täysin asennuksesta.

3.3 Maalämmön simulointi

Maalämmön simulaatiossa käytettiin tilojen lämmitykselle SPF-lukua 2,5, jäähdytykselle SPF-lukua 3,0 ja lämpimälle käyttövedelle SPF-lukua 2,3 (kuva 5). Jotta maalämmön simulaatio onnistuisi täytyy SPF-luvut täyttää kohtaan ”Tuotannon hyötysuhteet” ja pumppujen COP-arvot ovat erikseen muokattavissa ESBO-PLANT näkymässä. Maalämmölle IDA ICE käyttää laskentaan sähkön energiakerrointa (Taulukko 1).

		Sähkö	Polttoaine	Kauko-
Lämmitys	Oletus energiamuoto	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	COP	<input type="text" value="2.5"/>	<input type="text" value="0.9"/>	<input type="text" value="0.97"/>
Jäähdytys	Oletus energiamuoto	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	COP (EER)	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>
Lämmin käyttövesi	Oletus energiamuoto	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	COP	<input type="text" value="2.3"/>	<input type="text" value="0.9"/>	<input type="text" value="0.97"/>

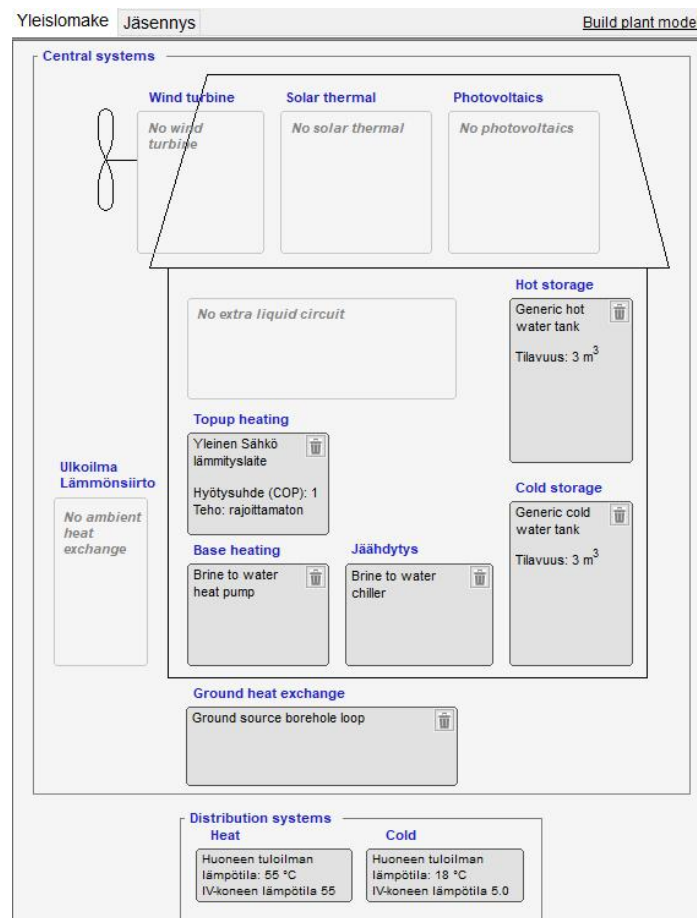
Kuva 5. Tuotannon hyötysuhde. Kuvassa on valittuna sähkö, maalämmön SPF-luvuilla. IDA ICE.

Maalämmön simulaatiossa on hyödynnetty sähkösimulaatiota pohjana ja muutettu parametreja siten että hyötysuhteet vastaavat ympäristöministeriön asetuksia. Parametrien lisäksi on vaihdettu sähkölämmitys ja jäähdytys vesikiertoiseen patteriverkoston.

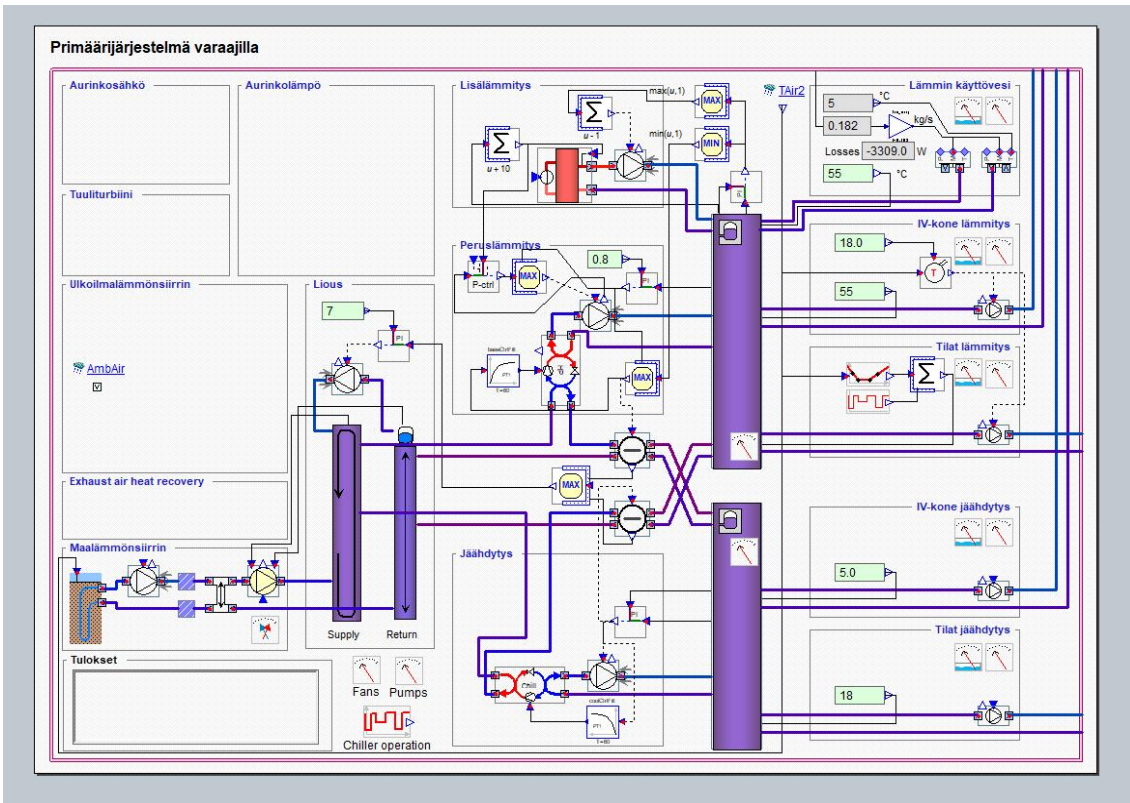
Jotta maalämpö toimisi IDA ICE -ohjelmassa, täytyy normaali primäärijärjestelmä (kuva 8) vaihtaa ESBO-PLANT -primäärijärjestelmäksi (kuva 6 ja 7). ESBO-PLANT

-primäärijärjestelmässä voidaan lisätä maalämmössä käytettävät kaivot, pumput sekä vesisäiliöt (kuva 6).

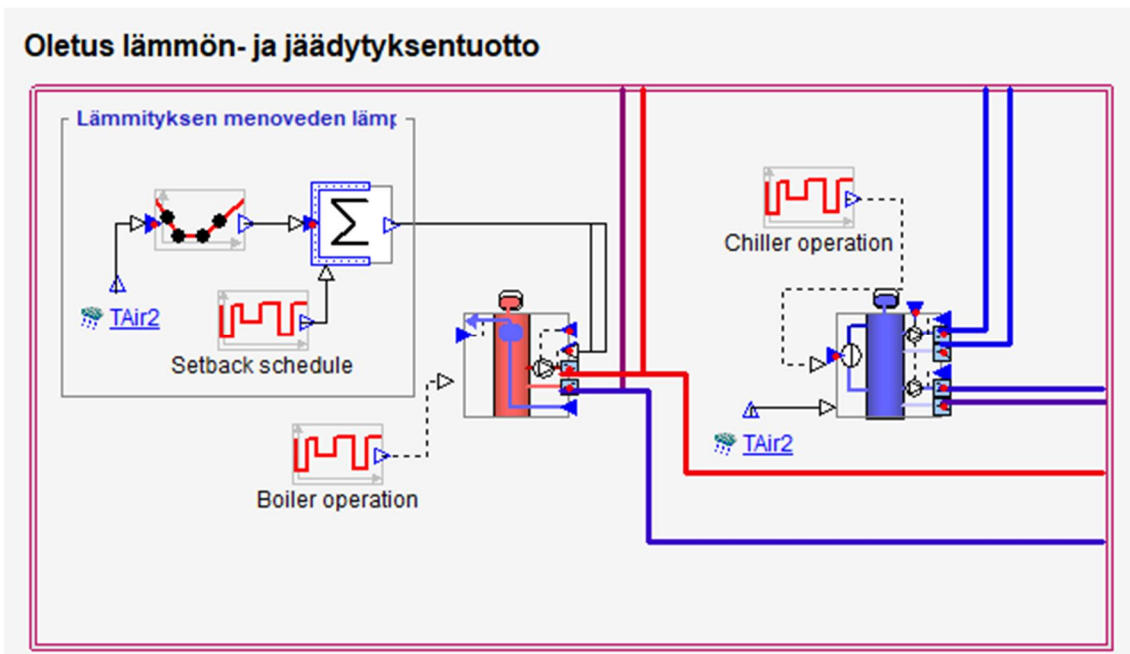
Uuteen primäärijärjestelmään lisätään lämpimän ja kylmän veden säiliöt, lämpöpumput, kaivot ja vaihdetaan järjestelmän lämpötiloja. Kaivoja on yhteensä 20 kpl ja ne ovat 300m syviä, lämpöpumput ovat yhteensä teholtaan 400kW lämmityksen puolella ja jäädytyksen puolella 250kW. Pumppujen COP-arvo eli hyötysuhde on asetettu arvolle 4. Maalämpöpumpun lisäksi järjestelmään on liitetty lisälämmitin COP-arvolla 1. Vesisäiliöt ovat molemmat tilavuudeltaan 3m³. Kaivojen määrä, syvyys, pumppujen tehot ja varaajien koot osoittautuivat parhaiksi useiden simulaatioiden perusteella. Ne eivät perustu teoriaan jolla saataisiin parhaiten optimoitu maalämpö vaan tavoitteena oli vain saada paremmat arvot kuin kaukolämmön simulaatioissa. Samoja SPF- ja COP-lukuja käytettiin kaikissa maalämmön simulaatioissa. Järjestelmän lämpötilojen laskeminen vaikuttaisi SPF-lukuun siten että energiankulutus olisi vielä alhaisempi (taulukko 5).



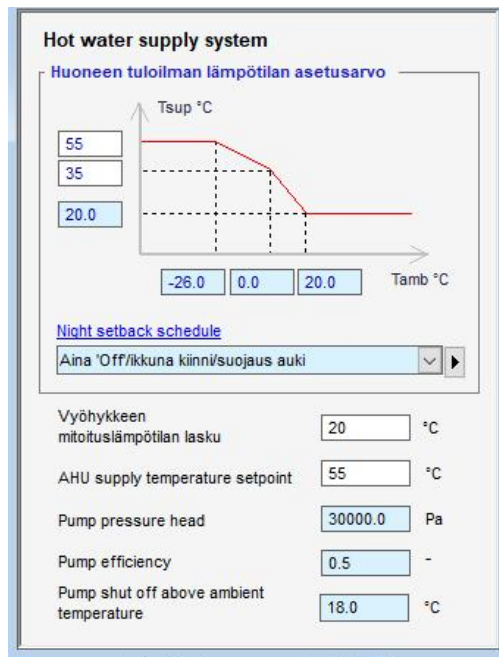
Kuva 6. ESBO-PLANT asetukset maalämpö järjestelmälle, IDA ICE.



Kuva 7. ESBO-PLANT primäärijärjestelmänäkymä (build plant model), IDA CIE.



Kuva 8. Normaali primäärijärjestelmä, IDA ICE



Kuva 9. Lämpimän veden lämpötilat, ESBO-PLANT, IDA ICE.

Maalämpö simulaatiossa ei ole muutettu ilmanvaihtokoneita muuten kuin laskemalla ilmanvaihtokoneiden lämpöpattereiden lämpötiloja 55 Celsius asteeseen (kuva 9). Maalämpöjärjestelmissä on usein alemmat lämpötilat kuin esim. kaukolämmössä. Siksi on myös laskettu lämpötiloja simulaation asetuksissa jotta se toimisi realistisesti ja saataisiin mahdollisimman tarkka tulos, lämpimän käyttöveden lämpötilaa on myös laskettu. Kaukolämmön patteriverkoston meno-/paluulämpötilat 70/40°C ja maalämmön lämpötilaksi on asetettu 55/35°C, järjestelmien meno-/paluulämpötilaeroa simulaatioiden kesken on 10 astetta. Lämpötilaerosta huolimatta simulaatioiden vertailu on tasapuolista eikä lämpötilaeron eroavaisuus tuota maalämmölle etuja jotka aiheuttaisivat paremman tuloksen. Kun patteriverkoston tulo lämpötilaksi on asetettu 55°C, pumpun SPF-luku asettuu teoriassa n. 2,7 tienoille, simulaatiossa on kuitenkin käytetty arvoa 2,5 määräysten mukaisesti. Maalämpöä simuloidessa täytyy olla tarkkana, ettei sekoita SPF-lukuja ja COP-lukuja keskenään. Pumpun valmistajan antama COP ei yleensä tarkoita, että järjestelmän koko vuotinen hyötysuhde olisi yhtä hyvä, tästä syystä simuloidaan

matalammalla SPF-luvulla kuin pumpun COP. SPF-lukuun vaikuttaa moni tekijä ja nämä on otettu huomioon ympäristöministeriön määräyksissä (taulukko 5).

3.4 Kaukolämmön ja -kylmän simulointi

Kaukolämmön simulaatiossa käytettiin vesiradiaattorijärjestelmää 70/40 lämpötiloilla. Kaukokylmään liitettiin jäähdytyksellä ja käyttövedellä. Huoneisiin on asennettu ideaalilämmittimet ja ideaalijäähdyttimet. Kaukolämmön lämmitys sekä lämmin käyttövesi on simuloitu COP-arvolla 0,97 ja jäähdytys arvolla 1. Järjestelmässä käytettiin normaalia primäärijärjestelmää (kuva 8) ja kuutta ilmanvaihtokonetta kuten kaikissa muissakin malleissa paitsi maalämmön simulaatiossa.

3.5 Sähkölämmityksen ja -jäähdytyksen simulointi

Sähkökäyttöisen järjestelmän simuloinnissa käytettiin sähköpattereita ja jäähdytyslaitteita jokaisessa huoneessa. Jäähdytyslaite on nestekiertoinen eli järjestelmän täytyy olla sellainen, että kylmä neste voi kiertämään laitteissa. Sähkölämmityksessä käytettiin COP-arvoa 1 lämmitykselle ja lämpimälle käyttövedelle. Jäähdytyksessä käytettiin COP arvoa 3. Järjestelmässä käytettiin normaalia primäärijärjestelmää (kuva 8) ja kuutta ilmanvaihtokonetta.

Sähkölämmityksen hyötysuhde on 100 % (Taulukko 4). Lämpöpatteri siis tuottaa yhtä paljon lämpöä huoneeseen kuin se kuluttaa sähköä ilman häviöitä. Sähkölämmitys on myös edullinen rakentaa.

3.6 Kaasu- tai polttoainejärjestelmän simulointi

Kaasujärjestelmän simuloinnissa käytettiin ideaalilämmittimiä ja ideaalijäähdyttäjiä. Järjestelmän COP-arvot lämmitykselle ja lämpimälle käyttövedelle asetettiin arvolle 0,9 taulukon 4 mukaisesti. Jäähdytyksen COP-arvoksi asetettiin 1,0. Järjestelmässä käytettiin normaalia primäärijärjestelmää (kuva 8) ja kuutta ilmanvaihtokonetta.

Polttoainesimulaation E-luku on korkea koska simulaatiossa käytettiin fossiilisia polttoaineita. Mikäli simulaatiossa olisi suosittu uusiutuvaa polttoainetta, energiakerroin puolittuisi ja E-luku olisi huomattavasti alhaisempi.

Simuloidessa jäähdytystä polttoaineella IDA ICE hyödyntää absorptiojäähdytyskonetta, jotta polttoaineen tuottama energia saadaan hyödynnettyä jäähdytyksessä. Absorptiojäähdytys perustuu prosessiin, jossa lämpöenergialla tuotetaan jäähdytysenergiaa. Lämpöenergian lähde voi olla jokin muu kuin polttoaine, kuten esimerkiksi teollisuustuotannon hukkalämpö. Jäähdytys toteutetaan yksi-, kaksi- tai kolmevaiheisena tai yksi- tai kaksiportaisena. Eri toteutustavoilla on eri kylmäkertoimet ja jokaisella eri menetelmällä on eri lämpötilavaatimukset.

Polttoainesimulaatio on lähinnä teoreettinen eikä järjestelmä olisi todennäköisesti harkinnassa. Absorptiojäähdytys on suositumpaa teollisuuden puolella, eikä sitä juurikaan käytetä majoitusliikerakennuksien suunnittelussa. Korkeista hukkalämpötiloista johtuen absorptiojäähdytys on energiatehokas vaihtoehto teollisuus suunnittelussa. Polttoainesimulaation tarkoitus oli lähinnä kokeilla IDA ICE:n monipuolisuutta sekä tarkastella eri mahdollisuuksia teoreettisesti.

4. TULOS

- Simulaatio 1 (Kaukolämpö) (Liite 1):

Simuloitu kertoimin: Lämmitys 0.97, Jäähdytys 1 ja lämmin käyttövesi (LKV) 0.97.

167.5 kWh/(m²vuosi) eli B-luokan energiatodistus (Taulukko 3).

- Simulaatio 2 (Polttoaine) (Liite 2):

Simuloitu kertoimin: Lämmitys 0.9, Jäähdytys 1 ja LKV 0.9.

264.2 kWh/(m²vuosi) eli D-luokan energiatodistus (Taulukko 3).

- Simulaatio 3 (Sähkö) (Liite 3):

Simuloitu kertoimin: Lämmitys 1, Jäähdytys 3 ja LKV 1.

288.9 kWh/(m²vuosi) eli E-luokan energiatodistus (Taulukko 3).

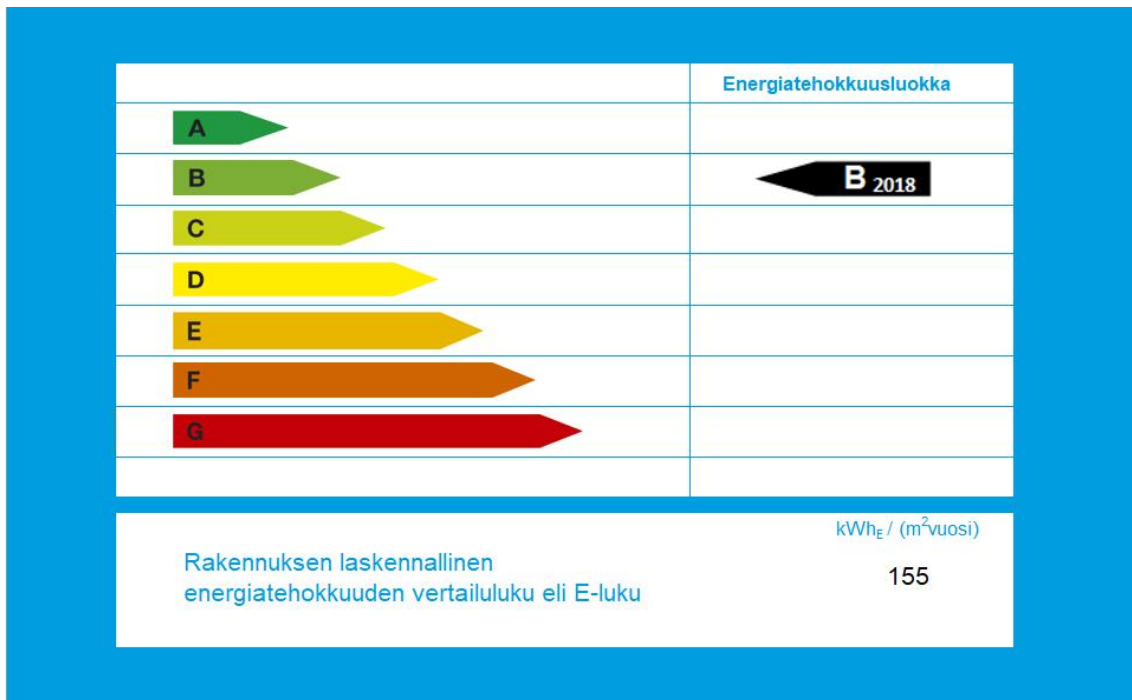
- Simulaatio 4 (Maalämpö) (Liite 4):

Simuloitu kertoimin: Lämmitys 2.5, Jäähdytys 3 ja LKV 2.3.

154.5 kWh/(m²vuosi) eli B-luokan energiatodistus (Taulukko 3)

(kuva 10).

Tulosten perusteella maalämpö on paras vaihtoehto, kun tavoitellaan alhaisinta mahdollista E-lukua. IDA ICE pyöristää aina ylöspäin, joten maalämmön simuloituksi E-luvuksi tulee 155 kWh/(m²vuosi). Kaukolämpö oli seuraavaksi tehokkain vaihtoehto E-luvun ollessa 168 kWh/(m²vuosi). Sähkö- sekä polttoainesimulaatioiden E-luvut (289 kWh/(m²vuosi) ja 265 kWh/(m²vuosi)) ovat maalämpöä sekä kaukolämpö huomattavasti suurempia mikä poissulkee ne vartenotettavina järjestelminä kohteeseen. Kaukolämmön energiatodistus on hyvä mutta E-luku ei alita Ympäristöministeriön asettamaa säädöstä 1010/2017 jossa majoitusliikerakennuksille E-luvun rajaksi on asetettu 160. Kaukolämpöä voidaan hyödyntää mikäli, rakennuksen U-arvoja tai energiakulutusta vähennetään. Energiatodistuksen kannalta ei ole väliä käyttääkö maalämpöä vai kaukolämpöä, koska molemmat sijoittuvat B-luokkaan (Taulukko 3, Kuva 10).



Kuva 10. Käyttötarkoitusluokka 5. Rakennuksen maalämpö simulaation E-luku sekä energiatohokkuusluokka B

Maalämmön simulaation tulokset tuotiin Exceliin suoraan ohjelmasta käyttäen beta-toimintaa ”Enertod(beta3)” IDA ICE:n energiatodistusta varten. Tiedosto on tarkoitettu muokattavaksi ennen lataamista ARA-järjestelmään, jotta kaikki tarvittavat kentät tulee täytettyä energiatodistusta varten. Pätevyyden omaava henkilö voi tunnuksillaan tulostaa virallisen energiatodistuksen tämän jälkeen ARA-järjestelmästä. Kuva 10 sekä kuva 11 ovat kuvakaappauksia Excel tiedostosta joka on ladattu IDA ICE -ohjelmasta. Kuvat vastaavat ulkonäöltään täysin varsinaisen energiatodistuksen ulkonäköä. Varsinaista energiatodistusta ei laadittu opinnäytetyössä.

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIATEHOKKUUDESTA													
Laskennallinen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)													
Lämmitetty nettoala	8376,981 m ²												
Lämmitysjärjestelmän kuvaus													
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus													
	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energia									
	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	-	kWh _e /(m ² vuosi)									
sähkö	1 078 489	129	1,2	154,5									
Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö	281 416	34											
Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)				155									
Rakennuksen energiatehokkuusluokka													
Käytetty E-luvun luokittelusteikko	Majoitusliikerakennukset												
Luokkien rajat asteikolla	<table border="1"> <tr> <td>A: ... 90</td> <td>B: 91 ... 170</td> <td>C: 171 ... 240</td> </tr> <tr> <td>D: 241 ... 280</td> <td>E: 281 ... 340</td> <td>F: 341 ... 450</td> </tr> <tr> <td>G: 451 ...</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				A: ... 90	B: 91 ... 170	C: 171 ... 240	D: 241 ... 280	E: 281 ... 340	F: 341 ... 450	G: 451 ...		
A: ... 90	B: 91 ... 170	C: 171 ... 240											
D: 241 ... 280	E: 281 ... 340	F: 341 ... 450											
G: 451 ...													
Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka	B												
<p>E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu vakioidulla käytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden, jotta eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. Vakioidusta käytöstä johtuen E-luku ei sovellu yksittäisen rakennuksen toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertailuun. E- lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten</p>													

Kuva 11. Yhteenveto rakennuksen maalämpösimulaation energiatehokkuudesta

Rakennus kuluttaa 1 078 489 kWh sähköä vuodessa (Kuva 11). Kun rakennuksen kulutus jaetaan lämmitetyllä nettoalalla, sähkön kulutus on 129kWh/m² vuodessa. Ottaen huomioon energiamuotokerroimen 1,2 saadaan rakennuksen E-luvuksi 154,5 @155 kWh/(m²vuosi). Rakennus sijoittuu B-energiatehokkuusluokkaan, jossa E-luvun on oltava 91-170 kWh/(m²vuosi) välillä (Taulukko 3, Kuva 11). Rakennuksen E-luku on lähempänä C-luokkaa, jonka yläraja on 171 (m²vuosi) kuin A-luokkaa, jonka alaraja on 90 kWh/(m²vuosi) (Taulukko 3, Kuva 11).

Ympäristöministeriön asetuksessa 1010/2017 rakennuksille on asetettu käyttötarkoitukseluokan mukaan E-luvun yläraja, joka majoitusliikerakennusten kohdalla on 160 kWh/(m²vuosi). Helsingissä sijaitseva simulointi kohde alittaa asetetun rajan vain maalämmöllä (155 kWh/(m²vuosi)).

Maantieteellisistä syistä johtuen kohteessa ei voida hyödyntää maalämpöjärjestelmää, vaikka sen E-luku on simuloituista järjestelmistä paras. Kohde on suunniteltu liitettäväksi kaukolämmön ja -kylmän verkkoon. On huomioitava, että rakennuksen energiakulutus ylittää säädöksen 1010/2017 sallitun rajan kun valitaan kaukolämpö ja -kylmä järjestelmä.

Kun kulutus ylittää säädöksen rajat, todistuksen laatijan on annettava ohjeet suunnittelijoille, energiatehokkuuteen vaikuttavien arvojen parantamiseksi, jotta rakennus on energiakulutuksen osalta määräysten mukainen ja sillä on mahdollisuus saada rakennuslupa.

Mahdollisia parannuskohteita ovat esimerkiksi:

- rakennuksen sijoittaminen tontilla (ilmansuunnat, varjostukset)
- rakenteiden, ikkunoiden ja ovien U-arvojen parantaminen
- ikkunoiden pinta-alan pienentäminen
- ikkunoiden aurinkoteknisten arvojen muuttaminen paremmaksi (jäähdytystarpeen pienentäminen)
- Ilmanvaihtokoneiden SFP-luvun pienentäminen
- Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen parantaminen
- valaistuksen tarpeenmukainen ohjaus
- valaisimien hyötysuhteen parantaminen (LED)
- sähkönkäytön minimointi rakennuksessa

Se mikä on ratkaisevaa ja mihin kannattaa vaikuttaa, riippuu siitä kuinka paljon yksittäinen tekijä kuluttaa energiaa. Mikäli yllä mainitsemat kohdat ovat sellaisia, ettei niihin pystytä vaikuttamaan, täytyy järjestelmä suunnitella uudestaan esimerkiksi eri energiamuodolla.

Kohteen suunnittelu ei ole vielä edennyt siihen vaiheeseen jossa päätetään mihin energiankuluttajiin vaikutetaan. Suunnittelussa päädytään todennäköisesti optimoimaan ikkunoiden U-arvoja sekä valaistusta.

5. POHDINTA

Maalämpö on simulaatioiden perusteella paras vaihtoehto, kun tavoitteena on mahdollisimman alhainen E-luku. Maalämpö on todennäköisesti kalliimpi vaihtoehto kuin kaukolämpö. Mahdollisuus käyttää maalämpöä sekä kaukolämpöä riippuu kohteen sijainnista. Maalämpöä voidaan kuitenkin käyttää laajemmin kuin kaukolämpöä ja -kylmää jota voidaan hyödyntää ainoastaan siellä missä kaukolämpöä ja -kylmää on tarjolla. Yleisesti ottaen kaukolämpöä sekä -kylmää on tarjolla suurimmissa kaupungeissa. Maalämmön rakentamien on usein kustannuskysymys. Kaukolämmöllä on raskaampi hiilijalanjälki koska se on usein suurimmaksi osaksi tuotettu polttoaineilla kuten kivihieillä. Kaupungeissa se on kuitenkin usein suosituin valinta. Tämä voi kuitenkin muuttua tulevaisuudessa, kun hiilijalanjäljen merkitys kasvaa entisestään. Kaukolämpö on hiilijalanjäljeltään erittäin raskas esimerkiksi Helsingissä, jossa se tuotetaan kivihieillä ja osittain uusiutuvalla energialla (puupelletti). Maalämpö tulee varmasti olemaan merkittävä energiamuotovaihtoehto tulevaisuudessa.

HELEN lopettaa kivihieiden polton Hanasaassa vuoteen 2024 mennessä ja korvaa energiantuoton biolämpökeskuksella ja uusiutuvalla energialla. Vuoteen 2035 pyritään hiilineutraaliin Helsinkiin. Tällöin energiamuotokerroin on täysin eri kuin nykypäivänä, ja ehkä jopa parempi vaihtoehto kuin rakennuskohtainen maalämpö. Tästä syystä on mahdotonta ennustaa, onko maalämpö viisaampi vaihtoehto tulevaisuutta ajatellen esimerkiksi Helsingissä, jossa kivihieiden käyttöä vähennetään vuoteen 2035 mennessä yli 80 %. Kun ajatellaan kohteita muualla Suomessa, kaukolämmön ja -kylmän ulkopuolella, maalämpö on ehdottomasti E-luvun ja ympäristön kannalta paras vaihtoehto.

Opinnäytetyössä kohteena olleen hotellirakennuksen suuri koko tuotti hankaluuksia simuloineissa. Simulaatiot kestivät jopa 7 tuntia tai enemmän, joten pienetkin virheet kostautuivat ajallisesti, jos simulointi jouduttiin uusimaan. Lisää ongelmia aiheutti tietokoneen C-levyn täyttyminen IDA ICE -välimuistitiedoilla. Tämä onneksi saatiin lopulta ratkaistua ja kaikki simulaatiot voitiin suorittaa. Mielestäni IDA ICE on kuitenkin erinomainen, melko helppokäyttöinen ohjelma monipuolisuuteensa nähden, jolla saadaan simuloitua luotettavaa aineistoa.

E-lukujen ja energiatodistusten raja-arvot perustuvat Ympäristöministeriön säädöksiin. Tästä johtuen on tärkeää päivittää Ympäristöministeriön säädöksiä, kun esimerkiksi Helsingin kaukolämpö muuttuu puhtaammaksi. Suunnittelijoiden olisi myös hyvä aina muistaa ottaa huomioon mahdolliset muutokset tulevaisuutta ajatellen, ja yrittää tähdätä ympäristöystävällisimpään vaihtoehtoon. Uusiutuva- ja bioenergia nousevat suosiossa, vaikka ne vielä usein ovat kalliimpi vaihtoehto. Kallis maalämpöratkaisu voi mahdollisesti olla jopa helpompi myydä tai vuokrata, vaikka hinta olisi korkeampi, koska vihreys on muodissa ja tulevaisuutta. Uusituvan energian käyttöä voidaan hyödyntää jopa markkinoinnissa ja osana yhtiön imagoa.

Opinnäytetyön tulokset osoittavat kuinka tärkeää U-arvojen tarkastelu on rakennusmateriaalien ja ikkunoiden valintaa tehdessä. Koska Helsingissä sijaitsevaan hotelliin valittiin E-luvun kannalta liikaa energiaa kuluttava kaukolämpöjärjestelmä, joudutaan kohteessa miettimään materiaali- ja laiteratkaisuja uudestaan. Kohteen suunnittelijoita suosittelisin keskittymään rakennuksen U-arvojen parantamiseen, laitteiden hyötysuhteen parantamista sekä valaistuksen vaihtoa LED-valaistukseen. Sisäilmaluokituksen vuoksi tehontarpeita ei voida muuttaa kohteessa, vaikka lämpötilan alentaminen vähentäisi merkittävästi energiakulutusta. Kohteet olisi aina hyvä suunnitella mahdollisimman energiatehokkaiksi.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

IDA ICE -simulaatioiden perusteella Helsingissä sijaitsevalle majoitusliikerakennukselle saavutettiin paras E-luku, 155 kWh/(m²vuosi) maalämmöllä. Maantieteellisestä syystä johtuen kohde päädytään kuitenkin yhdistämään kaukolämmön ja -kylmän verkkoon. Koska kaukolämmön ja -kylmän IDA ICE -simuloinnin E-luku, 168 kWh/(m²vuosi) ylittää Ympäristöministeriön asetuksessa 1010/2017 majoitusliikerakennusten E-luvun ylärajan 160 kWh/(m²vuosi) täytyy energiakulutusta pienentää, esimerkkejä vaihtoehdoista joilla voidaan pienentää kulutusta löytyy sivulta 26. Energiankulutusta

täytyy vähentää 8 kWh/m² vuodessa. Rakennuksen energiatodistuksen energiatehokkuusluokaksi tulee B.

LÄHTEET

Suomen säädöskokoelma 1048/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta: http://energiatodistus.motiva.fi/midcom-serveattachmentguid-1e805b9885aaaa605b911e8b01aa1811e2b87de87de/yma_rakennuksen_energiatodistuksesta_sk1048-2017.pdf

RakMk D5 2013, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta <http://www.ym.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468>

FISE Oy 2018. Energiatodistuksen laatija. vierailtu 1.12.2018. <https://fise.fi/patevyyspalvelu/hae-patevyytta/energia-ja-kuntoasiantuntijat/energiatodistuksen-laatija/>

Energiatehokas koti. 2018, Energiatodistus, päivitetty 13.8.2018. <https://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/maaraykset/energiatodistus>

Suomen säädöskokoelma 1010/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. <https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/sk20171010.pdf>

Motiva 2018. Pätevyysvaatimukset. päivitetty 17.6.2015. <http://energiatodistus.motiva.fi/energiatodistustenlaatijat/patevyysvaatimukset/>

Motiva 2018. milloin energiatodistusta tarvitaan ja milloin energiatodistusta ei tarvitse? päivitetty 7.6.2018. <http://energiatodistus.motiva.fi/mika-on-energiatodistus/milloinvaaditaan/>

VTT 1998. Uudemman absorptiojäähdytystekniikan soveltaminen kaukojäähdytyksessä. <https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1926.pdf>

HELEN 2017. Hanasaaren voimalaitos. vierailtu 8.12.2018. <https://www.helen.fi/yritys/energia/energiantuotanto/voimalaitokset/hanasaari/>

HELEN. Stadin ilmasto. HELEN kohti ilmastoneutraalia tulevaisuutta. 29.11.2017. http://www.stadinilmasto.fi/files/2017/12/Laituri_Helen_ilmastoneutraaliin_tulevaisuuteen.pdf

LIITTEET

Kaukolämmön simulaatiotulokset (Liite 1)

		EnergiaRaportti	
Projekti		Rakennus	
		Mallin lattia-ala	8377.0 m ²
Asiakas		Mallin tilavuus	26100.5 m ³
Vastuuhenkilö	Christian Strömberg	Mallin maaperän pinta-ala	1309.9 m ²
Sijainti	Helsinki (Ref 2012)	Mallin vaipan ala	6144.5 m ²
Sää tiedosto	HKI-Vantaa_Ref_2012	Ikkuna/Vaippa	19.9 %
Tapaus	Opinnäytetyö	Keskimääräinen U-arvo	0.3461 W/(m ² K)
Simuloitu	15.10.2018 12.23.33	Vaipan alan suhde tilavuuteen	0.2354 m ² /m ³

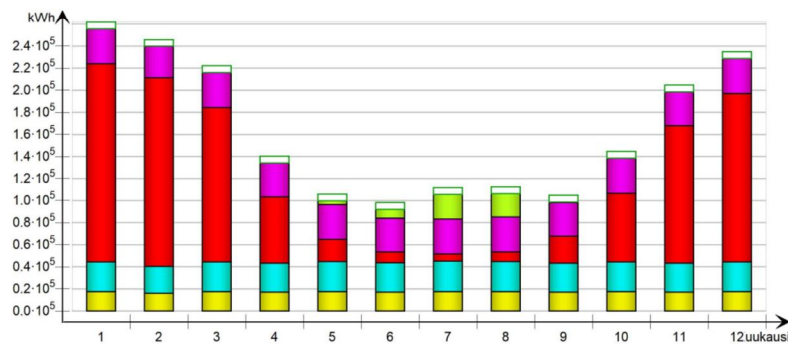
Rakennuksen viihtyisyysindeksi

Niiden tuntien osuus, jolloin operatiivinen lämpötila on yli 27 °C lämpimimmässä vyöhykkeessä	0 %
Niiden tuntien osuus, jolloin operatiivinen lämpötila on yli 27 °C keskimääräisessä vyöhykkeessä	0 %
Niiden tuntien osuus, jolloin vallitsee tyytymättömyys lämpöoloihin	6 %

Ostoenergiankulutusraportti

	Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
■ Valaistus, kiinteistö	206781	24.7	23.61	248137	29.6
■ LVI sähkö	319916	38.2	41.88	383899	45.8
■ Yhteensä, Kiinteistösähkö	526697	62.9		632036	75.5
■ Lämmitys, kaukolämpö	959461	114.5	698.9	479730	57.3
■ LKV, kaukolämpö	373975	44.6	42.69	186988	22.3
■ Kaukojäähdytys	54762	6.5	356.0	15333	1.8
■ Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	1388198	165.7		682051	81.4
■ Yhteensä	1914895	228.6		1314087	156.9
□ Laitteet, asukas	74634	8.9	8.52	89561	10.7
■ Yhteensä, Asukkaan sähkö	74634	8.9		89561	10.7
■ Yhteensä	1989529	237.5		1403648	167.6

Kuukausittainen ostoenergiankulutus



Kuukausittainen kokonaisenergia

Polttoaineen simulaatiotulokset (Liite 2)

		EnergiaRaportti	
Projekti		Rakennus	
		Mallin lattia-ala	8377.0 m ²
Asiakas		Mallin tilavuus	26100.5 m ³
Vastuhenkilö	Christian Strömberg	Mallin maaperän pinta-ala	1309.9 m ²
Sijainti	Helsinki (Ref 2012)	Mallin vaipan ala	6144.5 m ²
Säätiesto	HKi-Vantaa_Ref_2012	Ikkuna/Vaippa	19.9 %
Tapaus	Opinnäytetyö	Keskimääräinen U-arvo	0.3461 W/(m ² K)
Simuloitu	27.11.2018 12.06.02	Vaipan alan suhde tilavuuteen	0.2354 m ² /m ³

Rakennuksen viihtyisyysindeksi

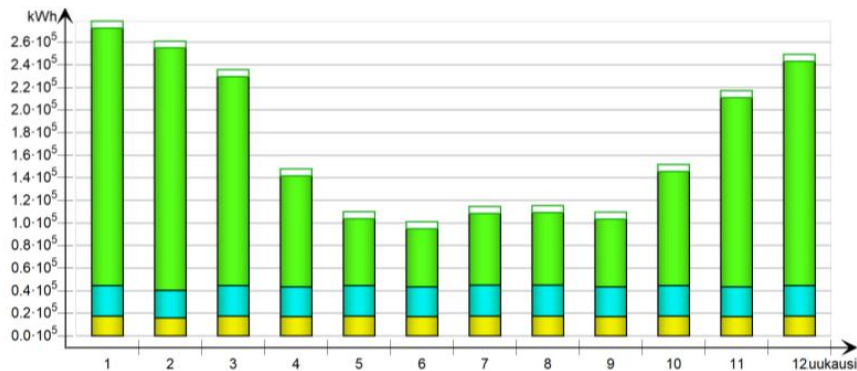
Niiden tuntien osuus, jolloin operatiivinen lämpötila on yli 27 °C lämpimimmässä vyöhykkeessä	0 %
Niiden tuntien osuus, jolloin operatiivinen lämpötila on yli 27 °C keskimääräisessä vyöhykkeessä	0 %
Niiden tuntien osuus, jolloin vallitsee tyytymättömyys lämpöoloihin	6 %

Ostoenergiankulutusraportti


	Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
■ Valaistus, kiinteistö	206781	24.7	23.61	248137	29.6
■ LVI sähkö	319916	38.2	41.88	383899	45.8
Yhteensä, Kiinteistösähkö	526697	62.9		632036	75.5
■ Fossiilinen polttoaine	1491913	178.1	799.3	1491913	178.1
Yhteensä, Kiinteistö polttoaine*	1491913	178.1		1491913	178.1
Yhteensä	2018610	241.0		2123949	253.5
□ Laitteet, asukas	74634	8.9	8.52	89561	10.7
Yhteensä, Asukkaan sähkö	74634	8.9		89561	10.7
Yhteensä	2093244	249.9		2213510	264.2

*Lämpöarvo

Kuukausittainen ostoenergiankulutus



Sähkön simulaatiotulokset (Liite 3)

		EnergiaRaportti	
Projekti		Rakennus	
		Mallin lattia-ala	8377.0 m ²
Asiakas		Mallin tilavuus	26100.5 m ³
Vastuhenkilö	Christian Strömberg	Mallin maaperän pinta-ala	1309.9 m ²
Sijainti	Helsinki (Ref 2012)	Mallin vaipan ala	6144.5 m ²
Säätielä	HKI-Vantaa_Ref_2012	Ikkuna/Vaippa	19.9 %
Tapaus	Opinnäytetyö	Keskimääräinen U-arvo	0.3461 W/(m ² K)
Simuloitu	29.10.2018 12.57.28	Vaipan alan suhde tilavuuteen	0.2354 m ² /m ³

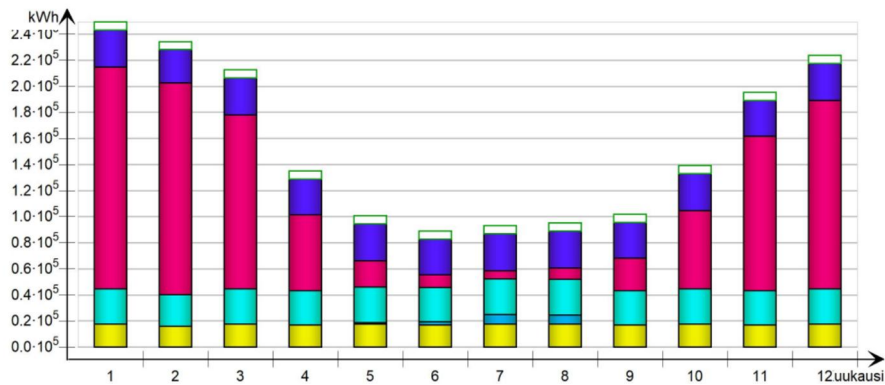
Rakennuksen viihtyisyysindeksi

Niiden tuntien osuus, jolloin operatiivinen lämpötila on yli 27 °C lämpimimmässä vyöhykkeessä	0 %
Niiden tuntien osuus, jolloin operatiivinen lämpötila on yli 27 °C keskimääräisessä vyöhykkeessä	0 %
Niiden tuntien osuus, jolloin vallitsee tyytymättömyys lämpöoloihin	6 %


Ostoenergiankulutusraportti

	Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
Valaistus, kiinteistö	206781	24.7	23.61	248137	29.6
Jäähdytys	18024	2.2	119.3	30642	3.7
LVI sähkö	319913	38.2	41.89	383896	45.8
Sähkölämmitys, kiinteistö	917291	109.5	661.8	1100749	131.4
LKV, sähkölämmitys	333772	39.8	38.1	567412	67.7
Yhteensä, Kiinteistösähkö	1795781	214.4		2330836	278.2
Yhteensä	1795781	214.4		2330836	278.2
Laitteet, asukas	74634	8.9	8.52	89561	10.7
Yhteensä, Asukkaan sähkö	74634	8.9		89561	10.7
Yhteensä	1870415	223.3		2420397	288.9

Kuukausittainen ostoenergiankulutus



Maalämmön simulaatiotulokset (Liite 4)

		EnergiaRaportti	
Projekti		Rakennus	
Asiakas		Mallin lattia-ala	8377.0 m ²
Vastuhenkilö	Christian Strömberg	Mallin tilavuus	26100.5 m ³
Sijainti	Helsinki (Ref 2012)	Mallin maaperän pinta-ala	1309.9 m ²
Säätiedosto	HKI-Vantaa_Ref_2012	Mallin vaipan ala	6144.5 m ²
Tapaus	ETE_VUORIKATU_24-maalämpö-COP-muutettu	Ikkuna/Vaippa	19.9 %
Simuloitu	24.1.2019 15.37.31	Keskimääräinen U-arvo	0.3461 W/(m ² K)
		Vaipan alan suhde tilavuuteen	0.2354 m ² /m ³

Rakennuksen viihtyisyysindeksi

Niiden tuntien osuus, jolloin operatiivinen lämpötila on yli 27 °C lämpimimmässä vyöhykkeessä	0 %
Niiden tuntien osuus, jolloin operatiivinen lämpötila on yli 27 °C keskimääräisessä vyöhykkeessä	0 %
Niiden tuntien osuus, jolloin vallitsee tyytymättömyys lämpöoloihin	6 %

Ostoenergiankulutusraportti

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kW	kWh	kWh/m ²
Valaistus, kiinteistö	206781	24.7	206781	24.7	23.61	248137	29.6
Jäähdytys	6211	0.7	6211	0.7	67.24	7453	0.9
LVI sähkö	322029	38.4	322029	38.4	43.52	386435	46.1
Sähkölämmitys, kiinteistö	468832	56.0	468832	56.0	455.5	562598	67.2
Yhteensä, Kiinteistösähkö	1003853	119.8	1003853	119.8		1204623	143.8
Yhteensä	1003853	119.8	1003853	119.8		1204623	143.8
Laitteet, asukas	74634	8.9	74634	8.9	8.52	89561	10.7
Yhteensä, Asukkaan sähkö	74634	8.9	74634	8.9		89561	10.7
	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	1078487	128.7	1078487	128.7		1294184	154.5

Kuukausittainen ostoenergiankulutus

