

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennustekniikka

Talonrakennustekniikka

2017

Petri Kuupakko

# TURKU ENERGIAN ARTUKAISTEN TOIMITILOJEN ENERGIASELVITYS

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Talonrakennustekniikka

2017 | 26 + 4

Petri Kuupakko

# TURKU ENERGIAN ARTUKAISTEN TOIMITILOJEN ENERGIASELVITYS

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Turku Energian suunnitteilla olevan toimitilan energiankulutusta sekä tarkastella eri lämmitysmuotojen käyttöä. Työssä käytettiin rakennuksen mallintamiseen simulointiohjelmaa, jolla tarkasteltiin 4 eri lämmitysskenaariota. Lisäksi vertailun kohteena käytettiin vaihtoehtoista rakennuksen luonnosta.

Opinnäytetyössä käsiteltiin kaikkien tarkasteltavien energiamuotojen toimintaperiaatteita ja mahdollisuuksia. Rajaus tehtiin maalämmön, ilmalämmön, aurinkolämmön sekä kaukolämmön tarkasteluun ja jokaista lämmitysmuotoa verrattiin kaukolämpöön. Rakennus mallinnettiin arkkitehtitoimiston tekemien piirustusten pohjalta ja sille määriteltiin lähtötiedot, jotka olivat Suomen rakentamismääräyskokoelman mukaisia ohjearvoja.

Tutkimuksessa haasteena oli, että rakennuksesta ei vielä ollut muita tietoja rakenteista kuin arkkitehtipiirustukset. Tarkkoja laskelmia on lähtötietojen puutteen vuoksi lähes mahdoton tehdä. Ohjearvoja käyttämällä saatiin kuitenkin energiasimulointi tehtyä ja simuloinnin avulla pystyttiin osoittamaan lämmitys- ja jäähdytystarpeet. Opinnäytetyön tuloksena saatiin simulointidata kohteesta eri lämmitysmuotojen osalta. Tuloksista käy ilmi käyttökustannukset sekä eritellyt ostoenergian määrät. Tiedoista saatiin yhteenvedot, joita pystyttiin vertailemaan keskenään ja arvioimaan vaihtoehtojen elinkaarikustannukset.

ASIASANAT:

energiansäästö, lämmitysjärjestelmät, rakennuksen simulointi

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Civil Engineering | Structural Engineering

2017 | 26 + 4

Petri Kuupakko

## TURKU ENERGY BUSINESS PREMISES IN ARTUKAINEN

The goal of this thesis was to research the energy consumption of Turku Energy premises in the process of being planned and consider the usage of different heating systems. A simulation programme was used in this thesis to model the building with 4 different heating scenarios. In addition, an alternative draft of the building was used in comparison.

All 4 researched forms of energy operational principles and usage possibilities were analyzed in this thesis. The analysis was restricted in geothermal heat, air source heat, solar heat and district heating, of which district heating was used in addition to the other heating systems. The building was modeled after plans made by an architect firm and it was given source information which were mostly reference values from the National Building Code of Finland.

The challenge of the study was that there was no other information about the internal structures other than the architect plans at the time. Accurate calculations are almost impossible to make because of the lack of source information. However, using the reference values for the simulation, it was possible to obtain heating and cooling consumption.

The outcome of the thesis was simulation data from the building for different heating systems. The results show a breakdown of operating expenses and the amount of purchased energy. From the summary of the information it was possible to compare and estimate the life cycle expenses of the different options.

### KEYWORDS:

energy saving, heating systems, building simulation

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
1.1 Tausta	6
1.2 Tavoitteet	6
1.3 Rajaukset	6
<b>2 ENERGIAKATSELMUS</b>	<b>7</b>
2.1 Kiinteistön ja rakennuksen esittely	7
2.2 E-luku	9
2.3 Energiantarve	10
<b>3 MAHDOLLISTEN ENERGIAMUOTOJEN KÄYTÖN SELVITYS</b>	<b>12</b>
3.1 Aurinkolämpö	12
3.2 Maalämpö	13
3.3 Ilmalämpö	14
3.4 Kaukolämpö	15
<b>4 KOHTEEN MALLINTAMINEN JA SIMULOINTI</b>	<b>17</b>
4.1 Laskentaohjelma	17
4.2 Yleistiedot kohteesta	17
4.3 Tulokset	19
<b>5 KUSTANNUSTEN VERTAILU</b>	<b>21</b>
<b>6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO</b>	<b>24</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>26</b>

## LIITTEET

- Liite 1. Simulaation yhteenveto
- Liite 2. Kustannusvertailun yhteenveto

## KUVAT

Kuva 1. Tonttijako.	7
Kuva 2. Asemakaava alueesta.	8
Kuva 3. Energiapaalun toimintaperiaate.	14
Kuva 4. Kaukolämmön perusmaksu Turku Energialla.	16
Kuva 5. Kaukolämmön liittymismaksu.	16
Kuva 6. Toimitilan 1. kerroksen vyöhykkeet.	18
Kuva 7. 3D-näkymä kohteesta.	18
Kuva 8. 3D-näkymä vaihtoehtoisesta mallista lasiseinillä.	23

## KUVIOT

Kuvio 1. Ostoenergiankulutuksen taseraja.	11
Kuvio 2. Rakennuksen ostoenergian tarve lämmitykseen ja jäähdytykseen.	20

## TAULUKOT

Taulukko 1. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet, $W/m^2K$ .	9
Taulukko 2. Toimistorakennusten energiatehokkuuden luokitteluasteikko.	10
Taulukko 3. Ostoenergian osuus lämmitysmuodoittain.	22
Taulukko 4. Energiantarve lasiseinillä.	23

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tausta

Erilaisia energiamuotoja on nykyään monia, ja kuluttajan kannattaakin vertailla eri vaihtoehtoja. Usein hinta on ratkaisevana tekijänä, mutta energian uusiutuvuudella ja kohteen sijainnilla on myös merkitystä. Energiamuotojen elinkaari pitää ottaa huomioon, kun vertaillaan vaihtoehtoja. Hankintahinta, käyttökustannukset ja huoltaminen kaikki vaikuttavat kohteen kannalta kannattavimman energiamuodon löytämiseen.

Turku Energian Linnankadulla sijaitsevalla tontilla on asemakaavan uudistus käynnissä. Tavoitteena on muuttaa aluetta asumiskäyttöön soveltuvaksi niin, että siitä tulee osa monimuotoista kaupunkirakennetta. Energianjakelun turvaamiseksi alueella jatketaan kaukolämmön vara- ja huipputuotantoa sekä sähkönjakelua sähköasemalla. Uusiin tiloihin tullaan siirtämään varasto, varikkotoiminnot sekä toimistohenkilökunnan työtilat. Turku Energia on selvittänyt uusia sijoittamisvaihtoehtoja ja suunnitelmaluonnoksia on tehty siitä, mitä voitaisiin sijoittaa Artukaisten sähköaseman tontille, johon on kaavoituksella merkitty rakennusoikeus. Sigge Arkkitehdit on alustavasti suunnitellut toimitilan tontille, mutta toteutuksen aikataulu on vielä avoinna. (Turku Energia Oy, henkilökohtainen tiedonanto 25.7.2017.)

## 1.2 Tavoitteet

Tämän työn tavoitteena on tarkastella eri energiamuotoja Turku Energian tulevaan Artukaisten toimitilaan ja löytää sopivin vaihtoehto. Työssä selvitetään tarkasteltavien energiamuotojen käyttö, niiden elinkaari ja kokonaiskustannukset kyseisessä rakennuksessa.

## 1.3 Rajaukset

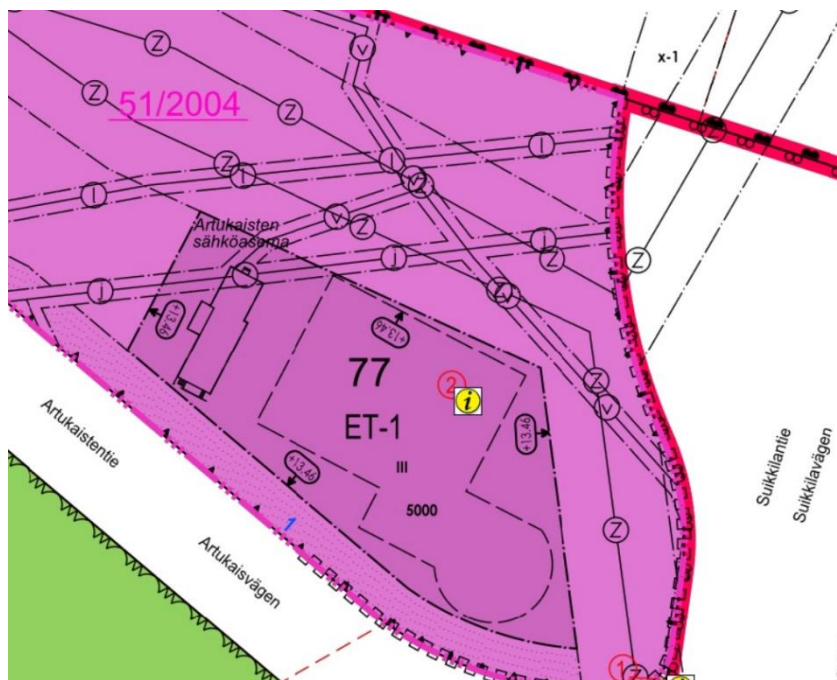
Uusiin toimitiloihin on suunniteltu myös mahdollinen 3. kerros, mutta tässä työssä tarkastellaan rakennusta kaksikerroksisena. Energiamuodot on myös rajattu neljään tarkasteltavaan vaihtoehtoon, jotka ovat realistisimpia kohteen kannalta.

## 2 ENERGIAKATSELMUS

Energiakatselmuksessa selvitetään kiinteistön energiataloudellisuus, kunto sekä mahdolliset säästökohteet. Myös erilaisten taloteknisten laitteiden teknisiä tietoja kerätään energiakatselmukseen ja tehdään mittauksia rakennuksen lämpötiloista eri osissa. Lopputuloksena on energiakatselmusraportti, jossa on esitetty toimenpide-ehdotuksia energiatehokkuuden parantamiseksi. Energiakatselmuksen suorittaa aina alan ammattilainen. (Talokeskus Yhtiöt Oy 2017.)

### 2.1 Kiinteistön ja rakennuksen esittely

Tontti sijaitsee Turun Artukaisissa, johon toimitiloja suunnitellaan (kuvat 1 ja 2). Toimitilojen vieressä sijaitsee Artukaisten sähköasema, ja autopaikkoja on suunniteltu 150 kpl. Kiinteistön pinta-ala on 22 291 m<sup>2</sup>, jossa on rakennusoikeutta 5 000 m<sup>2</sup>.



Kuva 1. Tonttijako, jossa esitetään myös kaukolämpöputket (I) (Turun karttapalvelu 2017).

Toimitiloista ei ole vielä rakennepiirustuksia olemassa, joten kaikki rakenneratkaisut ja tekniset järjestelmät eivät ole vielä tarkkaan tiedossa. Rakennuksesta on tehty muutama vaihtoehtoinen ikkunasuunnitelma. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan ratkaisua, jossa vain lännen puoleinen toimistoseinä on lasia ja pidemmillä sivuilla on ikkunat. Vertailun vuoksi tarkastellaan myös ratkaisu, jossa toimistotilan kaikki seinät ovat teräslasia, pidemmillä sivuilla on Cor-Ten-teräksen taustalla nauhaikkunat.

Rakenteiden arvioidaan olevan seuraavanlaisia:

- toimiston seinärakenne on pääosin lasia, minkä lisäksi pidemmillä sivuilla Cor-Ten-teräs tuplajulkisivu
- sosiaalilat/väestösuoja on eristettyä betoniseinää
- varastossa ja autotallissa on 240 mm:n sandwich-elementit, ja ne ovat lämpimiä tiloja.
- katoissa ontelolaatta, eristys ja bitumikermikate
- alapohja ja välipohja ovat ontelolaattaa.



Kuva 2. Asemakaavaa alueesta (Turun karttapalvelu 2017).



## 2.2 E-luku

E-luku tarkoittaa rakennuksen kokonaisenergiankulutusta rakennukselle, ja se lasketaan lämmitettyä nettoalaa kohden (kWh/netto-m<sup>2</sup>/v). E-lukuun vaikuttavat rakennuksen energiantarve, lämmitystapa, tekniset järjestelmät sekä energiamuoto. Lisäksi täytyy selvittää ostoenergian määrä, jota voidaan vähentää esimerkiksi uusiutuvilla omavaraisilla energianlähteillä. Uudisrakennuksessa energiankulutus ei saa ylittää annettua ohjearvoa. Ympäristöministeriö on asettanut energiatehokkuudesta sääntöjä, jotka löytyvät Suomen rakentamismääräyskokoelmasta D3. Mikäli rakennuksesta ei ole saatavissa rakennusosien (taulukko 1) tai teknisten järjestelmien lähtötietoja, voidaan käyttää rakennusluvan vireilletulovuoden mukaisia oletusarvoja (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 176/2013.)

Taulukko 1. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet, W/m<sup>2</sup>K (Energiatodistuksen kokonaisenergiakulutuksen määrittäminen 176/2013).

Rakennusosa	Rakennusluvan vireilletulovuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-
<b>Lämpimät tilat</b>									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,35	0,28	0,25	0,24	0,17	0,17
Maanvarainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,16	0,16
Ryömintätilainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	2,2	2,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0
Ikkuna	2,8	2,8	2,1	2,1	2,1	1,4	1,4	1,0	1,0
<b>Puolilämpimät tilat</b>									
Ulkoseinä	0,81	0,81	0,70	0,60	0,45	0,40	0,38	0,26	0,26
Maanvarainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,36	0,34	0,24	0,24
Ryömintätilainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,30	0,28	0,26	0,26
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Yläpohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Ovi	2,2	2,2	2,0	2,0	2,0	1,8	1,8	1,4	1,4
Ikkuna	3,1	3,1	3,1	3,1	3,1	1,8	1,8	1,4	1,4

Eri rakennustyypeille on määritelty kokonaisenergiankulutuksien mukaisia raja-arvoja, joita ei saa ylittää. Tämän kulutuksen mukaan rakennus luokitellaan energiatehokkuus-

luokkaan, joka on tässä opinnäytetyössä toimistorakennuksille annettujen arvojen mukainen luokka (taulukko 2). Uudet vuonna 2012 tai sen jälkeen rakennetut rakennukset eivät saa ylittää C-luokkaa (RIL 265-2014, 30).

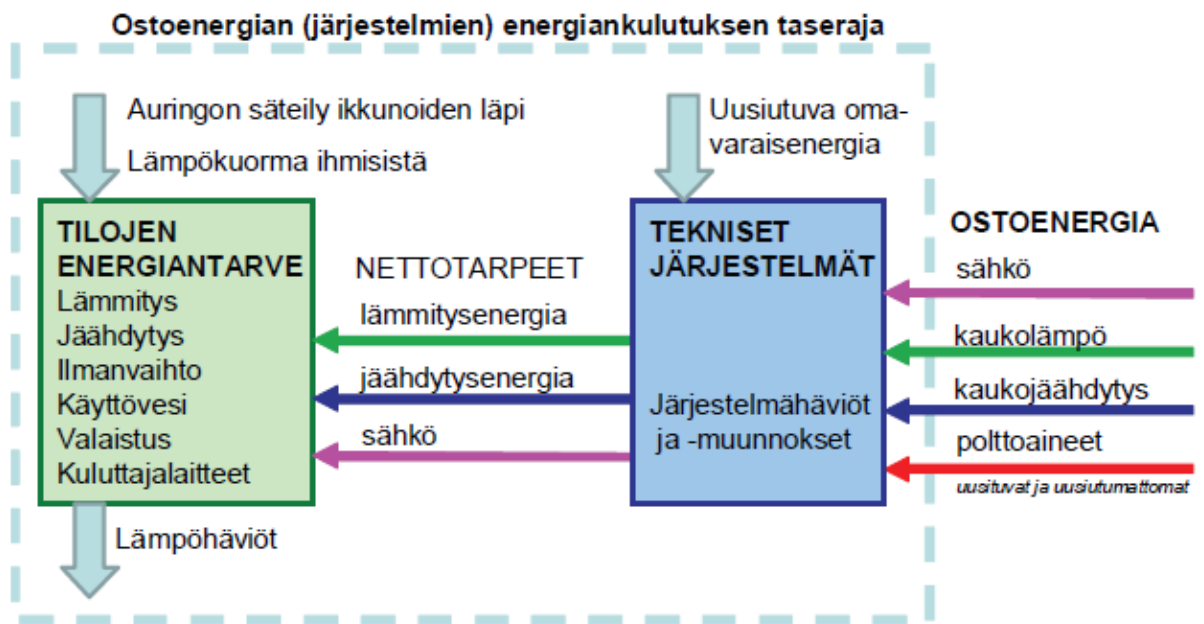
Taulukko 2. Toimistorakennusten energiatehokkuuden luokitteluasteikko (Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 176/2013.)

Energiatehokkuusluokka	Kokonaisenergiankulutus, E-luku (kWh <sub>E</sub> /m <sup>2</sup> vuosi)
A	$E\text{-luku} \leq 80$
B	$81 \leq E\text{-luku} \leq 120$
C	$121 \leq E\text{-luku} \leq 170$
D	$171 \leq E\text{-luku} \leq 200$
E	$201 \leq E\text{-luku} \leq 240$
F	$241 \leq E\text{-luku} \leq 300$
G	$301 \leq E\text{-luku}$

### 2.3 Energiantarve

Rakennuksen lämmitysenergiantarve riippuu pääosin ilmanvaihdosta, rakenteiden johtumislämpöhäviöistä sekä ikkunoiden ja ovien ilmapuodoista (Rakennustietosäätiö RTS 2007, 170).

Lämmitystehontarpeen määrittämiseen löytyy Suomen rakentamismääräyskokoelmasta laskentamenetelmiä, mutta kyseisen toimitilan energiantarve laskettiin IDA ICE -simulointiohjelmalla. Tehontarpeeksi saatiin 253 kW, mutta saatua tulosta voi käyttää ainoastaan suuntaa antavana, sillä lähtötiedot rakennuksesta saattavat muuttua jonkin verran. Jäähdytyksen osalta tehontarpeeksi saatiin 147 kW, joka kuitenkin on laskelmissa pienempi, koska jäähdytyslaitteen kylmäkerroin on 3. Huomioitavaa on myös, että isoon varastohuoneeseen ja autotalliin ei asennettu jäähdytystä.



Kuvio 1. Ostoenergiankulutuksen taseraja (RT RakMK-21504 2012).

Tilojen energiantarve koostuu lämmityksestä, jäähdytyksestä, ilmanvaihdosta, käyttövedestä, valaistuksesta ja kuluttajalaitteista. Ostoenergialla tuodaan tuotantolaitoksista energiaa käyttökohteisiin. Ostoenergiantarvetta voidaan pienentää uusiutuvalla omavaraisenergialla. Myös lämpökuormat auringosta ja ikkunasta pienentävät ostoenergiantarvetta (kuvio 1).

## 3 MAHDOLLISTEN ENERGIAMUOTOJEN KÄYTÖN SELVITYS

### 3.1 Aurinkolämpö

Aurinkolämpö on uusiutuvaa energiaa, jota voidaan Suomessa hyödyntää lähes kaikkina vuodenaikoina. Se toimii parhaiten silloin, kun on auringon säteilyä sekä lämmitystarvetta eli keväällä ja syksyllä. Energiaa hyödynnetään käyttöveden lämmittämiseen sekä vesikiertoisiin lämmitysjärjestelmiin. Aurinkokeräimissä kiertävä auringon lämmittämä vesi-glykoli-seos johdetaan lämmönkeruuputkistossa vesivaraajaan, josta lämpö luovutetaan käyttökohteisiinsa. Usein on järkevintä yhdistää aurinkolämpöjärjestelmä jonkin muun lämmitysmuodon rinnalle, jolloin voidaan parantaa esimerkiksi lämpöpumpun hyötysuhdetta. Aurinkolämpö ei yleensä riitä kattamaan koko vuoden lämmitystarvetta yksinään. (Virta & Pylsy 2011, 126.)

Aurinkolämpöjärjestelmään tarvitaan aurinkokeräin, lämmönvaraaja sekä lämmönsiirtojärjestelmä, joihin kuuluu mm. pumput, ohjauksikkö ja lämmönvaihdin. Aurinkokeräimiä on kahdenlaisia: taso- ja tyhjiöputkikeräimiä. Tyhjiöputkikeräin on tasokeräintä tehokkaampi, koska sen ei tarvitse olla suunnattuna säteilyn suuntaan. Tyhjiöputkikeräimillä voidaan saavuttaa 30–60 % hyötysuhde, kun tasokeräimellä se jää 25–50 %. Parhaiten keräimet toimivat aurinkoisella paikalla etelään suunnattuna noin 30°–60° kulmaan. (RIL 265-2014, 37–39.)

Järjestelmästä ja olosuhteista riippuen keräimien neliömetrituotto on 250 kWh/m<sup>2</sup>/a – 450 kWh/m<sup>2</sup>/a. Tutkimusten mukaan voidaan saavuttaa nettonollaenergiataso integroidun aurinkolämmön ja sähkön tuotannon kanssa pientaloissa. Liike- ja toimistorakennukset kuitenkin tarvitsevat enemmän pinta-alaa, joten nettonollaenergiatason saavuttaminen on lähes mahdotonta. Suomessa talvikuukausina lämmönkulutus on suurimmillaan ja aurinkoenergia pienimmillään, mutta aurinkokeräimet toimivat lisälämmönlähteenä jonkin muun energialähteen rinnalla. Riippuen vaihtoehtoisten lämmitysenergiamuotojen hinnasta, aurinkolämpö voi etenkin uudiskohteissa olla kannattava investointi. Se pystyykin nykyisillä hinnoilla korvaamaan usein öljyn sekä osin maakaasun kesäaikaisessa kaukolämmön tuotannossa. (RIL 265-2014, 41.)

Aurinkojärjestelmän mitoitus on hyvin tärkeää, jotta kesäaikainen yllämpeneminen vältetään. Varaajan tulee olla tarpeeksi suuri ja kesän pienin päivittäinen lämpimän veden käyttö tulee tietää, jotta mitoitus voidaan tehdä luotettavasti. Nyrkkisääntönä voidaan kuitenkin sanoa, että 10 m<sup>2</sup> aurinkokeräimiä tarvitsee 1 000 litran lämminvesivaraajan. (Aurinkotori Oy, henkilökohtainen tiedonanto 11.7.2017.)

### 3.2 Maalämpö

Maalämpöjärjestelmässä kerätään maahan varastoitunutta auringon lämpöä. Maahan asennetaan noin metrin syvyyteen vaakaputkia tai vähintään 150 metrin porakaivoon upotettavia pystyputkia lämmön keräämiseksi. Kallion sisällä on noin viidestä kahdeksaan astetta läpi vuoden. Sisätiloissa sijaitseva pumppu ottaa putkista kerätyn lämmön talteen ja siirtää sen eteenpäin lämmönjakoverkkoon. Maalämpöpumppu pystyy ottamaan noin kaksi kolmasosaa energiasta suoraan maasta ja loput sähköstä, mikä tekee energiasta verrattain halpaa. Järjestelmän hankinta on kuitenkin hyvin kallista, joten suhteessa isommat kohteet hyötyvät maalämmöstä enemmän kuin pienet. Maalämmön lisäksi kannattaa hankkia jokin muu energialähde kattamaan talven lämmityshuippuja. Asennettuna ja toimintavalmiina maalämpö on kuitenkin hyvin vaivatonta ja halpaa uusia energiaa. (Laitinen 2013, 76–78.)

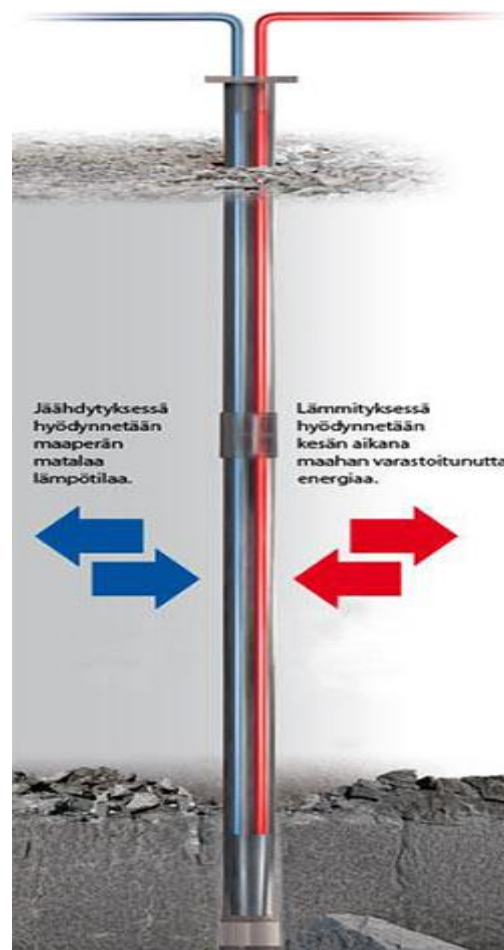
Suuremmissa kohteissa käytetään kiinteistölämpöpumppuja, jotka pystyvät tuottamaan huomattavasti enemmän energiaa pienempiin omakotitaloihin tarkoitettuihin pumppuihin verrattuna. Kiinteistölämpöpumppujen oikeanlainen mitoitus kohteeseen on tärkeää, ja suositeltua on pysyä noin 50 % osatehomitoituksessa, jolloin lämpöpumpusta saatava hyöty on suurin. (LämpöYkkönen Oy, henkilökohtainen tiedonanto 5.7.2017.)

### **Energiapaalu**

Energiapaalua käytetään maalämmön keräämiseen ja hyödyntämiseen. Lisäksi energiapaalu toimii kantavana perustana ja korvaa täysin normaalit perustuspaalut. Paalut joko lyödään tai porataan maahan riippuen olosuhteista. Sen jälkeen teräs- tai betonipaaluun

asennetaan lämmönkeruuputkisto, jossa kiertää lämmönsiirtoneste. Lämmönsiirtonesteen lämpöä hyödynnetään lämmityskaudella ja jäähdytystä viilennyskaudella. Teräspaalu vielä betonoidaan eikä asennuksen jälkeisiä huoltoja tarvitse paaluille enää tehdä.

Energiapaalu sopii erinomaisesti uudiskohteisiin, joissa on sekä lämmitykselle että jäähdytykselle tarvetta, kuten toimistorakennuksiin. Maalämmön vaatimia erillisiä energiakaivoja ei tarvita, joten energiapaalut ovat hyvin edullinen ratkaisu. Järjestelmä maksaakin itsensä takaisin 5–8 vuodessa. (RIL 265-2014, 56–58.)



Kuva 3. Energiapaalun toimintaperiaate (RIL 265-2014, 57).

### 3.3 Ilmalämpö

Ulkoilmasta höyrystimen avulla ottava ilmalämpö- tai ilma-vesilämpöpumppu on yleistynyt Suomessa kovaa vauhtia, mistä voi tulla maalämmölle varteentottava vaihtoehto.

Ilmalämpöpumppu toimii niin, että se kerää ulkoilmasta lämpöä ja siirtää sen sisälle. Ilma-vesilämpöpumppu taas siirtää ilmasta otetun lämpöenergian vesikiertolämmitykseen ja sillä saadaan lämmin käyttövesi.

Ilmalämpöpumppu on maalämpöön verrattuna halvempi ratkaisu, mutta laite ei toimi ollenkaan pakkasilla, jolloin lämmitys pitää kokonaisuudessaan hoitaa toisilla energiamuodoilla. (Laitinen 2013, 78–80.) Ilma-vesilämpöpumppu tuottaa noin 2–4 kWh lämpöä jokaista sen ottamaa sähkö kWh:ta kohden vuodessa, mutta loput 50 % lämmitystarpeesta täytyy ottaa muualta. (RIL 265–2014, 53). Nyrkkisääntönä ilmalämpöpumppua mitoittaessa voidaan pitää 1 kW:n tehontarvetta 40 m<sup>2</sup> kohden, kun huomioidaan huoneiston jäähdytys- ja lämmitystarve. Hyvin varustetuissa ilmalämpöpumpuissa on myös sisäilman laatua parantavia ominaisuuksia, joiden avulla ilmasta saadaan suodatettua erilaisia homeita, viruksia ja allergeenejä. (Happonen 2010, 45, 47.)

### 3.4 Kaukolämpö

Suomessa lähes puolet tuotetusta lämmitysenergiasta on kaukolämpöä. Jo 166 kunnassa on kaukolämpöverkko. (Motiva 2017.) Lämpöä tuotetaan polttamalla polttoaineita lämpövoimalaitoksissa, joista lämmitettävä vesi kiertää maanalaisiin putkiin ja edelleen lämmitettäviin rakennuksiin. Järjestelmään kuuluu lämmönsiirtimiä, jotka esimerkiksi kierukan välityksellä siirtävät lämpöenergiaa käyttöveteen.

Kaukolämpö on hyvin vaivaton energiamuoto, jos vain kuuluu kaukolämpöverkoston piiriin. Huoltotoimenpiteitä ei juurikaan tarvita eikä myöskään erillisille lämmönvaraajille ole tarvetta. Kaukolämmön kokonaiskulut vaihtelevat hyvin paljon kunnittain, ja kulut koostuvat liittymismaksusta (kuva 5), perusmaksusta (kuva 4), energiamaksusta ja lisäksi tarvitaan lämmönjakokeskuslaitteisto. (Laitinen 2013, 81–83.)

Turussa kaukolämpö tuotetaan Naantalin voimalaitoksessa, Kakolan lämpöpumppulaitoksessa ja Orikedon biolämpökeskuksessa. Pääpolttoaineena käytetään vielä nykyisin kivihiiltä ja lisänä biopolttoainetta. Lisäksi pienemmillä pelletti- ja öljylämpökeskuksilla avustetaan talvipakkasten huippuja ja vikatilanteissa ilmentyvää lämmöntarvetta. (Turku Energia Oy 2016.)

Veroton energiamaksu on alkaen 1.2.2017 62,55 €/MWh ja verollinen 77,56 €/MWh (Turku Energia Oy 2017.)

### Perusmaksu riippuu sovitusta sopimustehosta P (kW)

Tariffiryhmä	Teho P (kW)	Perusmaksu euroa/vuosi
1	alle 15	$a * n * 320$
2	15...65	$a * n * (P * 27)$
3	65...165	$a * n * (P * 24 + 195)$
4	165...650	$a * n * (P * 12 + 2175)$
5	yli 650	$a * n * (P * 6 + 6075)$

- $a$  = arvonlisävero
- $n$  = tarkistuskauden alussa tiedossa oleva Tilastokeskuksen laskeman tuottajahintaindeksin 2005 = 100 (TOL 2008) suhde lähtötasoon. 1.2.2017 alkaen  $n = 1,00$ .

kuva 4. Kaukolämmön perusmaksu Turku Energialla (Turku Energia Oy 2017).

Liittymismaksun määrä lasketaan tehon perusteella seuraavasti:

P (kW)	Liittymismaksu €
alle 15	$n \times 0,81 \times 3500$
15...165	$n \times 0,81 \times (P \times 80 + 2570)$
165...815	$n \times 0,81 \times (P \times 47 + 8015)$
815...1630	$n \times 0,81 \times (P \times 32 + 20240)$
yli 1630	$n \times 0,81 \times (P \times 22 + 36540)$

Maksuun lisätään voimassa oleva arvonlisävero.

$n$  = tarkistuskauden alussa tiedossa oleva Tilastokeskuksen laskeman rakennuskustannusindeksin 2015 = 100 suhde lähtötasoon. 1.7.2017 alkaen  $n=1,00$ .

kuva 5. Kaukolämmön liittymismaksu (Turku Energia Oy 2017).



## 4 KOHTEEN MALLINTAMINEN JA SIMULOINTI

### 4.1 Laskentaohjelma

Toimitilojen energiakulutuksen selvittämiseen käytetty IDA ICE on dynaaminen simulointiohjelmisto, jolla voidaan luoda rakennuksesta kolmiulotteisia vyöhykkeitä ja selvittää niiden tai koko rakennuksen energiankulutusta. Ohjelmaan saa hyvin tarkasti määriteltyä mm. vuoden mittaiset säätiedot, paine-erot, varjostukset, ilmapirtaukset ja koko rakennuksen tiedot. IDA ICE osaa hakea tietokannoistaan Suomen rakentamismääräyskoelma D3:n mukaisia ohje-arvoja, jos mittaustuloksia tai rakenteita ei ole tiedossa.

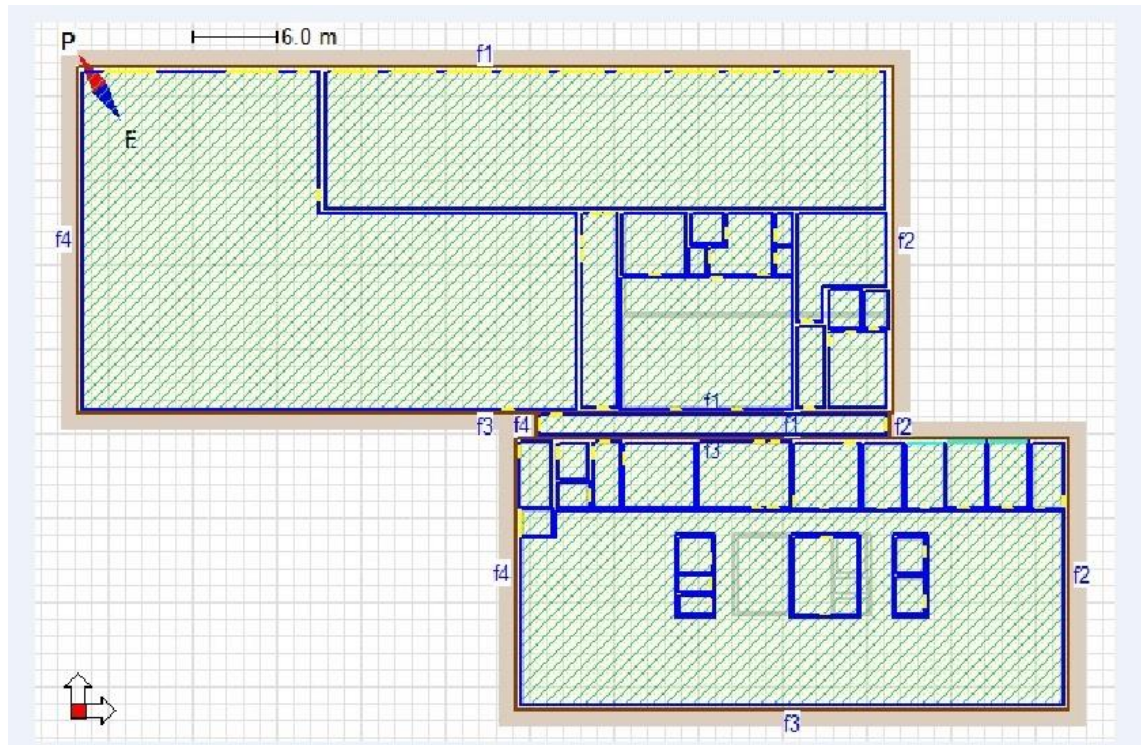
Tässä mallinnuksessa on hyvin pitkälti käytetty ohje-arvoja rakenteiden ja ympäristötietojen mallintamiseen, koska tarkkoja tietoja toimitilasta ei vielä ole olemassa ja muutoksia saattaa vielä tulla. Mallinnuksella kuitenkin saatiin suuntaa antavia tuloksia energiankulutuksesta, jonka perusteella pystytään vertailemaan energialähteiden soveltuvuuksia.

Rakennuksesta mallinnettiin pohja, joiden mukaan simulointi tehtiin. Sille annettiin mm. seuraavat muuttumattomat tiedot:

- vyöhykkeet
- rakennuksen pohja
- rakenteiden lämmönläpäisykertoimet
- ikkunat ja ovet
- suuntaus
- vuotoilmanvirta.

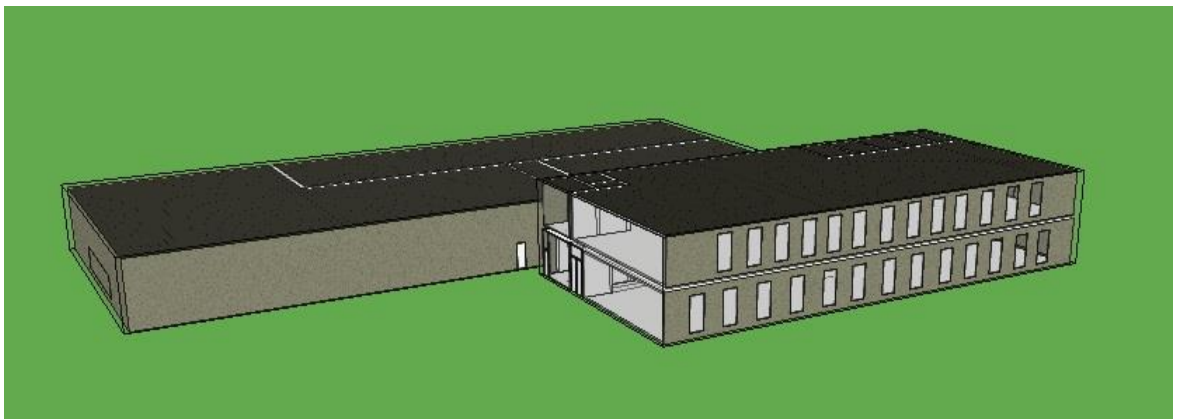
### 4.2 Yleistiedot kohteesta

Mallinnus aloitettiin tuomalla arkkitehtipiirustus ohjelmaan ja määrittelemällä sen pohjalta rakennuksen muoto ja huoneet eli vyöhykkeet (kuva 6). Sen jälkeen määriteltiin rakenteet, joina käytettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 mukaisia vaatimuksia.



Kuva 6. Toimitilan 1. kerroksen vyöhykkeet.

IDA ICE määrittelee 3D-mallin vyöhykkeiden pohjalta (kuva 7). Lämmitysmuotona käytettiin vesikiertoista lattialämmitystä, joka asetettiin jokaiseen vyöhykkeeseen. Lattijäähdytys jätettiin varastotiloista pois.



Kuva 7. 3D-näkymä kohteesta.

Vuotoilmavirtana käytettiin lukua  $0,083 \text{ m}^3/\text{h}$ , joka saatiin vuotoilmavirran kaavasta:

$$q_{v, \text{vuotoilma}} = q \frac{50}{3600 \cdot x},$$

jossa

$q_{50}$  = rakennusvaipan ilmanvuotoluku, jonka vertailuarvona käytetään  $2 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$

$x$  = kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille korkeimmille rakennuksille 15

3 600 = ilmavirran muuntokerroin  $\text{m}^3/\text{h}$  yksiköstä  $\text{m}^3/\text{s}$  yksikköön (RT RakMK-21504 2012).

Ikkunoiden ja lasiseinien U-arvoksi määriteltiin suurin Suomen rakennusmääräyskokoelman ikkunoille sallima arvo eli  $1,0 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)$ . Seinien rakenteiden yhteinen U-arvo oli laskennoissa  $0,17 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)$  ja ovien  $1,0 \text{ W}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)$ .

Lämpöpumppujen tehoksi asetettiin 80 kWh, joiden lämpökertoimena (COP) käytettiin 4:ää. Jäähdytys toteutettiin sähkökäyttöisellä jäähdytyslaitteella, jonka kylmäkerroin (EER) oli 3. Lämpöpumppujen osalta kuitenkin käytettiin niiden antamaa jäähdytystehoa. Aurinkokeräimiä asetettiin yhteensä  $20 \text{ m}^2$ :n verran, jossa lämpövaraajan koko on rajoitettava tekijä, kun lämmitetään käyttövettä keräimillä.

Energian hintoina kaukolämmölle käytettiin:

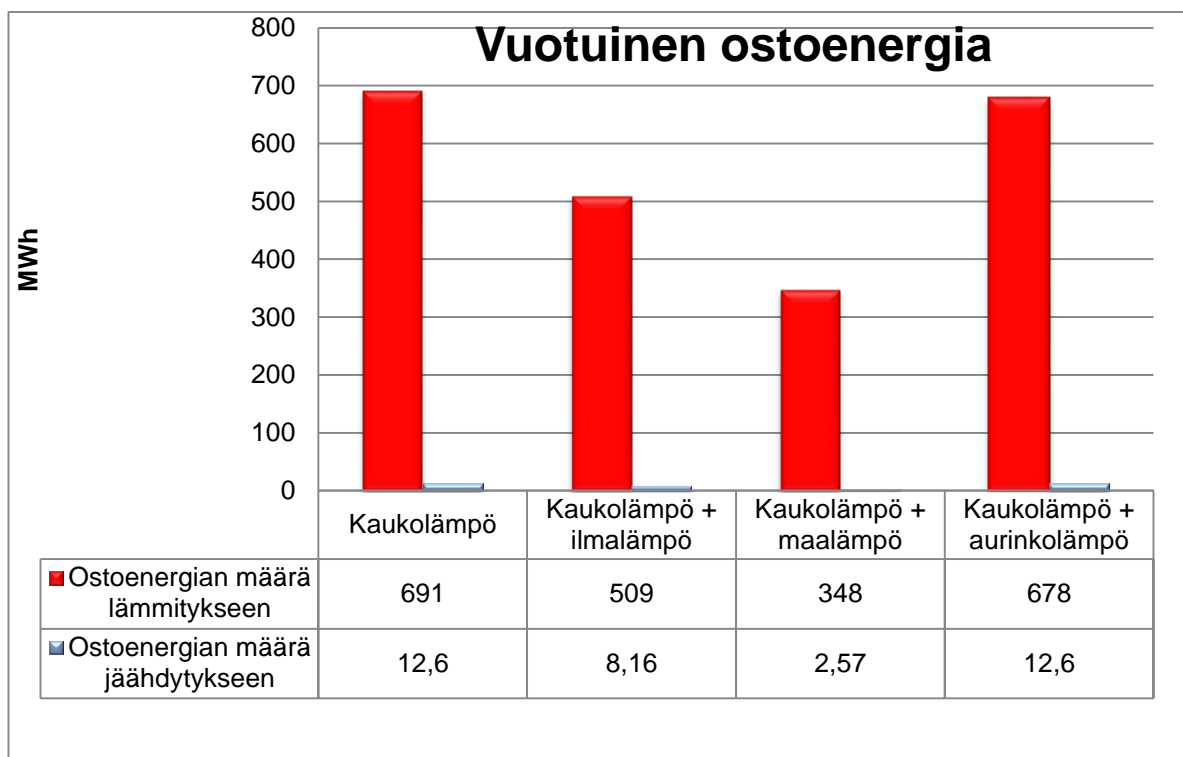
- energiamaksu 77,56 €/MWh
- perusmaksu 397€

ja sähkölle:

- 11 snt/kWh.

#### 4.3 Tulokset

Simulaatioissa tarkasteltiin eri lämmitysmuotojen vaikutusta rakennuksen ostoenergian määrään (kuvio 2), mikä koostuu pääosin rakennukseen tuodusta sähköstä ja kaukolämmöstä.



Kuvio 2. Rakennuksen ostoenergian tarve lämmitykseen ja jäähdytykseen.

Tuloksista käy ilmi, että maalämpö vähentää ostoenergian määrää ylivoimaisesti eniten muihin ratkaisuihin verrattuna. Vaikka ilmalämmön ja maalämmön lämpökertoimet ovat samat, ilmalämpöä ei pystytä hyödyntämään talvella. Tällöin ilma-vesilämpöpumpun COP tippuu lähelle 1:tä, jolloin lämmitys hoituu suoraan sähköllä.

Aurinkokeräinten tuottama lämpöenergia on hyvin vähäistä, mutta aurinkokeräinjärjestelmä on simulaatiossa suhteessa pienempi lämpöpumppeihin verrattuna. Kesäajan pienintä kulutusta ei ole tiedossa, joten järjestelmän kokoa ei kannata turhaan kasvattaa.

Jäähdytys on suhteessa lämmitykseen vähäistä, mutta täytyy huomioida, että suurimassa osassa varastopuolelle ei asennettu jäähdytystä. Lisäksi simulaation käyttämä ideal cooler jäähdyttimen EER oli 3.

## 5 KUSTANNUSTEN VERTAILU

### Aurinkolämpöjärjestelmä

Aurinkokeräinten käyttö vaatii aina kohdekohtaisen tarkastelun ja oikean mitoituksen, jotta ylikuumentamista ei pääse tapahtumaan. Tarkasteltavaan kohteeseen valittiin 2 000 l varaaja ja sen perusteella 20 m<sup>2</sup>:n keräimiä. 1 m<sup>2</sup> keräimiä asennettuna maksaa 1 000 €, joten yhteensä aurinkokeräinjärjestelmä kustantaa noin 20 000€. Tyhjiöputkikeräin on hieman kalliimpi, mutta tasokeräimet ovat yleisemmin käytettyjä.

Aurinkokeräinjärjestelmä on hyvin huoleton ratkaisu ja lähes huoltovapaa, koska mekaanisia liikkuvia osia ei ole. Tämän vuoksi hankintakustannukset ovat suurin investointi. Elinikä on vähintään 20 vuotta, jolloin keräin on ehtinyt maksaa itsensä takaisin. (Aurinkotori Oy, henkilökohtainen tiedonanto 11.7.2017.)

Järjestelmä tuottaa simulaation perusteella tarkastellussa kohteessa noin 13 000 kWh energiaa vuodessa, joka käytetyllä kaukolämmön hinnalla säästäisi 1 000 € vuodessa. Takaisinmaksuajaksi tulisi 20 vuotta kyseisellä investointihinnalla.

### Maalämpö

Maalämpöön investointi on hyvin kallista, mutta käyttökustannukset ovat matalat. Kiinteistölämpöpumpun keskimääräinen hinta asennettuna on 1 800 €/kW, eli kohteeseen asennettu pumppu maksaisi 144 000 €. Maalämpöpumpun elinikä on yleensä 20–30 vuotta, jonka jälkeen kompressori ja kiertovesipumppu uusittava. (LämpöYkkönen Oy, henkilökohtainen tiedonanto 5.7.2017.)

Mitoitus suoritettiin osateholle eli käytettiin 80 kW:n lämpöpumppua, jolla saatiin vähennettyä kaukolämmön ja jäähdytyksen ostoenergiaa 352 MWh:ta vuodessa. Kun vähentää pumpun tarvitseman 14 MWh:n sähkönenergian, säästöä kertyy 23 100 € vuodessa. Takaisinmaksuajaksi tulisi noin 6 vuotta.

### Ilmalämpö

Ilmalämpöpumppu on maalämpöä hieman halvempi investointi, mutta se ei tuota energiaa yhtä tehokkaasti etenkin kylmään aikaan. Keskimääräinen 80 kW:n ilma-vesilämpöpumpun hinta asennettuna on 1 400 €/kW, eli hintaa pumpulle kertyy 112 000 €. (LämpöYkkönen Oy, henkilökohtainen tiedonanto 5.7.2017.)

Kaukolämmön ostoenergiaa sekä jäädytykseen kulunutta ostoenergiaa säästyy 187 MWh, mutta sähkönkulutus nousee 95 MWh:ta. Säästöä kertyy tällöin 11 500 € vuodessa, ja takaisinmaksuajaksi tulee noin 10 vuotta. Keskimääräinen tekninen käyttöikä on 10–15 vuotta, mutta sisäyksikön suodatin tulisi puhdistaa kuukausittain ja vaihtaa joka vuosi. (RT 18-10922.)

### Kaukolämpö

Kaukolämpö on toimintavarmin ja huolettomin vaihtoehto, mutta kaikki tarvittava energia on ostettua. Laitteistokustannuksissa ei tarvitse ottaa lämmönvaraajaa mukaan, koska lämmönjakokeskus huolehtii automaattisesti tarvittavan lämmön jakamisesta.

Kaukolämmön perusmaksuksi tulee 6 460 € (kuva 4), liittymismaksuksi 22 950 € (kuva 5), ja käyttökustannukset ovat 53 980 € vuodessa. Lämmönjakokeskus asennettuna maksaa 8 000–12 500 euroa kohteesta riippuen (Laitinen 2013, 83). Lämmönjakokeskuksen voidaan arvioida olevan lähemmäs 11 000 euroa kyseisessä kohteessa.

Taulukko 3. Ostoenergian osuus lämmitysmuodoittain.

Osuus os- toenergian tar- peesta	Kaukolämpö	Kaukolämpö + maalämpö	Kaukolämpö + ilmalämpö	kaukolämpö + aurinko- lämpö
Sähkönkulutus (%)	1	40	19	1
kaukolämmön kulutus (%)	99	60	81	99
kustannus sähkö (€)	1 523	15 810	11 135	1 523
Kustannus kaukolämpö (€)	53 983	16 630	32 900	53 014

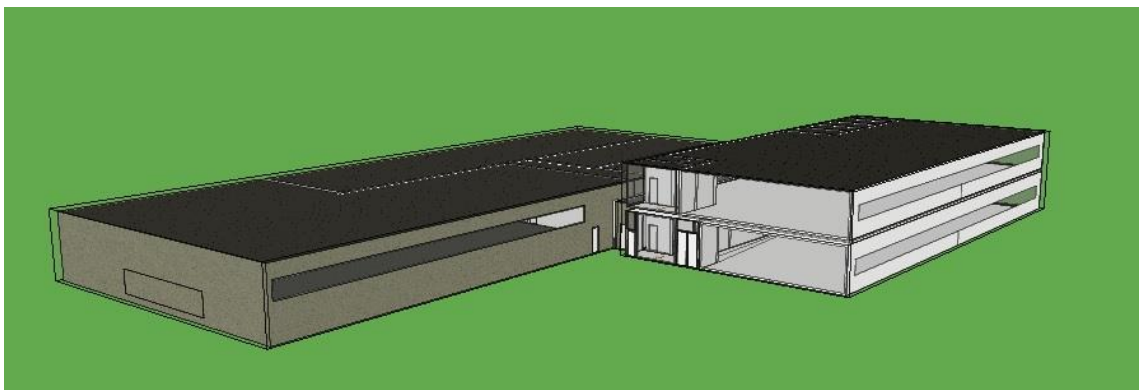
### Vaihtoehtoinen malli

Arkkitehtitoimiston tekemissä piirustuksissa on luonnos rakennuksesta, jossa toimistorakennuksen seinät koostuvat teräslasiseinistä ja leikatusta Cor-Ten-teräksestä pidemmillä sivuilla. Teräkseen on leikattu nauhaikkunat. Tälle vaihtoehdolle tehtiin erillinen tarkastelu ja selvitettiin, kuinka paljon seinämateriaalin muutos vaikuttaa energiankulutukseen.

Taulukko 4. Energiantarve lasiseinillä.

Ostoenergia lämmitys (MWh)	Ostoenergia jäähdytys (MWh)	Tehontarve lämmitys (kW)	Tehontarve Jäähdytys (kW)
722	18,7	275	164

Tuloksista käy ilmi, että vuotuinen lämmitysenergiantarve kasvaa noin 5 % ja jäähdytysenergiantarve kasvaa noin 37 %. Myös huipputehontarve lämmityksen osalta lisääntyy 8 % ja jäähdytyksen osalta 11 %. Lasipintaa peittää isolta osin Cor-Ten-teräs, joka vähentää auringon aiheuttamaa lämpökuormaa sisätiloissa.



Kuva 8. 3D-näkymä vaihtoehtoisesta mallista lasiseinillä.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Tarkkoja laskelmia ja hintoja on vielä hyvin vaikeaa ja lähes mahdoton tehdä, koska lähtötietoja on rajallisesti. Tämän takia myöskään tarkkoja hintoja ei haettu lämpöpumpuille eikä aurinkokeräimille. Lämmitysjärjestelmien valitseminen on hyvin kohdekohtaista ja vaatii aina asiantuntijan selvityksen mitoituksista ja soveltuvuuksista. Työssä saadut tulokset ovat kuitenkin suuntaa antavia, mutta niitä voi vertailla keskenään ja niiden kannattavuuksista voi tehdä johtopäätöksiä.

Aurinkokeräinjärjestelmä on pienempi verrattuna lämpöpumppuihin, koska mitoitus pitää tehdä kohteelle tarkasti kesän pienimmän lämpimän vedenkulutuksen mukaan, jotta järjestelmän ylikuumenemista ei tapahdu. Tämän takia keräinten pinta-ala jätettiin melko pieneksi. Hankintainvestointi on melko kallis verrattuna keräinten antamaan tuottoon ja takaisinmaksuaikaan. Paras lämmitysenergian tuotto saadaan kesällä, jolloin lämmöntarvetta ei juurikaan ole toimistorakennuksien kaltaisissa tiloissa. Lisäksi tämä järjestelmä ei tuota jäähditysenergiaa ollenkaan. Aurinkokeräimiin investointi ei ole tulosten ja käyttökohde huomioon ottaen kovin kannattava sijoitus, ellei lämpöä pystytä varastomaan esimerkiksi maaperään energiapaaluilla, jolloin niiden keräämää lämpöä pystyttäisiin hyödyntämään pidempään eikä mitoituksessa tarvitsisi huolehtia lämminvesivarauksen ylikuumenemisestä. Tällöin myös aurinkokeräinten takaisinmaksuaika lyhenee hieman. Muussa tapauksessa aurinkokeräinten sijaan kannattaa sijoittaa aurinkosähköä tuottaviin aurinkokennoihin.

Ilmalämpöpumppuun investointi on maalämpöä jonkin verran edullisempaa, koska maahan porattavia energiakaivoja ei tarvita lämmön keräämiseen. Myöskään tuotto ei ole aivan yhtä hyvä, koska talvella COP jää lähes 1:een, mikä tarkoittaa suoraa sähkölämmitystä. Laskelmat tehtiin 80 kW:n pumpulla, koska suositeltu teho/m<sup>2</sup> on optimaalinen juuri tämän kokoluokan pumpulle. Takaisinmaksuaika on noin 10 vuotta, mikä on kohtuullinen aika. Ilmalämpöpumppu soveltuu parhaiten vanhoihin jo olemassa oleviin rakennuksiin sen helpon ja suhteessa halvan asentamisen vuoksi.

Taulukosta 5 nähdään, että tarkasteltavista energiamuodoista suurin investointikustannus on maalämmön ottaminen rakennukseen. Sillä saadaan myös merkittävästi suurimmat säästöt, ja takaisinmaksuaika onkin vain 6 vuotta. Laskelmat tehtiin osatehomitoituksena 80 kW:n pumpulla, jolla saatiin iso osa korvattua ostetusta kaukolämmöstä.



Sama teholuokka ilmalämpöpumpun kanssa myös antaa hyvän vertailukohtan. Maalämmön hyödyntäminen vaatii energiakaivojen porausta maahan, mikä nostaa investointikustannuksia, mutta se on helppo suorittaa rakentamisvaiheessa, minkä perusteella se soveltuu mainiosti tarkasteltavaan kohteeseen. Myös energiapaalujen käytön mahdollisuutta kannattaa harkita perustusvaihetta miettiessä, jolloin maalämmön vaatimia energiakaivoja ei tarvittaisi ollenkaan. Modernissa uudiskohteessa maalämmön toteutus energiapaaluilla saattaakin olla kannattavin ja eniten säästöä tuova ratkaisu, mutta jolloin maalämmön käyttöönotto kaukolämmön kylkeen on työssä tarkasteltavista energianlähteistä kannattavin sijoitus.

Huomioon tulee ottaa, että Turku Energia toimii itse energiantuottajana. Sähkön ja kaukolämmön kulutukset käytännössä laskutetaan yhtiölle itselleen, joten todellisten kuluttajahintojen kustannuksiin verrattuna maksut koostuvat lähinnä energian jakelusta ja tuottamisesta johtuvista kuluista.

## LÄHTEET

Energiatodistuksen kokonaisenergiakulutuksen (E-luvun) määrittäminen 176/2013. Viitattu 28.4.2017 <http://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/6186.pdf>.

Happonen, T. 2010. Ilmalämpöpumpun toiminta ja asennus. Kuopio: Kopijyvä Oy.

Laitinen, J. 2013. Pieni suuri energiakirja. Petäjävesi: into.

Motiva Oy 2017. Kaukolämpö. Viitattu 11.4.2017  
[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/kaukolampo).

Rakennustieto Oy 2008. RT 18-10922. Kiinteistö tekniset käyttöiät ja kunnossapitajakset. Viitattu 26.7.2017  
Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rakennustietosäätiö RTS 2007. Rakennusten lämmitysjärjestelmät. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Talokeskus Yhtiöt Oy 2017. Talokeskuksen energiakatselmus – kokemuksella ja laadulla. Viitattu 8.3.2017 <http://www.talokeskus.fi/yllapitopalvelut/energianhallinta/energiakatselmus>.

Turku Energia Oy 2016. Kaukolämmön alkuperä ja ympäristövaikutukset. Viitattu 11.4.2017  
<http://www.turkuenergia.fi/kaukolampo-ja-jaahdytys/kaukolampo-kestavin-valinta/kaukolammon-alkupera-ja-ymparistovaikutukset>.

Turku Energia Oy 2017. Kaukolämpöliittymä. Viitattu 24.7.2017  
[https://www.turkuenergia.fi/app/uploads/2016/10/Liittym%C3%A4-ja-johtomaksu\\_01072017.pdf](https://www.turkuenergia.fi/app/uploads/2016/10/Liittym%C3%A4-ja-johtomaksu_01072017.pdf).

Turun karttapalvelu 2017. Viitattu 25.7.2017  
<https://opaskartta.turku.fi/ims>.

Virta, J. & Pylsy, P. 2011. Taloyhtiön energiakirja. Helsinki: Kiinteistöalan Kustannus Oy.

RIL 265-2014. 2014 Uusiutuvien lähienergioiden käyttö rakennuksissa Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta D3. Annettu Helsingissä 30.3.2011 [http://www.finlex.fi/data/normit/37188/D3-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37188/D3-2012_Suomi.pdf).

## Simulaation yhteenveto

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kustannus		Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	euro	euro/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	33740	11.2	33740	11.2	12.03			57358	19.0
Jäähdytys	12591	4.2	12591	4.2	49.09	1523	0.5	21405	7.1
LVI sähkö	90098	29.8	90098	29.8	12.12			153167	50.7
Yhteensä, Kiinteistösähkö	136429	45.2	136429	45.2		1523	0.5	231930	76.8
Lämmitys	690904	228.7	690904	228.7	252.6	53983	17.9	483633	160.1
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	690904	228.7	690904	228.7		53983	17.9	483633	160.1
Yhteensä	827333	273.9	827333	273.9		55506	18.4	715563	236.9
Laitteet, asukas	33740	11.2	33740	11.2	12.03			57358	19.0
Yhteensä, Asukkaan sähkö	33740	11.2	33740	11.2		0	0.0	57358	19.0
	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	0	0.0
Yhteensä	861073	285.0	861073	285.0		55506	18.4	772921	255.9

### Kaukolämpö

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kustannus		Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	euro	euro/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	33741	11.2	33741	11.2	12.03			57360	19.0
Jäähdytys	2571	0.9	2571	0.9	26.75	418	0.1	4370	1.4
LVI sähkö	87280	28.9	87280	28.9	10.87			148376	49.1
Sähkölämmitys, kiinteistö	138327	45.8	138327	45.8	26.53	15392	5.1	235156	77.9
Yhteensä, Kiinteistösähkö	261919	86.7	261919	86.7		15810	5.2	445262	147.4
Lämmitys	209284	69.3	209284	69.3	174.6	16630	5.5	146499	48.5
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	209284	69.3	209284	69.3		16630	5.5	146499	48.5
Yhteensä	471203	156.0	471203	156.0		32440	10.7	591761	195.9
Laitteet, asukas	33741	11.2	33741	11.2	12.03			57360	19.0
Yhteensä, Asukkaan sähkö	33741	11.2	33741	11.2		0	0.0	57360	19.0
	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	0	0.0
Yhteensä	504944	167.2	504944	167.2		32440	10.7	649121	214.9

Kaukolämpö + maalämpö 80 kW:n pumpulla

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kustannus		Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	euro	euro/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	33744	11.2	33744	11.2	12.03			57365	19.0
Jäähdytys	12581	4.2	12581	4.2	49.01	1523	0.5	21388	7.1
LVI sähkö	90027	29.8	90027	29.8	12.07			153046	50.7
Yhteensä, Kiinteistösähkö	136352	45.1	136352	45.1		1523	0.5	231799	76.7
Lämmitys	678397	224.6	678397	224.6	251.6	53014	17.6	474878	157.2
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	678397	224.6	678397	224.6		53014	17.6	474878	157.2
Yhteensä	814749	269.7	814749	269.7		54537	18.1	706677	233.9
Laitteet, asukas	33744	11.2	33744	11.2	12.03			57365	19.0
Yhteensä, Asukkaan sähkö	33744	11.2	33744	11.2		0	0.0	57365	19.0
	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	0	0.0
Yhteensä	848493	280.9	848493	280.9		54537	18.1	764042	252.9

Kaukolämpö + aurinkokeräinjärjestelmä 20 m<sup>2</sup>

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kustannus		Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	euro	euro/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	33742	11.2	33742	11.2	12.03			57361	19.0
Jaähdytys	8152	2.7	8152	2.7	45.36	1034	0.3	13858	4.6
LVI sähkö	92315	30.6	92315	30.6	12.09			156935	52.0
Sähkölämmitys, kiinteistö	90355	29.9	90355	29.9	23.44	10101	3.3	153604	50.9
Yhteensä, Kiinteistösähkö	224564	74.3	224564	74.3		11135	3.7	381758	126.4
Lämmitys	419073	138.7	419073	138.7	231.7	32900	10.9	293351	97.1
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	419073	138.7	419073	138.7		32900	10.9	293351	97.1
Yhteensä	643637	213.1	643637	213.1		44035	14.6	675109	223.5
Laitteet, asukas	33742	11.2	33742	11.2	12.03			57361	19.0
Yhteensä, Asukkaan sähkö	33742	11.2	33742	11.2		0	0.0	57361	19.0
	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	0	0.0
Yhteensä	677379	224.2	677379	224.2		44035	14.6	732470	242.5

Kaukolämpö + ilmalämpö 80 kW:n pumpulla

	Käytetty energia		Ostoenergia		Tarve	Kustannus		Kokonaisenergia	
	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>	kW	euro	euro/m <sup>2</sup>	kWh	kWh/m <sup>2</sup>
Valaistus, kiinteistö	33745	11.2	33745	11.2	12.03			57366	19.0
Jaähdytys	18743	6.2	18743	6.2	54.8	2202	0.7	31863	10.6
LVI sähkö	90707	30.0	90707	30.0	12.67			154202	51.1
Yhteensä, Kiinteistösähkö	143195	47.4	143195	47.4		2202	0.7	243431	80.6
Lämmitys	722361	239.1	722361	239.1	275.3	56423	18.7	505653	167.4
Yhteensä, Kiinteistökaukolämpö	722361	239.1	722361	239.1		56423	18.7	505653	167.4
Yhteensä	865556	286.5	865556	286.5		58625	19.4	749084	248.0
Laitteet, asukas	33745	11.2	33745	11.2	12.03			57366	19.0
Yhteensä, Asukkaan sähkö	33745	11.2	33745	11.2		0	0.0	57366	19.0
	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	0	0.0
Yhteensä	899301	297.7	899301	297.7		58625	19.4	806430	267.0

Kaukolämpö lasiseinillä

## Kustannusvertailun yhteenveto

	Kauko- lämpö	Maalämpö	Ilmalämpö	Aurinko- lämpö	Vaihtoehto- malli kauko- lämmöllä
Investointi (€)	34 000	144 000	112 000	20 000	34 000
Käyttö- maksu (€)/vuosi	56 000	32 000	44 000	55 000	58 000
Yhteensä (€)	90 000	176 000 + kaukolämpö	156 000 + kaukolämpö	75 000 + kaukolämpö	92 000
Takaisin- maksuaika (vuosi)	-	6	10	20	-

Kokonaiskustannusvertailun yhteenveto