

Jonny Tiri

**KUIVANIEMEN TYYPILLISTEN RAKENNUSTEN ENERGIAN-  
SÄÄSTÖTOIMET**

# KUIVANIEMEN TYYPILLISTEN RAKENNUSTEN ENERGIAN- SÄÄSTÖTOIMET

Jonny Tiri  
Opinnäytetyö  
Kevät 2018  
Energiatekniikan tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Energiatekniikka

---

Tekijä: Jonny Tiri:

Opinnäytetyön nimi: Kuivaniemen tyypillisten rakennusten energiasäästötoimet:

Työn ohjaajat: Timo Kiviahde ja Jouni Tanskanen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 81 + 3 liitettä

---

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia lin Micropolikselle Kuivaniemen Asemankylän rakennuskannan kolmen tyypillisen esimerkkirakennuksen mahdolliset energiasäästötoimet. Energiasäästötoimenpiteinä tutkittiin rakenneosien saneerausta sekä lämmitysjärjestelmien muuttamista sekä tukilämmitysjärjestelmien lisäämistä.

Aluksi työssä määriteltiin tyypitalojen rakentamisvuosien perusteella niiden rakenteelliset ominaisuudet. Tämän jälkeen laskettiin tyypitalojen energiankulutukset sekä rakenteiden lämpöhäviöt rakennusmääräysten mukaisesti. Rakennusmääräyksistä poikettiin painovoimaisen ilmanvaihdon yhteydessä, sillä 1970- sekä 1980-luvun rakennusten painovoimainen ilmanvaihto ei ole verrattavissa nykypäivän standardien mukaiseen ilmanvaihtoon. Energiakulutuksen määrittämisen jälkeen laskettiin kaikille tyypitaloille yhteisiä sekä yksilöllisiä energiasäästötoimia. Yhteisenä energiasäästötoimena laskettiin rakenneosien saneeraus- sekä tukilämmitysmuotona ilmalämpöpumpun lisäämistä. Ensimmäiselle tyypitalolle laskettiin fossiilisen polttoöljyn tilalle uusiutuvalla bioenergialla toimiva pellettilämmitysjärjestelmä. Toiselle, kaukolämmöllä toimivalle tyypitalolle ei löytynyt yksilöllisiä energiasäästötoimia. Kolmannelle tyypitalolle tutkittiin ilmanvaihtokoneen vaihtamista uuteen energiatehokkaampaan malliin sekä aurinkoenergian kannattavuutta.

Talojen energiatehokkuutta tutkittiin eri näkökulmista. Lopullisia tuloksia käsiteltiin yksinkertaisella takaisinmaksumenetelmällä. Asiallisena investoinnin takaisinmaksuaikana pidettiin kymmentä vuotta. Laskelmien perusteella jokaiseen tyypitaloon suositellaan yläpohjan lisäeristämistä. Ensimmäisen tyypitalon lämmitysjärjestelmän vaihtaminen pellettiin havaittiin kannattavaksi, sillä sen polttoainekustannukset ovat merkittävästi pienemmät ja pelletin hinta on vakaampi kuin öljyn. Havaittiin, että kolmanteen tyypitaloon kannattaisi uusia ilmanvaihtokone, sillä vanhan ilmanvaihtokoneen aiheuttamat lämpöhäviöt ovat merkittävä energiakulutus tässä tyypitalossa. Opinnäytetyössä päädyttiin tulokseen, että korkeiden investointikustannusten takia aurinkoenergia ei ole kannattavaa.

---

Asiasanat: energiatehokkuus, lämmitysjärjestelmät, kannattavuus

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Energy Technology

---

Author: Jonny Tiri

Title of thesis: To determine the best renovation methods to save energy in the average buildings in Kuivaniemi

Supervisor: Timo Kiviahde and Jouni Tanskanen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018

Pages: 81 + 3 appendices

---

The object of this thesis was to determine the best renovation methods to save energy in 1970's, -80's and -90's commonly built buildings in Kuivaniemi. Energy saving methods were explored in buildings renovation, in heating system modification, and in additional different supporting heating systems.

Buildings energy consumptions were calculated with Finnish building standards. After making structure-specific energy consumption calculations before and after renovation, it was possible to solve structure-specific energy save. When total energy consumption of the buildings was known, it was possible to calculate energy costs for the fossil oil and the renewable biofuel pellet. When were known the total energy cost of the buildings, it was possible to calculate how big energy savings could be done, if adding some energy support system. Energy saving was calculated for solar energy and air source heat pump.

The feasibility calculations were made with simple payback time method. Practical re-payment period was held in 10 years. It was noted that it would be cost-effective to make additional insulation to the roof area to -70's, -80's and -90's houses. It was also noted that the houses from the -70's, should change oil heating system to the pellet system, because pellets costs are more stable and it is cheaper fuel. Pellet is also nature-friendly renewable local manufactured fuel. The houses from -90's should install new ventilation unit where is more efficiency heat recovery. Because of low productivity and high investment costs to the solar equipment's, solar energy is not profitable currently. Technology is evolving and the investment costs are going to be smaller, so in the future, solar energy should be reconsidered.

---

Keywords: energy efficiency, heating systems, profitability

## ALKULAUSE

Haluan esittää lämpimät kiitokset kaikille Oulun ammattikorkeakoulun opettajille opetuksesta, jota olen saanut kuluneina vuosina. Opetus on mahdollistanut tämän opinnäytetyön tekemisen. Erityiset kiitokset haluan esittää työnvalvojalle lehtori Timo Kiviahteelle sekä opinnäytetyön kieliasun tarkastajalle lehtori Pirjo Partaselle.

Haluan esittää lämpimät kiitokset myös lin Micropoliksen henkilökunnalle mukavista kahvihetkistä. Erityiset kiitokset haluan esittää johtavalle energiainsinööri Heidi Takalolle, joka mahdollisti opinnäytetyön tekemisen, sekä projektipäällikkö Jouni Tanskaselle, joka toimi ohjaajanani.

Kaikista suurimmat kiitokset ansaitsevat kuitenkin koko perheeni ja erityisesti rakas vaimoni, jotka ovat jaksaneet sekä tukeneet minua koko opiskeluaikani.

Oulussa 16.5.2018

Jonny Tiri

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	1
ABSTRACT	2
ALKULAUSE	3
SISÄLLYS	4
SANASTO	7
1 JOHDANTO	12
2 TYYPPITALOT	13
2.1 Tyyppitalo 1, 1970-luvun omakotitalo	13
2.2 Tyyppitalo 2, 1980-luvun rivitalo	14
2.3 Tyyppitalo 3, 1990-luvun omakotitalo	15
3 ENERGIAHINTOJEN KEHITYS	16
4 KORJAUSKERROIN	17
5 RAKENNUSTEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT	21
5.1 Polttoöljy	21
5.2 Pelletti	21
5.3 Kaukolämpö	22
5.4 Suorasähkö	23
5.5 Lämpöpumput	23
5.6 Aurinkokeräimet	26
5.7 Aurinkosähkö	27
6 TYYPPITALOJEN ENERGIANKULUTUS	28
6.1 Tilojen lämmitysenergian nettotarve	29
6.2 Tilojen lämmitysenergian tarve	29
6.2.1 Painovoimainen ilmanvaihto	33
6.2.2 Tulo- ja poistoilmanvaihtokone	34
6.3 Rakennukseen vaikuttavat lämpökuormat	35
6.4 Tilojen sekä lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve	38
6.5 Tyyppitalon 1 tammikuun energiantarve	39
6.5.1 Tilojen lämmitysenergian tarve	39
6.5.2 Tiloihin vaikuttavat lämpökuormat	42
6.5.3 Rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve	44

6.5.4 Lämmin käyttövesi	44
7 RAKENNUSTEN RAKENTEIDEN SANEERAUS	45
7.1 Asetukset	45
7.2 Rakenteiden saneeraukset	45
7.3 Rakenteiden U-arvot	45
7.4 Saneerausten hinnat ja takaisinmaksuaika	46
7.4.1 Pellettijärjestelmä	47
7.4.2 Yläpohjan puhallusvilla	47
7.4.3 Ikkunat	47
7.4.4 Ovet	48
7.4.5 Aurinkokeräimet	48
7.4.6 Ilmalämpöpumput	48
8 TYYPITALON 1 ENERGIANSÄÄSTÖTOIMET	49
8.1 Energiankulutus	49
8.1.1 Painovoimaisen ilmanvaihdon määrittäminen	49
8.1.2 Lämpimän käyttöveden kulutus	49
8.1.3 Tilojen energiankulutus	50
8.2 Öljyn korvaaminen pelletillä	50
8.3 Rakenteiden saneeraus	53
8.3.1 Rakenteiden lämpöhäviöt sekä polttoaineen kustannussäästöt	53
8.3.2 Yläpohjan saneeraus ja takaisinmaksuaika	55
8.3.3 Seinärakenteiden saneeraus ja takaisinmaksuaika	55
8.3.4 Ikkunoiden saneeraus ja takaisinmaksuaika	55
8.3.5 Ulko-ovien saneeraus ja takaisinmaksuaika	56
8.4 Tilojen lämmittäminen ilmalämpöpumpulla	56
9 TYYPITALON 2 ENERGIANSÄÄSTÖTOIMET	60
9.1 Energiankulutus	60
9.1.1 Painovoimaisen ilmanvaihdon määrittäminen	60
9.1.2 Lämpimän käyttöveden kulutus	60
9.1.3 Tilojen energiankulutus	60
9.2 Rakenteiden saneeraus	61
9.2.1 Rakenteiden lämpöhäviöt sekä kustannussäästöt	61
9.2.2 Yläpohjan saneeraus	63

9.2.3 Seinärakenteiden saneeraus	63
9.2.4 Ikkunoiden saneeraus	64
9.2.5 Ovien saneeraus	64
9.3 Tilojen lämmittäminen ilmalämpöpumpulla	64
10 TYYPPI TALON 3 ENERGIANSÄÄSTÖTOIMET	65
10.1 Energiankulutus	65
10.1.1 Koneellinen ilmanvaihto	65
10.1.2 Lämpimän käyttöveden kulutus	65
10.1.3 Tilojen energiankulutus	66
10.2 Rakenteiden saneeraus	66
10.2.1 Rakenteiden lämpöhäviöt sekä kustannussäästöt	66
10.2.2 Yläpohjan saneeraus	68
10.2.3 Seinärakenteiden saneeraus	68
10.2.4 Ikkunoiden saneeraus	69
10.2.5 Ovien saneeraus	69
10.3 Tilojen lämmittäminen ilmalämpöpumpulla	69
10.4 Ilmanvaihdon saneeraus	70
10.5 Aurinkosähkö	71
10.6 Lämminvesivaraajan varaaminen aurinkoenergialla	74
11 YHTEENVETO	76
LÄHTEET	79
LIITTEET	
Liite 1 Energialaskenta Tyypitaloon 1	
Liite 2 Energialaskenta Tyypitaloon 2	
Liite 3 Energialaskenta Tyypitaloon 3	



## SANASTO

$a$	numeerinen parametri
$A_{\text{aurinkokeräin}}$	aurinkokeräimen pinta-ala ( $\text{m}^2$ )
$A_{\text{paneeli}}$	aurinkopaneelin pinta-ala ( $\text{m}^2$ )
$A_i$	rakennusosan $i$ pinta-ala ( $\text{m}^2$ )
$A_{\text{ikkuna}}$	ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen) ( $\text{m}^2$ )
$A_{\text{vaippa}}$	rakennusvaiipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna) ( $\text{m}^2$ )
COP	lämpökerroin (Coefficient Of Performance)
$C_p$	aineen ominaislämpökapasiteetti ( $\text{kJ/kgK}$ )
$C_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti ( $\text{J/(kgK)}$ )
$C_{rak}$	rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti ( $\text{Wh/K}$ )
$Esol,hor$	vuosittainen auringonsäteilyenergia, joka kohdistuu paneeleihin ( $\text{kWh/m}^2$ )
$Es,pv.out$	aurinkopaneeleilla tuotettu vuosittainen energiamäärä ( $\text{kWh}$ )
$F_{\text{käyttö}}$	käyttötilanteen toimivuuskerroin
$F_{\text{läpäisy}}$	säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin
$g$	ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin
$G$	Säteilyteho ( $\text{W/m}^2$ )
$G_{\text{säteily,pystypinta}}$	pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti ( $\text{kWh/(m}^2\text{)}$ )
$H_{\text{tila}}$	rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö ( $\text{W/K}$ )
$I_{\text{ref}}$	Referenssisäteilytilanne ( $\text{kW/m}^2$ )
$k$	käyttöaste
$k_1$	paikkakunta-kohtainen korjauskerroin vertailupaikkakuntaan
$k_2$	paikkakunta-kohtainen korjauskerroin Jyväskylään
$k_{\text{aurinkokeräin}}$	aurinkokeräinten suuntauksen huomioon ottava kerroin

$K_{max}$	paneelin huipputehokerroin
$K_{normeeraus}$	normeerauskerroin
$L_{lkv}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus (m)
$m$	aineen massa (kg)
$\eta_{a,ivkone}$	ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde
$\eta_{kattila}$	kattilan hyötysuhde
$\eta_{lämpö}$	lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste
$P$	lämpökuorma ( $W/m^2$ )
$PA_{säästöt}$	vuotuinen polttoaine säästöt (€)
$PA_{hinta}$	polttoaineen energiahinta (€/kWh)
$P_{max}$	aurinkopaneelin maksimitehokerroin referenssisäteilytilanteessa (W)
$P_{nim}$	aurinkopaneelin nimellisteho (W)
$Q$	energiamäärä (kJ)
$q_{50}$	rakennusvaipan ilmanvuotoluku ( $m^3/(hm^2)$ )
$Q_{alapohja}$	johtumishäviöt rakennuksen alapohjan lävitse (kWh)
$Q_{aur}$	ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia (kWh)
$Q_{aurinkokeräin}$	aurinkokeräimen energiantuotto käyttövedeen keräinpinta-alaa kohti ( $kWh/(m^2a)$ )
$Q_{aurinko,lkv}$	aurinkokeräimellä tuotettu energia lämpimään käyttövedeen (kWh)
$Q_{henk}$	henkilöiden luovuttama lämpöenergia (kWh)
$Q_{ikkuna}$	johtumishäviöt rakennuksen alapohjan lävitse (kWh)
$Q_{ILP,netto}$	ilmalämpöpumpun vuotuinen nettotuotto (kWh)
$Q_{ILP,sähkö}$	ilmalämpöpumpun vuotuinen sähkökäyttö (kWh)
$Q_{iv,korvausilma}$	korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)
$Q_{iv,tuloilma}$	tuloilma tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)
$Q_{joht}$	johtumishäviöt rakennuksen vaipan lävitse (kWh)

$Q_{kylmäsilat}$	johtumishäviöt kylmäsiltojen lävitse (kWh)
$Q_{lkv,kierto}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö (kWh)
$Q_{lkv,kierto,kuorma}$	lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöstä lämpökuormaksi tulevaosuus (kWh)
$Q_{lkv,netto}$	lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve (kWh)
$Q_{lkv,varastointi}$	lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö (kWh)
$Q_{lkv,varastointi,kuorma}$	lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöstä lämpökuormaksi tuleva osuus (kWh)
$Q_{lämmitys,tilat,netto}$	tilojen lämmitysenergian nettotarve (kWh)
$Q_{lämmitys,lkv}$	lämpimän käyttöveden energian kulutus (kWh)
$Q_{lämmitys,tilat}$	tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, joka katetaan laskettavalla lämmön jakelujärjestelmällä (kWh)
$Q_{lämmitys,tilat,netto}$	tilojen lämmitysenergian nettotarve, joka katetaan laskettavalla lämmön jakelujärjestelmällä (kWh)
$Q_{lämpökuorma}$	rakennuksen lämpökuorma (kWh)
$Q_{norm}$	rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus (kWh)
$Q_{ovi}$	johtumishäviöt rakennuksen oven lävitse (kWh)
$Q_{polttoaine}$	tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava polttoaineen energiamäärä (kWh)
$Q_{rakosa}$	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi (kWh)
$Q_{rakosa.säästö.kk}$	rakennekohtainen energiasäästö kuukaudessa (kWh)
$Q_{sis.lämpö}$	lämpökuormat, joita voidaan hyödyntää lämmityksessä (kWh)
$Q_{säh}$	valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma (kWh)
$Q_{tila}$	rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve (kWh)
$Q_{toteutunut}$	rakennuksen tilojen lämmitykseen kuluva energia (kWh)
$Q_{ulkoseinä}$	johtumishäviöt rakennuksen seinien lävitse (kWh)
$q_v$	vuotoilma vuotoilmavirta ( $m^3/s$ )
$Q_{vuotoilma}$	vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)

$Q_{yläpohja}$	johtumishäviöt rakennuksen yläpohjan lävitse (kWh)
$Q_{v, korvausilma}$	korvausilmavirta ( $m^3/s$ )
SCOP	lämpöpumpun energiamerkinnästä saatava lämmityskauden lämpökerroin
$S_N$ vpkunta	normaalivuoden tai -kuukauden (1981...2010) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla
$S$ toteutunut vpkunta	kuukauden tai vuoden toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla
$T_{lto}$	lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila ( $^{\circ}C$ )
TMA	Takaisinmaksuaika
$T_{maa, kuukausi}$	alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila ( $^{\circ}C$ ).
$T_{maa, vuosi}$	alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila ( $^{\circ}C$ )
$T_s$	sisäilman lämpötila ( $^{\circ}C$ )
$T_{sp}$	sisäänpuhalluslämpötila ( $^{\circ}C$ )
$T_u$	ulkoilman lämpötila ( $^{\circ}C$ )
$T_{u, vuosi}$	ulkoilman vuotuinen keskilämpötila ( $^{\circ}C$ )
$U_i$	rakennusosan $i$ lämmönläpäisykerroin, ( $W/(m^2K)$ )
$x$	kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35
$\gamma$	lämpökuorman suhde lämpöhäviöön
$\Delta t$	ajanjakson pituus (h)
$\Delta T$	lämpötilaero
$\Delta T_{maa, kuukausi}$	alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman kuukausittainen keskilämpötilan ero ( $^{\circ}C$ )
$\Delta T_{maa, vuosi}$	alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero ( $^{\circ}C$ )
$\Delta T_{puhallin}$	lämpötilan nousu puhaltimessa ( $^{\circ}C$ )
$\eta_{keskus, kk}$	kattilan kuukausittainen hyötysuhde
$\eta_{lkv, siirto}$	lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde
$\eta_{lämmitys, tilat}$	laskettavan lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde
$\rho_i$	ilman tiheys $1,2 \text{ kg}/m^3$

$\phi_{Ikv,kiertohäviö,omin}$	lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviön ominaisteho (W/m)
$\tau$	rakennuksen aikavakio (h)
$\tau_d$	rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa (h)
$\tau_w$	rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa (d)

# 1 JOHDANTO

Elintason kasvun sekä väestön lisääntymisen seurauksena energiankulutus kasvaa maailmassa jatkuvasti. Käyttämällä fossiilisia polttoaineita energianlähteinä kasvihuonekaasut lisääntyvät ilmakehässä jatkuvasti aiheuttaen kasvihuoneilmiötä. Kasvihuonekaasujen vähentämiseksi energia-alalla pyritään siirtymään fossiilisista polttoaineista uusiutuviin polttoaineisiin sekä hyödyntämään uusiutuvia energialähteitä ja tehostamaan energian käyttöä.

Lokakuussa 2014 Euroopan unionissa päätettiin vähentää kasvihuonepäästöjä 40 % vuoteen 2030 mennessä 1990-luvun tasolta. Suomen hallitus on hyväksynyt 24.11.2016 kansallisen energia- ja ilmastostrategian, jossa tavoitteena on vähentää 80 - 95 % kasvihuonepäästöjä vuoteen 2050 mennessä.

Tämän työn tilaajana toimii Iin Micropolis, joka luo sekä kehittää teknologiaan perustuvaa elinvoimaa ja yritystoimintaa Oulun seudulle. Arctic Energy on Micropolisin projekti, jossa kehitetään simulointimenetelmää omavaraiseen ja hiilivapaiseen yhteisöjen energiatuotannon mallintamiseen pohjoisissa olosuhteissa.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan Kuivaniemen Asemakylän kolmen tyypillisen esimerkkirakennuksen energiansäästömahdollisuuksia. Energiasäästöjä haetaan saneeraamalla rakenteita, päivittämällä ilmanvaihtoa sekä vaihtamalla fossiilinen öljylämmitysjärjestelmä paikalliseen uusiutuvaan bioenergiaratkaisuun. Opinnäytetyössä tutkitaan myös erilaisten tukilämmitysmuotojen kannattavuutta asennettuna pääjärjestelmän rinnalle.

## 2 TYYPPITALOT

Tyypitalojen valinta perustuu Kuivaniemen Asemankylän rakennuskantaan. Rakennusten pinta-ala on määritelty tyypitalojen lämpimien tilojen pinta-alojen keskiarvojen perusteella. Lämmitysmuoto on valittu tyypitaloissa yleisesti käytössä olevien lämmitysjärjestelmien perusteella. Taulukosta 1 nähdään valittujen tyypitalojen lähtötiedot.

TAULUKKO 1. Kuivaniemen tyypitalojen lähtötiedot

	Tyypitalo 1	Tyypitalo 2	Tyypitalo 3
Rakennustyyppit	Omakotitalo	Rivitalo	Omakotitalo
Rakennuvuosikymmen	1970	1980	1990
Pinta-ala [m <sup>2</sup> ]	140	300	140
Lämmitysjärjestelmä	Öljy	Kaukolämpö	Sähkö

### 2.1 Tyypitalo 1, 1970-luvun omakotitalo

1970-luvun alkupuolen omakotitalot ovat yleisesti matalakattoisia ja olohuoneet on varustettu suurilla maisemaikkunoilla. Pohjaratkaisu on yleensä joko L-muotoinen tai neliö. 70-luvulla painovoimainen ilmanvaihto on ollut erittäin yleinen ratkaisu, mutta 70-luvun loppupuolella ilmastointikoneet alkoivat tehdä tuloaan. Ilmastointikoneena 70-luvun rakennuksessa toimi yleensä lieden päällä oleva poistoilmakone. Seinäeristeet olivat 70-luvun alkupuolella 100 mm, ja 1970-luvun puolivälin energiariisin aikana niihin saatettiin lisätä 50 mm:n lisäeristys. Ikkunat sekä ovet ovat standardimittaista tehdastuotantoa. Ikkunat ovat joko kaksi- tai kolmekerros-laseja. 70-luvun loppupuolella yleistyivät myös puolitoistakerroksiset ns. ”käkikellotalot” koristeellisine päätyparvekkeineen. (1.)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään ensimmäisenä tyypitalona kuvan 1 mukaista neliönmuotoista 1977 rakennettua omakotitaloa, Tyypitaloa 1.



*KUVA 1. 1970-luvun omakotitalo (1)*

Ikkunoiden pinta-alaksi määritellään 15 % rakennuksen pohjan pinta-alasta (2, s. 14). Ikkunoiden kokonaispinta-alaksi tulee 21 m<sup>2</sup>. Ikkunat ovat jakautuneet tasaisesti rakennuksen ympäri. Seinien pinta-alaksi tulee 98 m<sup>2</sup>. Rakennuksessa on kaksi ulko-ovea, joiden yhteinen pinta-ala on 3,8 m<sup>2</sup>. Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmänä toimii painovoimainen ilmanvaihto.

## **2.2 Tyypitalo 2, 1980-luvun rivitalo**

1980-luvulla rakentaminen kiihtyi ja talopakettit yleistyivät. 80-luvun taloissa seinäraakeinteiden eristys on vakiona 150 mm mineraalivillaa ja ikkunat ovat kolmi-kerroslaseja. Painovoimainen ilmanvaihto oli edelleen yleisesti käytössä 80-luvulla. Ilmastointikoneet yleistyivät ja ilmanvaihtoa tehostettiin katolle asennettavalla huippuimurilla tai liedien päällä olevalla poistoilmakoneella. 1980-luvun puolella välissä markkinoille alkoi tullemaan tulo- sekä poistoilmakoneilla varustettuja ilmanvaihtokoneita, jotka sisälsivät myös lämmöntalteenoton. (3, s. 19.)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään toisena tyypitalona kuvan 2 mukaista 1980-luvun alkupuolella rakennettua rivitaloa, Tyypitaloa 2, jonka pohjan pinta-ala on 300 m<sup>2</sup>.



*KUVA 2. 1980-luvun rivitalo (4)*



Tyypitalon 2 oletetaan olevan 10 metriä pituussuunnassa sekä 30 metriä leveys-suunnassa. Tyypitalo 2 on rakennettu siten, että 30 metriä pitkä takaseinä osoittaa kohti etelää. Ikkunat ovat jakautuneet tasaisesti sekä pohjois- että eteläpuolelle rakennusta. Rivitalo koostuu viidestä 40 - 70 m<sup>2</sup>:n kokoisesta asunnosta, joissa jokaisessa on kaksi ulko-ovea. Rivitalon ovien yhteinen pinta-ala on 19 m<sup>2</sup>. Ikkunoiden pinta-ala on 15 % pohjan pinta-alasta. Ikkunoiden kokonaispinta-ala on 45 m<sup>2</sup> ja seinien pinta-ala 144 m<sup>2</sup>. Rivitalon huoneistokohtaisena ilmanvaihtona toimii painovoimainen ilmanvaihto.

### **2.3 Tyypitalo 3, 1990-luvun omakotitalo**

1990-luvun talojen ikkunoissa ei merkittäviä muutoksia tapahtunut. Ikkunat ovat kolmikerroslaseja. Rakennuksen seinäeristeet kasvoivat hiukan. Ilmanvaihtonajärjestelmänä toimi joko tulo- ja poistoilmakoneella varustettu ilmanvaihtokone tai pelkästään poistoilmakone. (3, s. 20.)

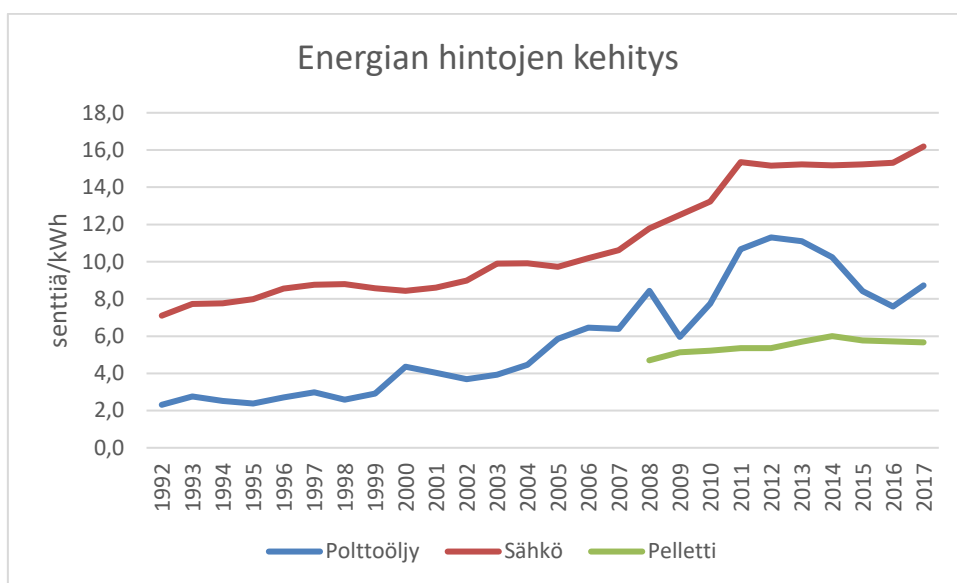
Tässä opinnäytetyössä kolmantena tyypitalona tarkastellaan kuvan 3 mukaista 1990-luvulla rakennettua omakotitaloa, Tyypitaloa 3. Tyypitalon 3 oletetaan olevan 10 metriä pituussuunnassa ja 14 metriä leveysuunnassa. Rakennus on rakennettu siten, että rakennuksen 14 metriä pitkä takaseinä osoittaa kohti etelää. Ikkunoiden pinta-alaksi määritellään 15 % rakennuksen pohjan pinta-alasta. (2, s. 14). 140 m<sup>2</sup> talon ikkunoiden kokonaispinta-alaksi tulee 21 m<sup>2</sup> ja seinien pinta-alaksi 98 m<sup>2</sup>. Rakennuksessa on kaksi ulko-ovea, joiden yhteinen pinta-ala on 3,8 m<sup>2</sup>. Rakennuksen ilmanvaihtona toimii tulo- sekä poistoilmalla varustettu ilmanvaihtokone, jossa on 30 %:n hyötysuhteella toimiva lämmöntalteenotto.



*KUVA 3. 1990-luvun omakotitalo (5)*

### 3 ENERGIAHINTOJEN KEHITYS

Energian hinnat vaihtelevat koko ajan. Yleisesti voidaan todeta, että energiahinnat kasvavat jatkuvasti. Kuvasta 4 nähdään sähkön, polttoöljyn sekä pelletin energiahintojen kehityksen Suomessa.



KUVA 4. Polttoöljyn, sähkön sekä pelletin energiahintojen kehitys Suomessa (6)

Laskuissa käytetään sähkön hintana 0,12 €/kWh. Hinta perustuu Rantakairan sähkö Oy:n sähkön myyntihintaan. Rantakairan sähkö toimii sähköenergian toimittajana Kuivaniemen alueelle.

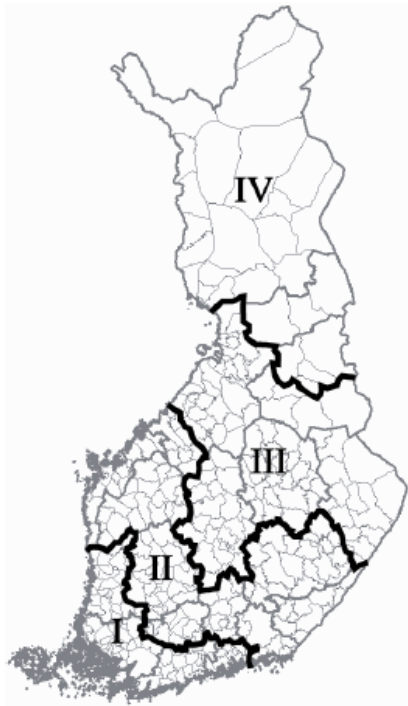
Polttoöljyn hinta vaihtelee kesälaadussa 0,89 - 0,95 €/l sekä talvilaadussa 0,92 - 1,00 €/l. Tässä opinnäytetyössä käytetään keskiarvohintaa 0,93 €/l. Kevyen polttoöljyn lämpöarvo on 10,02 kWh/l (7, s. 2), joten lopulliseksi energian hinnaksi tulee 0,093 €/kWh.

Kaukolämmön hinta vaihtelee paikkakunnittain erittäin paljon, joten sitä ei ole lisätty kuvaan 4. Kaukolämmölle opinnäytetyössä käytetään Kuivaniemellä kaukolämpöä toimittavan Biotermon hintaa 0,077 €/kWh.

Pelletin hinta vaihtelee 245 - 260 €/tonni. Pelletin lämpöarvo on 4,7 kWh/kg (7, s. 2). Pelletille käytetään tässä opinnäytetyössä keskihintaa 0,058 €/kWh. Valittu pelletin hinta mukaillee kuvan 4 keskiarvohintaa.

## 4 KORJAUSKERROIN

Suomi jaetaan neljään eri säävyöhykkeeseen. Kuvassa 5 esitetään Suomen säävyöhykkeet. Kuivaniemi kuuluu säävyöhykkeeseen 3.



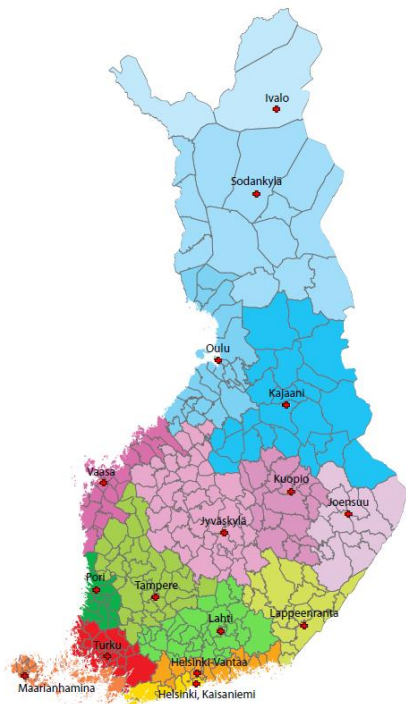
*KUVA 5. Suomen säävyöhykkeet (2, s. 29)*

Opinnäytetyön laskuissa käytetyt lämpötilat ovat vuosien 1980 - 2009 keskiarvoja, jotka on mitattu Jyväskylän lentoasemalla. Lämpötilat voidaan nähdä taulukosta 2. (2, s. 32.)

TAULUKKO 2. Vuosien 1980 - 2009 keskilämpötilat (2, s. 31)

Kuukausi	$T_u$ (°C)
tammikuu	-8,00
helmikuu	-7,10
maaliskuu	-3,53
huhtikuu	2,42
toukokuu	8,84
kesäkuu	13,39
heinäkuu	15,76
elokuu	13,76
syyskuu	9,18
lokakuu	4,07
marraskuu	-1,76
joulukuu	-5,92

Rakennusten normeeraamisella halutaan tutkia rakennuksen energiankulutusta joko eri ajankohtana tai eri paikkakunnalla. Paikkakohtaista normeeraamista on kahdenlaista: normeeraamista kohti lähintä vertailupaikkakuntaa tai normeeraamista vertailupaikkakunnasta kohti Jyväskylää. Vertailupaikkakunnat on merkitty kuvaan 6.



KUVA 6. Kuntakohtaiset normitusrajat (8, s. 1)

Kulutuksen normeeraus vertailupaikkakuntaan lasketaan kaavalla 1 (8, s. 3).

$$Q_{norm} = k_1 * \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} * Q_{tilat} + Q_{lämmin, lkv} \quad \text{KAAVA 1}$$

$Q_{norm}$  = rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus (kWh)

$k_1$  = paikkakuntaakohtainen korjauskertoimen vertailupaikkakuntaan

$Q_{tilat}$  = rakennuksen tilojen lämmitykseen kuluva energia (kWh)

$Q_{lämmin, lkv}$  = lämpimän käyttöveden energiankulutus (kWh)

$S_{N\ vpkunta}$  = normaalivuoden tai -kuukauden (1981...2010) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

$S_{toteutunut\ vpkunta}$  = kuukauden tai vuoden toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

Kulutuksen normitus Jyväskylään lasketaan kaavalla 2 (8, s. 4).

$$Q_{norm} = k_2 * \frac{S_{N\ vpkunta}}{S_{toteutunut\ vpkunta}} * Q_{toteutunut} + Q_{lämmin\ käyttövesi} \quad \text{KAAVA 2}$$

$Q_{norm}$  = rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus (kWh)

$k_2$  = paikkakuntaakohtainen korjauskertoimen Jyväskylään

$Q_{toteutunut}$  = rakennuksen tilojen lämmitykseen kuluva energia (kWh)

$Q_{lämmin\ käyttövesi}$  = lämpimän käyttöveden energiankulutus (kWh)

$S_{N\ vpkunta}$  = normaalivuoden tai -kuukauden (1981...2010) lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

$S_{toteutunut\ vpkunta}$  = kuukauden tai vuoden toteutunut lämmitystarveluku vertailupaikkakunnalla

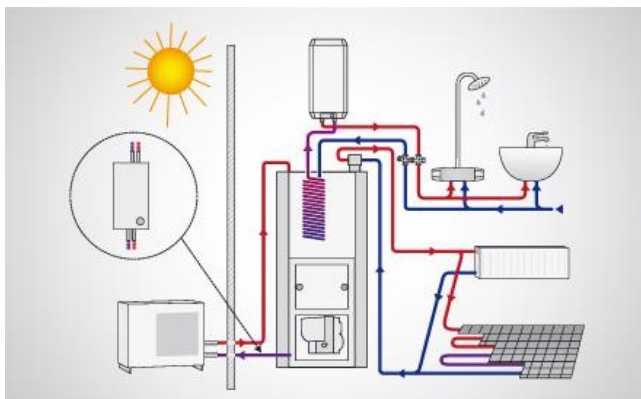
Kaavoista 1 ja 2 voidaan todeta, että lämmintä käyttövettä ei normeerata. Lämpimän käyttövesi lisätään lopputulokseen. Laskemalla normeeraus ilman tilojen lämmitykseen käytettävää energiaa saadaan normeerauskorjauskertoimen. Korjauskertoimen avulla voidaan normittaa eri suuruisia tiloihin tarvittavia energiamääriä. Kuivaniemestä Jyväskylään normeerauskorjauskertoimeksi saadaan 0,915. Koska säävyöhykkeen kolme keskilämpötilat ovat Jyväskylästä, normee-

raus joudutaan toteuttamaan Jyväskylästä Kuivaniemeen. Tämä saadaan ottamalla käänteisluku saadusta arvosta. Normeerauskorjauskertoimeksi Jyväskylästä Kuivaniemeen saadaan 1,09.

## 5 RAKENNUSTEN LÄMMITYSJÄRJESTELMÄT

### 5.1 Polttoöljy

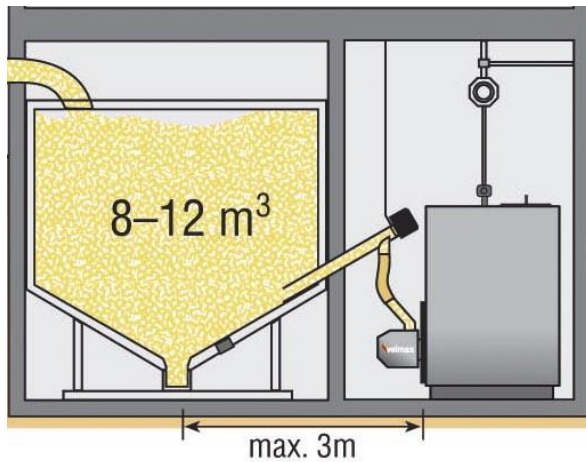
Polttoöljyjärjestelmän toiminta nähdään kuvassa 7. Polttoöljykattila on täynnä vettä, jota polttoöljypolttimella lämmitetään. Lämmin käyttövesi lämpiää kattilan käyttövesikierukassa ennen käyttöä. Tilojen lämmityksessä, kiertovesipumppu kierrättää kattilan vettä rakennuksen pattereissa sekä lattialämmityksessä. Kuvasta puuttuu polttoöljysäiliö, josta polttoainetta pumpataan polttoainepumpulla polttoöljypolttimelle. Polttoöljysäiliö on yleensä omakotitaloissa noin 2000 l.



*KUVA 7. Polttoöljylämmitysjärjestelmä (9)*

### 5.2 Pelletti

Pellettijärjestelmä toiminta on kuvattu kuvassa 8. Pellettijärjestelmän toimintaperiaate on vastaava kuin polttoöljyn. Suurimpana erona on se, että polttoaineena toimiva pelletti kuljetetaan sillosta yleensä ruuvilla pellettipolttimelle. Pelletin varastointi vaatii myös suuremman tilan. Pellettijärjestelmä on myös hiukan työläämpi ylläpitää kuin polttoöljy, sillä pelletin palaessa syntyy tuhkaa. Tuhkatila tyhjennetään 1 - 4 kertaa kuukaudessa. Pellettipolttimen tulipintojen sekä polttimen palopään puhtaanapito vaatii myös enemmän huomiota.



*KUVA 8. Pellettijärjestelmä (10)*

### 5.3 Kaukolämpö

Kaukolämmössä kaukolämpöyhtiö toimittaa lämpöenergian rakennuksessa olevaan lämmönjakokeskukseen. Kaukolämpökeskus on esitetty kuvassa 9. Lämmönjakokeskuksessa kaukolämpövedestä siirretään lämpöenergia asiakkaan verkkoon lämmönsiirtimien avulla.



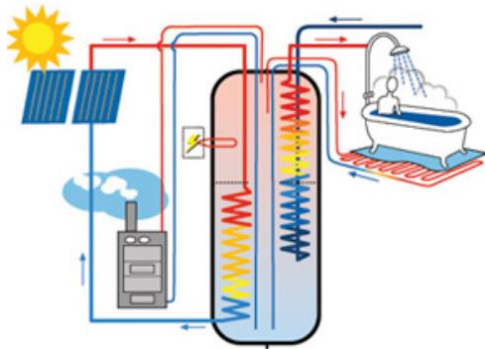
*KUVA 9. Kaukolämpökeskus (11)*



## 5.4 Suorasähkö

Suorasähköjärjestelmässä tilojen sekä lämpimän käyttöveden lämmitys tapahtuu sähkövastusten avulla. Sähköllä lämmitetään sähkövastuksia, joista lämpöenergia siirtyy säteilemällä, johtumalla tai konvektion avulla ilmaan tai veteen. Tilojen lämmitys tapahtuu sekä sähköpattereiden että -lattialämmityksen avulla. Sähköpattereiden sisälle on asennettu sähkövastukset, joiden avulla lämmitetään rakennuksen tiloja. Lattialämmityksessä sähkövastuksena toimii lattiaan asennettavat sähkövastuskaapelit.

Lämmin käyttövesi lämmitetään lämminvesivaraajassa. Lämminvesivaraajan sisällä oleva vesi lämmitetään sähkövastuksella. Nykyaikaiset hybridilämminvesivaraajat sisältävät myös mahdollisuuden siihen, että niitä varataan myös ulkopuolisella energialähteellä esimerkiksi aurinkoenergian, öljy- tai pellettikattiloiden avulla. Hybridilämminvesivaraajan toiminta voidaan nähdä kuvasta 10.



*KUVA 10. Hybridilämminvesivaraajan toiminta (12)*

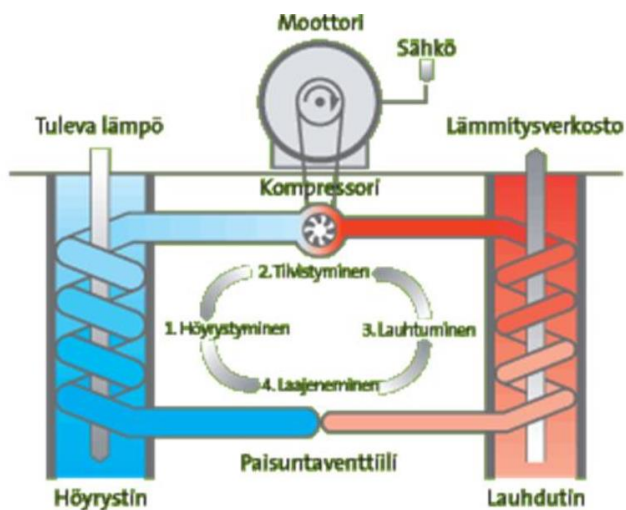
## 5.5 Lämpöpumput

Nykyaikana rakennusten tukevana lämmitysjärjestelmänä päälämmitysjärjestelmän rinnalla käytetään usein ilmalämpöpumppuja. Yleensä ilmalämpöpumpuista puhuttaessa tarkoitetaan ilma-ilmalämpöpumppuja. Ilma-ilmalämpöpumpuissa lämmitysenergia otetaan ulkoilmasta ja johdetaan sisäilmaan.

Ilma-ilmalämpöpumppujen lisäksi on olemassa myös muita lämpöpumppuja, joissa lämpöenergia johdetaan yleensä vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään.

Näitä lämpöpumppuja on esimerkiksi ilma-vesilämpöpumppu, poistoilma-pumppu, vesi-vesilämpöpumppu sekä maalämpö. Kun lämpöpumpulla johdetaan lämpöenergia vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään, se yleensä johdetaan lattialämmitykseen, koska lattialämmityksen kiertoveden lämpötila on suhteellisen matala eli noin 35 - 40 °C. Tällöin näiden järjestelmien hyötysuhteet ovat parhaimmillaan. Vesikiertoinen lattialämmitys on alkanut yleistymään 1980-luvulla, jolloin muoviputkea ruvettiin käyttämään rakennusmateriaalina vesikiertoisissa lattialämmityksissä. Kuivaniemessä olevissa tyyppitaloissa ei ole vesikiertoisia lattialämmityksiä, joten tässä opinnäytetyössä käsitellään ainoastaan ilma-ilma-lämpöpumppuja. Opinnäytetyössä käytetään jatkossa yleistä termiä ilmalämpöpumppu, kun tarkoitetaan ilma-ilmalämpöpumppuja.

Lämpöpumppujen toiminta perustuu kylmäaineen faasimuutokseen. Faasimuutoksessa kylmäaine muuttuu joko nesteestä kaasuksi, jolloin kylmäaine sitoo lämpöenergiaa ympäristöstä, tai kaasusta nesteeksi, jolloin kylmäaineesta vapautuu lämpöenergiaa ympäristöön. Lämpöpumppujen toimintaperiaate voidaan nähdä kuvasta 11.

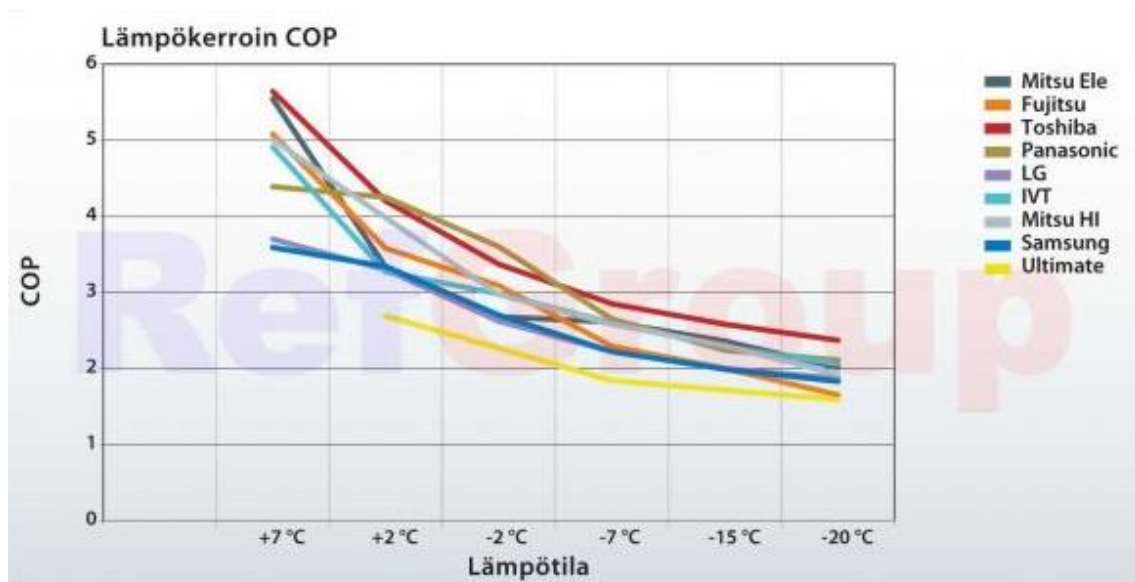


*KUVA 11. Lämpöpumppujen toimintaperiaate (13)*

Lämpöpumpun toimintaperiaate voidaan jakaa neljään eri vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa kylmäaine höyrystyy nesteestä kaasuksi höyrystimessä, jolloin kylmäaine sitoo lämpöenergiaa ympäristöstä. Toisessa vaiheessa kompres-

sori puristaa kaasuuntuneen kylmäaineen korkeaan paineeseen, minkä seurauksena kylmäaineen lämpötila nousee rajusti. Kolmannessa vaiheessa kylmäaineeseen sitoutunut lämpöenergia luovutetaan lauhduttimen kautta ympäristöön, jolloin kylmäaine nesteytyy. Neljännessä vaiheessa paisuntaventtiilissä lasketaan kylmäaineen paine nopeasti, minkä seurauksena kylmäaine rupeaa höyrystymään ja prosessi alkaa alusta.

Ilmalämpöpumppujen tehokkuutta kuvataan yleensä COP (Coefficient Of Performance) -arvolla. COP-arvo kuvaa sitä, kuinka paljon lämpöenergiaa saadaan 1 kWh:lla sähköenergiaa, kun lämpötila on +7 °C. Esim. kun COP = 3, niin tällöin saadaan tuotettua 3 kWh lämpöenergiaa, kun käytetään 1 kWh sähköenergiaa. Kuvasta 12 voidaan nähdä COP-arvon muutos lämpötilan suhteen. (14.)



KUVA 12. COP-arvon muutos lämpötilan suhteen (14)

SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) on lämmityskauden lämpökerroin. SCOP-arvo on tavallaan sama asia kuin COP, mutta siinä on pyritty huomioimaan lämmityskauden lämpötilan muutokset. Eurooppa on jaettu kolmeen eri ilmasto-työhykkeeseen, joista Suomessa myytävien ilmalämpöpumppujen SCOP-arvot on yleensä määritelty Helsingin alueelle. (14.)

Ilmalämpöpumppujen suurin ongelma on se, että ne ovat yleensä tilakohtaisia lämmitysjärjestelmiä ja lämpöenergiaa ei saada levitettyä tasaisesti lämmitettävään rakennukseen. Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö on yleensä asennettu yleisiin tiloihin, jolloin se kattaa mahdollisimman paljon rakennuksen tiloista. Ilmalämpöpumpulla tuotetun lämpöenergian vaikutus esimerkiksi erilliseen huoneeseen on erittäin vähäistä. Rakennuksen pohjaratkaisulla on todella suuri merkitys siihen, kuinka paljon ilmalämpöpumpun tuottamasta lämpöenergiasta voidaan hyödyntää.

Ilmalämpöpumpun sähkönkulutus voidaan laskea kaavalla 3 (15, s. 14).

$$Q_{ILP,sähkö} = \frac{Q_{ILP,netto}}{SCOP * \eta_{lämmönluovutus}} \quad \text{KAAVA 3}$$

$Q_{ILP,sähkö}$  = ilmalämpöpumpun vuotuinen sähkönkäyttö (kWh)

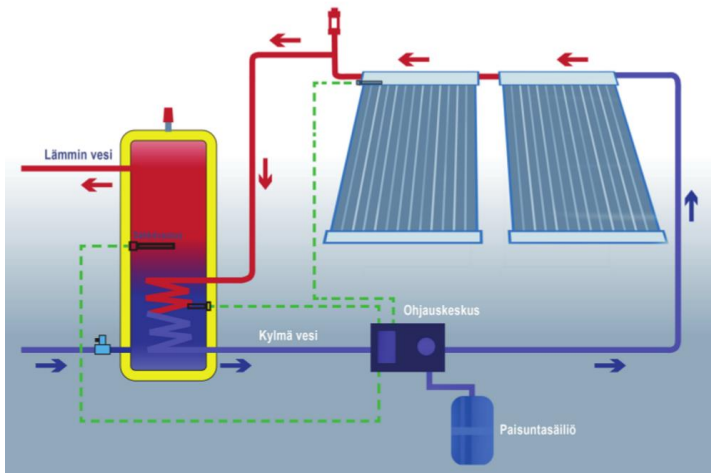
$Q_{ILP,netto}$  = ilmalämpöpumpun vuotuinen nettotuotto (kWh)

$SCOP$  = lämpöpumpun energiamerkinnästä saatava lämmityskauden lämpökerroin

$\eta_{lämmönluovutus}$  = lämpöpumpun lämmönluovutuksen kokonaishyötysuhde. Lämmönluovutussuhteena voidaan pitää 0,85, jos tarkempaa tietoa ei ole saatavilla.

## 5.6 Aurinkokeräimet

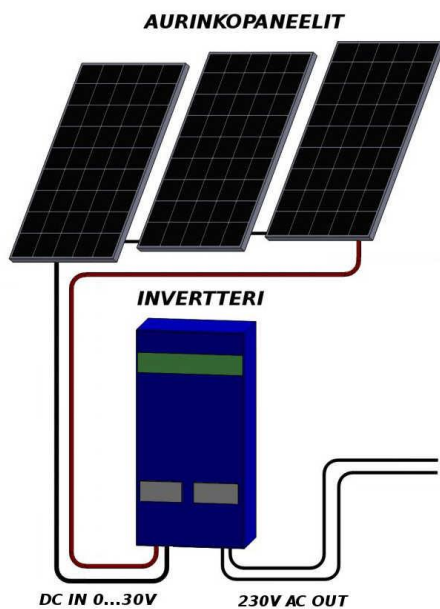
Aurinkokeräimiä voidaan käyttää lämmitysjärjestelmän tukevana lämmitysmuotona, jolloin auringosta saatava säteilyenergia ohjataan lämminvesivaraajan veteen. Aurinkokeräinten toimintaperiaate voidaan nähdä kuvasta 13. Auringon säteilyenergia lämmittää aurinkokeräimien lävitse kulkevaa nestettä. Neste johdetaan hybridilämmönvesivaraajaan, jossa lämpöenergia siirtyy lämminvesivaraajan veteen. Koska Suomessa talvisin lämpötila laskee alle nollan asteen, kiertonesteinä käytetään yleensä aurinkokeräimiin tarkoitettuja glykolipohjaisia pakasnestettä, esimerkiksi propyleeniglykolia. Aurinkokeräinten nestekierto on toteutettu nestekiertopumpulla, joka voi olla ohjauskeskukseen integroituna.



KUVA 13. Aurinkokeräimen toimintaperiaate (16)

## 5.7 Aurinkosähkö

Aurinkosähkössä muutetaan auringon säteilyenergia aurinkopaneeleissa tasasähkövirraksi. Tasasähkövirta johdetaan invertteriin, jossa se muutetaan Suomen sähköverkkoon sopivaksi 230 V vaihtosähköksi. Aurinkosähkön toimintaperiaate voidaan nähdä kuvasta 14.



KUVA 14. Aurinkosähkön toimintaperiaate

## 6 TYYPITALOJEN ENERGIANKULUTUS

Rakentamista koskevat määräykset uudistuivat 1.1.2018. Opinnäytetyön tekeminen on aloitettu ennen määräysten muuttumista, joten tyypitalojen lämpöenergian- sekä käyttöveden energiankulutus lasketaan Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 sekä D5 ohjeistuksen mukaisesti. Suomen rakentamismääräyskokoelmasta poiketaan painovoimaisen ilmanvaihdon yhteydessä, sillä 1970- sekä 1980-luvulla rakennettujen rakennusten painovoimainen ilmanvaihto ei pysty nykypäivän standardien määrittämään ilmanvaihtoon eikä näin ollen ole realistinen laskutoimitusten suorittamisessa. Kuvasta 15 voidaan nähdä yleisesti rakennuksen rakenteiden sekä ilmanvaihdon lämpöhäviöt sekä lämpökuormat ja lämmitysenergian tarve.



KUVA 15. Tyypillisen rakennuksen energiankulutus (17)

Rakennuksen energian tarpeen määrittäminen voidaan ajatella tapahtuvan kolmessa eri vaiheessa.

1. Ensin lasketaan tilojen lämmitysenergian tarve. Lämmitystarve sisältää rakennuksen yläpohjan, alapohjan, ovien, ikkunoiden, kylmäsiltojen sekä ilmanvaihdon tarvitseman lämmitysenergian.
2. Nettotarve saadaan, kun lämmitysenergiasta vähennetään rakennukseen vaikuttavien lämpökuormien vaikutus, jotka lämmittävät rakennusta. Lämpökuormia ovat mm. auringon säteily, sähkölaitteet sekä ihmiset.

3. Häviöitä tapahtuu lämmönjakohuoneessa sekä putkistoissa. Kun huomioidaan nämä häviöt, saadaan lopullinen rakennuksen tilojen lämmitysenergiatarve.

## 6.1 Tilojen lämmitysenergian nettotarve

Tilojen lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 4 (18, s. 15).

$$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis.lämpö}} \quad \text{KAAVA 4}$$

$Q_{\text{lämmitys, tilat, netto}}$  = tilojen lämmitysenergian nettotarve (kWh)

$Q_{\text{tila}}$  = tilojen lämmitysenergian tarve (kWh)

$Q_{\text{sis.lämpö}}$  = lämpökuormat, joita voidaan hyödyntää lämmityksessä (kWh)

## 6.2 Tilojen lämmitysenergian tarve

Tilojen lämmitysenergian tarve lasketaan kaavalla 5 (18, s.15).

$$Q_{\text{tila}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{iv.tuloilma}} + Q_{\text{iv.korvausilma}} \quad \text{KAAVA 5}$$

$Q_{\text{tila}}$  = tilojen lämmitysenergian tarve (kWh)

$Q_{\text{joht}}$  = johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi (kWh)

$Q_{\text{vuotoilma}}$  = vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)

$Q_{\text{iv.tuloilma}}$  = tuloilma tilassa tapahtuvan tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)

$Q_{\text{iv.korvausilma}}$  = korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)

Johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi lasketaan rakennusosittain kaavalla 6 (18, s. 15).

KAAVA 6

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{kylmäsillat}}$$

$Q_{joht}$  = johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi (kWh)

$Q_{ulkoseinä}$  = johtumishäviöt rakennuksen seinien lävitse (kWh)

$Q_{yläpohja}$  = johtumishäviöt rakennuksen yläpohjan lävitse (kWh)

$Q_{alapohja}$  = johtumishäviöt rakennuksen alapohjan lävitse (kWh)

$Q_{ikkuna}$  = johtumishäviöt rakennuksen alapohjan lävitse (kWh)

$Q_{ovi}$  = johtumishäviöt rakennuksen oven lävitse (kWh)

$Q_{kylmäsilto}$  = johtumishäviöt kylmäsiltojen lävitse (kWh)

Ulkoilmaan rajoittuvien ulkoseinien, yläpohjan, alapohjan, ikkunoiden sekä ovien lämpöhäviöt lasketaan rakennusosittain kaavalla 7 (18, s. 16), jossa käytetään taulukon 3 arvoja.

$$Q_{rakosa} = \sum \frac{U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t}{1000}$$

KAAVA 7

$Q_{rakosa}$  = johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi (kWh)

$U_i$  = rakennusosan  $i$  lämmönläpäisykerroin (W/(m<sup>2</sup>K))

$A_i$  = rakennusosan  $i$  pinta-ala (m<sup>2</sup>)

$T_s$  = sisäilman lämpötila (°C)

$T_u$  = ulkoilman lämpötila (°C)

1 000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi



TAULUKKO 3. Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet W/m<sup>2</sup>K (19, s. 9)

Rakennusosa	Rakennusluvun vireilletulo vuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-2018-
Lämpimät tilat									
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
Ryömintätillainen 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
Puoliämpimät tilat									
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
Ryömintätillainen 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

Alapohjan lämpöhäviön laskennassa on huomioitava se, että ulkolämpötilan sijaan käytetään alapohjan alapuolisen maan lämpötilaa. Alapohjan alapuolisen maan vuotuinen lämpötila lasketaan kaavalla 8 (18, s. 18).

$$T_{maa,vuosi} = T_{u,vuosi} + \Delta T_{maa,vuosi} \quad \text{KAAVA 8}$$

$T_{maa,vuosi}$  = alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila (°C)

$T_{u,vuosi}$  = ulkoilman vuotuinen keskilämpötila (°C)

$\Delta T_{maa,vuosi}$  = alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero (°C). Maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan erona käytetään arvoa 5 °C.

Vastaava kuukausikohtainen lämpötila lasketaan kaavalla 9 (18, s.18), jossa alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero saadaan taulukosta 4.

$$T_{maa,kuukausi} = T_{maa,vuosi} + \Delta T_{maa,kuukausi} \quad \text{KAAVA 9}$$

$T_{maa,kuukausi}$  = alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila (°C).

$T_{maa,vuosi}$  = alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila (°C)

$\Delta T_{maa,kuukausi}$  = alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman kuukausittainen keskilämpötilan ero (°C).

*TAULUKKO 4. Alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero (18, s. 18)*

Kuukausi	$\Delta T_{maa,kk}$ (°C)
tammikuu	0
helmikuu	-1
maaliskuu	-2
huhtikuu	-3
toukokuu	-3
kesäkuu	-2
heinäkuu	0
elokuu	1
syyskuu	2
lokakuu	3
marraskuu	3
joulukuu	2

Kylmäsillat lasketaan yksinkertaistetulla laskentatavalla, jossa kylmäsillojen oletetaan olevan 10 % ulkovaipan johtumislämpöhäviöstä. Kylmäsillat lasketaan kaavalla 10 (19, s. 9).

$$Q_{kylmäsillat} = 0,1 * Q_{rakosa}$$

KAAVA 10

$Q_{kylmäsillat}$  = johtumishäviöt kylmäsillojen lävitse (kWh)

$Q_{rakosa}$  = johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi (kWh)

Rakenteiden epätiiviyksien kautta tulevan vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia lasketaan kaavalla 11 (18, s. 19).

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i C_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000$$

KAAVA 11

$Q_{vuotoilma}$  = vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)

$\rho_i$  = ilman tiheys 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$C_{pi}$  = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)

$q_v$  = vuotoilma vuotoilmavirta (m<sup>3</sup>/s)

$T_s$  = sisäilman lämpötila (°C)

$T_u$  = ulkoilman lämpötila (°C)

$\Delta t$  = ajanjakson pituus (h)

1 000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Vuotoilmavirta lasketaan kaavalla 12 (18, s.19).

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3\,600 \cdot X} A_{vaiippa}$$

KAAVA 12

$q_{v,vuotoilma}$  = vuotoilmavirta (m<sup>3</sup>/s)

$q_{50}$  = rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>). Rakennusvaipan ilmanvuotoluku  $q_{50}$  voidaan käyttää lämmitysenergian tarpeen laskennassa arvoa 4 m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>), ellei ilmanpitävyyttä tunneta.

$A_{vaiippa}$  = rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna) (m<sup>2</sup>)

$x$  = kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35

3 600 = kerroin, joka muuttaa ilmavirran m<sup>3</sup>/h yksiköstä m<sup>3</sup>/s yksikköön

### 6.2.1 Painovoimainen ilmanvaihto

Korvausilman lämmitysenergian tarve painovoimaisella ilmanvaihdolla lasketaan kaavalla 13 (18, s. 23).

$$Q_{iv,korvausilma} = \rho_i C_{pi} q_{v,korvausilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1\,000$$

KAAVA 13

$Q_{iv,korvausilma}$  = korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)

$\rho_i$  = ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$C_{pi}$  = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)

$q_{v,korvausilma}$  = korvausilmavirta (m<sup>3</sup>/s)

$T_s$  = sisäilman lämpötila (°C)

$T_u$  = ulkoilman lämpötila (°C)

$\Delta t$  = ajanjakson pituus (h)

1 000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

## 6.2.2 Tulo- ja poistoilmanvaihtokone

Tuloilma lämpenee lämmöntalteenotossa. Lämmöntalteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila voidaan laskea kaavalla 14 (18, s. 21).

$$T_{lto} = T_u + \eta_{a,ivkone}(T_s - T_u) \quad \text{KAAVA 14}$$

$T_{lto}$  = lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila (°C)

$T_u$  = ulkoilman lämpötila (°C)

$\eta_{a,ivkone}$  = ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton poistoilman vuosihyötysuhde

$T_s$  = sisälämpötila (°C)

$T_u$  = ulkoilman lämpötila (°C)

Ilmanvaihtokoneen korvausilman lämpöenergian tarve lasketaan kaavalla 15 (18, s. 21).

KAAVA 15

$$Q_{iv,korvausilma} = \rho_i C_{pi} q_{v,korvausilma} (T_{sp} - \Delta T_{puhallin} - T_{lto}) \Delta t / 1000$$

$Q_{iv,korvausilma}$  = korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve (kWh)

$\rho_i$  = ilman tiheys, 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$C_{pi}$  = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)

$q_{v,korvausilma}$  = korvausilmavirta (m<sup>3</sup>/s)

$T_{sp}$  = sisäänpuhalluslämpötila (°C)

$\Delta T_{puhallin}$  = lämpötilan nousu puhaltimessa (°C). Mikäli laskennassa tarvittavia lähtöarvoja ei ole käytettävissä, voidaan oletuksena käyttää arvoa 0,5 °C (18, s. 53).

$T_{lto}$  = lämmöntalteenottolaitteen jälkeinen lämpötila (°C)

### 6.3 Rakennukseen vaikuttavat lämpökuormat

Lämpökuormista hyödynnettävä lämpöenergia lasketaan kaavalla 16 (18, s. 34).

#### KAAVA 16

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}} + Q_{\text{lkv,kierto,kuorma}} + Q_{\text{lkv,varastointi,kuorma}}$$

$Q_{\text{lämpökuorma}}$  = rakennuksen lämpökuorma (kWh)

$Q_{\text{henk}}$  = henkilöiden luovuttama lämpöenergia (kWh)

$Q_{\text{säh}}$  = valaistuksesta ja sähkölaitteista rakennuksen sisälle tuleva lämpökuorma (kWh)

$Q_{\text{aur}}$  = ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia (kWh)

$Q_{\text{lkv,kierto,kuorma}}$  = lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviöstä lämpökuormaksi tulevaosuus (kWh)

$Q_{\text{lkv,varastointi,kuorma}}$  = lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviöstä lämpökuormaksi tulevaosuus (kWh)

Valaistuksen, kuluttajalaitteiden sekä henkilöiden tuottama vuotuinen lämpökuorma lasketaan kaavan 17 (2, s.19) ja taulukon 5 arvoilla.

$$Q = kP \frac{\tau_d \tau_w}{24 \cdot 7} \Delta t / 1000$$

#### KAAVA 17

$k$  = käyttöaste

$P$  = lämpökuorma ( $\text{W}/\text{m}^2$ )

$\tau_d$  = rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa (h)

$\tau_w$  = rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa (d)

$\Delta t$  = ajanjakson pituus (h)

**TAULUKKO 5. Rakennusten standardikäyttö ja energialaskennassa käytettävät sisäiset lämpökuormat lämmitettyä nettoalaa kohti (2, s. 19)**

Käyttötarkoitukseluokka	Kellonaika <sup>d</sup>	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus W/m <sup>2</sup>	Kuluttajalaitteet W/m <sup>2</sup>	Ihmiset <sup>a</sup> W/m <sup>2</sup>
		h/24h	d/7d				
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00-24:00	24	7	0,6	8 <sup>b,c</sup>	3	2
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7	0,6	11 <sup>b,c</sup>	4	3
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5	0,65	12 <sup>c</sup>	12	5
Liikerakennus	08:00-21:00	13	6	1	19 <sup>c</sup>	1	2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14 <sup>c</sup>	4	4
Opetusrakennus ja päiväkot	08:00-16:00	8	5	0,6	18 <sup>c</sup>	8	14
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7	0,5	12 <sup>c</sup>	0	5
Sairaala	00:00-24:00	24	7	0,6	9 <sup>c</sup>	9	8

a ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6

b asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1

c ohjearvo uudisrakennuksille ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, pienempää valaistuksen tehoa voi käyttää, mikäli valaistustaso säilyy ja siitä esitetään erilliselvitys kohtien 3.3.3 ja 3.3.4 mukaisesti.

d ilmanvaihdon käyntiaika kohdan 3.3.7 mukaisesti

Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia lasketaan kaavalla 18 (18, s. 30).

$$Q_{aur} = \sum G_{säteily,pystypinta} F_{läpäisy} A_{ikkuna} g$$

KAAVA 18

$Q_{aur}$  = ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia (kWh)

$G_{säteily,pystypinta}$  = pystypinnalle tuleva auringon kokonaissäteilyenergia pinta-alan yksikköä kohti (kWh/(m<sup>2</sup>))

$F_{läpäisy}$  = säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin

$A_{ikkuna}$  = ikkuna-aukon pinta-ala (kehys- ja karmirakenteineen), (m<sup>2</sup>)

$g$  = ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin

Lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpökuormaksi tuleva osuus on 50 % lämpöhäviöstä (18, s. 33). Siten esimerkiksi 300 litran lämminvesivaraaja, jossa on 40 mm:n eristys ja sen lämpöhäviö vuodessa on 1300 kWh, joten lämpökuorma,  $Q_{lkv,varastointi,kuorma}$  on 650 kWh (18, s. 42).

Lämpimän käyttöveden kierron lämpöhäviö lasketaan kaavalla 19 (18, s. 42).

$$Q_{lkv,kierto} = \phi_{lkv,kiertohäviö,omin} L_{lkv} * \Delta t / 1000$$

KAAVA 19

$Q_{lkv,kierto}$  = lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö (kWh)

$\phi_{lkv,kiertohäviö,omin}$  = lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho (W/m)

$L_{lkv}$  = lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus (m)

$\Delta t$  = ajanjakson pituus (h)

Kaikkia lämpökuormia ei voida hyödyntää sataprosenttisesti, sillä esimerkiksi kesällä lämpökuormat ovat suuria auringon säteilystä johtuen mutta rakennuksen lämmityksen tarve on vähäistä. Lämpökuormien hyödyntämisaste lasketaan kaavalla 20 (18, s. 35).

$$\eta_{lämpö} = \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}}$$

KAAVA 20

$\eta_{lämpö}$  = lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste

$\gamma$  = lämpökuorman suhde lämpöhäviöön

$a$  = numeerinen parametri

$Q_{lämpökuorma}$  = rakennuksen lämpökuorma (kWh)

$Q_{tila}$  = rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve (kWh)

Numeerinen parametri  $a$  lasketaan kaavalla 21 (18, s. 35).

$$a = 1 + \frac{\tau}{15}$$

KAAVA 21

$a$  = numeerinen parametri

$\tau$  = rakennuksen aikavakio (h)

Suhdeluku  $\gamma$  lasketaan kaavalla 22 (18, s. 35).

$$\gamma = \frac{Q_{lämpökuorma}}{Q_{tila}}$$

KAAVA 22

$\gamma$  = lämpökuorman suhde lämpöhäviöön

$Q_{\text{lämpökuorma}}$  = rakennuksen lämpökuorma (kWh)

$Q_{\text{tila}}$  = rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve (kWh)

Rakennuksen aikavakio lasketaan kaavalla 23 (18, s. 35).

$$\tau = \frac{C_{\text{rak}}}{H_{\text{tila}}} \quad \text{KAAVA 23}$$

$\tau$  = rakennuksen aikavakio (h)

$C_{\text{rak}}$  = rakennuksen sisäpuolinen tehollinen lämpökapasiteetti (Wh/K)

$H_{\text{tila}}$  = rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö (johtumisen, vuotoilman, korvausilman ja tuloilman tilassa tapahtuvan lämpenemisen yhteenlaskettu ominaishäviö) (W/K)

Rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö lasketaan kaavalla 24 (18, s. 35).

$$H_{\text{tila}} = \frac{Q_{\text{tila}}}{(T_s - T_u)\Delta t} * 1\,000 \quad \text{KAAVA 24}$$

$H_{\text{tila}}$  = rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö (W/K)

$Q_{\text{tila}}$  = rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve (kWh)

$T_s$  = sisäilman lämpötila (°C)

$T_u$  = ulkoilman lämpötila (°C)

$\Delta t$  = ajanjakson pituus (h)

1 000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos wateiksi.

#### 6.4 Tilojen sekä lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve

Tilojen lämmitykseen tarvittava energia lasketaan kaavalla 25 (18, s. 37).

$$Q_{\text{lämmitys,tilat}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}}{\eta_{\text{lämmitys,tilat}}} \quad \text{KAAVA 25}$$

$Q_{\text{lämmitys,tilat}}$  = tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, joka katetaan laskettavalla lämmön jakelujärjestelmällä (kWh)



$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}$  = tilojen lämmitysenergian nettotarve, joka katetaan laskettavalla lämmön jakelujärjestelmällä (kWh)

$\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$  = laskettavan lämmön jakelujärjestelmän hyötysuhde

Lämpimän käyttöveden lämmitykseen tarvittava energia lasketaan kaavalla 26 (18, s. 41).

$$Q_{\text{lämmitys,lkv}} = \frac{Q_{\text{lkv,netto}}}{\eta_{\text{lkv,siirto}}} + Q_{\text{lkv,varastointi}} + Q_{\text{lkv,kierto}} \quad \text{KAAVA 26}$$

$Q_{\text{lämmitys,lkv}}$  = lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve (kWh)

$Q_{\text{lkv,netto}}$  = lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve (kWh)

$\eta_{\text{lkv, siirto}}$  = lämpimän käyttöveden siirron hyötysuhde

$Q_{\text{lkv,varastointi}}$  = lämpimän käyttöveden varastoinnin lämpöhäviö (kWh)

$Q_{\text{lkv,kierto}}$  = lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviö (kWh)

Pientaloille sekä rivitaloille voidaan määrittellä, että  $Q_{\text{lkv,netto}}$  on 35 kWh/(m<sup>2</sup>a) mutta enintään 4 200 kWh (20, s. 5). Tyyppitalon 1 sekä Tyyppitalon 3 lämpimän käyttöveden energiankulutukset ylittävät 4 200 kWh, joten laskuissa käytetään maksimiarvoa 4 200 kWh.

## 6.5 Tyyppitalon 1 tammikuun energiantarve

Tässä luvussa käydään lävitse esimerkinomaisesti Tyyppitalon 1 tammikuun energiantarpeen määrittäminen. Kaikkien tyyppitalojen kuukausikohtaiset laskutoimitukset on esitetty liitteissä 1 - 3.

### 6.5.1 Tilojen lämmitysenergian tarve

Tyyppitalon 1 yläpohjan, seinien, ikkunoiden, ovien sekä alapohjan lämpöhäviöt lasketaan kaavalla 7. U-arvoina käytetään taulukon 3 vuosien 1969 - 1976 välisiä arvoja.

$$Q_{\text{rakosa}} = \sum \frac{U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t}{1000}$$

$$Q_{\text{yläpohja,tam}} = \frac{0,35 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} * 140\text{m}^2 * (21^\circ\text{C} - -8,00^\circ\text{C}) * 744\text{h}}{1000} = 1057\text{kWh}$$

$$Q_{seinät,tam} = \frac{0,7 \frac{W}{m^2K} * 98m^2 * (21^\circ C - -8,00^\circ C) * 744h}{1000} = 1485 kWh$$

$$Q_{ikkunat,tam} = \frac{2,1 \frac{W}{m^2K} * 21m^2 * (21^\circ C - -8,00^\circ C) * 744h}{1000} = 951 kWh$$

$$Q_{ovet,tam} = \frac{1,4 \frac{W}{m^2K} * 3,8m^2 * (21^\circ C - -8,00^\circ C) * 744h}{1000} = 114 kWh$$

$$Q_{rakosa} = \text{yläpohja} + \text{seinät} + \text{ikkunat} + \text{ovet} + (\text{alapohja})$$

$$= 1\,057 kWh + 1\,485 kWh + 951 kWh + 124 kWh = 3\,607 kWh$$

Alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila lasketaan kaavalla 8.

$$T_{maa,vuosi} = T_{u,vuosi} + \Delta T_{maa,vuosi} = 3,43^\circ C + 5^\circ C = 8,43^\circ C$$

Alapohjan kuukausikohtainen keskilämpötila lasketaan kaavalla 9.

$$T_{maa,kuukausi} = T_{maa,vuosi} + \Delta T_{maa,kuukausi} = 8,43^\circ C + 0^\circ C = 8,43^\circ C$$

Alapohjan lämpöhäviö lasketaan erikseen, kuten on selitetty luvussa 6.2.

Alapohjan lämpöhäviö lasketaan kaavalla 8.

$$Q_{alapohja,tam} = \frac{0,4 \frac{W}{m^2K} * 140m^2 * (21^\circ C - 10,57^\circ C) * 744h}{1000} = 524 kWh$$

Kylmäsillat lasketaan kaavalla 10.

$$Q_{kylmäsillat,tam} = 0,1 * Q_{rakosa} = 0,1 * (3\,607 + 524) kWh = 413 kWh$$

Johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi lasketaan kaavalla 6.

$$Q_{joht} = Q_{ulkoseinä} + Q_{yläpohja} + Q_{alapohja} + Q_{ikkuna} + Q_{ovi} + Q_{kylmäsiilat}$$

$$= (3\,607 + 524)kWh + 413kWh = 4\,544kWh$$

Vuotoilmavirta lasketaan kaavalla 12.

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3\,600 * X} A_{vaippa} = \frac{4 \frac{m^3}{hm^2}}{3\,600 \frac{m^3/h}{m^3/s} * 35} * 403,1m^2 = 0,0128 \frac{m^3}{s}$$

Vuotoilmahäviöt lasketaan kaavalla 11.

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i C_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1\,000$$

$$= 1,2 \frac{kg}{m^3} * 1\,000 \frac{J}{kgK} * 0,0128 \frac{m^3}{s} * (21^\circ C - -8,00^\circ C) * \frac{744h}{1\,000}$$

$$= 331kWh$$

Painovoimainen ilmanvaihto lasketaan kaavalla 13.

$$Q_{iv,korvausilma} = \frac{\rho_i C_{pi} q_{v,korvausilma} (T_s - T_u) \Delta t}{1\,000}$$

$$= 1,2 \frac{kg}{m^3} * 1\,000 \frac{J}{kgK} * 0,1 * 10^{-3} \frac{m^3}{sm^2} * 140m^2 * ((21^\circ C - -8,00^\circ C) * \frac{744h}{1\,000})$$

$$= 362kWh$$

Tilojen lämmitysenergian tarve lasketaan kaavalla 5.

$$Q_{tila} = Q_{joht} + Q_{vuotoilma} + Q_{iv.tuloilma} + Q_{iv.korvausilma}$$

$$= 4\,544kWh + 331kWh + 362kWh = 5\,237kWh$$

## 6.5.2 Tiloihin vaikuttavat lämpökuormat

Valaistuksen, kuluttajalaitteiden sekä henkilöiden vuotuinen lämpökuorma laskeetaan kaavalla 17.

$$Q = kP \frac{\tau_d}{24} \frac{\tau_w}{7} \Delta t / 1\,000$$

$$Q_{\text{kuluttajalaitteet,tam}} = 0,6 * 3 \frac{W}{m^2} * 140m^2 * \frac{24h}{24h} * \frac{7d}{7d} * \frac{744h}{1\,000} = 187kW$$

$$Q_{\text{henkilöt,tam}} = 0,6 * 2 \frac{W}{m^2} * 140m^2 * \frac{24h}{24h} * \frac{7d}{7d} * \frac{744h}{1\,000} = 125kW$$

$$Q_{\text{valaistus,tam}} = 0,1 * 8 \frac{W}{m^2} * 140m^2 * \frac{24h}{24h} * \frac{7d}{7d} * \frac{744h}{1\,000} = 83kW$$

Ikkunoiden kautta rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia lasketaan kaavalla 18.

$$Q_{aur} = \sum G_{\text{säteily,pystypinta}} F_{\text{läpäisy}} A_{\text{ikkuna}} g$$

Auringonsäteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskertoimelle voidaan käyttää arvoa  $F_{\text{läpäisy}} = 0,75$ , jos varjostuksia ja pysyviä verhoja ei ole.

$$Q_{\text{aur,pohjoinen,tam}} = 6,2 \frac{kWh}{m^2} * 0,750 * \frac{21m^2}{4} * 0,75 = 18 kWh$$

$$Q_{\text{aur,itä,tam}} = 4 \frac{kWh}{m^2} * 0,750 * \frac{21m^2}{4} * 0,75 = 12 kWh$$

$$Q_{\text{aur,etelä,tam}} = 13 \frac{kWh}{m^2} * 0,750 * \frac{21m^2}{4} * 0,75 = 38 kWh$$

$$Q_{\text{aur,länsi,tam}} = 4 \frac{kWh}{m^2} * 0,750 * \frac{21m^2}{4} * 0,75 = 12 kWh$$

$$Q_{\text{aur,tam}} = 18 kWh + 12 kWh + 38 kWh + 12 kWh = 80 kWh$$

Lämpökuormat yhteensä

$$\begin{aligned} Q_{\text{lämpökuormat,tam}} &= Q_{\text{kuluttajalaitteet,tam}} + Q_{\text{henkilöt,tam}} + Q_{\text{valaistus,tam}} + Q_{\text{aur,tam}} \\ &= 187 kWh + 125 kWh + 83 kWh + 80 kWh = 475 kWh \end{aligned}$$

Rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö lasketaan kaavalla 24.

$$H_{tila} = \frac{Q_{tila}}{(T_s - T_u)\Delta t} * 1000 = \frac{4492kWh}{(21 - -3,97)^{\circ}C * 744h} * 1000 \frac{W}{kW} = 241,8 \frac{W}{K}$$

Rakennuksen aikavakio lasketaan kaavalla 23.  $C_{rak}$  200 Wh/(m<sup>2</sup>K) vastaa raskarakenteista tiilitaloa, jonka alapohja on betonia (18, s. 36).

$$\tau = \frac{C_{rak}}{H_{tila}} = \frac{200 \frac{Wh}{m^2K} * 140m^2}{241,8 \frac{W}{K}} = 115,8 h$$

Suhdeluku  $\gamma$  lasketaan kaavalla 22.

$$\gamma = \frac{Q_{lämpökuorma}}{Q_{tila}} = \frac{475kWh}{4492kWh} = 0,11$$

Numeerinen parametri  $a$  lasketaan kaavalla 21.

$$a = 1 + \frac{\tau}{15} = 1 + \frac{115,8h}{15} = 8,7 h$$

Lämpökuomien hyödyntämisaste lasketaan kaavalla 20.

$$\eta_{lämpö} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} = \frac{1 - 0,11^{8,7}}{1 - 0,11^{8,7+1}} = 1$$

Lopullinen lämpökuormista hyödynnettävä lämpöenergia saadaan, kun huomioidaan lämpökuormien hyödyntämisaste.

$$Q_{sis.lämpö,tam} = Q_{lämpökuormat,tam} * \eta_{lämpö} = 475 kWh * 1 = 475 kWh$$

Tilojen lämmitysenergian nettotarve lasketaan kaavalla 4.

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,netto,tam}} = Q_{\text{tila}} - Q_{\text{sis.lämpö}} = 5\,237\text{kWh} - 475\text{kWh} = 4\,762\text{kWh}$$

### 6.5.3 Rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve

Rakennuksen tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve lasketaan kaavalla 25.

$\eta_{\text{lämmitys,tilat}}$  on 0,85, joka vastaa eristämättömiä jakojohdoja.

$$Q_{\text{lämmitys,tilat,tam}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat,netto}}}{\eta_{\text{lämmitys,tilat}}} = \frac{4017}{0,85} = 5\,602\text{kWh}$$

### 6.5.4 Lämmin käyttövesi

Pientaloille sekä rivitaloille voidaan määritellä, että  $Q_{\text{lkv,netto}}$  on 35 kWh/(m<sup>2</sup>a) mutta enintään 4 200 kWh (20, s. 5).

$$Q_{\text{lkv,netto}} = 35 \frac{\text{kWh}}{(\text{m}^2\text{a})} * 140\text{ m}^2 = 4\,900\text{kWh} > 4\,200\text{kWh}$$

$$= 4\,200\text{kWh}$$

Lämpimän käyttöveden lämmitykseen tarvittava energia lasketaan kaavalla 26.

$\eta_{\text{LKVsiirto}}$  on 0,85, jolloin järjestelmässä ei ole vesikiertoa ja käyttöveden putket kulkevat suojaputkessa (18, s. 41).

$$Q_{\text{lämmitys,lkv}} = \frac{Q_{\text{lkv,netto}}}{\eta_{\text{LKVsiirto}}} + Q_{\text{lkv,varastointi}} + Q_{\text{lkv,kierto}} \frac{4\,200\text{kWh}}{0,85} + 0 + 0$$

$$= 4\,941\text{kWh}$$

$$Q_{\text{lämmitys,lkv,tam}} = \frac{4\,941\text{kWh}}{8\,760\text{ h}} * 744\text{ h} = 420\text{kWh}$$

## **7 RAKENNUSTEN RAKENTEIDEN SANEERAUS**

### **7.1 Asetukset**

Ympäristöministeriön asetus 4/13 määrittää, että julkisivun korjauksen yhteydessä velvoitetaan energiatehokkuuden parantamiseen. Ulkoseinien ja yläpohjan energiatehokkuutta parannetaan puolittamalla U-arvo, tai se päivitetään nykystandardien mukaisiksi. Alapohjaa parannetaan mahdollisuuksien mukaan. Uusien ikkunoiden U-arvon on oltava  $1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$  tai parempi. (21, s. 2.)

### **7.2 Rakenteiden saneeraukset**

Rakenteiden korjaus- tai muutostyöt ovat luvanvaraisia ja vaativat erillisen korjaussuunnitelman. Energiatehokkuuden parantamisen suunnittelun lähtökohtana on rakennuksen pohjaratkaisu sekä olemassa olevat rakenneratkaisut. Opinnäytetyön tyyppitalot ovat keskiarvoja sekä teoreettisia, eikä oikeita konkreettisia pohjaratkaisuja tai rakenteiden toteutuksia ole. Tässä opinnäytetyössä tarkkaa tarkastelua tyyppitalojen rakenteiden energiatehokkuuden parantamiseksi ei voida tehdä, vaan tarkastelu on teoreettista sekä suuntaa antavaa. Rakenteiden energiatehokkuuden parantamiseksi suoritettavat saneerauslaskelmat perustuvat luvun 7.1 asetusten mukaiseen saneeraukseen.

### **7.3 Rakenteiden U-arvot**

Lämmönläpäisykerroin eli U-arvo kuvaa rakenteen lämmöneristyskykyä. Rakenteiden energialaskuissa käytetään taulukon 3 mukaisia U-arvoja. U-arvot valitaan rakennuksen rakennusvuoden mukaan. U-arvojen avulla lasketaan rakenteiden lämpöhäviöt. Lämpöhäviöt lasketaan uudelleen luvun 7.1 asetusten mukaan, milloin erotuksena saadaan saneerauksesta saatava energiansäästö. Ulkoilmaan rajoittuvien rakenteiden lämpöhäviöt lasketaan kaavalla 7.

Laskuissa sisälämpötilana käytetään arvoa  $21 \text{ }^\circ\text{C}$  (2, s. 18). Ulkolämpötiloina käytetään taulukon 2 arvoja, jotka ovat vuosien 1980 - 2009 keskilämpötiloja.

## 7.4 Saneerausten hinnat ja takaisinmaksuaika

Tyypitalojen rakenteiden saneerauksesta tai lämmitysjärjestelmien muutoksista aiheutuvia kustannuksia on erittäin vaikea määrittellä yleisellä tasolla. Todelliset kustannusarviot ovat aina yksilöllisiä.

Kustannusarviot tehdään olemassa olevien toteutuksien sekä tulevan saneeraus suunnitelman perusteella. Saneeraussuunnitelmat pitävät sisällään tulevan järjestelmän laatuvaatimukset sekä ominaisuudet. Kustannusarvioissa voi tulla eroja esimerkiksi erilaisista ikkunamateriaaleista. Lisäksi ikkunoiden lisäosien kuten tuuletusikkunoiden ja korvausilmaventtiileiden materiaalit, ominaisuudet ja näin ollen hinnat vaihtelevat. Myös polttokattiloiden tarjonta erilaisine ominaisuuksineen on todella runsasta ja hinnat ovat vaihtelevia. Lämmitysjärjestelmien saneeraukseen liittyvät kaapeli- sekä putkityöt ovat todella yksilöllisiä myös kustannuksiltaan.

Tässä opinnäytetyössä kustannukset arvioidaan yleisellä tasolla ja tarkemmin tuotteiden laatuun tai ominaisuuksiin ei oteta kantaa. Kustannusten hinta-arviot perustuvat useiden verkkosivujen listahintavertailuun. Listahintavertailussa kustannukset keskiarvoistetaan eikä erikoistarjouksia oteta huomioon.

Opinnäytetyössä tutkitaan energiasäästötoimen kannattavuutta takaisinmaksuaikamenetelmällä. Takaisinmaksuaika kertoo, kuinka monessa vuodessa investointi maksaa itsensä takaisin. Takaisinmaksuaikamenetelmässä ei huomioida laskentakorkoa eikä jäännösarvoa. Takaisinmaksuajan investoinnin hankintamenoissa pyritään aina huomioimaan asennuksesta aiheutuvat kustannukset. Useassa kohtaa on kuitenkin järkevää arvioida ainoastaan laitteistosta aiheutuvia kustannuksia, sillä asennuskustannuksissa voi olla suuria eroavaisuuksia johtuen olemassa olevasta toteutuksesta. Tässä opinnäytetyössä tyypitalot ovat teoreettisia eikä niiden olemassa olevista toteutuksista ole tietoa. Takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 27. (22, s. 32.)

$$\text{Takaisinmaksuaika vuosissa} = \frac{\text{Investoinnin hankintamenot}}{\text{Vuotoiset nettotuotot}}$$

KAAVA 27



### 7.4.1 Pellettijärjestelmä

Pellettipolttimia sekä -kattiloita on nykymarkkinoilla laaja valikoima tarjolla. Pellettijärjestelmä, joka sisältää pellettikattilan, -polttimen, syöttöruuvien sekä varastosiilon arvioidaan noin 5 000 - 6 000 € hintaiseksi. Tämän lisäksi pitää huomioida asennus sekä vanhan lämmitysjärjestelmän hävityskustannukset. Niiden voidaan arvioida olevan noin 3 000 - 4000 €. Tässä opinnäytetyössä käytetään pellettijärjestelmän uusimisen kokonaiskustannushintana 10 000 €. Pellettilämmitysjärjestelmässä pellettien varastointi vaatii suuremman tilan kuin polttoöljysäiliö. Kuvassa 16 on hyvä esimerkki omakotitaloratkaisusta, jossa omakotitalon päätyyn on rakennettu ulkoverhoiltu pellettisiilo.



*KUVA 16. Omakotitalon päätyyn rakennettu ja ulkoverhoiltu pellettisiilo (23)*

### 7.4.2 Yläpohjan puhallusvilla

Tässä opinnäytetyössä käytetään tarvittavan yläpohjan puhallusvillan määrän arvioimisessa Ekovillan lisäeristyslaskuria (24). Ekovillan yläpohjan puhallusvillan hinnat vaihtelevat 36 - 45 €/m<sup>3</sup> asennettuna. Laskuissa käytetään hintaa 40 €/m<sup>3</sup>.

### 7.4.3 Ikkunat

Ikkunoiden saneeraushinnat vaihtelevat todella paljon. Ikkunan saneeraushintaan vaikuttavat ikkunan koko, ominaisuudet sekä varustetaso. Ikkunoiden hinnat asennettuna ovat 700 - 1 300 €. Laskutoimituksessa oletetaan saneerattavan ikkunan olevan perusikkuna, joka on 2 200 X 1 600 mm. Tällöin saneerattavan

ikkunan pinta-ala on 3,5 m<sup>2</sup> ja ikkunan hinta vaihtotöineen arvioidaan olevan 1 100 €.

#### **7.4.4 Ovet**

Ulko-ovien hintaan vaikuttavat oven ominaisuudet sekä laatu. Ulko-ovien hinnat vaihtotöineen arvioidaan olevan 1 000 €.

#### **7.4.5 Aurinkokeräimet**

Aurinkokeräinten toteutuksia on useita, ja niiden toimintaperiaatteet eroavat hiukan toisistaan. Laskuissa käytetään aurinkokeräinten hintana 3 500 €, joka perustuu Jäspi Solar 3 Pack -aurinkokeräinpakettiin. Kustannusarvio ei sisällä asennusta, sillä asennushintaan vaikuttaa paljon tuleva toteutus, esimerkiksi putkiston asennus.

#### **7.4.6 Ilmalämpöpumput**

Oletetaan, että omakotitalojen (Tyyppitalon 1 ja 2) pohjaratkaisut ovat hiukan kompleksisimpia ja niiden tilojen lämmitysenergiasta voidaan tuottaa 10 - 30 % yhdellä ilmalämpöpumpulla. Yksittäisen ilmalämpöpumpun yksikön hinta asennettuna arvioidaan olevan 2 500 €.

Oletetaan, että Tyyppitalon 3 rivitalon yksittäisten asuntojen pohjaratkaisut ovat yksinkertaisia ja sisältävät ainoastaan yhden tai kaksi erillistä huonetta sekä peseytymistilat. Tyyppitalon 3 lämmitysenergiasta voidaan hyödyntää 30 - 50 % ilmalämpöpumpulla, kun jokaiseen asuntoon tuodaan erillinen sisäyksikkö. Useamman sisäyksikön järjestelmä asennettuna arvioidaan 12 000 €:n hintaiseksi.

## 8 TYYPITALON 1 ENERGIANSÄÄSTÖTOIMET

### 8.1 Energiankulutus

Tässä luvussa määritellään Tyypitalon 1 ilmanvaihdon sekä tilojen että lämpimän käyttöveden energiankulutukset.

#### 8.1.1 Painovoimaisen ilmanvaihdon määrittäminen

Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 mukaan pientalojen ilmanvaihdoksi on määritelty  $0,4 \text{ l/sm}^2$  (2, s. 18). Tämä merkitsee sitä, että pinta-alaltaan  $140 \text{ m}^2$  rakennuksen ilmanvaihto on  $56 \text{ l/s}$ . Näin suuri standardiarvo voidaan saavuttaa koneellisella ilmanvaihdolla, mutta se on liian suuri arvo Tyypitaloon 1 rakennetulle painovoimaiselle ilmanvaihdolle.

Energialaskuissa käytetään painovoimaiselle ilmanvaihdolle arvoa  $0,1 \text{ l/sm}^2$ , jolloin ilmanvaihdoksi saadaan  $14 \text{ l/s}$ . Painovoimaisen ilmanvaihdon toimivuudesta sekä sen riittävyydestä on paljon mielipiteitä sekä keskusteluja asiantuntijoiden keskuudessa (25). Tyypitalon 1 ilmanvaihtoa  $14 \text{ l/s}$  voidaan verrata aikuisen ihmisen hengitykseen. Aikuinen ihminen hengittää levossa noin  $6 - 7$  litraa minuutissa ilmaa (26). Laskuissa käytetyn painovoimaisen ilmanvaihdon kapasiteetti vastaa siis noin  $120$  aikuisen ihmisen hengityskapasiteettia.

#### 8.1.2 Lämpimän käyttöveden kulutus

Luvussa 6.5.4 laskettiin vuotuiseksi lämpimän käyttöveden energiakulutukseksi  $4\,200 \text{ kWh}$ . Lämpimän käyttöveden massa  $4\,200 \text{ kWh}$  energiamäärällä lasketaan kaavalla 28 (27, s. 107).

$$m = \frac{Q}{C_p \Delta T}$$

KAAVA 28

$Q$  = energiamäärä (kJ)

$m$  = aineen massa (kg)

$C_p$  = aineen ominaislämpökapasiteetti (kJ/kgK)

$\Delta T$  = lämpötilaero

Kylmän ja lämpimän käyttöveden lämpötilaero on 50 °C (2, s. 21). Veden ominaislämpökapasiteetti on 4,19 kJ/kgK, ja yksi kilogramma vettä vastaa yhtä litraa vettä (27, s. 178). Vuotuisella 4 200 kWh:n energiamäärällä saadaan kaavasta 28 lämmintä käyttövettä 72 172 litraa.

$$m = \frac{4\,200\text{ kWh} * 3\,600\text{ s}}{4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 50\text{ °C}} = 72\,172\text{ kg}$$

Lämpimän veden kulutus on 40 % kulutetusta vedestä (18, s. 25). Koko vuoden veden kulutus on tällöin 180 430 litraa ja yhden päivän kulutus on 494 litraa. Ihminen kuluttaa keskimäärin käyttövettä 140 litraa vuorokaudessa (28). Tällöin 4 200 kWh lämpimän käyttöveden energiankulutus on määritelty 3,5 henkilölle.

### 8.1.3 Tilojen energiankulutus

Luvussa 6.5 laskettiin Tyypitalon 1 energiankulutus tammikuussa. Koko vuoden energiankulutus on laskettu liitteessä 1, missä tilojen lämmitysenergian,  $Q_{\text{lämmitys,tila}}$  tarpeeksi saadaan 33 178 kWh. Energiankulutus normeerataan Kuivaniemen luvussa 4 saadulla korjauskertoimella 1.09. Lopulliseksi tilojen lämmitysenergian tarpeeksi tulee siis 36 164 kWh.

### 8.2 Öljyn korvaaminen pelletillä

Tyypitalon 1 lämmitysjärjestelmä toimii öljyllä. Tässä kappaleessa tutkitaan fossiilisen öljyn korvaamista uusiutuvalla paikallisella energialla. Uusiutuvaksi energiaksi valittiin pelletti, sillä öljy- sekä pellettilämmitysjärjestelmä ovat toiminnaltaan erittäin samankaltaiset.

Tarvittava lämmitysenergiämäärä lasketaan kaavalla 29.

$$Q_{\text{polttoaine}} = \frac{Q_{\text{lämmitys,tilat}} * K_{\text{normeeraus}} + Q_{\text{lämmitys.lkv}}}{\eta_{\text{kattila}}}$$

KAAVA 29

$Q_{polttoaine}$  = tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava polttoaineen energiamäärä (kWh)

$Q_{lämmitys.tilat}$  = tilojen lämmityksen lämpöenergian tarve, joka katetaan laskettavalla lämmön jakelujärjestelmällä (kWh)

$K_{normeeraus}$  = normeerauskerroin

$Q_{lämmitys.lkv}$  = lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarve (kWh)

$\eta_{kattila}$  = kattilan hyötysuhde

Taulukosta 6 nähdään öljy- sekä pellettijärjestelmien kuukausikohtaiset hyötysuhteet. Tammikuun tilojen sekä lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava öljyn ja pelletin energiamäärät lasketaan kaavalla 29 käyttämällä taulukon 6 arvoja.

$$Q_{polttoaine,\text{öljy}} = \frac{Q_{lämmitys,tilat} * K_{normeeraus} + Q_{lämmitys.LKV}}{\eta_{kattila}} = \frac{5\,602\text{ kWh} * 1,09 + 420\text{ kWh}}{0,86} = 7\,589\text{ kWh}$$

$$Q_{polttoaine,pelletti} = \frac{5\,602\text{ kWh} * 1,09 + 420\text{ kWh}}{0,81} = 8\,057\text{ kWh}$$

TAULUKKO 6. Kattiloiden ja kaukolämmönjakokeskuksen hyötysuhteiden kuukausittaisia ohjearvoja (18, s. 69)

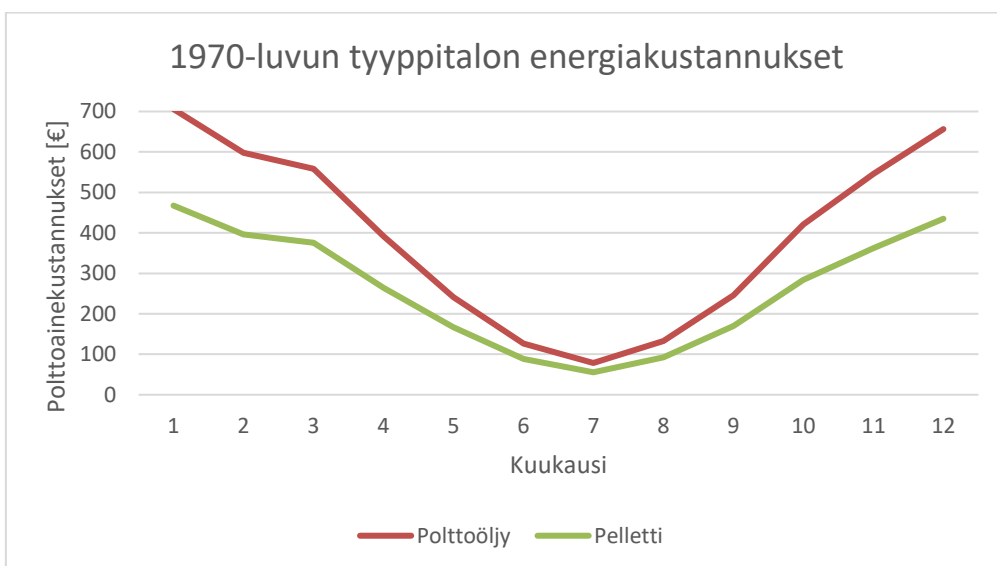
Kuukausi	Hyötysuhde, -						
	standardi öljy/kaasu	kondenssi öljy	kondenssi kaasu	pelletti kattila	puukattila energiavaraajalla	sähkö kattila	kaukolämpö
1	0,86	0,92	0,98	0,81	0,78	0,94	0,96
2	0,86	0,92	0,98	0,81	0,78	0,93	0,96
3	0,83	0,89	0,94	0,77	0,71	0,90	0,95
4	0,79	0,85	0,91	0,73	0,75	0,86	0,93
5	0,72	0,79	0,84	0,65	0,69	0,79	0,91
6	0,67	0,73	0,78	0,60	0,55	0,74	0,91
7	0,68	0,74	0,78	0,60	0,67	0,74	0,91
8	0,67	0,73	0,78	0,60	0,57	0,74	0,91
9	0,73	0,79	0,84	0,66	0,67	0,79	0,91
10	0,80	0,86	0,91	0,74	0,76	0,87	0,94
11	0,83	0,90	0,95	0,78	0,74	0,91	0,95
12	0,85	0,91	0,97	0,80	0,79	0,93	0,96

Luvussa 3 määritettyjen energiahintojen perusteella saadaan tammikuun polttoainekustannukseksi öljylle 706 € ja pelletille 467 €. Taulukosta 7 nähdään lasketut kuukausikohtaiset polttoaineen energiamäärät ja polttoainekustannukset öljylle sekä pelletille. Tekemällä tammikuun laskuesimerkkiä vastaavat vertailut eri kuukausille vuotuinen polttoainesäästö pellettijärjestelmällä olisi 1 546 €.

TAULUKKO 7. Kuukausikohtaiset polttoainekustannukset

Kuukausi	Polttoöljy			Pelletti		
	$\eta_{\text{öljy}}$	$Q_{\text{polttoaine}}$ [kWh]	Pa. kustannukset [€]	$\eta_{\text{pelletti}}$	$Q_{\text{polttoaine}}$ [kWh]	Pa. kustannukset [€]
tammikuu	0,86	7591	706	0,81	8059	467
helmikuu	0,86	6433	598	0,81	6830	396
maaliskuu	0,83	6005	558	0,77	6473	375
huhtikuu	0,79	4211	392	0,73	4558	264
toukokuu	0,72	2595	241	0,65	2875	167
kesäkuu	0,67	1362	127	0,60	1521	88
heinäkuu	0,68	845	79	0,60	957	56
elokuu	0,67	1424	132	0,60	1590	92
syyskuu	0,73	2648	246	0,66	2929	170
lokakuu	0,80	4524	421	0,74	4891	284
marraskuu	0,83	5868	546	0,78	6244	362
joulukuu	0,85	7060	657	0,80	7502	435
<b>Yht.</b>		50567	4703		54429	3157

Kuvassa 18 vertaillaan Tyypitalon 1 kuukausittaisia polttoainekustannuksia, jos tarvittava lämpöenergia toteutetaan polttoöljyllä tai pelletillä.



KUVA 17. Polttoaineiden kuukausikohtaiset kustannukset

Pellettijärjestelmän takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 27 ja kappaleen 7.4.1 kustannusten mukaan.

$$\text{Takaisinmaksuaika vuosissa} = \frac{10\,000\ \text{€}}{1\,317\ \text{€/a}} = 6,5\ \text{vuotta}$$

### 8.3 Rakenteiden saneeraus

#### 8.3.1 Rakenteiden lämpöhäviöt sekä polttoaineen kustannussäästöt

Tyypitalo 1 on 1977 rakennettu omakotitalo. Rakenneosien lämpöhäviöt laske-  
taan kaavalla 7, jossa käytetään taulukon 3 U-arvoja. U-arvoina käytetään vuo-  
sien 1976 - 1978 välisiä arvoja. Rakenneosan saneerauksessa määritetään uu-  
det U-arvot kappaleen 7.1 mukaisesti, jolloin saneerattavan kohteen U-arvo joko  
puolitetaan tai päivitetään nykypäivän standardien mukaiseksi. Ikkunat ja ovet  
päivitetään nykypäivien standardien mukaisiksi. Rakenneosien lämpöhäviöt nor-  
mitetaan Kuivaniemeen kappaleen 4 normeerauskertoimella 1,09.

Taulukkoon 8 on laskettu Tyypitalon 1 seinien sekä yläpohjan lämpöhäviöt sekä  
ennen saneerausta että saneerauksen jälkeen.

TAULUKKO 8. Seinien sekä yläpohjan lämpöhäviöt vuodessa

Kuukausi	T <sub>v</sub> [°C]	t [h]	1970			Saneerattu		
			Q <sub>seinät</sub> [kWh]	Q <sub>seinät</sub> [kWh]	ΔQ <sub>seinät</sub> [kWh]	Q <sub>yläpohja</sub> [kWh]	Q <sub>yläpohja</sub> [kWh]	ΔQ <sub>yläpohja</sub> [kWh]
tammikuu	-8,00	744	1618	809	809	1152	576	576
helmikuu	-7,10	672	1416	708	708	1009	504	504
maaliskuu	-3,53	744	1368	684	684	975	487	487
huhtikuu	2,42	720	1003	502	502	714	357	357
toukokuu	8,84	744	678	339	339	483	242	242
kesäkuu	13,39	720	411	205	205	293	146	146
heinäkuu	15,76	744	292	146	146	208	104	104
elokuu	13,76	744	404	202	202	288	144	144
syyskuu	9,18	720	638	319	319	455	227	227
lokakuu	4,07	744	944	472	472	673	336	336
marraskuu	-1,76	720	1229	614	614	875	438	438
joulukuu	-5,92	744	1502	751	751	1070	535	535
	3,43	8760,0	11504	5752	5752	8194	4097	4097

Taulukkoon 9 on laskettu Tyypitalon 1 ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöt sekä  
ennen saneerausta että saneerauksen jälkeen.

TAULUKKO 9. Ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöt

Kuukausi	T <sub>u</sub> [°C]	t [h]	1970			Saneerattu		
			Q <sub>ikkunat</sub> [kWh]	Q <sub>ikkunat</sub> [kWh]	ΔQ <sub>ikkunat</sub> [kWh]	Q <sub>ovet</sub> [kWh]	Q <sub>ovet</sub> [kWh]	Q <sub>ovet</sub> [kWh]
tammikuu	-8,00	744	1037	494	543	124	89	36
helmikuu	-7,10	672	908	432	475	109	78	31
maaliskuu	-3,53	744	877	418	460	105	75	30
huhtikuu	2,42	720	643	306	337	77	55	22
toukokuu	8,84	744	435	207	228	52	37	15
kesäkuu	13,39	720	263	125	138	32	23	9
heinäkuu	15,76	744	187	89	98	22	16	6
elokuu	13,76	744	259	123	136	31	22	9
syyskuu	9,18	720	409	195	214	49	35	14
lokakuu	4,07	744	605	288	317	73	52	21
marraskuu	-1,76	720	788	375	413	95	68	27
joulukuu	-5,92	744	963	458	504	116	83	33
	3,43	8760,0	7375	3512	3863	885	632	253

Rakenneosien saneerauksesta seuranneet polttoainesäästöt lasketaan kaavalla 30.

$$PA_{\text{säästöt}} = \sum_{kk} \frac{\Delta Q_{\text{rakosa.kk}}}{\eta_{\text{keskus.kk}}} * PA_{\text{hinta}}$$

KAAVA 30

PA<sub>säästöt</sub> = vuotuinen polttoaine säästöt (€)

Q<sub>rakosa.säästö.kk</sub> = rakennekohtainen energiasäästö kuukaudessa (kWh)

η<sub>keskus.kk</sub> = kattilan kuukausittainen hyötysuhde

PA<sub>hinta</sub> = polttoaineen energiahinta (€/kWh)

Taulukkoon 10 on laskettu kaavalla 30 rakennekohtaiset polttoainesäästöt.

TAULUKKO 10. Saneerauksesta seuranneet polttoainesäästöt

Rakenne	Q <sub>säästö</sub> [kWh]	Öljy [€/a]	Pelletti [€/a]	Öljy [€/m <sup>2</sup> a]	Pelletti [€/m <sup>2</sup> a]
Yläpohja	4097	475 €	320 €	3,4 €	2,3 €
Seinät	11504	667 €	449 €	6,8 €	4,6 €
Ikkunat	7375	448 €	302 €	21,3 €	14,4 €
Ovet	253	29 €	20 €	7,8 €	5,2 €
<b>Yht.</b>	<b>23229</b>	<b>1 618 €</b>	<b>1 090 €</b>	<b>39,2 €</b>	<b>26,4 €</b>



### 8.3.2 Yläpohjan saneeraus ja takaisinmaksuaika

Ekovillan lisäeristyslaskurin mukaan vaatisi 150 mm puhallusvillan lisäeristykseen (24), jotta saataisiin U-arvo 0,35 puolitettua U-arvoon 0,175. Näin ollen, 140 m<sup>2</sup> taloon menisi 21 m<sup>3</sup> puhallusvillaa. Puhallusvillan kokonaiskustannukseksi tulisi 840 €, kun käytetään kappaleen 7.4.2 puhallusvillan hintaa. Takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 27.

$$\text{Takaisinmaksuaika, öljy} = \frac{840 \text{ €}}{475 \text{ €/a}} = 1,8 \text{ vuotta}$$

$$\text{Takaisinmaksuaika, pelletti} = \frac{840 \text{ €}}{320 \text{ €/a}} = 2,6 \text{ vuotta}$$

### 8.3.3 Seinärakenteiden saneeraus ja takaisinmaksuaika

Seinärakenteiden saneeraus on rakennuskohtainen, sillä saneeraukseen vaikuttaa nykyinen toteutus ja se, miten seinärakenteet saneerataan. Seinärakenteiden suurin sallittu investointikustannus 10 vuoden takaisinmaksuajan toteutumiseksi voidaan johtaa kaavasta 27.

*Investoinnin hankintamenot*

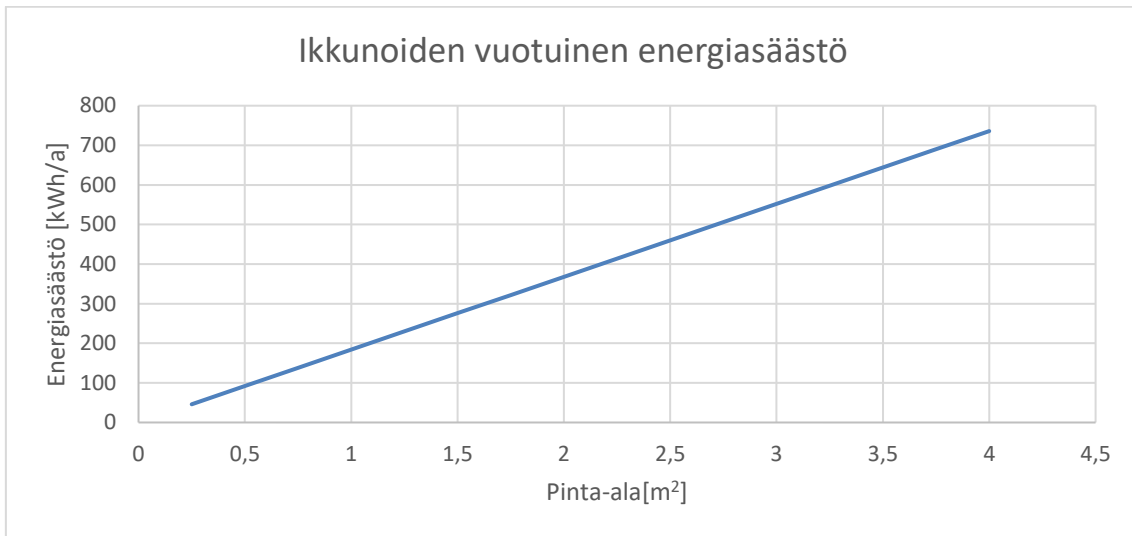
$$= \text{Takaisinmaksuaika vuosissa} * \text{Vuotuiset nettotuotot}$$

$$\text{Investoinnin hankintamenot, öljy} = 10 \text{ a} * 667 \text{ €/a} = 6\ 670 \text{ €}$$

$$\text{Investoinnin hankintamenot, pelletti} = 10 \text{ a} * 449 \text{ €/a} = 4\ 490 \text{ €}$$

### 8.3.4 Ikkunoiden saneeraus ja takaisinmaksuaika

Ikkunoiden lämpöhäviö on lineaarinen pinta-alan suhteen. Tyyppitalon 1 yksittäisen ikkunan saneerauksessa saavutettua energiasäästöä voidaan tarkastella kuvasta 18, jos ikkunan pinta-ala on tiedossa.



*KUVA 18. Tyyppitalon 1 ikkunoiden lämpöhäviöt pinta-alan suhteen*

Ikkunan, jonka pinta-ala on 3,5 m<sup>2</sup> ja saneerauskustannus on 1 100 €, takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 27.

$$\text{Takaisinmaksuaika vuosissa, öljy} = \frac{1\,100\ \text{€}}{3,5\ \text{m}^2 \cdot 21,3\ \text{€/m}^2\text{a}} = 14,8\ \text{vuotta}$$

$$\text{Takaisinmaksuaika vuosissa, pelletti} = \frac{1\,100\ \text{€}}{3,5\ \text{m}^2 \cdot 14,4\ \text{€/m}^2\text{a}} = 21,8\ \text{vuotta}$$

### 8.3.5 Ulko-ovien saneeraus ja takaisinmaksuaika

Ulko-oven, jonka mitat ovat 900 \* 2 100 mm ja pinta-ala on 1,9 m<sup>2</sup>, takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 27.

$$\text{Takaisinmaksuaika vuosissa, öljy} = \frac{1\,000\ \text{€}}{1,9\ \text{m}^2 \cdot 7,8\ \text{€/m}^2\text{a}} = 67,5\ \text{vuotta}$$

$$\text{Takaisinmaksuaika vuosissa, pelletti} = \frac{1\,000\ \text{€}}{1,9\ \text{m}^2 \cdot 5,2\ \text{€/m}^2\text{a}} = 101,2\ \text{vuotta}$$

## 8.4 Tilojen lämmittäminen ilmalämpöpumpulla

Tilojen lämmittäminen ilmalämpöpumpulla riippuu rakennuksen pohjaratkaisusta. Seuraavana lasketaan ilmalämpöpumpun kannattavuus, kun ilmalämpöpumpulla

tuotetaan 10 % tilojen energiantarpeesta. Ilmalämpöpumpulla tuotettava lämpöenergia on siis

$$Q_{ILP,netto} = Q_{lämmitys,tilat} * 0,10 = 30\,137\text{ kWh} * 0,10 = 3\,014\text{ kWh}$$

Ilmalämpöpumpun kuluttama sähköenergia, kun tuotetaan 3 014 kWh lämpöenergiaa lasketaan kaavalla 3, kun lämmönluovutuksen hyötysuhde on 85 % ja ilmalämpöpumpun SCOP-arvoksi oletetaan 2.

$$Q_{ILP,sähkö} = \frac{Q_{ILP,netto}}{SCOP * \eta_{lämmönluovutus}} = \frac{3\,014\text{ kWh}}{2 * 0,85} = 1\,773\text{ kWh}$$

Seuraavassa on laskettu ilmalämpöpumpun aiheuttamat sähköenergiakustannukset, kun tuotetaan 10 % tilojen energiantarpeesta sähköllä luvun 3 energiahinnalla.

$$ILP_{kust} = 1\,773\text{ kWh} * \frac{0,12\text{€}}{\text{kWh}} = 213\text{€}$$

Seuraavassa on laskettu polttoaineesta aiheutuvat kustannukset, kun tuotetaan 10 % tilojen energiantarpeesta öljyllä luvun 3 energiahinnalla. Laskussa huomioidaan lämpökeskuksen vuotuinen hyötysuhde sekä sähkönkulutus. Lämpökeskuksen vuotuinen hyötysuhde sekä sähkönkulutus on esitetty taulukossa 11.

$$\text{Ölly}_{kust} = \frac{3\,014\text{ kWh}}{0,81} * 0,093 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} + \frac{0,99\text{ kWh}}{\text{m}^2} * 140\text{ m}^2 * 0,12 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 363\text{ €}$$

Seuraavassa on laskettu polttoaineesta aiheutuvat kustannukset, kun tuotetaan 10 % tilojen energiantarpeesta pelletillä luvun 3 energiahinnalla. Laskussa huomioidaan lämpökeskuksen vuotuinen hyötysuhde sekä sähkönkulutus. Lämpökeskuksen vuotuinen hyötysuhde sekä sähkönkulutus on esitetty taulukossa 11.

$$Pelletti_{kust} = \frac{3\,014\text{ kWh}}{0,75} * 0,058 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} + 0,77 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 140\text{ m}^2 * 0,12 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 246\text{ €}$$

TAULUKKO 11. Lämmönjakokeskusten vuotuiset hyötysuhteet sekä sähkön kulutus (18, s. 44)

	Vuosihyötysuhde	Sähkö kWh/a m <sup>2</sup>
standardi öljy/kaasu	0,81 <sup>3)</sup>	0,99 <sup>1)</sup> 0,59 <sup>2)</sup>
kondenssi öljy	0,87 <sup>3)</sup>	1,07
kondenssi kaasu	0,92 <sup>3)</sup>	0,68
pellettikattila	0,75 <sup>3)</sup>	0,77
puukattila energiavaraajalla	0,73	0,38
sähkökattila	0,88 <sup>3)</sup>	0,02
kaukolämpö	0,94	0,60
huonekohtainen sähkölämmitys	1,00	0,00

<sup>1)</sup> öljy

<sup>2)</sup> kaasu

Takaisinmaksuaika öljyjärjestelmälle lasketaan kaavalla 27, kun ilmalämpöpumppu asennuksineen maksaa 2 500 €, kuten on arvioitu luvussa 7.4.6.

$$Takaisinmaksuaika\ vuosissa = \frac{2\,500\text{ €}}{(363 - 213)\text{€}} = 16,7\text{ vuotta}$$

Vastaava takaisinmaksuaika pellettijärjestelmälle lasketaan kaavalla 27.

$$Takaisinmaksuaika\ vuosissa = \frac{2\,500\text{ €}}{(246 - 213)\text{€}} = 75,2\text{ vuotta}$$

Taulukkoon 12 on laskettu ilmalämpöpumpun takaisinmaksuajat vuosina SCOP-arvoille 2 - 5, kun ilmalämpöpumpulla tuotetaan 10, 15 sekä 30 % tilojen lämmitysenergian tarpeesta.

*TAULUKKO 12. Tyypitalon 1 ilmalämpöpumppujen takaisinmaksuajat*

	SCOP = 2			SCOP = 3			SCOP = 4			SCOP = 5		
$Q_{LP,netto}/Q_{lämmitys,tilat}$	10 %	15 %	30 %	10 %	15 %	30 %	10 %	15 %	30 %	10 %	15 %	30 %
$Q_{LP,netto}$ [kWh]	3616	5425	10849	3616	5425	10849	3616	5425	10849	3616	5425	10849
$Q_{LP,sähkö}$ [kWh]	2127	3191	6382	1418	2127	4255	1064	1595	3191	851	1276	2553
$ILP_{kust}$ [€]	255 €	383 €	766 €	170 €	255 €	511 €	128 €	191 €	383 €	102 €	153 €	306 €
$Öljy_{kust}$ [€]	432 €	639 €	1 262 €	432 €	639 €	1 262 €	432 €	639 €	1 262 €	432 €	639 €	1 262 €
$Pelletti_{kust}$ [€]	293 €	432 €	852 €	293 €	432 €	852 €	293 €	432 €	852 €	293 €	432 €	852 €
TMA Öljy [a]	14,2	9,7	5,0	9,6	6,5	3,3	8,2	5,6	2,8	7,6	5,1	2,6
TMA Pelletti [a]	67,0	50,5	29,0	20,4	14,1	7,3	15,2	10,4	5,3	13,1	9,0	4,6

## 9 TYYPITALON 2 ENERGIANSÄÄSTÖTOIMET

### 9.1 Energiankulutus

Tässä luvussa määritellään Tyypitalon 2 ilmanvaihdon sekä tilojen että lämpimän käyttöveden energiankulutukset.

#### 9.1.1 Painovoimaisen ilmanvaihdon määrittäminen

Painovoimaisen ilmanvaihdon määrä on sama kuin Tyypitalolla 1 eli 0,1 l/sm<sup>2</sup>. Tällöin koko ilmanvaihdon määräksi Tyypitalolle 2 tulee 30 l/s.

#### 9.1.2 Lämpimän käyttöveden kulutus

Tyypitalolle 2 lämpimän käyttöveden energiankulutus määritellään henkilömäärän mukaan. Tyypitalon 2 henkilömäärä määritellään henkilötiheyden 1hlö/43m<sup>2</sup> avulla (20, s. 24). Tyypitalossa 2 asuu seitsemän henkilöä. Kun keskimääräinen vedenkulutus on 140 l/henkilö/vuorokausi (28), käyttövettä kuluu yhteensä 980 litraa vuorokaudessa. Käyttövedestä 40 % eli 392 litraa on lämmintä käyttövettä (18, s. 25). Kaavalla 28 lasketaan, että yhden litran veden lämmitykseen tarvitaan 0,058 kWh energiaa. 392 litran lämmittämiseen tarvitaan 23 kWh. Vuotuinen lämpimän käyttöveden energiankulutus on 8 326 kWh.

#### 9.1.3 Tilojen energiankulutus

Tyypitalon 2 energiankulutus lasketaan pääsääntöisesti samalla tavalla kuin Tyypitalon 1 energiankulutus esimerkissä kappaleessa 6.5. Rakennuksen rakenteiden lämpöhäviöt lasketaan taulukon 3 vuosien 1978 - 1985 välisillä arvoilla. Kaukolämmitteisessä rakennuksessa on kuitenkin lämpimän käyttöveden vesikierto. Lämpimän käyttöveden siirron vuosihyötysuhde vesikierrolla  $\eta_{LKV,siirto} = 0,96$  (18, s. 41).

Oletetaan kiertojohdot hyvin eristetyiksi, joten kiertohäviö,  $\phi_{lkv,kiertohäviö,omin} = 6$  W/m (18, s. 42). Koska ei ole tarkkaa tietoa Tyypitalon lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituudesta, voidaan käyttää arvoa  $L_{lkv}=0,043$  m/m<sup>2</sup>(18, s. 43). Lämpimän vesikierron lämpöhäviöt lasketaan siis kaavalla 19 seuraavasti:

$$Q_{lkv,kierto,tam} = \phi_{lkv,kiertohäviö,omin} L_{lkv} * \frac{\Delta t}{1000} = \frac{6 W}{m} * 0,043 * 300m^2 * \frac{744 h}{1000}$$

$$= 58 kWh$$

Kiertoputket sijaitsevat rakennuksen vaipan sisällä, joten lämpökuormaksi tulee 50 % lämpöhäviöstä eli 29 kWh (2, s. 12).

Tyypitalon 2 koko vuoden energiankulutus on laskettu liitteeseen 2. Tilojen lämmitysenergian tarpeeksi saadaan  $Q_{\text{lämmitys,tila}} = 50\,894$  kWh. Energiankulutus normalisoidaan Kuivaniemen kappaleessa 4 saadulla korjauskertoimella 1.09. Lopulliseksi tilojen lämmitysenergian tarpeeksi tulee siis 55 475 kWh.

## 9.2 Rakenteiden saneeraus

### 9.2.1 Rakenteiden lämpöhäviöt sekä kustannussäästöt

Tyypitalo 2 on 1980-luvun alkupuolella rakennettu rivitalo. Rakenneosien lämpöhäviö lasketaan kaavalla 7, jossa käytetään taulukon 3 U-arvoja. U-arvoina käytetään vuosien 1978 - 1985 välisiä arvoja. Rakenneosan saneerauksessa määritetään uudet U-arvot luvun 7.1 mukaisesti, jolloin saneerattavan kohteen U-arvo joko puolitetaan tai päivitetään nykypäivän standardien mukaiseksi. Ikkunat ja ovet päivitetään nykypäivien standardien mukaisiksi. Rakenneosien lämpöhäviöt normitetaan Kuivaniemen kappaleen 4 normeerauskerroimella 1,09.

Taulukkoon 13 on laskettu seinien sekä yläpohjan kuukausikohtaiset lämpöhäviöt sekä ennen saneerausta että saneerauksen jälkeen.

TAULUKKO 13. Tyyppitalon 2 seinien sekä yläpohjan saneeraus

Kuukausi	T <sub>u</sub> [°C]	t [h]	1980			Saneerattu		
			Q <sub>seinät</sub> [kWh]	Q <sub>seinät</sub> [kWh]	ΔQ <sub>seinät</sub> [kWh]	Q <sub>yläpohja</sub> [kWh]	Q <sub>yläpohja</sub> [kWh]	ΔQ <sub>yläpohja</sub> [kWh]
tammikuu	-8,00	744	1186	593	593	2046	1023	1023
helmikuu	-7,10	672	1038	519	519	1791	895	895
maaliskuu	-3,53	744	1003	502	502	1731	865	865
huhtikuu	2,42	720	735	368	368	1269	634	634
toukokuu	8,84	744	497	249	249	858	429	429
kesäkuu	13,39	720	301	151	151	520	260	260
heinäkuu	15,76	744	214	107	107	370	185	185
elokuu	13,76	744	296	148	148	511	255	255
syyskuu	9,18	720	468	234	234	807	404	404
lokakuu	4,07	744	692	346	346	1194	597	597
marraskuu	-1,76	720	901	450	450	1554	777	777
joulukuu	-5,92	744	1101	551	551	1899	950	950
	<b>3,43</b>	<b>8760,0</b>	<b>8434</b>	<b>4217</b>	<b>4217</b>	<b>14549</b>	<b>7274</b>	<b>7274</b>

Taulukkoon 14 on laskettu ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöt sekä ennen saneerausta että saneerauksen jälkeen.

TAULUKKO 14. Tyyppitalon 2:n ikkunoiden sekä ovien saneeraus

Kuukausi	T <sub>u</sub> [°C]	t [h]	1980			Saneerattu		
			Q <sub>ikkunat</sub> [kWh]	Q <sub>ikkunat</sub> [kWh]	ΔQ <sub>ikkunat</sub> [kWh]	Q <sub>ovet</sub> [kWh]	Q <sub>ovet</sub> [kWh]	ΔQ <sub>ovet</sub> [kWh]
tammikuu	-8,00	744	2222	1058	1164	622	444	178
helmikuu	-7,10	672	1945	926	1019	545	389	156
maaliskuu	-3,53	744	1880	895	985	526	376	150
huhtikuu	2,42	720	1378	656	722	386	276	110
toukokuu	8,84	744	932	444	488	261	186	75
kesäkuu	13,39	720	564	269	296	158	113	45
heinäkuu	15,76	744	402	191	210	112	80	32
elokuu	13,76	744	555	264	291	155	111	44
syyskuu	9,18	720	877	417	459	245	175	70
lokakuu	4,07	744	1297	618	680	363	259	104
marraskuu	-1,76	720	1688	804	884	473	338	135
joulukuu	-5,92	744	2063	982	1081	578	413	165
	<b>3,43</b>	<b>8760,0</b>	<b>15803</b>	<b>7525</b>	<b>8278</b>	<b>4425</b>	<b>3161</b>	<b>1264</b>

Rakennesien saneerauksesta seuranneet kaukolämpösäästöt lasketaan kaavalla 30. Lasketut rakennekohtaiset kaukolämpösäästöt esitetään taulukossa 15.



TAULUKKO 15. Saneerauksesta seuranneet rakennekohtaiset kustannussäästöt

Rakenne	Q <sub>säästö</sub> [kWh]	Kaukolämpö [€/a]	Kaukolämpö [€/m <sup>2</sup> a]
Yläpohja	7274	593 €	1,98 €
Seinät	4217	344 €	2,39 €
Ikkunat	8278	675 €	15,00 €
Ovet	1264	103 €	5,46 €
<b>Yht.</b>	<b>21034</b>	<b>1 716 €</b>	<b>24,83 €</b>

### 9.2.2 Yläpohjan saneeraus

Ekovillan lisäeristyslaskurin mukaan vaatisi 150 mm puhallusvillan lisäeristysten (24), jotta saataisiin U-arvo 0,29 puolitettua U-arvoon 0,145. Näin ollen 300 m<sup>2</sup>:n taloon menisi 45 m<sup>3</sup> puhallusvillaa. Puhallusvillan lisäys tulisi maksamaan 1 800 € hinnalla 40 €/m<sup>3</sup>. Takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 27.

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{1\,800\ \text{€}}{520\ \text{€/a}} = 3,0\ \text{vuotta}$$

### 9.2.3 Seinärakenteiden saneeraus

Seinärakenteiden saneeraus on rakennuskohtainen, sillä saneeraukseen vaikuttaa nykyinen toteutus ja miten seinärakenteet saneerataan. Seinärakenteiden suurin sallittu investointikustannus 10 vuoden takaisinmaksuajan toteutumiseksi voidaan johtaa kaavasta 27.

*Investoinnin hankintamenot*

$$= \text{Takaisinmaksuaika vuosissa} * \text{Vuotuiset nettotuotot}$$

$$\text{Investoinnin hankintamenot} = 10\ \text{a} * 344\ \frac{\text{€}}{\text{a}} = 3\,440\ \text{€}$$

### 9.2.4 Ikkunoiden saneeraus

Tyypitalon 2 yksittäisen ikkunan saneerauksessa saatu energiasäästö on vastaava kuin Tyypitalon 1, sillä U-arvoissa ei ole tapahtunut muutosta (taulukko 3). Tyypitalon 2 yksittäisen ikkunan saneerauksessa saavutettua energiasäästöä voidaan tarkastella kuvasta 18, jos ikkunan pinta-ala on tiedossa.

Ikkunan, jonka pinta-ala on 3,5 m<sup>2</sup> ja saneerauskustannus 1 100 €, takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 27.

$$\text{Takaisinmaksuaika vuosissa} = \frac{1\,100\ \text{€}}{3,5\text{m}^2 \cdot 15,00\ \text{€/m}^2\text{a}} = 21,0\ \text{vuotta}$$

### 9.2.5 Ovien saneeraus

Ulko-oven, jonka mitat ovat 900 \* 2 100 mm ja pinta-ala on 1,9 m<sup>2</sup>, takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 27.

$$\text{Takaisinmaksuaika vuosissa} = \frac{1\,000\ \text{€}}{1,9\ \text{m}^2 \cdot 5,46\ \text{€/m}^2\text{a}} = 110\ \text{vuotta}$$

## 9.3 Tilojen lämmittäminen ilmalämpöpumpulla

Taulukkoon 16 on tehty Tyypitalon 2 ilmalämpöpumpun takaisinmaksuajan laskenta, joka on tehty vastaavasti kuin Tyypitalolle 1. Taulukkoon on laskettu takaisinmaksuajat neljälle eri ilmalämpöpumpun SCOP-arvolle, kun ilmalämpöpumpulla tuotetaan 30, 40 tai 50 % tilojen lämmitysenergian tarpeesta.

TAULUKKO 16. Tyypitalon 2 ilmalämpöpumppujen takaisinmaksuajat

	SCOP = 2			SCOP = 3			SCOP = 4			SCOP = 5		
Q <sub>ILP,netto</sub> /Q <sub>lämmitys,tilat</sub>	30 %	40 %	50 %	30 %	40 %	50 %	30 %	40 %	50 %	30 %	40 %	50 %
Q <sub>ILP,netto</sub> [kWh]	16642	22190	27737	16642	22190	27737	16642	22190	27737	16642	22190	27737
Q <sub>ILP,sähkö</sub> [kWh]	9790	13053	16316	6526	8702	10877	4895	6526	8158	3916	5221	6526
ILP <sub>kust</sub> [€]	1 175 €	1 566 €	1 958 €	783 €	1 044 €	1 305 €	587 €	783 €	979 €	470 €	627 €	783 €
Kaukolämpökust [€]	1 371 €	1 825 €	2 279 €	1 371 €	1 825 €	2 279 €	1 371 €	1 825 €	2 279 €	1 371 €	1 825 €	2 279 €
TMA [a]	61,1	46,4	37,4	20,4	15,4	12,3	15,3	11,5	9,2	13,3	10,0	8,0

## 10 TYYPITALON 3 ENERGIANSÄÄSTÖTOIMET

### 10.1 Energiankulutus

Tässä luvussa määritellään Tyypitalon 3 ilmanvaihdon sekä tilojen että lämpimän käyttöveden energiankulutukset.

#### 10.1.1 Koneellinen ilmanvaihto

Tyypitalon 3 koneelliselle ilmanvaihdolle käytetään standardien mukaista ilmanvaihtoa  $0,4 \text{ l/sm}^2$  (2, s. 18). Tällöin tyypitalon ilmanvaihdoksi tulee 56 l/s.

Jos ilmanvaihtokoneen hyötysuhde ei ole tiedossa, niin ympäristöministeriö on Suomen säädöskokoelmassaan 1048 määritellyt taulukon 17 mukaiset ilmanvaihdon vuosihyötysuhteet.

TAULUKKO 17. Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteita (19, s.10)

Rakennusluvan vireilletulo vuosi	- 1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-	2018-
Vuosihyötysuhde	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	30 %	30 %	45 %	45 %	55 %

1990-luvun taloissa on yleisesti käytössä lämmöntalteenotto, joten sitä ei voida täysin jättää huomiotta. Oletetaan Tyypitalossa 3 olevan lämmöntalteenotto, jonka vuosihyötysuhde on 30 %.

#### 10.1.2 Lämpimän käyttöveden kulutus

Lämpimän käyttöveden kulutus on vastaava kuin 1970-luvun Tyypitalossa 1 kappaleessa 8.1.2.

### 10.1.3 Tilojen energiankulutus

Tyypitalon 3 tilojen energiankulutus lasketaan pääsääntöisesti samalla tavalla kuin Tyypitalon 1 esimerkissä kappaleessa 6.5. Kuitenkin Tyypitalon 3 laskuissa käytettävät oletukset poikkeavat seuraavalla tavalla:

- Rakennuksen rakenteiden lämpöhäviöt lasketaan taulukon 3 1985-10/2003 välisillä arvoilla.
- Sähkölämmitteisessä omakotitalossa on 300 litran lämminvesivaraaja. Vesivaraajan vuotuinen lämpöhäviö on 1 300 kWh. Lämpökuorma on 50 % lämpöhäviöstä eli 650kWh (19, s.12).
- 1990-luvun talon ulkoseinät ovat kevytrakenteisia sekä alapohja betonia, joten Tyypitalon 3 laskuissa käytetään Crak-arvoa 70 Wh/m<sup>2</sup>K (18, s. 36)
- Tyypitalon 3 koneellinen ilmanvaihdon korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve otetaan huomioon. Sen laskentaa käsitellään kappaleessa 10.4.

Koko vuoden energiankulutus on laskettu liitteessä 3, missä tilojen lämmitysenergian,  $Q_{\text{lämmitys,tila}}$  tarpeeksi saadaan 25 734 kWh. Energiankulutus normeerataan Kuivaniemeen kappaleessa 4 saadulla korjauskertoimella 1.09. Lopulliseksi tilojen lämmitysenergian tarpeeksi tulee siis 28 050 kWh.

## 10.2 Rakenteiden saneeraus

### 10.2.1 Rakenteiden lämpöhäviöt sekä kustannussäästöt

Tyypitalo 3 on 1990-luvulla rakennettu omakotitalo. Rakenneosien lämpöhäviö lasketaan kaavalla 7, jossa käytetään taulukon 3 U-arvoja. U-arvoina käytetään vuosien 1985 - 2003 välisiä arvoja. Rakenneosan saneerauksessa määritetään uudet U-arvot kappaleen 7.1 mukaisesti, jolloin saneerattavan kohteen U-arvo joko puolitetaan tai päivittää nykypäivän standardien mukaiseksi. Ikkunat ja ovet päivitetään nykypäivien standardien mukaisiksi. Rakenneosien lämpöhäviöt normitetaan Kuivaniemeen kappaleen 4 normeerauksetoimella 1,09.

1990-luvun rakennuksien seinien saneerauksessa, seinät joudutaan saneeraamaan nykypäivän tasolle. Seinät joudutaan saneeraamaan U-arvosta 0,28 arvoon 0,17. Taulukkoon 18 on laskettu seinien sekä yläpohjan saneerauksen.

TAULUKKO 18. Tyyppitalon 3 seinien sekä yläpohjan saneeraus

Kuukausi	$T_u$ [°C]	t [h]	1990			Saneerattu		
			$Q_{\text{seinät}}$ [kWh]	$Q_{\text{seinät}}$ [kWh]	$\Delta Q_{\text{seinät}}$ [kWh]	$Q_{\text{yläpohja}}$ [kWh]	$Q_{\text{yläpohja}}$ [kWh]	$\Delta Q_{\text{yläpohja}}$ [kWh]
tammikuu	-8,00	744	647	393	254	724	362	362
helmikuu	-7,10	672	566	344	223	634	317	317
maaliskuu	-3,53	744	547	332	215	613	306	306
huhtikuu	2,42	720	401	244	158	449	225	225
toukokuu	8,84	744	271	165	107	304	152	152
kesäkuu	13,39	720	164	100	65	184	92	92
heinäkuu	15,76	744	117	71	46	131	65	65
elokuu	13,76	744	162	98	63	181	90	90
syyskuu	9,18	720	255	155	100	286	143	143
lokakuu	4,07	744	378	229	148	423	211	211
marraskuu	-1,76	720	492	298	193	550	275	275
joulukuu	-5,92	744	601	365	236	672	336	336
	<b>3,43</b>	<b>8760,0</b>	<b>4602</b>	<b>2794</b>	<b>1808</b>	<b>5151</b>	<b>2575</b>	<b>2575</b>

Taulukkoon 19 on laskettu ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöt sekä ennen saneerausta että saneerauksen jälkeen.

TAULUKKO 19. Tyyppitalon 3 ikkunoiden sekä ovien saneeraus

Kuukausi	$T_u$ [°C]	t [h]	1990			Saneerattu		
			$Q_{\text{ikkunat}}$ [kWh]	$Q_{\text{ikkunat}}$ [kWh]	$\Delta Q_{\text{ikkunat}}$ [kWh]	$Q_{\text{ovet}}$ [kWh]	$Q_{\text{ovet}}$ [kWh]	$Q_{\text{ovet}}$ [kWh]
tammikuu	-8,00	744	1037	494	543	124	89	36
helmikuu	-7,10	672	908	432	475	109	78	31
maaliskuu	-3,53	744	877	418	460	105	75	30
huhtikuu	2,42	720	643	306	337	77	55	22
toukokuu	8,84	744	435	207	228	52	37	15
kesäkuu	13,39	720	263	125	138	32	23	9
heinäkuu	15,76	744	187	89	98	22	16	6
elokuu	13,76	744	259	123	136	31	22	9
syyskuu	9,18	720	409	195	214	49	35	14
lokakuu	4,07	744	605	288	317	73	52	21
marraskuu	-1,76	720	788	375	413	95	68	27
joulukuu	-5,92	744	963	458	504	116	83	33
	<b>3,43</b>	<b>8760,0</b>	<b>7375</b>	<b>3512</b>	<b>3863</b>	<b>885</b>	<b>632</b>	<b>253</b>

Rakenneosien saneerauksesta seuranneet energiansäästöt lasketaan kaavalla 30. Lasketut rakennekohtaiset kustannussäästöt esitetään taulukossa 20.

*TAULUKKO 20. Saneerauksesta seuranneet rakennekohtaiset kustannussäästöt*

Rakenne	Q <sub>säästö</sub> [kWh]	Sähkö [€/a]	Sähkö [€/m <sup>2</sup> a]
Yläpohja	2575	309 €	2,21 €
Seinät	1808	217 €	2,21 €
Ikkunat	3863	464 €	22,07 €
Ovet	253	30 €	8,03 €
<b>Yht.</b>	<b>8499</b>	<b>1 020 €</b>	<b>34,52 €</b>

### 10.2.2 Yläpohjan saneeraus

Ekovillan lisäeristyslaskurin mukaan vaatisi 175 mm puhallusvillan lisäeristykseen (24), jotta U-arvosta 0,22 päästäisiin U-arvoon 0,11. Tällöin 140 m<sup>2</sup>:n taloon menisi 25 m<sup>3</sup> puhallusvillaa. Puhallusvillan lisäys tulisi maksamaan 1 000 € hinnalla 40 €/m<sup>3</sup>. Takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 27.

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{1\,000\ \text{€}}{309\ \text{€/a}} = 3,2\ \text{vuotta}$$

### 10.2.3 Seinärakenteiden saneeraus

Seinärakenteiden saneeraus on rakennuskohtainen, sillä saneeraukseen vaikuttaa nykyinen toteutus ja se, miten seinärakenteet saneerataan. Seinärakenteiden suurin sallittu investointikustannus 10-vuoden takaisinmaksuajan toteutumiseksi voidaan johtaa kaavasta 27.

*Investoinnin hankintamenot*

$$= \text{Takaisinmaksuaika vuosissa} * \text{Vuotuiset nettotuotot}$$

$$= 10\ a * 217\ \frac{\text{€}}{a} = 2\,170\ \text{€}$$

#### 10.2.4 Ikkunoiden saneeraus

Tyypitalon 3 yksittäisen ikkunan saneerauksessa saavutettu energiasäästö on vastaava kuin Tyypitalon 1 ja 2, sillä U-arvoissa ei ole tapahtunut muutosta (taulukko 3). Tyypitalon 3 yksittäisen ikkunan saneerauksessa saavutettua energiasäästöä voidaan tarkastella kuvasta 18, jos ikkunan pinta-ala on tiedossa.

Ikkuna, jonka pinta-ala on 3,5 m<sup>2</sup> ja saneerauskustannus 1 100 € takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 27.

$$\text{Takaisinmaksuaika vuosissa} = \frac{1\,100\ \text{€}}{3,5\ \text{m}^2 \cdot 22,07\ \text{€/m}^2\text{a}} = 14,2\ \text{vuotta}$$

#### 10.2.5 Ovien saneeraus

Ulko-oven, jonka mitat ovat 900 \* 2 100 mm ja pinta-ala on 1,9 m<sup>2</sup>, takaisinmaksuaika lasketaan kaavalla 27.

$$\text{Takaisinmaksuaika vuosissa} = \frac{1\,000\ \text{€}}{1,9\ \text{m}^2 \cdot 8,03\ \text{€/m}^2\text{a}} = 65,5\ \text{vuotta}$$

### 10.3 Tilojen lämmittäminen ilmalämpöpumpulla

Taulukkoon 21 on tehty Tyypitalon 3 ilmalämpöpumpun takaisinmaksuaika laskenta, joka on tehty vastaavasti kuin Tyypitalolle 1. Taulukkoon on laskettu takaisinmaksuajat neljälle eri ilmalämpöpumpun SCOP-arvolle, kun ilmalämpöpumpulla tuotetaan 10, 15 sekä 30 % tilojen lämmitysenergian tarpeesta.

## TAULUKKO 21. Tyyppitalon 3 ilmalämpöpumpun laskenta

	SCOP = 2			SCOP = 3			SCOP = 4			SCOP = 5		
$Q_{ILP,netto}/Q_{lämmitys,tilat}$	10 %	15 %	30 %	10 %	15 %	30 %	10 %	15 %	30 %	10 %	15 %	30 %
$Q_{ILP,netto}$ [kWh]	2805	4208	8415	2805	4208	8415	2805	4208	8415	2805	4208	8415
$Q_{ILP,sähkö}$ [kWh]	1650	2475	4950	1100	1650	3300	825	1238	2475	660	990	1980
ILP <sub>kust</sub> [€]	198 €	297 €	594 €	132 €	198 €	396 €	99 €	149 €	297 €	79 €	119 €	238 €
Sähkö <sub>kustannukset</sub> [€]	337 €	505 €	1 010 €	337 €	505 €	1 010 €	337 €	505 €	1 010 €	337 €	505 €	1 010 €
TMA [a]	18,0	12,0	6,0	12,2	8,1	4,1	10,5	7,0	3,5	9,7	6,5	3,2

### 10.4 Ilmanvaihdon saneeraus

Rakennusten suurin lämpöenergiähäviö tapahtuu ilmanvaihdon kautta. Nykykaikeissa rakennuksissa ilmanvaihdon kautta tapahtuva energiahäviö on noin 35 %. Ilmanvaihtokoneiden energiatehokkuus on parantanut vuosien aikana huomattavasti. Nykyisin on saatavilla ilmanvaihtokoneita, joiden vuosittainen hyötysuhde on 75 %. Esimerkkinä mainittakoon Vallox 110 MV, jonka vuosittainen hyötysuhde on 75 % ja jota on saatavilla 2040 €:n hintaisena.

Esimerkiksi, tammikuun 30 %:n vuosittaisella hyötysuhteella toimivan ilmanvaihdon lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila voidaan laskea kaavalla 14.

$$T_{lto} = T_u + \eta_{a,ivkone}(T_{sp} - T_u)$$

$$T_{lto,tam} = -8,00 + 0,3 * (17 - -8,00) °C = -0,5 °C$$

Ilmanvaihtokoneissa on yleisesti käytössä lämmöntalteenoton jälkeen sähköpatteri, jonka avulla tuloilma lämmitetään 17 asteeseen. Tuloilma lämmitetään, jottei rakennuksen sisätiloissa tulisi vedon tunnetta. Lopullinen lämpeneminen 21 asteeseen tapahtuu, kun ilmanvaihtokoneesta tuleva raitisilma sekoittuu sisäilmaan. Korvausilman lämpenemisen lämpöenergian tarve lasketaan kaavalla 15.

$$Q_{iv,korvausilma} = \rho_i C_{pi} q_{v,korvausilma} (T_{sp} - \Delta T_{puhallin} - T_{lto}) \Delta t / 1\ 000$$

$$= 1,2 \frac{kg}{m^3} * 1\ 000 \frac{J}{kgK} * 0,056 \frac{m^3}{s} * (17 - 0,5 - -0,5) °C * \frac{744h}{1\ 000} = 850 kWh$$



Taulukosta 22 nähdään sekä 30 % että 75 % vuosittaisella hyötysuhteella toimivan ilmanvaihtokoneen korvausilman lämpenemisen energiantarve. Jos lämmöntalteenoton jälkeinen lämpötila on yli 16,5 °C, tuloilmaa ei enää lämmitetä.

TAULUKKO 22. Koneellisen ilmanvaihdon korvausilman lämpöenergian tarve

Kuukausi	$\eta=30\%$		$\eta=75\%$	
	$T_{LTO}$ (°C)	$Q_{ivtulo}$ (kWh)	$T_{LTO}$ (°C)	$Q_{ivtulo}$ (kWh)
tammikuu	-0,5	850	9,5	350
helmikuu	0,1	739	9,8	304
maaliskuu	2,6	694	10,8	283
huhtikuu	6,8	470	12,6	187
toukokuu	11,3	261	14,6	97
kesäkuu	14,5	98	15,9	28
heinäkuu	16,1	18	16,6	0
elokuu	14,7	88	16,0	24
syyskuu	11,5	241	14,7	89
lokakuu	7,9	428	13,1	169
marraskuu	3,9	611	11,4	248
joulukuu	1,0	777	10,1	319
		5274		2099

Jos tyyppitalon 3 ilmanvaihtokone vaihdetaan uuteen 75 %:n hyötysuhteella olevaan ilmanvaihtokoneeseen, niin tällöin vuotuinen energiasäästö olisi 3 176 kWh. Kappaleen 3 sähköenergiainnalla vuotuinen säästö olisi 381 €. Takaisinmaksuaika ilmastointikoneelle lasketaan kaavalla 27.

$$Takaisinmaksuaika = \frac{2\,040 \text{ €}}{381 \text{ €/a}} = 5,4 \text{ vuotta}$$

## 10.5 Aurinkosähkö

Tyyppitalon 3 sähkölämmityksen tukilämmitysmuotona tutkitaan aurinkosähköä. Aurinkosähköjärjestelmässä on 12 aurinkopaneelia, joiden sähköntuotto on 3 kWp. Aurinkopaneelin hyötysuhde lasketaan kaavalla 31.

$$\eta = \frac{P_{nim}}{GA}$$

KAAVA 31

$P_{nim}$  = Aurinkopaneelin nimellisteho (W)

$G$  = Säteilyteho (W/m<sup>2</sup>)

$A_{paneeli}$  = aurinkopaneelin pinta-ala

Aurinkopaneelien maksimitehokertoimen lasketaan kaavalla 32.

$$P_{max} = K_{max} * A \quad \text{KAAVA 32}$$

$P_{max}$  = aurinkopaneelin maksimitehokerroin referenssisäteilytilanteessa (W)

$K_{max}$  = paneelin huipputehokerroin

$A$  = paneeliston pinta-ala

Taulukossa 23 on nähtävissä erityyppisten aurinkopaneelien huippukertoimet.

TAULUKKO 23. Aurinkosähkökennon tyyppien huipputehokertoimet (22, s. 29)

Aurinkosähkökennon tyyppi	Huipputehokerroin $K_{max}$ kW/m <sup>2</sup>
piipohjaiset yksikiteiset kennot *	0,12... 0,18
piipohjaiset monikiteiset kennot *	0,10... 0,16
ohutkalvo kiteetön pii kennot	0,04... 0,08
muut ohutkalvotekniikalla toteutetut kennot	0,035
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CuInGaSe <sub>2</sub> kenno	0,105
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CdTe kenno	0,095
* pakkaustiheys >80 %	

Aurinkopaneelin energiantuotanto lasketaan kaavalla 33.

$$E_{s,pv.out} = E_{sol,hor} * P_{max} * F_{käyttö} / I_{ref} \quad \text{KAAVA 33}$$

$E_{s,pv.out}$  = Aurinkopaneelilla tuotettu vuosittainen energiamäärä (kWh)

$E_{sol,hor}$  = Vuosittainen auringonsäteilyenergia, joka kohdistuu paneeleihin (kWh/m<sup>2</sup>)

$P_{max}$  = aurinkopaneelin maksimitehokerroin referenssisäteilytilanteessa (W)

$F_{käyttö}$  = Käyttötilanteen toimivuuskerroin

$I_{ref}$  = Referenssisäteilytilanne (kW/m<sup>2</sup>)

Taulukossa 24 on esitetty käyttötilanteen toimivuuskertoimet.

TAULUKKO 24. Käyttötilanteen toimivuuskerroin

Aurinkokennon asennustapa	Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{käyttö}[-]$
Tuulettamaton moduli	0,70
Hieman tuuletettu moduli	0,75
Voimakkaasti tuuletettava tai koneellisesti tuuletettu moduli	0,80

Aurinkopaneelien hyötysuhteiden määrittämisessä käytetään laboratorio-olosuhteita, jolloin säteilyteho on 1 000 W ja lämpötila 25 °C. 270 W:n nimellisteholla olevan aurinkopaneelin hyötysuhteeksi saadaan kaavan 32 avulla 16 %.

$$\eta = \frac{P_{nim}}{GA} = \frac{270 \text{ W}}{1\,000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} * 1,66 \text{ m}^2} = 0,162 \approx 16 \%$$

Aurinkopaneelin pinta-ala on 1,66 m<sup>2</sup>, joten 12 paneelin järjestelmän pinta-ala on 19,92 m<sup>2</sup>. Monikiteisen aurinkopaneelijärjestelmän maksimitehokertoimeksi saadaan kaavan 33 sekä taulukon 23 avulla 3,2 kW.

$$P_{max} = K_{max} * A = 0,16 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} * 19,92 \text{ m}^2 = 3,187 \text{ kW}$$

Hyvin tuulettuvan aurinkopaneelijärjestelmän vuosittainen energiantuotanto voidaan laskea kaavan 34 sekä taulukon 24 avulla. Kuivaniemeen vuosittainen aurinkonsäteilyenergia 45 °-kallistetulle pinnalle on 1 054 kWh/m<sup>2</sup> (22, s. 32).

$$E_{s,pv.out} = E_{sol,hor} * P_{max} * \frac{F_{käyttö}}{I_{ref}} = \frac{1\,054 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 3,187 \text{ kW} * 0,8}{1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}} = 2\,664 \text{ kWh}$$

Invertterin hyötysuhteen ollessa 96 % lopulliseksi vuosittaiseksi energiatuotoksi tulisi 2 557 kWh.

$$E = 2\,664 \text{ kWh} * 0,96 = 2\,557 \text{ kWh}$$

Kappaleen 3 sähköenergiahinnan mukaan 2 557 kWh energia vastaisi 307 €.

$$\text{Kustannushyöty} = 2\,557 \text{ kWh} * 0,12 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 307 \text{ €}$$

12-aurinkopaneelijärjestelmän hinnat asennettuna ovat 6 000 - 8 500 €. Takaisinmaksuaika 6 000 € lasketaan kaavalla 27.

$$\text{Takaisinmaksuaika} = \frac{6\,000 \text{ €}}{307 \text{ €/a}} = 19,5 \text{ vuotta}$$

## 10.6 Lämminvesivaraajan varaaminen aurinkoenergialla

Aurinkokeräimet on suunniteltu käyttöveden lämmittämiseen. Käyttöveden lämmitys aurinkoenergialla lasketaan kaavalla 31 (18, s. 46).

$$Q_{\text{aurinko, lkv}} = q_{\text{aurinkokeräin}} A_{\text{aurinkokeräin}} k_{\text{aurinkokeräin}} \quad \text{KAAVA 34}$$

$Q_{\text{aurinko, lkv}}$  = aurinkokeräimellä tuotettu energia lämpimään käyttöveteen (kWh)

$q_{\text{aurinkokeräin}}$  = aurinkokeräimen energiantuotto käyttöveteen keräinpinta-alaa kohti (kWh/(m<sup>2</sup>a))

$A_{\text{aurinkokeräin}}$  = aurinkokeräimen pinta-ala (m<sup>2</sup>)

$k_{\text{aurinkokeräin}}$  = aurinkokeräinten suuntauksen huomioon ottava kerroin

Taulukon 25 sekä Kuivaniemen sijainnin perusteella arvioitiin aurinkokeräimen energiantuotoksi 130 kWh/(m<sup>2</sup>a).

TAULUKKO 25. Aurinkokeräimien tuottama pinta-alaa kohti (18, s. 46)

Vyöhyke/paikkakunta	$q_{\text{aurinkokeräin}}$ kWh/(m <sup>2</sup> a)
I-II/ Helsinki	156
III/ Jyväskylä	139
IV/Sodankylä	125

Ideallisesti asennetun aurinkokeräimen k-kerroin on yksi. Yhteispinta-alaltaan 6 m<sup>2</sup> aurinkokeräimen tuotto lasketaan kaavalla 34.

$$Q_{aurinko, kv} = 130 \frac{kWh}{m^2} * 6 m^2 * 1 = 780 kWh$$

Jos keräimen kiertonestettä kierrättää 60 W nestekiertopumppu 2 000 h, niin tällöin kiertonestepumpun viemä sähköenergia olisi 120 kWh.

Takaisinmaksuaika 3 500 € aurinkokeräinjärjestelmän laitteistolle lasketaan kaavalla 27.

$$Takaisinmaksuaika\ vuosissa = \frac{3\,500\ \text{€}}{(780 - 120)\ kWh * 0,12\ \text{€/kWh}} = 44,2\ \text{vuotta}$$

## 11 YHTEENVETO

Työssä tutkittiin Kuivaniemen Asemankylän kolmen tyyppitalon energiasäästömahdollisuuksia. Työssä laskettiin ensin tyyppitalojen lämpöhäviöt sekä tilojen lämmitysenergian tarpeet. Näiden jälkeen tutkittiin tyyppitalojen energiasäästömahdollisuuksia rakenteita saneeraamalla. Tyyppitaloille pyrittiin etsimään myös yksittäisiä energiasäästöratkaisuja.

Tyyppitalojen energiankulutus laskettiin Suomen rakentamismääräyskokoelman D3 ja D5 mukaisesti. Laskenta toteutettiin Suomen rakentamismääräyskokoelmien mukaisesti, jotta saataisiin tarkempi kuva tyyppitalojen eri rakenteiden sekä ilmanvaihdon lämpöhäviöistä että tilojen lämmitysenergian tarpeesta.

Suomen rakentamismääräyskokoelman mukainen laskenta on eräs tapa määrittellä rakennusten energiankulutusta. Se ei kuitenkaan ole aina todenmukainen, ja mm. tyyppitalojen painovoimaista ilmanvaihtoa jouduttiin pienentämään standardiarvoista, jotta tulokseksi saataisiin hiukan todellisemmat tilojen lämmitysenergian tarpeet. Arvio painovoimaisen ilmanvaihdon määrästä saatiin mm. rinnastamalla tilojen energiantarvetta Motivan verkkosivuilta löytyneen laskurin antamiin energiantarvearvoihin sekä verkosta löytyneiden saman tyyppisten rakennusten ilmoitettuun energiankulutukseen. Ilmanvaihtoa verrattiin myös aikuisen ihmisen hengitysilmentarpeeseen, sillä painovoimaista ilmanvaihtoa kritisoidaan paljon sen tehottomuuden takia.

Opinnäytetyössä käsiteltyjen energiasäästötoimien ja saneerausten takaisinmaksuaika laskettiin. Mitä pienempi saneerauksen tai energiasäästötoimen takaisinmaksuaika on, sitä suositeltavampaa sen toteuttaminen on.

Kaikkiin tyyppitaloihin suositellaan yläpohjan lisäeristämistä. Yläpohjan lisäeristäminen on todella yksinkertaista, ja sen takaisinmaksuaika on jokaisessa kohteessa alle viisi vuotta. Lisäeristyksessä on otettava huomioon kuitenkin se, että yläpohjan tuuletusaukkoja ei tukita eikä lisäeristys heikennä yläpohjan tuuletusta.

Seinärakenteiden saneeraus on rakennuskohtainen ja siihen vaikuttaa nykyinen sekä saneerauksen tuleva toteutus. Takaisinmaksuajan sijaan laskettiin 10 vuoden suurimmat sallitut investointikustannukset. Ainoa tyyppitalo, missä seinien saneerausta voisi harkita, on Tyyppitalo 1, jolle seinien saneeraus on kannattavaa, jos saneeraus saadaan toteutettua alle 6 670 €:n kustannuksella. Muissa tyyppitaloissa seinien saneerauksen toteutus on epärealistinen korkeiden kustannusten takia energiansäätöön nähden.

Energiasäästön kannalta tyyppitaloihin ei suositella ikkunoiden tai ovien saneerausta yli 10 vuoden takaisinmaksuaikojen takia. Ikkunoiden sekä ovien saneerausta suositellaan ainoastaan peruskorjauksien yhteydessä sekä asuntojen viihtyvyyden parantamiseksi.

Tilojen lämmittäminen ilmalämpöpumpulla riippuu tyyppitalon pohjaratkaisusta. Mitä suurempi osa rakennuksen tiloista voidaan kattaa ilmalämpöpumpulla, sen kannattavampaa on investoida ilmalämpöpumppuun. Opinnäytetyössä suoritettuihin laskutoimituksiin pitää suhtautua hieman kriittisesti, sillä SCOP-arvot on määritelty Helsingin ilmaston mukaan ja niitä ei pystytä normittamaan Kuivaniemen alueelle. Laskutoimituksista voidaan kuitenkin nähdä selvästi, että ilmalämpöpumpun asentaminen Tyyppitaloon 1 ja Tyyppitaloon 3 on suositeltavaa energiasäästön kannalta. Tyyppitaloon 2 ei kannata asentaa ilmalämpöpumppua, sillä kaukolämmön energiahinta on suhteellisen edullinen ja kaukolämpökeskuksen vuotuinen hyötysuhde on todella hyvä.

Jos Tyyppitalo 1 öljypoltin käynnistyy usein kesällä, kun käytetään lämmintä käyttövedettä, tällöin ongelmana saattaa olla liian pieni lämpimän käyttöveden varastointikapasiteetti. Varaukskapasiteetin nostamiseksi, suositellaan lämmitysjärjestelmään lisättäväksi lämminvesivaraaja. Tällöin poltin käy harvemmin mutta pitempiä ajanjaksoja paremmalla hyötysuhteella. Pitempi aikainen polttimen käyttö säästää polttoainetta sekä poltinta.

Polttoöljyn suosio perustuu sen toimintavarmuuteen. Polttoöljy palaessaan ei muodosta tuhkaa eikä nokea yhtä paljon kuin biopolttoaineet. Polttoöljy on kuitenkin kallis fossiilinen polttoaine, ja sen hinta vaihtelee todella suuresti. Pelletti

on kotimainen uusiutuva biopolttoaine, jonka hintakehitys on tasainen. Tyypitalon 1 lämmitysjärjestelmän vaihtaminen pellettiin toisi merkittäviä polttoainesäätöjä, ja järjestelmän takaisinmakuu-aika olisi alle kymmenen vuotta. Jos suuremman saneerauksen yhteydessä päätetään uusia lämmitysjärjestelmä sekä asentaa vesikiertoinen lattialämmitys, kannattaa harkita myös maalämpöön siirtymistä. Maalämmön suosio on kasvanut jatkuvasti, koska se on edullista sekä luotettavaa uusiutuvaa energiaa. Maalämpöä ei käsitelty tässä opinnäytetyössä erikseen, sillä maalämmön kohdalla olisi hyvä tehdä tarkempi sekä yksityiskohtaisempi saneeraussuunnitelma.

Tyypitalon 2 kaukolämpöjärjestelmä on erittäin hyvä sekä luotettava lämmitysmuoto. Kaukolämpö Kuivaniemessä on myös erittäin edullista. Kaukolämpöverkoon liitetyn Tyypitalon 2 energiasäätöjä yläpohjan lisäeristämisen lisäksi ei löytynyt.

Tyypitalon 3 ilmanvaihtokoneen päivittäminen 30 % vuotuisesta hyötysuhteesta 75 % hyötysuhteeseen on suotavaa energiatehokkuuden parantamiseksi. Energiasäästö olisi noin 850 kWh vuodessa, mikä vastaisi noin 500 €:a sähkölämmityksessä. Takaisinmaksuaika ilmastointikoneelle olisi tällöin alle viisi vuotta.

Aurinkoenergialla tuotettujen sähkö- tai lämpöenergiajärjestelmien takaisinmaksajat ovat todella pitkiä. Tällä hetkellä ei ole kannattavaa asentaa mihinkään tyypitaloihin aurinkoenergiajärjestelmiä. Tekniikka kuitenkin kehittyy, järjestelmien hyötysuhteet paranevat ja laitteiden valmistuskustannukset laskevat. Aurinkoenergiaratkaisuja kannattaa tarkastella uudelleen tulevaisuudessa.

Opinnäytetyössä käsiteltiin suhteellisen laajasti tyypitaloihin rakenteiden saneerauksia, lämmitysjärjestelmien päivittämistä ja tukijärjestelmien lisäämistä. Työn haastavuutena oli sen teoreettisuus. Konkreettisia rakennuksia tai mittaustuloksia ei ollut saatavilla. Työssä tehtiin paljon pohjatyötä, missä tutkittiin järjestelmien toimivuutta ja soveltuvuutta tyypitaloihin. Opinnäytetyössä kaikkia järjestelmiä pyrittiin käsittelemään mahdollisimman yleisellä tasolla, jotta ne soveltuvat Kuivaniemen tyypitaloihin.



## LÄHTEET

1. Lukander, Minna 2010. Pientalojen rakenteet. Saatavissa: [http://www.kulttuuriymparistomme.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Artikkelit/Rakennusperinnon\\_hoito/Viisaita\\_korjausperiaatteita/Pientalojen\\_rakenteet\\_19401970\(37826\)](http://www.kulttuuriymparistomme.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Artikkelit/Rakennusperinnon_hoito/Viisaita_korjausperiaatteita/Pientalojen_rakenteet_19401970(37826)). Hakupäivä 27.2.2018.
2. D3 (2012). 2011. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. Saatavissa: [www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf). Hakupäivä 25.1.2018.
3. Harju-Heikkilä, Kimmo 2016. Omakotitalon rakenteiden ja U-arvojen muutokset. Opinnäytetyö. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Tekniikan yksikkö. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/handle/10024/119101>. Hakupäivä 28.2.2018.
4. 1980-luvun rivitalo. 2018. Etuovi. Saatavissa: <https://www.etuvi.com/kohde/7834701?sc=M1234231274&pos=11>. Hakupäivä 19.03.2018.
5. Kaijomaa, Matti. Tarkastuksessa 2000-luvun talo. Pientalo ja piha 5/2014. Saatavissa: <http://digilehti.pientalojapiha.fi/lue/52014/tarkastuksessa-2000-luvun-talo>. Hakupäivä 19.3.2018.
6. Energiahinnat. 2018. Tilastokeskus. Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/ehi/index.html>. Hakupäivä 14.3.2018.
7. Polttoaineiden lämpöarvot, hyötysuhteet ja hiilidioksidin ominaispäästöker-  
toimet sekä energian hinnat. 2010. Motiva. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden\\_lampoarvot\\_hyotysuhteet\\_ja\\_hiilidioksidin\\_ominaispaastokertoimet\\_seka\\_energianhinnat\\_19042010.pdf](https://www.motiva.fi/files/3193/Polttoaineiden_lampoarvot_hyotysuhteet_ja_hiilidioksidin_ominaispaastokertoimet_seka_energianhinnat_19042010.pdf). Hakupäivä 26.2.2018.
8. RT 52-11172. 2014. LVI Lämmitystarveluku. Rakennustieto Oy. Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/11172.html.stx> (vaatii käyttäjälisenssin). Hakupäivä 19.4.2018.
9. Öljy ja hybridilämmitys. 2017. Hanakat. Saatavissa: <http://hanakat.fi/tuotteet/lammitys/oljylammitys>. Hakupäivä 16.3.2018.

10. Pellettilämmityksen laitteisto. Bioenergia. Saatavissa: <http://www.pellettienergia.fi/Pientalon%20laitteet>. Hakupäivä 16.3.2018.
11. Högfors GST 100-RF2-O OUMAN. 2013. Suomen maalampötukku. Saatavissa: <https://www.maalampotukku.fi/product/450/hogfors-gst-100-rf2-o-ouman>. Hakupäivä 19.3.2018.
12. Duvents SMA 500 – lämminvesivaraaja. 2013. Duvents ilmanvaihto ja lämmitys. [http://www.duvents.fi/duvents\\_sma\\_500](http://www.duvents.fi/duvents_sma_500). Hakupäivä 19.3.2018.
13. Pieskä, Mikko. Merinova. Talotekniikkaseminaari VASEK. Saatavissa: <http://docplayer.fi/541729-Lampopumppuratkaisuja-talotekniikkaseminaarivasek-ja-kestava-rakentaminen-ja-energiatehokkuus-vaasan-seudullamikko-pieska-merinova.html>. Hakupäivä 16.3.2018.
14. Energian säästö ja lämpökertoimet. 2012. RefGroup. Saatavissa: <http://www.ilmalampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/energiansaasto>. Hakupäivä 16.3.2018
15. Laitinen, Ari 2016. Ilma-ilmalämpöpumppujen energiankulutusvaikutukset pientaloissa. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. Saatavissa: [www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/t262.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2016/t262.pdf). Hakupäivä 15.3.2018.
16. Toimintaperiaate. 2017. Aurinkokeräimet. Saatavissa: <http://www.aurinkokeraimet.fi/fi/toimintaperiaate>. Hakupäivä 19.3.2018.
17. Säästä energiaa kodin lämmittämisessä. 2017. Valkeakosken energia. Saatavissa: <https://valkeakoskenenergia.fi/2016/11/saasta-energiaa-kodin-lammityksessa/>. Hakupäivä 14.3.2018.
18. D5(2012). 2013. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta. Ohjeet 2012. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
19. 1048/2017. 2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatodistuksesta. Suomen säädöskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus). Hakupäivä 24.1.2018.
20. 5/13. 2013. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta. Ympäristöministeriön asetus 5/13. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B5B200F3E-0AC1-4018-8F07-D84CD79B0CF6%7D/134381>. Hakupäivä 20.3.2018.

- 21.4/13. 2013. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä. Ympäristöministeriön asetus 4/13. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/FI/Maan-kaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaaraysko-koelma/Energiatehokkuus](http://www.ymparisto.fi/FI/Maan-kaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaaraysko-koelma/Energiatehokkuus). Hakupäivä 24.1.2018.
22. Jussilainen, Timo - Riikola Heikki 2015. Opinnäytetyö, lin aurinkoenergia-puisto. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/handle/10024/100807>. Hakupäivä 24.1.2018.
23. Varastointi. 2018. Bioenergian pikkujättiläinen. Saatavissa: <http://www.bio-energianeuvoja.fi/biopolttoaineet/pelletti/pelletin-varastointi/>. Hakupäivä 8.3.2018
24. Lisäeristyslaskuri. Ekovilla. <http://www.ekovilla.com/lisaeristyslaskuri/>. Haku-päivä 8.3.2018.
25. Kontiainen, Jarmo. Jos sisäilma tuntuu nihkeältä, syynä voi olla painovoimai-nen ilmanvaihto. 2016. Aamulehti. Saatavissa: <https://www.aamulehti.fi/koti-maa/jos-sisailma-tuntuu-nihkealta-syyna-voi-olla-painovoimainen-ilman-vaihto-nain-saat-sen-kuntoon-23723208/>. Hakupäivä 19.3.2018.
26. BI14 - ihmisen biologia. Hengitys. 2015. Otavan opisto. Saatavissa: [http://opinnot.internetix.fi/fi/materiaalit/bi/bi4/3\\_ihmisen\\_fysiologia\\_ja\\_anato-mia/12\\_hengitys?C:D=gAus.gAse](http://opinnot.internetix.fi/fi/materiaalit/bi/bi4/3_ihmisen_fysiologia_ja_anato-mia/12_hengitys?C:D=gAus.gAse). Hakupäivä 26.2.2018.
27. Mäkelä, Mikko - Soininen, Lauri - Tuomola, Seppo - Öistämö, Juhani -Kul-mala, Marko 2005. Tekniikan kaavasto. 14 painos. Tampere: Tammertek-niikka Oy.
28. Hyvä arki kotona. Veden kulutus. 2017. Motiva. Saatavissa: [https://www.mo-tiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/hyva\\_arki\\_kotona/vedenkulutus](https://www.mo-tiva.fi/koti_ja_asuminen/hyva_arki_kotona/vedenkulutus). Hakupäivä. 26.2.2018.

Kuukausien tilastoarvoja					Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve					
Kuukausi	t (h)	T <sub>u</sub> (°C)	ΔT <sub>maakk</sub> (°C)	T <sub>maakk</sub> (°C)	Q <sub>rakosa</sub> (kWh)	Q <sub>kyymäsillat</sub> (kWh)	Q <sub>johtmaa</sub> (kWh)	Q <sub>vuoto</sub> (kWh)	Q <sub>ivtulo</sub> (kWh)	Q <sub>sila</sub> (kWh)
tammikuu	744	-8,00	0	8,4	3607	413	524	331	362	5238
helmikuu	672	-7,10	-1	7,4	3157	367	511	290	317	4642
maaliskuu	744	-3,53	-2	6,4	3051	366	607	280	307	4611
huhtikuu	720	2,42	-3	5,4	2237	286	628	205	225	3581
toukokuu	744	8,84	-3	5,4	1513	216	649	139	152	2668
kesäkuu	720	13,39	-2	6,4	916	150	588	84	92	1830
heinäkuu	744	15,76	0	8,4	652	118	524	60	65	1419
elokuu	744	13,76	1	9,4	901	138	482	83	90	1694
syyskuu	720	9,18	2	10,4	1423	185	426	131	143	2308
lokakuu	744	4,07	3	11,4	2106	250	399	193	212	3160
marraskuu	720	-1,76	3	11,4	2740	313	386	252	275	3965
joulukuu	744	-5,92	2	10,4	3348	379	441	308	336	4812
	8760	3,43			25649	3181	6164	2356	2577	39928

Lämpökuormat										
Q <sub>kuluttajalaitteet</sub> (kWh)	Q <sub>valaistus</sub> (kWh)	Q <sub>hiö</sub> (kWh)	G <sub>sätF</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	G <sub>sätI</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	G <sub>sätE</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	G <sub>sätLä</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	F <sub>läpäisy</sub> (-)	g (-)	Q <sub>aur</sub> (kWh)	Q <sub>lämpökuorma</sub> (kWh)
187	83	125	6	4	13	4	0,750	0,75	79	475
169	75	113	17	16	41	16	0,750	0,75	265	623
187	83	125	40	49	90	44	0,750	0,75	656	1051
181	81	121	44	80	107	81	0,750	0,75	920	1304
187	83	125	58	113	116	105	0,750	0,75	1155	1551
181	81	121	71	110	102	111	0,750	0,75	1161	1544
187	83	125	66	119	116	123	0,750	0,75	1250	1646
187	83	125	50	92	100	79	0,750	0,75	948	1344
181	81	121	33	57	101	59	0,750	0,75	736	1119
187	83	125	18	18	37	19	0,750	0,75	269	665
181	81	121	7	5	17	5	0,750	0,75	101	484
187	83	125	4	3	12	3	0,750	0,75	63	459
2208	981	1472	415	663	851	647	0,75	0,75	7604	12264

Lämpökuormista hyödynnettävä energia							Lämmitysjärjestelmien energiankulutus		
C <sub>rak</sub> (Wh/K)	H <sub>sila</sub> (W/K)	τ (h)	γ (-)	a (-)	η <sub>lämpö</sub> (-)	Q <sub>sisilämpö,hyöd</sub> (kWh)	Q <sub>lämmitys,tilat,netto</sub> (kWh)	Q <sub>lämmitys,tilat</sub> (kWh)	Q <sub>lämmitys,LKV</sub> (kWh)
28000	242,8	115,3	0,09	8,7	1,000	475	4763	5604	420
28000	245,8	113,9	0,13	8,6	1,000	623	4019	4728	379
28000	252,7	110,8	0,23	8,4	1,000	1051	3560	4188	420
28000	267,7	104,6	0,36	8,0	1,000	1303	2278	2680	406
28000	295,0	94,9	0,58	7,3	0,992	1538	1130	1329	420
28000	334,0	83,8	0,84	6,6	0,930	1435	395	465	406
28000	363,9	76,9	1,16	6,1	0,789	1298	121	142	420
28000	314,5	89,0	0,79	6,9	0,951	1278	417	490	420
28000	271,2	103,3	0,48	7,9	0,998	1117	1191	1401	406
28000	250,9	111,6	0,21	8,4	1,000	665	2495	2935	420
28000	242,0	115,7	0,12	8,7	1,000	484	3481	4095	406
28000	240,3	116,5	0,10	8,8	1,000	459	4353	5121	420
	3320,6	103,0	0,4	7,9	0,97160	11727	28201	33178	4941

Kuukausien tilastoarvoja					Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve					
Kuukausi	t (h)	T <sub>a</sub> (°C)	ΔT <sub>maakk</sub> (°C)	T <sub>maakk</sub> (°C)	Q <sub>rakosa</sub> (kWh)	Q <sub>kylmäsiilat</sub> (kWh)	Q <sub>johtmaa</sub> (kWh)	Q <sub>vuoto</sub> (kWh)	Q <sub>ivtulo</sub> (kWh)	Q <sub>tila</sub> (kWh)
tammikuu	744	-8,00	0	8,43	5575	670	1123	664	777	8808
helmikuu	672	-7,10	-1	7,4	4879	597	1095	581	680	7832
maaliskuu	744	-3,53	-2	6,4	4716	602	1301	562	657	7837
huhtikuu	720	2,42	-3	5,4	3457	480	1346	412	482	6176
toukokuu	744	8,84	-3	5,4	2338	373	1390	278	326	4705
kesäkuu	720	13,39	-2	6,4	1416	268	1259	169	197	3308
heinäkuu	744	15,76	0	8,4	1007	213	1123	120	140	2603
elokuu	744	13,76	1	9,4	1392	243	1033	166	194	3027
syyskuu	720	9,18	2	10,4	2199	311	914	262	306	3992
lokakuu	744	4,07	3	11,4	3255	411	855	388	453	5362
marraskuu	720	-1,76	3	11,4	4234	506	827	504	590	6662
joulukuu	744	-5,92	2	10,4	5175	612	944	616	721	8069
	8760,0	3,43			39643	5285	13209	4722	5523	68383

Lämpökuormat											
Q <sub>kuluttajalähteet</sub> (kWh)	Q <sub>välälähteet</sub> (kWh)	Q <sub>ilto</sub> (kWh)	G <sub>s,DP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	G <sub>s,SI</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	G <sub>s,SIIE</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	G <sub>s,SI,LA</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	F <sub>ilopöly</sub> (-)	g (-)	Q <sub>aur</sub> (kWh)	Q <sub>LKV,kierto</sub> (kWh)	Q <sub>lämpökuorma</sub> (kWh)
402	179	268	6,2	3,8	12,9	3,8	0,750	0,75	242	29	1119
363	161	242	17,3	15,6	41,4	15,6	0,750	0,75	743	26	1535
402	179	268	40,3	48,5	89,5	43,7	0,750	0,75	1643	29	2520
389	173	259	43,9	79,9	107,3	80,6	0,750	0,75	1914	28	2762
402	179	268	57,8	112,8	116	104,5	0,750	0,75	2200	29	3077
389	173	259	70,6	109,6	101,6	111,2	0,750	0,75	2179	28	3028
402	179	268	66,3	118,8	115,5	122,7	0,750	0,75	2301	29	3178
402	179	268	50	91,8	100,4	78,8	0,750	0,75	1904	29	2780
389	173	259	32,9	56,5	100,5	59,3	0,750	0,75	1688	28	2537
402	179	268	17,9	17,5	37	18,8	0,750	0,75	695	29	1572
389	173	259	7,2	5,1	16,8	5,1	0,750	0,75	304	28	1152
402	179	268	4,2	2,6	11,8	2,9	0,750	0,75	203	29	1079
4730	2102	3154	414,6	662,5	850,7	647,0	0,75	0,75	16014	339	26339

Lämpökuormista hyödynnettävä energia							Lämmitysjärjestelmien energiankulutus		
C <sub>rak</sub> (Wh/K)	H <sub>tila</sub> (W/K)	τ (h)	γ (-)	a (-)	η <sub>lämpö</sub> (-)	Q <sub>sisälämpöhyödyt</sub> (kWh)	Q <sub>lämmitys,ilat,netto</sub> (kWh)	Q <sub>lämmitys,ilat</sub> (kWh)	Q <sub>lämmitys,LKV</sub> (kWh)
60000	408,2	147,0	0,13	10,8	1,000	1119	7690	9047	794
60000	414,8	144,7	0,20	10,6	1,000	1535	6297	7409	717
60000	429,4	139,7	0,32	10,3	1,000	2520	5318	6256	794
60000	461,7	130,0	0,45	9,7	1,000	2762	3414	4017	769
60000	520,1	115,4	0,65	8,7	0,991	3050	1656	1948	794
60000	603,8	99,4	0,92	7,6	0,919	2783	525	618	769
60000	667,8	89,9	1,22	7,0	0,773	2457	147	172	794
60000	562,0	106,8	0,92	8,1	0,924	2570	458	538	794
60000	469,1	127,9	0,64	9,5	0,995	2525	1468	1727	769
60000	425,7	141,0	0,29	10,4	1,000	1572	3790	4459	794
60000	406,5	147,6	0,17	10,8	1,000	1152	5510	6482	769
60000	402,9	148,9	0,13	10,9	1,000	1079	6989	8223	794
	5772,0	128,2	0,5	9,5	0,96689	25123	43260	50894	9351

Kuukausien tilastoarvoja					Tilojen lämmitysenergian kokonaistarve							IV			
Kuukausi	t (h)	T <sub>u</sub> (°C)	ΔT <sub>maak</sub> (°C)	T <sub>maak</sub> (°C)	Q <sub>rakosa</sub> (kWh)	Q <sub>kyilmäsillat</sub> (kWh)	Q <sub>johtmas</sub> (kWh)	Q <sub>vuoto</sub> (kWh)	Q <sub>ivtilo</sub> (kWh)	Q <sub>tila</sub> (kWh)	T <sub>LTO</sub> (°C)	Q <sub>ivtilo</sub> (kWh)	Q <sub>iv</sub> (kWh)	Q <sub>LTO</sub> (kWh)	
tammikuu	744	-8,00	0	8,43	2324	280	472	331	990	4396	1	1450	990	460	
helmikuu	672	-7,10	-1	7,4	2034	249	460	290	866	3899	1	1269	866	403	
maaliskuu	744	-3,53	-2	6,4	1966	251	546	280	833	3877	4	1226	833	393	
huhtikuu	720	2,42	-3	5,4	1441	201	565	205	605	3017	8	899	605	294	
toukokuu	744	8,84	-3	5,4	974	156	584	139	401	2254	12	608	401	207	
kesäkuu	720	13,39	-2	6,4	590	112	529	84	234	1549	16	368	234	135	
heinäkuu	744	15,76	0	8,4	420	89	472	60	0	1040	17	0	0	0	
elokuu	744	13,76	1	9,4	580	101	434	83	0	1198	16	0	0	0	
syyskuu	720	9,18	2	10,4	917	130	384	131	376	1937	13	572	376	196	
lokakuu	744	4,07	3	11,4	1357	172	359	193	568	2648	9	846	568	279	
marraskuu	720	-1,76	3	11,4	1765	211	347	252	747	3322	5	1101	747	355	
joulukuu	744	-5,92	2	10,4	2157	255	397	308	917	4034	2	1346	917	429	
	8760	3,43			16525	2207	5548	2356	6536	33171	9	9686	6536	3150	

Lämpökuormat												
Q <sub>kuluttajalaitteet</sub> (kWh)	Q <sub>valaistus</sub> (kWh)	Q <sub>hio</sub> (kWh)	G <sub>säIP</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	G <sub>säti</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	G <sub>säIE</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	G <sub>säILa</sub> (kWh/m <sup>2</sup> )	F <sub>läpäisy</sub> (-)	g (-)	Q <sub>aur</sub> (kWh)	Q <sub>LKV,varast</sub> (kWh)	Q <sub>lämpökuorma</sub> (kWh)	
187	83	125	6	4	13	4	0,750	0,75	113	55	564	
169	75	113	17	16	41	16	0,750	0,75	347	50	754	
187	83	125	40	49	90	44	0,750	0,75	767	55	1218	
181	81	121	44	80	107	81	0,750	0,75	893	53	1329	
187	83	125	58	113	116	105	0,750	0,75	1027	55	1478	
181	81	121	71	110	102	111	0,750	0,75	1017	53	1454	
187	83	125	66	119	116	123	0,750	0,75	1074	55	1525	
187	83	125	50	92	100	79	0,750	0,75	888	55	1339	
181	81	121	33	57	101	59	0,750	0,75	788	53	1224	
187	83	125	18	18	37	19	0,750	0,75	324	55	775	
181	81	121	7	5	17	5	0,750	0,75	142	53	578	
187	83	125	4	3	12	3	0,750	0,75	95	55	546	
2208	981	1472	415	663	851	647	0,75	0,75	7473	650	12783	

Lämpökuormista hyödynnettävä energia							Lämmitysjärjestelmien energiankulutus			
C <sub>rak</sub> (Wh/K)	H <sub>tila</sub> (W/K)	τ (h)	γ (-)	a (-)	η <sub>lämpö</sub> (-)	Q <sub>sisilämpö,hyöd</sub> (kWh)	Q <sub>lämmitys,tilat,netto</sub> (kWh)	Q <sub>lämmitys,tilat</sub> (kWh)	Q <sub>lämmitys,LKV</sub> (kWh)	
9800	204	48,1	0,13	4,2	1,000	564	3832	4509	530	
9800	206	47,5	0,19	4,2	0,999	753	3145	3700	479	
9800	212	46,1	0,31	4,1	0,994	1210	2667	3138	530	
9800	226	43,5	0,44	3,9	0,977	1298	1719	2022	513	
9800	249	39,3	0,66	3,6	0,913	1349	905	1064	530	
9800	283	34,7	0,94	3,3	0,792	1151	398	468	513	
9800	267	36,7	1,47	3,4	0,611	932	108	127	530	
9800	222	44,1	1,12	3,9	0,751	1006	193	227	530	
9800	228	43,1	0,63	3,9	0,930	1139	798	939	513	
9800	210	46,6	0,29	4,1	0,995	772	1876	2208	530	
9800	203	48,3	0,17	4,2	0,999	578	2744	3228	513	
9800	201	48,7	0,14	4,2	1,000	545	3488	4104	530	
	2711	43,9	0,5	3,9	0,91346	11297	21874,0	25734,1	6241,2	