

Markku Vesterinen

Energiatehokkuuden lisääminen kiinteistössä ja sen kustannukset

Insinööri
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikka ja liikenne
Rakennustekniikka
Kevät 2014



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tekijä(t) Markku Vesterinen	
Työn nimi Energiatehokkuuden lisääminen kiinteistössä ja sen kustannukset	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Isännöinti	Toimeksiantaja OP-Kiinteistökeskus Kainuu Oy
Aika Kevät 2014	Sivumäärä ja liitteet 66+8
<p>Uuden lainsäädännön mukaan kiinteistön energiatehokkuuden parantaminen on otettava jatkossa huomioon aina, kun kiinteistössä suoritetaan mittavampia korjaustoimenpiteitä, mikäli tämä on toteutusteknisesti mahdollista, eivätkä kustannukset ole kohtuuttomat.</p> <p>Tämän insinöörityön tavoitteena on perehdyttää lukija energiatehokkuuteen sekä esitellä rakennus- ja käyttötekniisiä toimenpiteitä, joilla voidaan parantaa kiinteistön energiatehokkuutta sekä tuottaa esimerkkilaskelmat ikkunoiden ja parvekeovien vaihdosta syntyvistä kustannuksista sekä säästöistä. Ikkunoiden ja parvekeovien vaihto on suhteellisen yksinkertainen toimenpide, jolla voidaan saavuttaa merkittäväkin lämmitysenergian säästö, riippuen alkuperäisten ikkunoiden kunnosta, U-arvosta sekä ikkunoiden pinta-alasta.</p> <p>Johtuen jatkuvasta energian hinnannoususta, työssä lasketaan myös maalämpöjärjestelmän tuottamat säästöt suhteessa sähkölämmitykseen. Kustannuksiin ei tässä työssä oteta kantaa, sillä se vaatisi yksityiskohtaiset suunnitelmat sekä kohteeseen asennettavasta järjestelmästä että sen toteutustavasta.</p> <p>Kiinteistön energiatehokkuuden parantaminen eri toimenpiteillä vaatii yksityiskohtaiset suunnitelmat. Tästä johtuen kaikki toimenpiteet eivät sovellu kaikkien kiinteistöjen käyttöön, vaan saavutettavat hyödyt ja kustannukset ovat hyvin yksilöllisiä.</p> <p>Työn tilaajana toimi OP-Kiinteistökeskus Kainuu Oy.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Energiatehokkuus, kustannukset, säästöt, maalämpö
Säilytyspaikka	<input type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto



School Engineering	Degree Programme Construction Engineering
Author(s) Markku Vesterinen	
Title Increasing Energy Efficiency in Properties and its Cost Effects	
Optional Professional Studies Facility Management	Commissioned by OP-Kiinteistökeskus Kainuu Oy
Date Spring 2014	Total Number of Pages and Appendices 66+8
<p>Because of the new legislation concerning property energy efficiency it is now important to draw attention to increasing the energy efficiency of buildings when planning bigger renovations. The main objective of this Bachelor's thesis commissioned by OP-Kiinteistökeskus Kainuu Oy was to explain the meaning of energy efficiency, and also to provide some example calculations from different kinds of situations. It also discusses how to improve energy efficiency in different sectors, for example, in sandwich-element structure façades and windows.</p> <p>In this thesis there are also calculations about the life cycle costs concerning the renewal of windows and balcony doors of an apartment house. The purpose of these calculations is to help the reader to understand what kinds of costs there will be and compare those to the savings from reduced energy consumption.</p> <p>There are also comparative calculations how big energy savings can be gained by using geothermal energy compared to the straight electric heating system. This subject is also highly topical because of the constant rise of heating costs.</p> <p>When speaking about savings gained by increasing energy efficiency in properties, how much money can be saved by each measure is different case-by-case. For that reason it is important to realize that good planning is the key word when thinking about how to save energy in properties</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Energy efficiency, cost, savings, geothermal energy
Deposited at	<input type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

ALKUSANAT

Tahdon kiittää OP-Kiinteistökeskus Kainuu Oy:tä mielenkiintoisesta insinööriyön aiheesta sekä isännöitsijöitä Sami Haverista ja Ville Valtasta hyvästä yhteistyöstä insinööriyötä tehtäessä.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 ENERGIATEHOKKUUS	2
2.1 U-arvo	2
2.2 Rakennuksen energiatehokkuus	3
2.3 Energiatehokkuuden parantaminen peruskorjauksessa	6
2.3.1 Rakenneosakohtaiset vaatimukset	7
2.3.2 E-lukuvaatimus rakennusluokittain	8
2.3.3 Energiankulutusvaatimukset rakennusluokittain	9
2.3.4 Teknisten järjestelmien vaatimukset	9
2.4 Poikkeukset	10
3 ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISMENETELMIÄ	11
3.1 Kerrostalokiinteistöt Suomessa	12
3.2 Sandwich-elementti	14
3.3 Julkisivun lisälämmöneristys	15
3.3.1 Ulkopuolinen lisälämmöneristys	17
3.3.2 Vanhan rakenteen purku + uusi lisälämmöneriste ja kuorielementti	24
3.4 Ikkunoiden ja parvekeovien vaihto	28
3.4.1 Kustannukset	32
3.4.2 Hyödyt ja säästöt	32
3.5 IV-saneeraus ja LTO	33
3.6 Maalämpö	35
3.6.1 Kustannukset	38
3.6.2 Hyödyt ja säästöt	39
3.7 Käyttötekniset säästötoimenpiteet	39
3.7.1 Ilmanvaihto	40
3.7.2 Lämmitysverkoston perussäätö	40
4 IKKUNOIDEN JA PARVEKEOVIER VAIHTO KERROSTALOKOHTEESEEN	42
4.1 Kohde	42
4.2 Toimenpiteet	42
4.3 Kustannukset ikkunoiden vaihdon osalta	42

4.3.1 Investointikustannukset	42
4.3.2 Energiakustannukset teknisen käyttöiän aikana	45
4.3.3 Kokonaisinvestointi	46
4.3.4 Säästöt	46
4.3.5 Takaisinmaksuaika	47
4.4 Kustannukset parvekeovien vaihdosta	48
4.4.1 Investointikustannukset	48
4.4.2 Ylläpitokustannukset	48
4.4.3 Energiakustannukset teknisen käyttöiän aikana	49
4.4.4 Kokonaisinvestointi	49
4.4.5 Säästöt	50
4.4.6 Takaisinmaksuaika	51
5 MAALÄMMÖN ASENTAMINEN RIVITALOKOHTEESEEN	52
5.1 Kohde	52
5.2 Toimenpiteet	52
5.3 Laskenta	52
5.3.1 Sähkönkulutus	53
5.3.1 Tilojen tarvitsema lämmitystehontarve	55
5.3.2 Maalämmön tuottama energia ja kulutus	57
5.3.3 Tarvittava lisälämmitysenergia ja maalämpöpumpun tuottama energia	58
5.3.4 Maalämpöpumpun kuluttama sähköenergia	60
5.4 Säästöt	61
6 YHTEENVETO	62
LÄHTEET	64
LIITTEET	

SYMBOLILUETTELO

$Q_{\text{tilat,tot}}$	Kiinteistön lämmitykseen kulunut energia. Yksikkö: kWh/a
$Q_{\text{kok,tot}}$	Kiinteistön ilmoitettu kokonaisenergian kulutus. Yksikkö: kWh/a
$Q_{\text{LKV,tot}}$	Kiinteistön lämpimän käyttöveden valmistukseen kulunut energia. Yksikkö: kWh/a
$Q_{\text{kulut,tot}}$	Kiinteistössä kulunut käyttösähkö. Yksikkö: kWh/a
Q_{tila}	Tilojen laskennallinen lämmitystehon tarve. Yksikkö: kWh/a
Q_{joht}	Rakenteiden läpi johtuva lämpöhäviö. Yksikkö: kWh/a
$Q_{\text{vuotoilma}}$	Vuotoilman lämpenemisen tehontarve. Yksikkö: kWh/a
Q_{LKV}	Lämpimän käyttöveden valmistukseen tarvittava teho. Yksikkö: kWh/a
H_{tila}	Rakennuksen ominaislämpöhäviö. Yksikkö: W/K
ϕ_{tila}	Tilojen lämmitykseen tarvittava lämmitysteho. Yksikkö: W
ϕ_{lpn}	Maalämpöpumpun tuottama nimellisteho. Yksikkö: W
$Q_{\text{lisäläm,tilat}}$	Lisälämmitysenergian tarve tilojen osalta. Yksikkö: kWh/a
$Q_{\text{lisäläm,LKV}}$	Lisälämmitysenergian tarve lämpimän käyttöveden valmistuksen osalta. Yksikkö: kWh/a
$Q_{\text{LP, lämmitys,tilat}}$	Maalämpöpumpun tuottama todellinen lämmitysenergia tilojen lämmitykseen. Yksikkö: kWh/a

$Q_{LP, \text{l\u00e4mmitys, LKV}}$	Maal\u00e4mp\u00f6pumpun tuottama todellinen l\u00e4mmitysenergia k\u00e4ytt\u00f6veden l\u00e4mmitykseen. Yksikk\u00f6 kWh/a
SPF-luku	L\u00e4mp\u00f6pumpun tuottaman l\u00e4mp\u00f6energian suhde l\u00e4mp\u00f6pumpun kuluttamaan energiaan.
$W_{LP, \text{tilat}}$	L\u00e4mp\u00f6pumpun kuluttama kokonaisenergia. Yksikk\u00f6 kWh/a
SANASTO	
U-arvo	L\u00e4mp\u00f6virran tiheys, joka jatkuvuustilassa l\u00e4p\u00e4isee rakennusosan, kun l\u00e4mp\u00f6tila rakennusosan eri puolilla olevissa ilmatiloissa on yhden yksik\u00f6n. Yksikk\u00f6: W/m ² K.
Ostoenergia	Energia, joka ostetaan kiinteist\u00f6\u00f6n ulkopuolisesta verkosta. T\u00e4m\u00e4n kaltaisia verkkoja ovat muun muassa s\u00e4hk\u00f6- ja l\u00e4mmitysverkko.
Kokonaisenergia	Energianmuotokertoimella painotettu ostoenergia.
Omavaraisenergia	Kiinteist\u00f6ss\u00e4 tuotettu energia, kuten aurinkopaneelien tai maal\u00e4mp\u00f6j\u00e4rjestelm\u00e4n tuottama energia. Energia, jota ei oteta ulkopuolisesta verkosta.
Diskonttaus	Menetelm\u00e4, jolla saadaan tuotua tulevaisuudessa syntyv\u00e4 kustannus vertailukelpoiseksi nykyp\u00e4iv\u00e4n tasolle.

1 JOHDANTO

Energiatehokkuus on käsite, joka tulee esiin rakentamisessa ja kiinteistöalalla yhä lisääntyvässä määrin. Tämän myötä myös taloyhtiöissä asuvat ihmiset ovat enemmän valveutuneita energian kulutuksen ja siitä syntyvän kustannuksen suhteen. Tähän on syynä myös jatkuvasti nouseva energian hinta.

Osakkeen osto taloyhtiöstä on usein yksittäisen ihmisen suurin sijoitus. Yksittäiset osakkeenomistajat eivät kuitenkaan miellä asunnon ostamista sijoituksena, jonka arvoa tulisi vähintään ylläpitää mutta myös kasvattaa.

Taloyhtiössä syntyvät kustannukset katetaan osakkeiden omistajilta perittäville hoito- ja yhtiövastikkeilla. Suurimmat kuluerät, lukuunottamatta mahdollisia lainanlyhennyksiä, syntyvät kiinteistön lämmittämisestä ja lämpimän käyttöveden valmistamisesta aiheutuvista kustannuksista.

Tämän työn tarkoituksena on esitellä perinteisiä taloyhtiön energiatehokkuutta parantavia keinoja, siitä aiheutuvia keskimääräisiä kustannuksia, syntyviä energiansäästöhyötyjä sekä muita asumismukavuuteen vaikuttavia seikkoja.

Työn lopuksi lasketaan esimerkinomaisesti kerrostalokiinteistöön suoritettavasta ikkunoiden ja parvekeovien vaihtamisesta aiheutuvat elinkaarikustannukset sekä saavutettavat energiansäästöt. Toisena esimerkkinä lasketaan sähkölämmitteisen rivitalokiinteistön muuntaminen maalämpöön ja sen tuottamat säästöt suhteessa vanhaan lämmitysmuotoon.

Työn tilaajana toimi OP-Kiinteistökeskus Kainuu Oy:ltä tekninen isännöitsijä Tomi Mikkonen. Yritys tuottaa Kainuun alueella isännöinti- ja kiinteistönvälityspalveluita. Yrityksessä työskentelee vakituisesti noin 30 henkilöä.

2 ENERGIATEHOKKUUS

2.1 U-arvo

U-arvo on määritelty Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C3; Rakennuksen lämmöneristys seuraavasti: ”Lämmönläpäisykerroinella U tarkoitetaan lämpövirran tiheyttä, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaerorakennusosan eri puolilla olevien tilojen välillä on yksikön suuruinen. Yksikkönä käytetään $W/(m^2K)$.” Eli yksinkertaistettuna U-arvo ilmoittaa sen lämpömäärän, jonka 1 m^2 suuruinen rakennusosa läpäisee tunnissa, kun lämpötilaero on $1\text{ }^\circ\text{C}$. [1.]

U-arvo (rakennusosan lämmönläpäisykerroin) lasketaan aina rakennekohtaisesti. Tuotteen tulee olla CE-hyväksytty ja tuotteella tulee olla EN-standardien mukaan määritetty lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo (λ_U). Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon tulee olla hyväksytty. Mikäli suunnitteluarvoja on määritelty useita, on laskuissa käytettävä alaviitteiden huomautusten perusteella sopiva arvo. [1.]

U-arvo on kehittynyt merkittävästi viimeisen kuluneen 60 vuoden aikana, mikä johtuu erityisesti kehittyneistä eristemateriaaleista sekä tiukentuneista rakennusmääräyksistä. Alla olevassa taulukossa on esitetty eri aikakausien U-arvovaatimukset eri rakennusosien välillä.

Taulukko 1. U-arvot ($W/m^2 K$) rakennusosittain eri aikakausina. [2.]

Rakennusosa	Rakennusluvun vireilletulovuosi								
	-1969	1969-	1976-	1978-	1985-	10/2003-	2008-	2010-	2012-
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
Ryömintätilainen alapohja	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40	0,20	0,20	0,17	0,17
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,35	0,35	0,35	0,29	0,22	0,16	0,16	0,09	0,09
Yläpohja	0,47	0,47	0,35	0,29	0,22	0,16	0,15	0,09	0,09
Ovi	2,20	2,20	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,00	1,00
Ikkuna	2,80	2,80	2,10	2,10	2,10	1,40	1,40	1,00	1,00
Puolilämpimät 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
Ryömintätilainen alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,40	0,30	0,28	0,26	0,26
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Yläpohja	0,60	0,60	0,60	0,60	0,45	0,30	0,28	0,14	0,14
Ovi	2,20	2,20	2,00	2,00	2,00	1,80	1,80	1,40	1,40
Ikkuna	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	1,80	1,80	1,40	1,40

Taulukosta nähdään, kuinka esimerkiksi lämpimään tilaan rajoittuvan ulkoseinän U-arvo on laskenut n. 40 vuoden aikana arvosta 0,81 arvoon 0,17.

2.2 Rakennuksen energiatehokkuus

Rakennuksen energiatehokkuudella tarkoitetaan lukua, jossa kiinteistön laskennallinen kokonaisenergian kulutus on jaettuna rakennuksen pinta-alalla. Tämä luku ilmaistaan luokitteluasteikolla A-G, jossa A on paras ja G huonoin. Uudisrakentamisessa kiinteistön energiatehokkuusluokka ei saa olla C-luokkaa huonompi. Tämä tarkoittaa sitä, että kiinteistön laskennallinen ostoenergiankulutus (E-luku) ei saa ylittää arvoa $130 \text{ kWh}_E/m^2\text{vuosi}$. [2.]

Taulukko 2. Asuinkerrostalon energiatehokkuusluokka/kokonaisenergiankulutus [2.]

Energiatehokkuusluokka	Kokonaisenergiankulutus, E-luku (kWh _E /m ² vuosi)
A	E-luku ≤ 75
B	76 ≤ E-luku ≤ 100
C	101 ≤ E-luku ≤ 130
D	131 ≤ E-luku ≤ 160
E	161 ≤ E-luku ≤ 190
F	191 ≤ E-luku ≤ 240
G	241 ≤ E-luku

E-luku ja energiatehokkuusluokka ovat ainoastaan suuntaa antavia lukuja. Laskelmat perustuvat aina standardikäytölle ja annettuihin arvoihin, vaikka tekniset tiedot olisivat kiinteistöstä saatavilla.

Standardikäytöllä tarkoitetaan ympäristöministeriön laatiman asetuksen rakennuksen energiatehokkuudesta (2/11) esitettyjä sääntöjä, jotka on sittemmin julkaistu Suomen rakentamismääräyskokoelmassa osassa D3. Näitä ovat muun muassa vakioitu ilmastoinnin käyttöaika, ilmanvaihdon tulo- ja poistoilman määrä, sekä valaistuksen ja käyttölaitteiden sähkönkulutus. [3.]

Lisäksi ympäristöministeriö on laatinut vakioituja lähtöarvoja. Näitä ovat muun muassa sisäilmasto-olosuhteet, sisäiset lämpökuomat (ihmisistä ja laitteista tuleva lämpökuorma) sekä lämpimän käyttöveden kulutus. [3.]

Näillä arvoilla voidaan sulkea pois asukkaiden laitteiden käyttötottumus. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi energiatodistuksessa oleva laskelma kulutetusta lämpimästä käyttövedestä voi olla käytännössä epätarkka, mutta tällä ei ole kuitenkaan kovin suurta merkitystä varsinaisen kokonaisenergiatehokkuuden kannalta.

Kokonais- ja ostoenergia

Kokonaisenergian kulutus lasketaan painottamalla laskennallinen vuotuinen ostoenergiankulutus maankäyttö- ja rakennuslain nojalla annetussa valtioneuvoston asetuksessa rakennuksissa käytettävien energiamuotojen kertoimien lukuarvoista (9/2013): [3.]

- sähkö 1,7
- kaukolämpö 0,7
- kaukojäähdytys 0,4
- fossiiliset polttoaineet 1,0
- rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet 0,5

Mikäli rakennuksessa tuotetaan uusiutuvaa omavaraista energiaa, asetus ei määritä energiamuotokerrointa käytettävälle uusituvalle energialle. Uusiutuvalla omavaraisella energialla tarkoitetaan kiinteistöön kuuluvalla laitteistolla paikallisista uusiutuvista energialähteistä tuotettua energiaa. Tämän kaltaisia laitteistoja ovat muun muassa aurinkopaneelit ja paikallinen tuulienergia ja lämpöpumpun lämmönlähteestä ottama energia. [3.]

Tärkein osa energiatodistuksen energiatehokkuuden laskemisen kannalta on kiinteistöön tuleva ostoenergia. Rakennuksen ostoenergialla tarkoitetaan energiaa, jota hankitaan rakennukseen kiinteistön ulkoisesta verkosta. Tämän kaltaisia verkkoja ovat muun muassa sähköverkko, kaukolämpöverkko ja uusiutuvat tai fossiilisen polttoaineen sisältämä energia, kuten öljy, puu jne. [2.]

Mikäli kiinteistössä käytetään uusiutuvaa **omavaraisenergiaa**, tätä ei oteta huomioon ostoenergiatarkastelua tehtäessä. Taloyhtiöissä uusiutuvaa omavaraisenergiaa ovat muun muassa aurinkopaneeli- tai maalämpöjärjestelmien kautta tuotettava lämpöenergia.

Kiinteistön ostoenergian kulutus voidaan jakaa karkeasti viiteen eri luokkaan: ilmastointi-, lämmitys-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutukseen.

Nämä voidaan jakaa lämmitykseen tarvittavaan ostoenergiaan sekä sähköenergiaan. Mikäli kiinteistössä käytetään uusiutuvaa omavaraisenergiaa, sen hyöty vähennetään ostoenergiasta. [2.]

2.3 Energiatohokkuuden parantaminen peruskorjauksessa

27.2.2013 annettua ympäristöministeriön asetusta 4/13; ”Rakennuksen energiatohokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä”, sovelletaan kaikkiin kiinteistöihin, joissa tehdään maankäyttö- ja rakennuslain (132/1999) mukaan rakennus- ja/tai toimenpideluvanvaraista korjaus- tai muutostyötä tai kohteisiin joiden käyttötarkoitusta muutetaan. Usein rakennuslupaa tarvitaan, kun muutos- tai korjaustyö kohdistuu rakennuksen teknisiin järjestelmiin tai rakennuksen vaippaan. Toimenpidelupaa tarvitaan muun muassa, kun vaihdetaan kiinteistön jotain teknistä järjestelmän rakennusosaa. [4.]

Lupaharkinnan toteuttaa kuitenkin kunnan rakennusvalvontaviranomainen, joten hankkeeseen ryhdyttäessä on selvitettävä kunnan kanta, onko tehtävä työ rakennus- vai toimenpideluvan varaista työtä.

Asetus astui voimaan viranomaisten käytössä olevissa kiinteistöissä 1.6.2013. Muihin kuin viranomaisten käytössä oleviin rakennuksiin asetusta on sovellettu kuitenkin 1. syyskuuta alkaen. Asetus ei koske hankkeita, joiden lupahakemus on jätetty ennen asetuksen voimaantuloa.

Ympäristöministeriön asetuksen 4/13; Rakennuksen energiatohokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä, mukaan energiatohokkuuden parantamisvelvollisuutta ei ole seuraavilla:

- *rakennukset niiltä osin kun ne on suojeltu ja määräyksien noudattaminen aiheuttaisi suojeltuihin osiin muutoksia, joita ei voida pitää hyväksyttävänä;*
- *tuotantorakennukset, joissa tuotantoprosessi luovuttaa niin suuren määrän lämpöenergiaa, että halutun huonelämpötilan aikaansaamiseen ei tarvita ollenkaan tai tarvitaan vain vähäisessä määrin muuta lämmitysenergiaa, tai tuotantotilat, joissa lämmityskauden ulkopuolella runsas lämmöneristys nostaisi baitallisesti huonelämpötilaa tai lisäksi oleellisesti jäädytysenergian kulutusta;*

- *rakennukset, joiden pinta-ala on enintään 50m²*
- *muut kuin asuinkäyttöön tarkoitetut maatalaosrakennukset, joissa energiankäyttö on vähäinen;*
- *kasvihuoneet, väestönsuojat tai muut rakennukset, joiden käyttö on alkuperäiseen käyttötarkoitukseensa vaikeutuisi kohtuuttomasti tämän asetuksen mukaista energiatehokkuutta parantamisvaatimuksia noudattaessa;*
- *loma-asunnot, joihin ei ole suunniteltu kokovuotiseen käyttöön tarkoitettua lämmitysjärjestelmää;*
- *määräajan paikallaa pysytettävät siirtokelpoiset rakennukset, joiden käyttötarkoitus ei siirron yhteydessä oleellisesti muutu;*
- *rakennukset, joita käytetään hartauden harjoittamiseen ja uskonnolliseen toimintaan. [4.]*

Asetuksessa on annettu kolme vaihtoehtoa, joilla kiinteistön energiatehokkuuden parantamista voidaan seurata ja miten energiatehokkuuden parantaminen kiinteistössä voidaan osoittaa. Valinnan näiden vaihtoehtojen välillä tekee rakennuksen/kiinteistön omistaja. Myös energiatehokkuuden parantumisen esittämiselle sekä suunnittelulle tulee tiettyjä reunaehtoja. [4.]

2.3.1 Rakenneosakohtaiset vaatimukset

Mikäli energiatehokkuuden parantamisen suunnittelu ja toteutus rakennuksessa tapahtuu rakennusosakohtaisesti, on noudatettava seuraavia vaatimuksia: [4.]

- *Ulkoseinä: Alkuperäinen U-arvo $\times 0.5$, kuitenkin enintään 0.17 W/(m² K). Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä alkuperäinen U-arvo $\times 0.5$, kuitenkin 0.60 W/(m² K) tai parempi.*
- *Yläpohja: Alkuperäinen U-arvo $\times 0.5$, kuitenkin enintään 0.09 W/(m² K). Rakennuksen käyttötarkoituksen muutoksen yhteydessä alkuperäinen U-arvo $\times 0.5$, kuitenkin 0.60 W/(m² K) tai parempi.*

- *Alapohja: Energiatehokkuutta parannetaan mahdollisuuksien mukaan.*
- *Uusien ikkunoiden ja ulko-ovien U-arvon on oltava 1.0 W/(m² K) tai parempi. Vanhoja ikkunoita ja ulko-ovia korjattaessa on lämmönpitävyttä parannettava mahdollisuuksien mukaan.*

2.3.2 E-lukuvaatimus rakennusluokittain

Jos rakennuksen energiatehokkuuden parantaminen tapahtuu rakennuksen standardikäyttöön perustuvaa kokonaisenergiankulutusta (E-luku, kWh/m³) pienentämällä, on laskettava rakennukselle ominainen rakennusluokan mukainen kulutus seuraavien kaavojen mukaisesti. [4.]

- *Pien-, rivi ja ketjutalo: E-vaadittu $\leq 0,8 \times E$ -laskettu*
- *Asuinkerrostalo: E-vaadittu $\leq 0,85 \times E$ -laskettu*
- *Toimisto: E-vaadittu $\leq 0,7 \times E$ -laskettu*
- *Opetusrakennus: E-vaadittu $\leq 0,8 \times E$ -laskettu*
- *Päiväkoti: E-vaadittu $\leq 0,8 \times E$ -laskettu*
- *Liikerakennus: E-vaadittu $\leq 0,7 \times E$ -laskettu*
- *Majoitusliikerakennus: E-vaadittu $\leq 0,7 \times E$ -laskettu*
- *Muu liikuntahalli kuin jää- ja uimahalli: E-vaadittu $\leq 0,8 \times E$ -laskettu*
- *Sairaala: E-vaadittu $\leq 0,8 \times E$ -laskettu*

2.3.3 Energiankulutusvaatimukset rakennusluokittain

Mikäli energiatehokkuuden parantamisen suunnittelu ja toteutus tapahtuu rakennuksen standardikäyttöön perustuvaa energiankulutusta pienentämällä, on rakennusluokittain noudatettava seuraavia energiankulutuksen vaatimuksia: [4.]

- *Pien-, rivi- ja ketjutalo* $\leq 180 \text{ kWh}/\text{m}^2$
- *Asuinkeuhkotalo* $\leq 130 \text{ kWh}/\text{m}^2$
- *Toimisto* $\leq 145 \text{ kWh}/\text{m}^2$
- *Opetusrakennus* $\leq 150 \text{ kWh}/\text{m}^2$
- *Päiväkoti* $\leq 150 \text{ kWh}/\text{m}^2$
- *Liikerakennus* $\leq 180 \text{ kWh}/\text{m}^2$
- *Majoitusliikerakennus* $\leq 180 \text{ kWh}/\text{m}^2$
- *Muu liikuntahalli kuin jää- ja uimahalli* $\leq 170 \text{ kWh}/\text{m}^2$
- *Sairaala* $\leq 370 \text{ kWh}/\text{m}^2$

2.3.4 Teknisten järjestelmien vaatimukset

Mikäli rakennuksen teknisiä järjestelmiä peruskorjataan, uusitaan tai uudistetaan, on noudatettava seuraavia vaatimuksia, oli vaihtoehtovalinta mikä tahansa. [4.]

- *Rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä eli lämmön talteenoton vuosihyötysubteen on oltava vähintään 45 %.*
- *Koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.*
- *Koneellisen poistoilmajärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.*

- *Ilmastointijärjestelmän ominaissähköteho saa olla enintään 2,5 kW/(m³/s).*
- *Lämmitysjärjestelmien hyötysuhdetta parannetaan laitteiden ja järjestelmien uusimisen yhteydessä mahdollisuuksien mukaan.*
- *Vesi- ja/tai viemärijärjestelmien uusimiseen sovelletaan, mitä uudisrakentamisessa säädetään.*

2.4 Poikkeukset

Energiatohokkuutta parantavia toimenpiteitä ei tarvitse toteuttaa, mikäli se ei ole teknisesti, taloudellisesti tai toiminnallisesti mahdollista. Lisämääränä on kustannustehokkuus, jota arvioidaan taloudellisen kannattavuuden, esimerkiksi takaisinmaksuaikojen näkökulmasta. Energiatohokkuutta on parasta parantaa osana normaalia kiinteistönpitoa ja normaalia korjausrakentamista. [4.]

Asetuksen tavoitteena on pienentää olemassa olevien rakennusten hiilidioksidipäästöjä noin 45 %, sekä rakennusten energiankulutusta noin 25 % vuoteen 2050 mennessä. Lyhyen tähtäimen tavoitteena (vuoteen 2020 mennessä) on vähentää olemassa olevien rakennusten energiankulutusta kuudella prosenttiyksiköllä. [5.]

3 ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISMENETELMIÄ

Nykypäivänä asuinkerrostalojen ”korjauksesta” ollaan siirtymässä yhä enemmän ja enemmän kokonaisvaltaiseen rakennuksen ns. jatkuvaan perusparannukseen. Tämä tarkoittaa kiinteistön taloudellisuuden, toimivuuden ja **energiatehokkuuden** jatkuvaa parantamista. [6, s. 64–65.]

Energiatehokkuuden merkittävään parantamiseen pyritään ns. energiakorjauksilla. Tehokas kiinteistön energiakorjaus vaatii aina korjaukseen sisällytettävän sekä ilmanvaihdon korjauksen että rakenneteknisen korjauksen. [6, s. 64–65.]

Tässä työssä tutustutaan tarkemmin sandwich-rakenteisen seinän energiatehokkuuden parantamiseen. Sandwich-elementtirakentaminen on ollut 1960-luvun lopulta aina tähän päivään asti vallitseva julkisivun verhouksen menetelmä suomalaisissa kerrostalokiinteistöissä.

Asuinkerrostalojen energiatehokkuuden parantaminen tulisi olla osana kiinteistössä laadittua kiinteistöstrategiaa.

Energiakorjauksella saavutetaan mm. seuraavanlaisia hyötyjä:

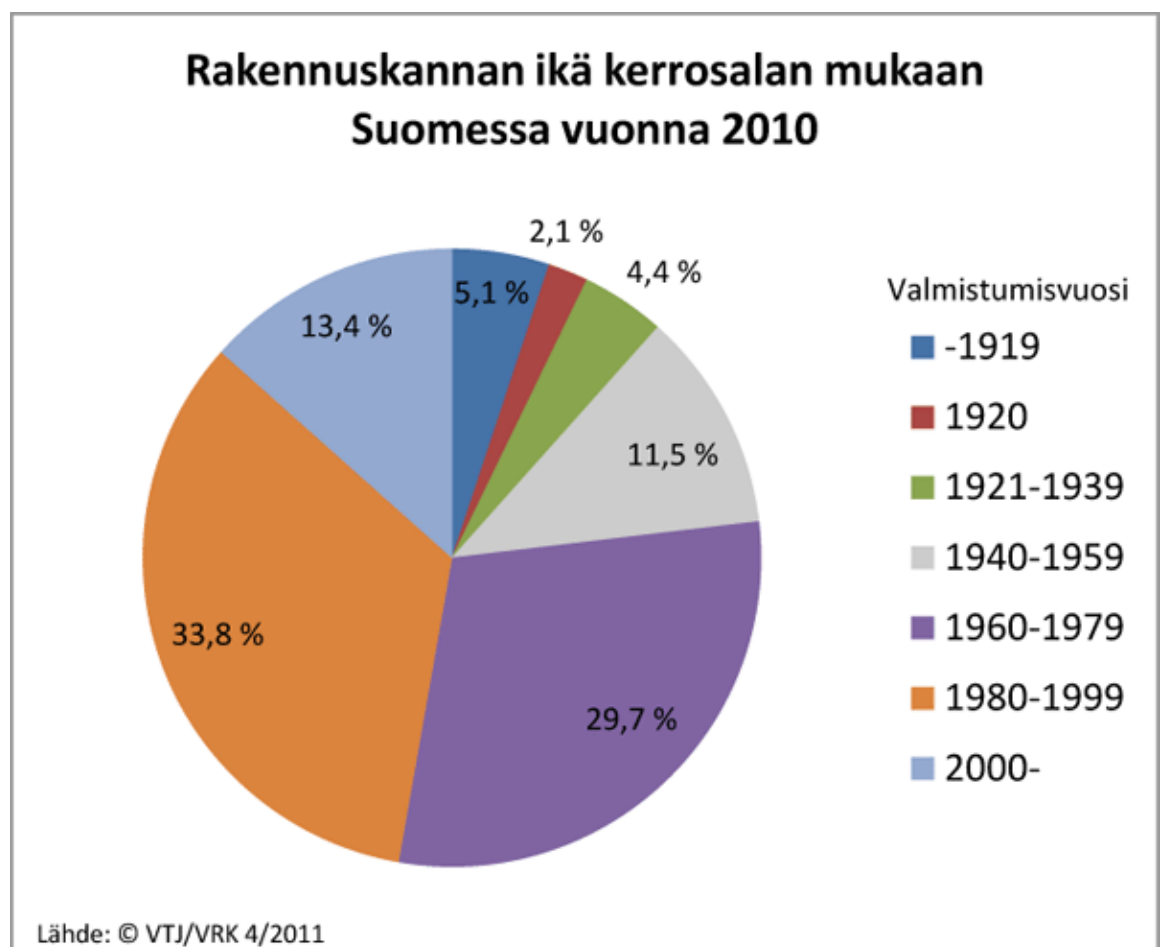
- kiinteistön energiatehokkuuden parantamisesta seuraava energiansäästö
- sisäilman laadun parantuminen hallitulla ilmanvaihdolla
- ”vedon” tunteen poistaminen ja tasaiset huonelämpötilat
- sisätilojen kosteusongelmien vähentäminen oikealla ilmanvaihdolla
- homeenmuodostumisen ja kosteustiivistymisen ehkäisy rakenteissa lämmöneristyksen vikojen etsimisellä ja korjauksella [4, s.66.]

Pelkkien kustannuksien varassa tehty/tekemättä jätetty investointipäätös ei siis välttämättä ole se oikea.

3.1 Kerrostalokiinteistöt Suomessa

Suurin osa suomalaisista kerrostalokiinteistöistä on rakennettu 1960- ja 1970-luvulla. Kajaanissa rakennetut kerrostalokiinteistöt ovat myös suurimmilta osin rakennettu tällä aikakaudella, joten nämä kiinteistöt ovat tai ovat lähestymässä peruskorjaustarvetta, kun ajatellaan rakennusosien käyttötekniistä elinkaarta. Ympäristöministeriön mukaan vuonna 2050 olemassa olevasta rakennuskannasta yli puolet on rakennettu ennen vuotta 2012. [5.]

Alla olevassa kuvassa on esitetty rakennuskannan ikä kerrosalan mukaan.



Kuva 1. Rakennuskannan ikä kerrosalan mukaan. [7.]

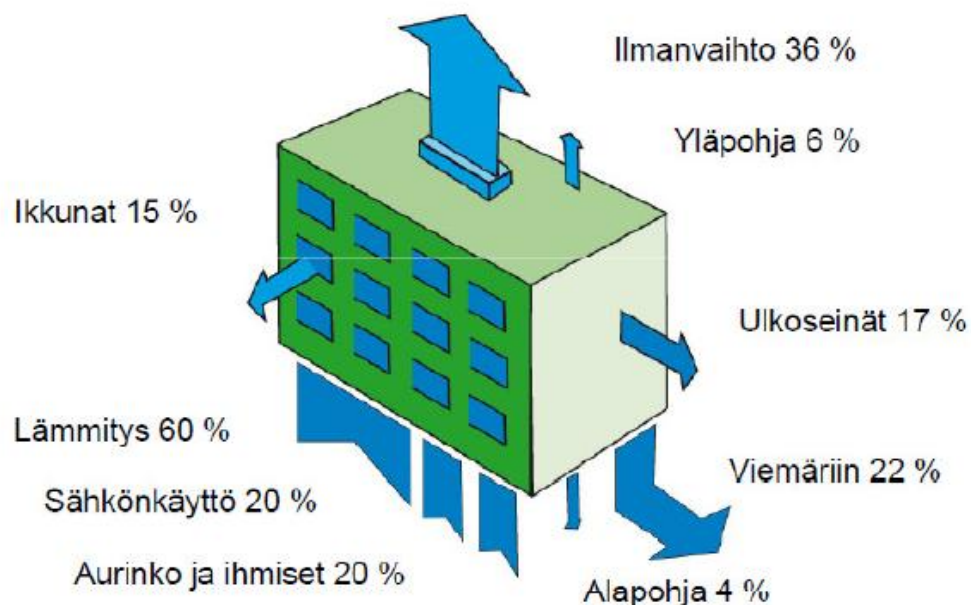
Tyypillistä näille kiinteistöille on painovoimainen tai koneellinen poistoilmanvaihto. Huoneesta poistettava ilma puhalletaan sellaisenaan ulos, ilman käsittelyä. Jos poistoilmanvaihto tapahtuu koneellisesti eikä kiinteistössä ole koneellista tuloilmaa, korvausilma tulee suoraan ulkoa korvausilmaventtiileiden kautta. Tämä tarkoittaa sitä, että

korvausilman mukana huoneilmaan tulevat myös ilmassa olevat epäpuhtaudet, kuten autojen pakokaasut jne.

Mikäli ikkunat ovat alkuperäiset, U-arvo vaatimus oli $3,14-2,1\text{W}/\text{Km}^2$, riippuen kiinteistön rakentamisen ajankohdasta. Nämä ikkunat ovat jo elinkaarensa lopussa, jolloin niiden kunnostaminen ei ole mielekäästä, vaan ikkunoiden- ja parvekeovien vaihto on ajankohtainen. Kiinteistön lämpöenergiasta n. 13 % menee hukkaan ikkunoiden kautta ulkoilmaan johtamalla, vaikka ikkunat olisivat nykymääräykset täyttävät. [8.]

1960-luvulla sekä 1970-luvun puoliväliin yleisin runkoratkaisu oli ns. kirjahyllyrunko. Kantavat väliseinät sekä välipohjat valettiin paikallaan suurmuotteja apuna käyttäen. Portaat, iv-kanavat, kevyet väliseinät sekä parvekkeet olivat useimmiten elementtirakenteisia. Yleisimmin julkisivut rakennettiin kokonaan betoni-sandwichelementeistä. 1970-luvun määräysten mukaisesti julkisivun U-arvo vaatimus oli $0,4\text{ W}/\text{Km}^2$. Ulkoseinästä läpijohtuva lämpöenergia on noin 13 % koko kiinteistön lämmitysenergian tarpeesta. [8.][9.]

Alla olevassa kuvassa on esitetty 1950–1970-luvulla rakennetun talon lämpöenergiatase, eli miten paljon energiaa menee hukkaan rakennusosittain.



Kuva 2. Rakennuksen lämpöenergiatase [10.]

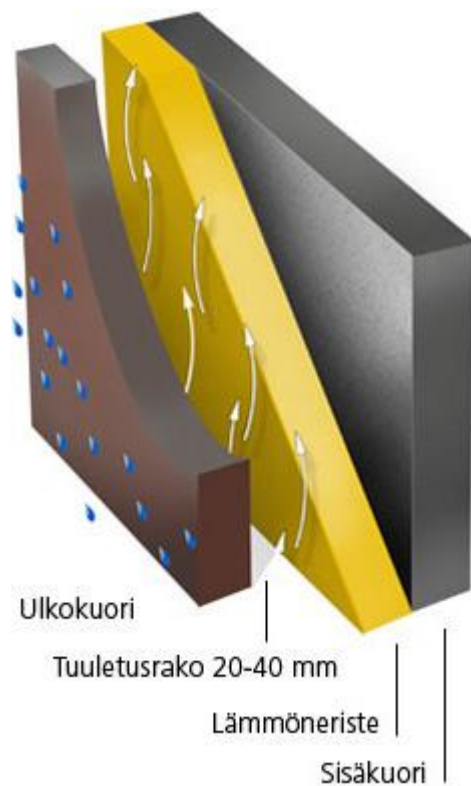
3.2 Sandwich-elementti

Sandwich-elementti on ollut vallitseva seinärakenne aina 60-luvulta lähtien. Sandwich-elementti koostuu betonisesta sisä- ja ulkokuoresta, joiden välissä on lämmöneriste. Ulkokuoren pinnoitteena on voitu käyttää betoni-, klinkkeri-, tai tiililaattaa. Ulkokuoren paksuus on ollut 40–50 mm, myöhemmin paksuus on kasvanut 60 mm:iin. Sandwich-elementin ulkokuori ei ole kantava rakenne, joten se on sidottu eristekerroksen läpi erilaisin ansain/kiinnikkein kantavaan sisäkuoreen. Yleisin käytetty kiinnitystapa on ns. sideansaskiinnitys. Muita käytettyjä tapoja ovat ruostumattoman taivutetun teräksen käyttö, betonisuojatun teräsprofiilin käyttö sekä betonisuojatun harjatangon käyttö, viimeksi mainitut ovat kuitenkin vähemmän käytettyjä. [11.]

Eristepaksuus on vaihdellut eri aikakausina 70 mm:stä aina 140 mm:iin. Eriste on useimmiten mineraalivillaa. Eristepaksuus voi kuitenkin vaihdella paljon jo pelkästään yhden elementin kohdalla. Eristetilassa ei ole tyypillisesti tuuletusta, joten rakenteeseen päässyt kosteus haihtuu huonosti. Käytännössä ainut kuivumissuunta on ulospäin elementin ulkopinnan läpi. Elementtien alakulmiin asennetut tuuletusputket eivät pysty poistamaan eristetilaaan kertynyttä vettä/kosteutta. Optimaalisissa olosuhteissa tämä voi aiheuttaa mahdollisuuden mikrobikasvustolle rakenteen sisällä. [11.]

Sandwich-elementin ulkokuoren raudoitus on usein verkkoraudoitus ja sen lisäksi elementin reunoilla ja ikkunoiden pielissä on käytetty pieliraudoitusta. Raudoitus on usein ollut ruostuvaa teräslautaa, mistä johtuen erilaiset ruostumisesta johtuvat vauriot ovat tyypillisiä tämän kaltaisille elementeille. [11.]

Alla olevassa kuvassa on esitetty Joutsenon Elementti Oy:n tuulettuvan sandwich-elementin perusrakenne.



Kuva 3. Tuulettuva sandwich elementti [12.]

3.3 Julkisivun lisälämmöneristys

Lähtökohtaisesti energiatehokkuuden parantaminen julkisivun lämmöneristävyttä parantamalla on niin kallis toimenpide, ettei siihen kannata ryhtyä ilman, että julkisivu on muuten peruskorjauksen tarpeessa. Mikäli korjaustarve on olemassa, ulkopuolinen lisäeristäminen on yleensä taloudellista ja rakennusteknisesti helppo toteuttaa.

Korjaustarve tulee aina todeta ennen toimenpiteen suunnittelun aloittamista! Ulkoseinän kuntotutkimus on ehdoton toimenpide ennen korjaustyön aloitusta, sillä korjaussuunnittelu perustuu ainoastaan kuntotutkimuksesta saatavien tietojen varaan. Sen avulla saavutetaan ulkoseinärakenteen korjauksen suunnittelun alkutiedot. Näin voidaan selvittää korjauksen laajuuden tarve ja vaadittavat toimenpiteet. [6, s. 208–212.]

Käytännössä julkisivun lisälämmöneristäminen pysäyttää alle jäävän rakenteen vaurioitumisen, koska sadevesi ei pääse vanhaan rakenteeseen. Kosteusrasituksen vähentymisen myötä myös terästen ruostuminen eli korroosio vähenee. Kuivumisen seurauksena myös pakkasrapautuminen loppuu. Tähän vaikuttaa myös rakenteen lämpötilan nousu, jolloin vanha rakenne ei jäädy. Lisäeristäminen vaikuttaa rakenteen toimintaan siten, että vanhan rakenteen kosteusrasite pienentyy ja lämpötila vanhan rakenteen sisällä nousee. [13.] [6, s. 213.]

Uuden rakenteen tulee olla sellainen, että sadevesi ei pääse vanhaan rakenteeseen. Kosteusrasituksen vähentymisen myötä myös terästen ruostuminen eli korroosio vähenee. Kuivumisen seurauksena myös pakkasrapautuminen loppuu. Tähän vaikuttaa myös rakenteen lämpötilan nousu, jolloin vanha rakenne ei jäädy. [13.] [6, s. 208–212.]

Julkisivun lisälämmöneristys vaikuttaa myös korjattavan kiinteistön ulkonäköön, jolloin tulee ottaa huomioon mm. paikkakuntakohtaiset arkkitehtimääräykset. Muutoksia tapahtuu muun muassa ikkunoissa, sillä lisälämmöneriste lisää rakenteen paksuutta, jolloin ikkunat jäävät rakenteen sisään, ellei niitä vaihdeta korjauksen yhteydessä. [6, s.206.]

Lisälämmöneristys aiheuttaa myös suunnittelupaineita muihin kiinteistöön tehtäviin toimenpiteisiin. Esimerkiksi ikkuna- räystäs- ja nurkkadetaljeihin on kiinnitettävä huomiota. Ikkunadetaljeja mietittäessä on huomioitava, että ikkuna jää rakenteen sisään, jolloin vedenohjaus tulee toteuttaa asianmukaisesti. Lisäksi lisälämmöneristyksen myötä rakennuksen ilmanvaihdon toimivuus on varmistettava, kuten myös lämmitysjärjestelmän säädöt on uusittava. Ikkunoiden kohdalla myös ns. ikkunanpielilämpökatkot on tehtävä oikein, jotta korjaus olisi kannattava. Sillä ilman ikkunanpielilämpökatkoja voidaan saavutetusta energiansäästöhyödystä menettää jopa 50 %. [13.]

Myös rakenteen rakennusfysikaaliseen toimintaan tulee kiinnittää huomiota. Lisälämmöneristyksestä johtuen rakenteen kosteustekniset ominaisuudet muuttuvat. Muun muassa rakenteen jäätymis-sulamissykliä määrä kasvaa sekä kylmiensiltojen aiheuttama lämpöhäviön merkitys korostuu. [13.]

Suunnitteluvaiheessa tulee ottaa huomioon myös se, että uusi julkisivu ja käytettävät eristeet eivät muodosta liian vesihöyrytiivitä rakenteita verrattuna alkuperäiseen rakenteeseen. Tällöin vaarana on kastepisteen syntyminen vanhan seinän ja uuden eristeen rajapintaan tai vaihtoehtoisesti uuden julkisivupintamateriaalin taakse. [14.]

3.3.1 Ulkopuolinen lisälämmöneristys

Vaurioituneen julkisivun korjaus voidaan toteuttaa neljällä erilaisella menetelmällä. Näissä kaikissa vanhan rakenteen päälle tulee lämmöneristys sekä uusi julkisivupinnoite. Niin sanottu verhokorjaus lisää olemassa olevan rakenteen painoa, joten ennen toimenpiteeseen ryhtymistä on varmistettava vanhan rakenteen kantavuus ja että vanhaan ulkokuoreen kestää kiinnittää uusi eriste + verhous turvallisesti. [13.]

- 1) levyverhous
- 2) eristerappaus
- 3) kuorielementti
- 4) muuraus

Ulkokuoren lisäksi kiinnitys on yksinkertaisinta hoitaa läpipulttauksella. Läpipulttauksella tarkoitetaan toimenpidettä, jossa vanha ulkokuori sidotaan pulttaamalla kantavaan rakenteeseen. Tämä on suhteellisen yleinen käytäntö, jotta vanhan rakenteen ulkokuori saadaan vahvistettua.

Verhouskorjaukset voidaan tehdä joko tuulettuvina tai tuulettumattomina rakenteina. Molemmat rakennetyypit on todettu toimiviksi laboratorio- sekä käytännönolosuhteissa. Ulkonevien räystäiden teko on suositeltavaa molempien rakenteiden toimivuuden turvaamiseksi. [13.]

Tuulettuvat rakenteet

Tuulettuvia rakenteita ovat levyverhous, sekä kuorielementein ja muuraten tehtävät verhokorjaukset. Tuulettuvan rakenteen etuna on se, että tuuletus ja tätä kautta myös rakenteellinen kosteudenhallinta on helppoa. Kosteusteknisen toimivuuden kannalta tärkein seikka on hoitaa erilaiset sauma- ja liitoskohdat asianmukaisin menetelmin. Näiden puutteellisuuden takia vesi pääsee helpommin rakenteeseen. [13.] [6, s. 208–212.]

Tuulettumattomat rakenteet

Tuulettumattoman rakenteen lähtökohtana on, että uusi rakenne on saumaton ja tiivis, lukuunottamatta mahdollisia liikuntasauvoja, jotka täytyy myös toteuttaa siten, että ne ovat vesitiiviitä, tällöin vesivuodot rakenteeseen saadaan eliminoitua. Mikäli lisälämmöneristeen pintaan pääsee tai joutuu kosteutta, kuivuminen tapahtuu ulospäin pintamateriaalin kautta haihtumalla. Materiaalien kannalta on tärkeää, että käytetään materiaaleja jotka ovat vesihöyryläpäisevyydeltään riittäviä. On myös varmistettava, että rappauskerrosten kutistuminen ja kosteus- lämpöliikkeitä eivät aiheuta rappauspintaan rakenteelle haitallisia halkeamia, joita myöden vesi pääsee rakenteeseen. [13.] [6, s. 208–212.]

Menetelmät

Tässä työssä perehdytään tarkemmin eristerappaus- ja levyverhoustatkaisuihin. Eristerappaus on tuulettumaton rakenne, kun taas levyverhouksella saadaan rakenteeseen myös tuuletusväli, jolloin rakenne on tuulettuva.

Eristerappaus

Eristerappaus soveltuu hyvin myös hieman pahemmin vaurioituneen rakenteen verhouksenmenetelmäksi. Eristerappauksessa vanhan rakenteen päälle asennettava uusi lämmöneriste toimii rappausalustana. Toimenpide voidaan suorittaa joko kolmikerrosrappauksena tai ohutrappauksella. Molempien toimenpiteiden tuloksena on uusi, tasainen ja saumaton julkisivupinta. [13.] [6, s. 212–213.]

Eristerappaus on tuulettumaton rakenne. Tämän vuoksi rappaukseen tehtävien kerroksien tulisi olla rakenteeltaan sellaisia, että rakenteessa oleva, mahdollinen rakennusaikainen kosteus pääsee kuivumaan ulospäin vaurioittamatta rakennetta. [13.] [6, s. 212–213.]

Eristerappaus voidaan jakaa kahteen menetelmään: kolmikerros- ja ohutrappaukseen.

Kolmikerrosrappauksessa rakenne koostuu nimensä mukaan kolmesta eri pinnasta, pohjarappaus, täyttörappaus ja pintarappaus. Menetelmä kasvattaa rakenteen painoa jonkun verran, joten on syytä varmistaa vanhan rakenteen kantavuus ennen toimenpiteeseen alkamista. Lisälämmöneristeen pintaan asennetaan teräsverkko, joka sidotaan rakenteeseen

kiinni lämmöneristekerroksen läpi menevin kiinnikkein vanhaan ulkokuoreen. Johtuen materiaalien ominaisuuksista, rappausmenetelmät eivät ole hyviä ratkaisuja raskaasti rasiitettuihin rakenteisiin, kuten meriveden läheisyys. [13.]

Kolmikerrosrappauksen uloin rappauskerros voidaan pinnoittaa käyttäen erilaisia menetelmiä, kuten rappauspinnan hiertäminen värikyllästäminen. Tällöin saadaan aikaan hyvinkin erilaisia ulkonäöllisiä ratkaisuja. [13.]

Ohutrappaus

Ohutrappauksessa on kolmikerrosrappauksesta poiketen ainoastaan kaksi rappauskerrosta. Alemmaan kerrokseen on lisätty lasikuituverkko, tämä voi olla myös teräsvahvistettu. Lämmöneristeet kiinnitetään vanhan rakenteen ulkokuoreen liimalaastilla ja kiinnitys varmistetaan mekaanisin kiinnikkein ennen pohjarappausa. [13.]

Kun pohjarappaus on asennettuna, kiinnitetään siihen rappausverkko, tämän kiinnityksen varmistamiseksi on hyvä käyttää mekaanisia kiinnikkeitä rakenteen yläosissa sekä aukkojen pielissä. Kuten kolmikerrosrappauksessa, rapattu pinta voidaan myös pinnoittaa. [13.]

Ohutrappaus soveltuu käytettäväksi suhteellisen vaurioituneissa rakenteissa. Mutta mikäli vauriot ovat laajoja, tulee varmistua rakenteen kantokyvystä, sillä lämmöneristeiden ensisijainen kiinnitystapa on liimaaminen vanhan rakenteen päälle. [13.]

Levytysratkaisu

Levytysverhouskorjauksen peruslähtökohta on, että levyillä luodaan uusi julkisivu vaurioituneen, vanhan julkisivun päälle. Hyvin moninaisista levyvaihtoehdoista johtuen, julkisivun ulkonäön muuttaminen on hyvin helppoa. Tällöin kuitenkin tulee ottaa huomioon paikalliset määräykset ja vaatimukset.

Levyverhous soveltuu käytettäväksi myös suhteellisen pahastikin vaurioituneelle julkisivulle. Menetelmä voi verhouslevystä riippuen kasvattaa rakenteen painoa merkittävästi, jolloin tulee varmistua rakenteen kantavuudesta. [13.][6, s.213–214.]

Levyt kiinnitetään vanhaan rakenteeseen erityisillä rankaratkaisuilla. Nämä voidaan toteuttaa joko puu- tai metallirankana tai näiden yhdistelminä, mutta suunnittelussa tulee ottaa

huomioon, kuinka materiaalit soveltuvat yhdessä käytettäväksi. Yleisesti ranka toteutetaan ristiinkoolauksella, tällöin varmistetaan rakenteen tuulettuminen. [13.]

Puinen rankarakenne soveltuu erinomaisesti rakenteisiin, kun päälle tulee selkeästi levymäinen rakenne ruuvein kiinnitettynä. Puurangalle asettaa omat haasteensa rakenteeseen pääsevä kosteus sekä palomääräykset. [13.]

Kosteus tulee eristää rakenteesta varmistamalla kiinnikkeiden kosteussuojaus, sillä ruuvien reikien kastumisesta voi seurata puurangan lahoaminen. Levyn asennuksen yhteydessä on myös varmistettava, ettei vesi pysty nousemaan kapillaarisesti levyn ja puun väliin jäävässä raossa. Tällöin rakenteen kuivuminen on erittäin hidasta johtuen jatkuvasta kapillaarisesta vedestä. [13.]

Uusi levytysverhous voidaan hoitaa esimerkiksi ruuvein, liimaamalla, niittikiinnityksin jne. Tämän seurauksena myös ranka tulee suunnitella toimivaksi kiinnitysmenetelmällä. Levyverhousmenetelmälle ei ole olemassa tiettyä tai yleistä tuotehyväksyntämenettelyä vaan ainoastaan joillekin yksittäisille levytyypeille on määritelty yleiset tuotevaatimukset. [13.]

Kustannukset

Asuinrakennusten korjaus-, energia- ja terveyshaitta-avustuksiin varattiin vuoden 2013 valtion talousarviosta 50,5 miljoonaa euroa.

Energia-avustusta myönnetään pääsääntöisesti asuinrakennuksien, joissa on kolme tai useampia asuntoja, korjaamiseen. Mikäli kiinteistön omistaja on kuntayhtymä, kunta tai jokin muu yhteisö, kuten asunto-osakeyhtiö, tällöin tuen piiriin kuuluvat myös 1-2 asuntoiset kiinteistöt. Tällöin vastuun avustettavien toimenpiteiden tekemisestä on kuuluttava omistajayhteisölle. [15]

Taloyhtiön energia-avustusta voidaan myöntää ainoastaan korjaus-, energia- ja terveyshaitta-avustusasetuksessa (128/2006) mainituille toimenpiteille: [15.]

- *ulkoseinien lisäeristäminen ulkopuolelta*
- *yläpohjan lisäeristäminen*
- *ilmanvaihdon ja lämmitysjärjestelmän perussäätöön edellä mainittujen toimenpiteiden yhteydessä*

- *ilmanvaihdon lämmöntalteenoton rakentamiseen*
- *kauko- tai aluelämmityksen liittymiseen*
- *energiakatselmuksen*
- *ikkunoiden parantamiseen tai uusimiseen*
- *parvekeovien parantamiseen tai uusimiseen edellä mainittujen toimenpiteiden yhteydessä*

Korjausavustukset ovat harkinnan varaisia. Avustukset myöntää osittain kunta ja osittain ARA (asumisen rahoitus ja kehittämiskeskus). ARA antaa ohjeet avustusten hakemisesta, myöntämisestä ja maksamisesta, sekä valvoo järjestelmän toimintaa kunnissa. Kunnat puolestaan ilmoittavat hakuajan päätyttyä ARA:lle määrärahatarpeensa myöntämiinsä avustuksiin, minkä jälkeen ARA osoittaa määrärahaosuudet kunnille. [15.]

Toimenpiteen kustannukset

Alla olevassa taulukossa on esitetty hinnat toimenpiteittäin. Hinnat ovat **keskimääräisiä** ja **laskennallisia**. Ensimmäisessä sarakkeessa on esitetty urakoitsijahinta ilman alv. Hinta sisältää kaikki urakoitsijalle työstä aiheutuvat työmaatekniikan kustannukset, välittömät kustannukset ja kohtuullisen katteen. [16.]

Toisessa sarakkeessa on tilaajalle rakennuttamisesta aiheutuva hinta alv. 0 %. Kustannukset aiheutuvat mm. seuraavista toimenpiteistä:

- työmaavalvonta
- suunnittelukustannukset
- kuntoarviot ja kuntotutkimukset
- rahoituksen hankkimisesta aiheutuvat kustannukset
- muut hankkeen aiheuttamat kustannukset

Viimeisessä sarakkeessa tarkastellaan energiakorjauksen osuutta kokonaisurakkahinnasta prosenttiyksikköä. Tämä tarkoittaa sitä, kuinka suuri osa toimenpiteen kustannuksista aiheutuu varsinaisesta energiatehokkuuden parantamisesta, esimerkkinä: Kuinka suuri osuus urakkahinnasta on ulkoseinän lämmöneristyspaksuuden lisäämisellä. Eli luvussa ei oteta huomioon esimerkiksi mahdollisia purusta aiheutuvia kustannuksia. [16.]

Koska annetut kustannukset ovat vuoden 2011 hintatasossa, urakoitsijahintoihin tulee lisätä indeksikorotus. Korotuksen arvo saadaan Suomen tilastokeskuksen ylläpitämästä rakennuskustannusindeksistä. Indeksikorotuksella saadaan vuonna 2011 lasketut hinnat korotettua vastaamaan nykypäivän hintatasoa. Esimerkkinä: Rakennuskustannusindeksi vuonna 2011 on ollut 129,8. Tammikuun 2014 rakennuskustannusindeksi oli 137,1. Tämä tarkoittaa sitä, että kustannuksiin tulee lisätä $\frac{137.1}{129.8} = 1,056$, eli 5,6 prosenttiyksikköä.

Kartoitettaessa peruskorjausten elinkaarikustannuksia, olipa kyse sitten ikkunoiden vaihdosta tai julkisivun peruskorjauksesta, on hyvä tehdä niin sanottuja herkkyystarkasteluita. Näissä tarkasteluissa huomioidaan eri epävarmuustekijöiden vaikutukset elinkaarikustannuksissa. Epävarmuustekijöitä ovat muun muassa: [17.]

- energian hinta (herkkyyyslaskelmissa käytetään hintoja 0,1 €/kWh, 0,2 €/kWh ja 0,3 €/kWh, näin voidaan huomioida ennakkoon energian hinnassa tapahtuvat mahdolliset muutokset.)
- investoinnin pitoaika (investoinnille määritelty pitoaika; rakennusteknisissä korjauksissa pitoaika on yleensä 40–60 vuotta, kuitenkin siten, että jakso on sellainen että se ei ylitä ajanjaksoa, jolloin rakennusta ei kannata pitää kunnossa.)
- kunnossapitajakset ja niiden pituudet (kunnossapitajaksoilla tarkoitetaan rakenteen ylläpidosta aiheutuvia kustannuksia, kuten rakenteen pesu, maalaus, tiivisteiden uusiminen jne.)
- korkotasot (hankkeeseen ryhtyvän investoinnille laskema tuotto)

Tarkemmat esimerkkilaskelmat on laskettu yksityiskohtaisesti kohdassa 4.1.3, jossa lasketaan kerrostalokiinteistöön tehtävän ikkuna- ja parvekeovien vaihdon kustannukset, herkkyystarkastelut sekä takaisinmaksuaika koko hankkeen osalta.

Alla esitetyt hinnat eivät huomioi alueen sen hetkistä suhdannetilannetta, joka vaikuttaa oleellisesti urakan hintaan. Lopulliset hankkeen kustannukset muodostuvat peruskorjausprojektin suunnittelun ja kilpailutuksen edetessä. [16.]

Taulukko 2: Kustannukset toimenpiteittäin. [16.]

	yksikkö	Urakkahinta, €/yks (alv 0%)	Rakennuttamisen hinta €/yks. (alv.0)	Energiakorjauksen osuus hinnasta %
Ulkopuolinen lisälämmöneristys 120mm + kolmikerrosrappaus	m ²	140-160	~14-16	32
Ulkopuolinen lisälämmöneristys 120mm + kasettiverhous	m ²	165-190	~16-20	16
Ulkopuolinen lisälämmöneristys 120mm+ kuiturappaus	m ²	120-140	~12-14	22

Hyödyt

Päälle tehtävällä julkisivun lisälämmöneristämällä saavutetaan useita hyötyjä. Investointikustannukset suhteessa purkavaan menetelmään ovat huomattavan paljon pienemmät. Päälle tehtävällä lisälämmöneristeellä voidaan pienentää lämmitysenergian kulutusta kahdesta viiteen prosenttiin, [18, s. 59.] alkuperäisestä rakenteesta ja lisätystä lisälämmöneristeen määrästä riippuen.

Päälle tehtävän verhousratkaisun ansiosta, vanhan julkisivun vaurioituminen saadaan pysäytettyä. Vanhan rakenteen vaurioasteesta riippuen, päälle tehtävät korjaukset ovat hyvä vaihtoehto. Kuten kaikelle julkisivukorjaamiselle, perusteellinen julkisivun kuntotutkimus on tarpeen korjausasteen sekä suunnittelun lähtökohtien määrittämiselle. Mikäli sandwich-elementin eristetilaan on päässyt kasvamaan mikrobikasvustoa, voi tämä johtaa myöhemmässä vaiheessa sisäilman laadun merkittävään heikkenemiseen ja muihin altistumistiloihin. Mikäli tämän kaltainen tilanne syntyy, tehdyt toimenpiteet ovat olleet turhia. [13.][6, s. 210–218.]

Julkisivun peruskorjauksen jälkeen saadut edut voidaan myös menettää, mikäli kiinteistön lämmitysjärjestelmä ei ole ajanmukainen, millä tarkoitetaan esimerkiksi patteriventtiilien käsikäyttöisyyttä tai lattialämmityksen huonoja säätöominaisuuksia, jotka johtavat energian hukkaamiseen. Energiaa hukataan, koska kiinteistön vanha lämmitysjärjestelmä ei kykene reagoimaan vähentyneeseen kiinteistön lämmitystarpeeseen. Rakennuksen ilmatiiviyden parantumisen takia poistoilman määrää joudutaan usein kasvattamaan sisäilman laadun turvaamiseksi, joka voi johtaa jopa lisäeristyksestä saatavan energiansäästön hukkaamiseen ilmanvaihdon kautta. [18, s. 30–33.]

3.3.2 Vanhan rakenteen purku + uusi lisälämmöneriste ja kuorielementti

Kuten jo edellä mainittiin, ulkokuoren peruskorjaukseen ei usein ryhdytä energiategokkuuden parantamisen takia, koska hyöty on suhteessa kustannukset/hyöty hyvin alhainen. Tarpeen julkisivun korjaukselle luo julkisivun erilaiset vauriot. Näiden korjausten yhteydessä on usein kustannustehokasta lisätä rakenteeseen lämmöneristettä, joka suoraan vähentää kiinteistön energiankulutusta.

Menetelmä

Kun puhutaan vanhan rakenteen purusta ja uudesta lisälämmöneristeestä, tarkoitetaan sitä, että vanhasta betonisandwich-elementistä puretaan julkisivu kokonaisuudessaan ja poistetaan vanha eristekerros, jonka jälkeen kantavan rungon päälle asennetaan uusi lämmöneriste ja julkisivu suunnitelmien mukaan.

Vanhan rakenteen purkutarpeen voi aiheuttaa pitkälle aiheutuneet vauriomekanismit, kuten pakkasrapauma, eristetilan mikrobikasvusto tai ulkokuoren vakava vaurioituminen, jonka yhteydessä vanhan ulkokuoren kiinnityksestä ei voida olla varmoja. [13.]

Kuten päälle tehtävässä korjauksessa, korjaustarve ja sen lähtötiedot tulee määrittää perusteellisella julkisivun kuntotutkimuksella! Tällöin voidaan välttyä korjauksen yli- tai alimitoittamiselta. [6, s. 208–209.]

Purkavaan korjausmenetelmään voidaan myös päätyä esimerkiksi kiinteistöön luodun kiinteistöstrategian perusteella: uudella julkisivulla on hyvin pitkä käyttöikä. Mikäli kiinteistöä

on tarkoitus ylläpitää vielä uuden rakenteen käyttöiän ajan, on perusteltua miettiä korjaustapaa. Purkavan korjausmenetelmän ansiosta rakenteesta voidaan tehdä nykyisten lämmöneristysmääräyksien tasoinen. Korjausrakentamisen suunnittelun yhteydessä tulee kuitenkin muistaa ottaa yhteys paikallisiin lupaviranomaisiin mahdollisten määräysten varalta.

Uudet rakenteet ovat samankaltaisia kuin edellämainituissa päälle tehtävissä korjausverhouksissa, tosin myös erilaisten julkisivupintojen yhdisteleminen on periaatteessa mahdollista, kuten muuraus- ja rappauspintojen yhdisteleminen. Kun purkuvaihe on suoritettu, on rakentaminen verrattavissa uudisrakentamiseen. Purkuvaiheessa on kuitenkin huomioitava mahdolliset haitta-aineet, kuten asbesti ja erinäiset raskasmetalliyhdisteet. Tästä syystä on teettävä kuntotutkimuksen yhteydessä haitta-aineanalyysi purettavasta rakenteesta. [6, s. 215.]

Esimerkkinä purkavan korjaustavan julkisivun verhouksesta käytetään kuorielementtiä.

Kuorielementit ovat nimensä mukaisesti betonilevyelementtejä. Kuorielementit voidaan asentaa rakenteeseen kahdella tavalla: Perustuksiin tukemalla (ns. itsekantava kuorielementti) tai kannattamalla elementteittäin (ripustettu kuorielementti) vanhasta rakenteesta, eli sisäkuoresta. Kun elementit tuetaan perustuksiin, tulee myös muistaa elementtien vaakatuenta rakennuksen runkoon. Itsekantavaa kuorielementtiä tulisi aina käyttää ensisijaisena suunnitteluvaihtoehtona jo pelkästään kustannussyistä. [13.]

Mikäli raskaimmissa korjauksissa halutaan säilyttää vanhan rakenteen ”alkuperäinen” ilme, on kuorielementti käytännössä ainut vaihtoehto, sillä muut verhoustavat muuttavat julkisivun ilmettä enemmän tai vähemmän. Toisaalta kuorielementin pintakäsittelyn vaihtoehtoja on lähes rajattomasti, joten halutun pinnan saaminen ei ole ongelma. Pinnoitusvaihtoehtoja ovat muun muassa: [13.]

- sileävalupinta
- hierretyt, telatut tai töpötetyt pinnat
- happopestyt eli patinoidut pinnat

Kuorielementtejä käytettäessä tulee huomioida elementtien raskas paino. Mikäli suunnitteluratkaisuissa on päädytty ns. ripustettuihin kuorielementteihin, tämä edellyttää vanhalta rungolta hyvää kantokykyä sekä paksuutta, jotta käytettäville kiinnikkeille saadaan tarvittava ankkurointipituus ja kantokyky saadaan varmistettua. [13.]

Käytettäessä itsekantavia kuorielementtejä vaatii rakenne erillisen perustuksen, mikäli niitä ei voida tukea jo olemassa olevaan rakenteeseen, esimerkiksi vanhoihin sokkelirakenteisiin. Tällöin on varmistuttava maaperän kantavuudesta, jotta painumista ei esiinny. Mikäli maaperä ei ole riittävän kantava, on poissuljettava epäsovinnainen vaihtoehto. Itsekantava kuorielementti ei lisää merkittävästi vanhan rungon kuormitusta, poislukien elementtien vaakasidonnasta johtuvat voimat. [13.]

Kustannukset

Ulkokuoren purkava menetelmä on taloudellisesti hyvin raskas menetelmä, joten siihen ei ole syytä ryhtyä ilman painavaa syytä. Energiatehokkuuden parantaminen ei ole validi syy aloittaa raskasta julkisivun peruskorjausprojektia. Kustannusero päälle tehtäviin verhousratkaisuihin on verhousratkaisusta riippuen 80 €/m² aina 140 €/ m² asti. Suurimman yksittäisen hinnankasvun selittää siitä aiheutuvat purkukustannukset. [16.]

Koska rakennuksen ilmatiiveys ja muut rakennetekniset ominaisuudet muuttuvat ko. toimenpiteessä, tulee myös huomioida patteriverkoston- ja ilmanvaihdon säädöstä aiheutuvat kustannukset.

Lisäksi tulee ottaa huomioon valmiin rakenteen ylläpitokustannukset: tämän kaltaisia kustannuksia ovat muun muassa mahdolliset pintarakenteen pesu sekä muut vastaavat huoltotoimenpiteet. Alla olevassa taulukossa on esitetty purkavan korjaustavan kustannus.

Taulukko 3. Ulkokuoren, lämmöneristeen purkamisesta, lämmöneristeen ja kuorielementin asennuksesta aiheutuneet kustannukset. [16.]

	yksikkö	Urakkahinta, €/yks (alv 0%)	Rakennuttamisen hinta €/yks. (alv.0)	Energiakorjauksen osuus hinnasta %
Ulkokuoren purku ja vanhan lämmöneristykseen purku, uusi lämmöneristys 230 mm +kuorielementti	m ²	270-330	~22-27	13

Hyödyt

Puretun ulkokuoren ja eristeen päälle tehty rakenne on käytännössä uusi, jonka tekninen käyttöikä on ainakin 40 vuotta, mikäli rasitusolosuhteet ovat normaalit, eikä rakennusteknisiä virheitä ole tehty.

Vanhan eristeen poistamisen myötä kaikki mahdolliset mikrobivauriot saadaan poistettua, mutta tulee muistaa käsitellä myös vanha kantavan rakenteen ulkokuori, jotta vaurio saadaan katkaistua myös sen osalta. Tämä johtaa myös sisäilman laadun parantumiseen, koska haitalliset mikrobit eivät pääse sisäilmaan. Kuten edellä mainittiin, ko. toimenpide kasvattaa rakenteen tiiviyyttä, minkä seurauksena poistoilman vaihtoa joudutaan kasvattamaan sisäilmanlaadun turvaamiseksi, muuten koko toimenpiteen energiansäästö voi mennä hukkaan ilmanvaihdon myötä. [18]

Uuden lisälämmöneristyskerroksen myötä seinän U-arvo voidaan saattaa vertailuarvoja vastaavaksi, mikäli se on rakenteellisesti ja rakennusteknisesti mahdollista. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi 1970-luvun alussa rakennetun kiinteistön suunnitellusta U-arvosta 0,81 W/m²K, u-arvo voidaan nostaa aina arvoon 0,17 W/m²K saakka. Käytännössä vanhan rakenteen U-arvo tulee selvittää julkisivun kuntotutkimuksen kautta, mikäli rakenteesta ei ole olemassa tarkkoja rakennedetaljeja. [6, s. 206–215]

Takaisinmaksuaikaa laskettaessa on päätettävä miten laskelmat toteutetaan: lasketaanko takaisinmaksu ainoastaan energiakorjauksen osalta vaiko koko hankkeen osalta. Käytännössä osakkeenomistajat mieltävät, että takaisinmaksuaika on laskettava koko hankkeen kustannuksille, jolloin takaisinmaksuajat ovat hyvin pitkät.

Laskennallista lämpöenergiesäästöä seinän U-arvon parantamisen osalta voidaan tarkastella seuraavalla kaavalla:

$K = E * U_{erotus} * S_{17} * 24/1000 * \text{Seinän}_{p\text{-ala}}$, jossa E=energian hinta €/kWh (0,10) U= vanhan ja uuden rakenteen u-arvojen erotus, S_{17} = lämpöaste vuorokausien määrä vuodessa (Kajaanissa = 5315 kd/v) ja Seinä-ala tässä esimerkissä 1400 m²

Edellä mainitulla kaavalla laskien tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi Kajaanissa vuotuinen lämpöenergiesäästö laskennallisesti olisi noin 12000 €/vuosi.

Hankkeen takaisinmaksuaikaa ei voida laskea ainoastaan säästetyn energian osalta. Hankkeeseen ryhtyvän on otettava huomioon myös kiinteistön arvonnousu korjaustoimien osalta.

3.4 Ikkunoiden ja parvekeovien vaihto

Usein julkisivun peruskorjauksen yhteydessä on hyvä myös vaihtaa ikkunat ja parvekeovet, mikäli ne ovat teknisen käyttökänsä loppupäässä. Ikkunoiden ja parvekeovien vaihto yksittäisenä toimenpiteenä on myös yleisin energiatehokkuuden kasvattamisen menetelmistä. Vanhojen ikkunoiden U-arvo on usein ikkunamallista riippuen, arvosta 2,5 W/m²K aina reiluun 3 W/m²K. [6, s.216.]

Vaikka ikkunoiden pinta-ala suhteessa julkisivun pinta-alaan on yleensä noin 15–20 prosenttia, ikkunoiden kautta tapahtuva lämpöhäviö on samaa luokkaa, kuin julkisivun kautta häviävä lämpö. Syynä tähän on ikkunoiden verrattain huono U-arvo suhteessa julkisivuun. Toisaalta ikkunoiden kautta saadaan kiinteistöön merkittäväkin määrä auringon lämpösäteilyä, joka osaltaan pienentää kiinteistöön tarvittavaa ostoenergian määrää. [14.]

Energiakorjauksia suunniteltaessa on taloudellista käyttää ikkunoita, joiden U-arvot ovat alle 1 W/m²K. Ikkunoiden vaihtoa suunniteltaessa on myös kunnan rakennusviranomaisella mahdollisuus vaikuttaa siihen, minkälaiseen tasoon korjaushankkeessa on ikkunoiden osalta päädyttävä. [6, s. 216.]

Mikäli ikkunoiden U-arvo on alle $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, voi oikeanlaisissa olosuhteissa kondensoitua kosteutta ikkunan ulkopintaan, mikä on täysin normaali reaktio josta tulee käyttäjiä informoida. Tämä johtuu siitä, että uloimman lasin pintalämpötila alittaa ulkoilman kastepistelämpötilan, koska ikkunan ulkopinta säteilee ympäristöön enemmän lämpöä, kuin ympäristö lasiin. Tästä johtuen ikkunan ulkolasi jäähtyy ympäristöä kylmemmäksi, jolloin vesi tiivistyy ikkunan pintaan. Tätä reaktiota ei esiinny pienemmän U-arvon omaavissa ikkunoissa, koska rakennuksen sisältä tuleva lämpövuoto lämmittää ulointa ikkunaa, jolloin se kompensoi ulkoilman lämmittävää vaikutusta. [19][6, s. 216.]

Ikkunoiden ja karmien toiminnan varmistamiseksi on käytettävä paisuvia tiivistenauhoja, elastisia vaahtoja jne., jotta voidaan taata ikkunarakenteen ilmatiivis ja energiatehokas toiminta. Ikkunoiden ominaisuuksien vertailun avuksi on kehitetty ikkunoiden energialuokitus, ns. E-arvo, joka kertoo, kuinka paljon jokainen ikkunaneliometri kuluttaa energiaa vuodessa. Esimerkiksi E-arvo 150 kWh/m^2 tarkoittaa, että ikkuna kuluttaa energiaa 150 kWh/m^2 energiaa vuodessa. Toisaalta tämä luku on täysin laskennallinen, joten arvo voi olla todellisuudessa laskennallisesta E-arvosta poikkeava. [6, s. 216][19.]

Suurin yksittäinen ikkunoiden vauriomekanismin aiheuttaja on ulkopuolinen kosteus yhdessä ympäröivän lämpötilan kanssa. Tämä aiheuttaa lahovaurioita ikkunan karmirakenteisiin. Erityisesti ikkunan ulkopuitteen alakappale on hyvin herkkä lahovaurioille. Toinen, ikkunoiden ulkopuitteiden maalivaurioita aiheuttava tekijä on auringon uv-säteily. Kiinteistön etelä- ja länsipuolella olevat ikkunat ja niiden maalipinnat ovat erityisesti suuremman rasituksen alaisena, johtuen auringon lähettämän uv-säteilyn takia. [18, s.45–46.]

Kuten julkisivun peruskorjauksessa, on myös ikkunasaneerausta mietittäessä ja korjausvaihtoehtoja kartoittaessa ikkunoihin kohdistuva kuntokartoitus avainasemassa. Tällöin voidaan poissulkea liian kepeät ja toisaalta liian massiiviset korjaustoimet. Näin vältytään tilanteelta, jossa tehtävällä korjauksella ei ole käytännön merkitystä energiatehokkuuden kannalta. Esimerkkinä; Mikäli ikkunat ovat jo elinkaarensa päässä, mutta ilman asianmukaista kuntokartoitusta päätetään toteuttaa ainoastaan tiivisteiden vaihto ja karmien maalaus, menee tehtävä investointi hukkaan, sillä muutaman hetken päästä ikkunat on vaihdettava uusiin, jolloin aikaisemmin tehty ratkaisu on ainoastaan viivästyttänyt ns. oikean ratkaisun tekemistä. [6, s. 216.]

Ikkunat voidaan myös kunnostaa, mikäli niissä ei ole isoja vaurioita. Tämä vaatii kuitenkin aina ammattitaitoisen tekijän ja työ tapahtuu paikanpäällä. Tämä voi olla hyvin kallista ja aikaavievää, eikä varsinaista energiansäästöä tapahdu, mikäli ikkunalaseja ei vaihdeta. Ikkunoiden tekninen käyttöikä riippuen niiden ylläpidosta on 30–50 vuotta. Mikäli ikkunat ovat vanhat, kunnostaminen ei ole energiatehokkuuden parantamisen näkökulmasta kovinkaan mielekästä. [6, s.216][14.]

Mikäli ikkunoiden puitteet ovat kunnossa ja asianmukaiset, lisälasin asennus vanhan ikkunan ulkopintaan voi olla myös toimiva ratkaisu ja joskus jopa parempi, kuin uusien ikkunoiden asennus. Etulasin asentamisen myötä ikkunan U-arvo voi nousta arvosta 2,8 W/m²K arvoon 1,0 W/m²K, riippuen siitä, minkälaisella lasilla lisäasennus toteutetaan. [18, s.45–46.]

Alla olevassa taulukossa on esitetty, millä tavoin ikkunoille suoritettavat eri korjaustoimenpiteet vaikuttavat ikkunoiden ominaisuuksiin.

Taulukko 4. Ikkunoille suoritettavien erilaisten toimenpiteiden vaikutus ikkunan ominaisuuksiin.[14.]

Ominaisuus	Tiivisteiden uusinta	Ulkopuitteen lasitus-kittauksen uusinta	Maalaus-kunnostus	Vaurioituneiden osien vaihto	Etuikkunoiden asennus	Vaihtopuite	Eristyslasin asentaminen tai vaihtaminen	Lisälasi ja -puite	Ikkunoiden vaihto uusiin	Säleikaihtimien asennus
Lämmöneristävyys	+	0	0	0	++	+	+++	++	+++	+
Ääneneristävyys	+	0	0	0	++	++	++	++	+++	0
Ilmanpitävyys	++	0	0	0	+	+	0	0	+++	0
Sateenpitävyys	+	+	0	0	++	++	0	0	+++	0
Tuulenpaineenkestävyys	0	0	0	0	+	+	+	0	++	0
Pistekuormankestävyys	0	0	0	0	0	+	-	-	++	0
Kosteustekninen toimivuus	+	+	+	+	+	+	+	+	++	0
Valonläpäisy	0	0	0	0	-	0	-	-	+/-	0/--
Auringon lämpösäteilyn läpäisy	0	0	0	0	--	--	--	--	---	--
Avattavuus	0	+	+	+	+/-	+	+/-	+/-	++	-
Murronkestävyys	0	0	0	0	+	+	+	+	++	0
Henkilöturvallisuus	0	+	0	+	0	0	+	+	++	0
Ulkonäkö Käyttöikä	0	+	+	+	++	++	0	0	+++	+/-
Käyttöikä	+	++	++	++	+++	+++	+	+	+++	0
+ ominaisuus paranee vähän					- ominaisuus heikkenee vähän					
++ ominaisuus paranee kohtalaisesti					-- ominaisuus heikkenee kohtalaisesti					
+++ ominaisuus paranee paljon					--- ominaisuus heikkenee paljon					
0 ei vaikuta ominaisuuteen					+/- vaikutus riippu tuotevalinnasta					

Ikkunan vaihtoprojektin yhteydessä on suositeltavaa vaihtaa myös vanhat parvekeovet, riippuen siitä, missä vaiheessa elinkaarta ovet ovat. Energiatohokkuuden kannalta parvekeovien vaihto ei ole olennaista, sillä parvekeovien pinta-ala suhteessa muuhun rakennuksen vaippaan on hyvin pieni. Siitä johtuen keskimääräinen energiansäästö onkin vain korkeintaan muutamia prosentteja. [18, s. 48.]

Vaihtamalla sekä ikkunat että parvekeovet samanaikaisesti, osakkeen seuraavat korjaukset tulevat samanaikaisesti, eikä korjaus sykli kasva. Parvekeovien samanaikaisella vaihdolla saadaan aikaan merkittävä asumismukavuuden kasvu muun muassa vedon tunteen häviämisen myötä.

3.4.1 Kustannukset

Alla olevassa taulukossa on esitetty ikkunoiden vaihdosta ja vaihtoehtoisesti korjauksesta aiheutuvat kustannukset sekä parvekeovien vaihdosta aiheutuvat kustannukset. Kustannuksia voi nostaa esimerkiksi kaupunkialueella ns. kadunvaltauslupa ja siitä aiheutuvat kustannukset. Kadunvaltauslupa tulee kyseeseen esimerkiksi silloin, kun rakennuspaikalla ei ole tarvittavaa tilaa, eikä toimenpiteitä voida suorittaa turvallisesti ilman lisätilaa.

Taulukko 5. Ikkunoiden korjaus- ja vaihtokustannukset [16.]

	Yks	Urakkahinta, €/yks (alv=0 %)	Rakennuttaminen €/yks (alv. 0 %)	Energiakorjauksen osuus hinnasta %
Puuikkunan tiivisteiden uusiminen ja maalaukorjaus (sisä- ja ulkopinnat)	m ²	110–130	10–13	0
Puuikkunan uusiminen (u-arvo 1,0)	m ²	440-470	5 % urakkahinnasta	Arvioidaan tapauskohtaisesti
Parvekeoven uusiminen (u-arvo 1,0)	m ²	800–1000	5 % urakkahinnasta	Arvioidaan tapauskohtaisesti

3.4.2 Hyödyt ja säästöt

Ikkuna- ja parvekeovien vaihdolla saavutetaan merkittävä energiansäästö. Energiankulutus voi vähentyä jopa 16 % verrattuna alkuperäisiin ikkunoihin, mutta keskimääräinen energiankulutuksen säästö on noin 5 %. Tämä johtuu uusien ikkunoiden merkittävästä U-arvon paranemisesta, ikkunoiden kautta tulevan ylimääräisen vuotoilman vähenemisestä sekä ikkunanvaihtojen yhteydessä tehdystä lämmityksen säädöstä. [18, s. 45–47.]

Toisaalta energiankulutus voi nousta lisääntyneen tuuletuksen takia. Ikkunoiden energiatehokkuuden parantumisen myötä usein kiinteistön sisälämpötilat nousevat, jolloin tuuletuksen tarve nousee. Tämän takia ikkunaremonttien yhteydessä lämmityksen säätötoimenpiteet ovat välttämättömät. [18, s. 46]

Muita saavutettavia hyötyjä ovat vedon tunteen väheneminen, sekä sisäilman laadun parantuminen, mikäli kiinteistössä on koneellinen poisto, jolloin korvausilma tulee ikkunoiden korvausilmaventtiileiden kautta. Myös ikkunoiden ja parvekeovien vaihto nostaa kiinteistön arvoa, joka osaltaan vaikuttaa mahdolliseen investointipäätökseen.

3.5 IV-saneeraus ja LTO

1970-luvun kerrostalossa yksittäinen suurin lämpöenergian hukkaaja on ilmanvaihto. Ilmanvaihdon kautta kuluu lämpöenergiaa hukkaan laitteistosta riippuen jopa kolmasosa kiinteistössä käytetystä lämmitysenergiasta. Määräysten mukaan ilmanvaihto tulisi mitoittaa suurimman tarpeen mukaan, mutta käyttö tapahtuisi kuitenkin todellisen tarpeen mukaan. Käytännössä tämä vaatii ominaisuuksia muunnella ilmanvaihdon toiminta-aikoja sekä ilmavirtoja. Teoriassa tulo- ja poistoilmanvaihdon lämmitysenergian kulutusta voidaan pienentää jopa 25 %, tämä tosin vaatii kuitenkin poistoilman lämmöntalteenoton rakentamista sekä rakenteiden tiivyyden parantamista. [18, s. 36–41.] [20, s. 17–27.]

Alla olevassa taulukossa on esitetty käytetty ilmanvaihtojärjestelmä eri aikakausien taloissa, jotka ovat tällä hetkellä peruskorjaustarpeen alaisina:

Taulukko 6. Käytetty ilmanvaihtojärjestelmä eri aikakausien kiinteistöissä [14.]

Rakentamisvuosi	Ilmanvaihtojärjestelmä, %:a rakennustilavuudesta		
	Painovoimainen poisto	Koneellinen poisto	Koneellinen sisäänpuhallus ja poisto
-1939	80	20	-
1940-1959	80	20	-
1960-1969	29	71	-
1970-1979	6	91	3

Taulukosta käy ilmi, että suurin osa 1960-1970 luvuilla rakennetuista kiinteistöistä on koneellisen poistoilmanvaihdon piirissä.

Tämä tarkoittaa sitä, että ainoat järkevät ratkaisumallit iv-saneerauksen osalta ovat huoneistokohtainen tai keskitetty ilmanvaihtojärjestelmä. [6.][18, s. 37–41.]

Käytännössä energiatehokkuuden lisääminen ilmanvaihtojärjestelmää parantamalla tarkoittaa siirtymistä koneelliseen ja lämmöntalteenotolla varustettuun tulo- ja poistoilmanvaihtoon, sillä se on energiansäästön kannalta tehokkain toimenpide. Vertaillen huoneistokohtaista ja keskitettyä ilmanvaihtojärjestelmää, huoneistokohtainen tulo- ja poistoilmanvaihto lämmöntalteenotolla on helpompi toteuttaa käytännössä ja on kustannuksiltaan edullisempi, kuin keskitetty järjestelmä.[6].[20, s. 22–25.]

Suurimmassa osassa 1970-luvulla rakennetuissa kiinteistöissä on koneellinen yhteiskanavapoisto, ja tämä antaaakin hyvät mahdollisuudet vaiheittaiselle ilmanvaihdon tason nostamiselle. Tämän ajan ilmanvaihtojärjestelmän tyypillisiä ominaisuuksia ovat: [6, s.226]

- kertosäädettävät poistoilmaventtiilit
- peltikanavat
- ei korvausilmaventtiileitä saunoja lukuun ottamatta
- ei siirtoilmareittejä
- mahdolliset liesikuvut

Käytännössä kuitenkin on huomioitava, että kaikki kiinteistöt on rakennettu omien suunnitelmien mukaan, joten yhtä oikeaa vaihtoehtoa ilmanvaihdon tehostamiselle ei ole, vaan toimenpiteet tulee suunnitella käyttäen ammattitaitoisia LVI-suunnittelijoita, jolloin voidaan varmistua suunnitelmien oikeellisuudesta ja toimivuudesta. Suunnitelmien myötä tarkentuvat myös yksilölliset kustannukset. Mikäli hanke toteutetaan linjasaneerauksen yhteydessä, voidaan kustannuksissa säästää 20–40 %, verrattuna jos hanke toteutettaisiin erillishankkeena. [18, s. 36–37.]

Suomessa vanhoihin kiinteistöihin on tehty ilmanvaihtoon kohdistuvia korjaustoimia suhteessa hyvin vähän. Syynä tähän on erityisesti toimenpiteiden hyvin kallis toteutus, sekä epävarmuus toteutuvista säästöistä. Laskennallisesti säästöt ovat noin 10–15 % luokkaa, mutta kun säästöistä poistetaan syntyvät ylläpitokustannukset sekä huoltokustannukset, todellinen säästö ei ole kovin suuri. [18, s. 39.]

Perinteisin iv-kanavistoon ja ilmanvaihdon toimivuuteen vaikuttava tekijä on iv-kanaviston nuohous sekä ilmamäärien mittaus ja säätö. Tämä ei kuitenkaan vaikuta kiinteistön

energiankulutukseen vaan päinvastoin; usein ilmamääriä joudutaan nostamaan, joten se vaikuttaa energiankulutukseen kasvavasti, toisaalta tällä on vaikutus kiinteistön sisäilmaston parantumisen myötä. [18, s. 38.][20, s. 33.]

3.6 Maalämpö

Maalämpö on kokoajan kasvava trendi ja hyvin varteenotettava vaihtoehto lämmitysmuotoa valittaessa tai vaihtaessa. Maalämmön asentaminen kaukolämmön piirissä oleviin kiinteistöihin ei ole kustannuksien ja niiden peittämisen kannalta mielekäästä. Suurin hyöty maalämmöstä ja sen tuottamasta säästöstä saadaan, kun se asennetaan kiinteistöön, jossa on vesikiertoinen öljy- tai sähkölämmitys. Tässä työssä keskitytään maalämmön tuottamaan laskennalliseen säästöön, sillä kustannuksien arviointi vaatisi tarkat suunnitelmat tehtävästä työstä.

Jotta taloyhtiö voi siirtyä maalämpöön, tulee sen hakea maankäyttö- ja rakennuslain mukainen toimenpidelupa. Kuten muussakin kiinteistöön kohdistuvassa peruskorjauksessa, on kunnan rakennusviranomaisen laatinut ohjeet siitä, minkä luvan tehtävä toimenpide vaatii. [21.] 22.]

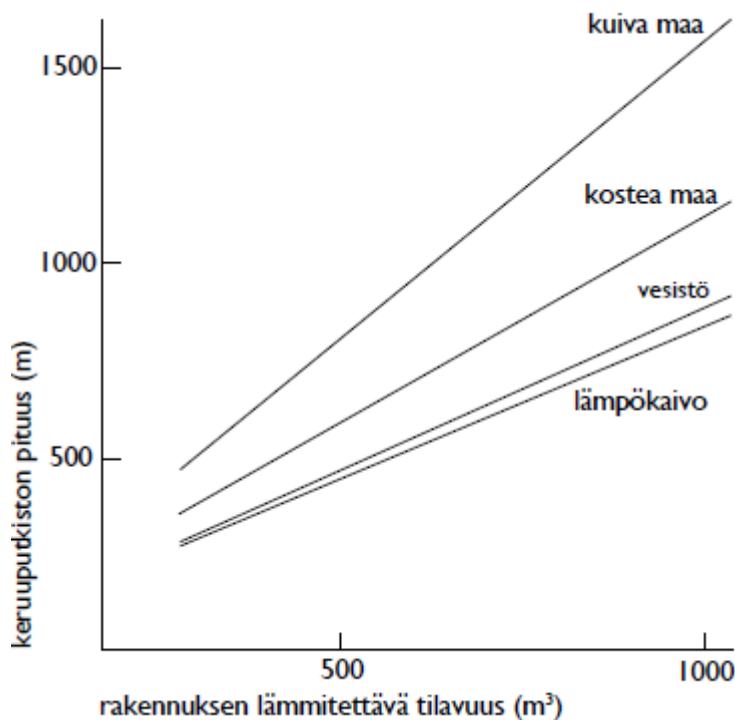
Maalämpö on energiaa, joka on varastoitunut maaperään. Tämä energia otetaan kiinteistön hyötykäyttöön erityisellä lämpöpumpputekniikalla. Maalämpöjärjestelmä käsittää käytännössä seuraavat osat: lämpöpumpun, siirtoputkiston ja keruupiirin. Keruupiirit jaetaan puolestaan maapiiriin sekä ns. lämpö/energiakaivoon, jossa lämmityspotket porataan syvälle maaperään. Keruupiiri voidaan asentaa vallitsevaan maaperään, kallioon tai jopa vesistöön. [21.][22.]

Maaperästä ja sen pintaosista energiaa kerätään maaperään asennettavan maapiirin avulla. Tämä asennetaan vähintään metrin syvyyteen maanpinnasta. Maapiirin vaativaa pinta-alaa mitoitettaessa voidaan mainita, että jokaista putkiston metriä kohti tarvitaan $1,5\text{m}^2$ ala, käytännössä kentän pituus kuitenkin riippuu vallitsevan maaperän ominaisuuksista. Käytännössä tämä toteutustapa vaatii suuren tontin, joten rivitalokohteissa energiakaivo on varteenotettava vaihtoehto. [21.]

Keruupiirit

Kun lämpöenergia kerätään syvemältä kallioperästä, asetetaan porattuihin porareikiin keräinputkistot. Porareikään asennettavia keräinputkistoja ja muita kaivorakenteita kutsutaan lämpökaivoiksi tai energiakaivoiksi. Kaivon tavanomainen syvyys on yleisesti alle 300m. [21.]

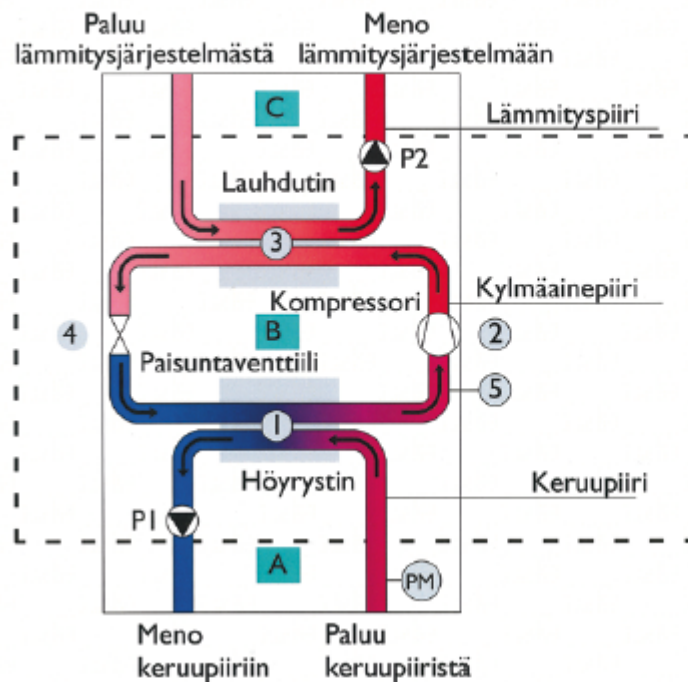
Alla olevassa kuvassa on esitetty ohjeellinen keräinputkiston vaadittava pituus suhteessa rakennuksen tilavuuteen.



Kuva 4. Vaadittavan keruuputkiston pituus suhteessa rakennuksen tilavuuteen [21.]

Lämpöpumppu

Lämpöpumpun tarkoituksena on kerätä keruupiirien tuottama lämpöenergia ja siirtää se kiinteistön käyttöön, sähköenergiaa käyttäen. Keruupiireissä kiertävä neste siirtää kerätyn lämpöenergian lämpöpumpun höyrystimeen, josta se kulkeutuu lämpöpumpun kylmäainepiiriin. Kylmäaine kierrätetään lämpöpumpun kompressorin avulla lauhduttimelle, jossa kylmäaine luovuttaa energian lämmityspiiriin. Alla olevassa periaatekuvassa on esitetty lämpöpumpun toimintaperiaate:



1. Höyrystimessä keruepiiristä (A) lämpöenergia siirtyy lämpöpumpun kylmäainepiiriin (B). Kylmäaine muuttuu nesteestä kaasuksi
2. Lämpöpumpun kompressori puristaa kylmäainehöyryn korkeapaineiseksi kaasuksi, jolloin lämpötila kohoaa. Puristamiseen käytetty sähköenergia muuttuu lämmöksi ja nostaa myös kylmäaineen lämpötilaa.
3. Lämpöpumpun lauhduttimessa lämpöenergia siirtyy kylmäaineesta rakennuksen lämmitysjärjestelmään (C). Samalla kylmäaine muuttuu nesteeksi. Lämpöenergia voidaan hyödyntää sekä lämmitysverkostossa että käyttöveden lämmityksessä.
4. Lämpöpumpun paisuntaventtiilissä kylmäaineen painetta alennetaan, jolloin kylmäaineen lämpötila laskee. Kylmäaine virtaa höyrystimeen ja prosessi jatkuu kohdan 1 mukaisesti.
5. Vuodonilmaisimena toimii laitteen matalapainekytkin, joka sammuttaa kompressorin ja kiertopiirin pumpun, sekä antaa samalla hälytyksen, mikäli lämmönkeruunesteen määrä tai kierto ei ole riittävä.

Kuva 5. Lämpöpumpun toiminta periaate. [21]

Mitoitus

Maalämpöpumpputjärjestelmä voidaan mitoittaa joko täysteholle tai osateholle, jolloin jäljelle jäävä lämmitysenergia tuotetaan yleisimmin varaajan sähkövastuksella.

Mikäli järjestelmä mitoitetaan osateholle, se tarkoittaa sitä, että maalämpöjärjestelmä toimii 60–80 % verrattuna laskennalliseen huipputehon tarpeeseen. Tämä tarkoittaa sitä, että maalämpöjärjestelmä tuottaa noin 95–99 % kaikesta vaadittavasta lämmitysenergiasta, mutta

erityisen kovilla pakkasilla loppuosa tuotetaan sähkövastuksen avulla. Kun järjestelmä mitoitetaan osateholle, etuna on hieman nopeampi takaisinmaksuaika ja kompressorin pidempi käyttöikä. Haittapuolena on sähköverkon huipputehon suurempi tarve. [21.][22.]

Mikäli mitoitus tapahtuu täysteholla, tarkoittaa tämä sitä, että kaikki lämmitys ja lämpimän käyttöveden valmistus tapahtuu maalämpöä hyväksikäyttäen. Kun järjestelmä mitoitetaan toimimaan täysteholle, etuna saavutetaan pienempi sulakekoko sekä energiankulutus, joka on minimoitu. [22.]

Jäähdytys

Mikäli maalämpöjärjestelmä asennetaan kohteeseen, jossa on koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, voidaan maalämpöjärjestelmään kytkeä myös jäähdytys, jolloin järjestelmä ylläpitää huoneiston optimilämpötilaa myös kesällä. Tämä järjestelmä on hyvin käyttökelpoinen erityisesti silloin, kun lämmönkeruuverkostona toimii lämpökaivo/energiakaivo. Tällöin ei tarvita erillistä jäähdytyskonetta. Yleisimmin keruupiirissä kiertävä neste vietään ilmanvaihtoon kytkettyyn jäähdytyspatteriin, joka sitten viilentää tuloilman. Viilennyskäytöllä huoneistojen lämpötilaa voidaan laskea asteella tai parilla. [23.]

3.6.1 Kustannukset

Maalämpöjärjestelmässä kustannukset muodostuvat seuraavasti:

- Suunnittelu
- Laitteisto
- Asennus
- Ylläpitokustannukset

Näiden kustannuksien lisäksi on laskettava maksut viranomaisille, mahdolliset purkutyöt mahdollisten poistettavien rakenteiden ja vanhojen laitteistojen osalta, sekä otetun lainan korko- ja lyhennyskustannukset.

Maalämpöjärjestelmän kustannukset ovat hyvin tapauskohtaiset, joten tarkkaa kustannusarviota ei voida antaa ilman kohdetietoja. Hintaan vaikuttavat mm. maaperä, porattavien reikien syvyydet, lämmitettävä huoneistoala, mahdolliset purkutyöt jne.

Mikäli vanha lämmitysjärjestelmä on käyttökänsä loppupuoliskolla ja lämmitysjärjestelmän peruskorjaus on edessä joka tapauksessa, on mahdollinen maalämpöjärjestelmään siirtyminen tällöin viisain ratkaisu.

On kuitenkin muistettava, että ARA (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus) voi myöntää hankkeelle energia-avustusta, joka vähentää osakeyhtiölle aiheutuvien kustannuksien muodostumista. Avustus on enintään 40 % kustannuksista, joihin ei kuulu työkustannuksien osuus. [15.] Maalämpöjärjestelmä nostaa myös kiinteistön ja osakkeiden arvoa, joka tulee ottaa huomioon järjestelmän takaisinmaksussa.

3.6.2 Hyödyt ja säästöt

Järjestelmän hankintahinta on suhteellisen korkea. Tästä johtuen maalämpöön siirtyminen sitä on kannattavampaa, mitä suuremmasta kiinteistöstä on kyse.

Maalämmön kustannukset asennuksen jälkeen, riippuen tilanteesta ja käytetystä lämpöpumpputekniikasta, on noin 3-6 cnt/kWh, kun sähkölämmitteisessä talossa energian hinta on noin 12-18 cnt/kWh. Tämä tarkoittaa sitä, että investointi tuottaa säästöä energiakulutuksen osalta jopa 10–20 % vuodessa. [24.]

3.7 Käyttötekniset säästötoimenpiteet

Käyttöteknisillä säästötoimenpiteillä tarkoitetaan toimenpiteitä, jotka eivät vaadi erillisiä laiteinvestointeja. Osa toimenpiteistä suoritetaan yksinkertaisesti normaalin kiinteistön ylläpidonyhteydessä, kun taas osa toimenpiteistä vaatii kuluvien osien vaihtoa tai ohjauksen muutosta pienellä investoinnilla.

Tyypillisesti käyttötekniset säästötoimenpiteet kohdistuvat neljään kiinteistön peruselementtiin: ilmanvaihdon, lämpimän käyttöveden, lämpötilan sekä valaistuksen säätöihin.

3.7.1 Ilmanvaihto

Helppomillaan ilmanvaihdon energiatehokkuutta voidaan parantaa säätämällä ilmanvaihdon käyntiaikoja suhteessa rakennuksen käyttöön, mikäli koneistossa on mahdollisuus käyntinopeuden vaihteluun. On kuitenkin huolehdittava, että kiinteistön ilmanvaihto pysyy määräysten mukaisena, eli ilma vaihtuu kokonaisuudessaan kerran kahden tunnin aikana. [18, s.38]

Energiansäästö tapahtuu ilmanvaihdon vähentymisen seurauksena tapahtuneeseen sähköenergian kulutuksen pienenemiseen, sekä lämmitysenergian kulutuksen vähenemiseen.

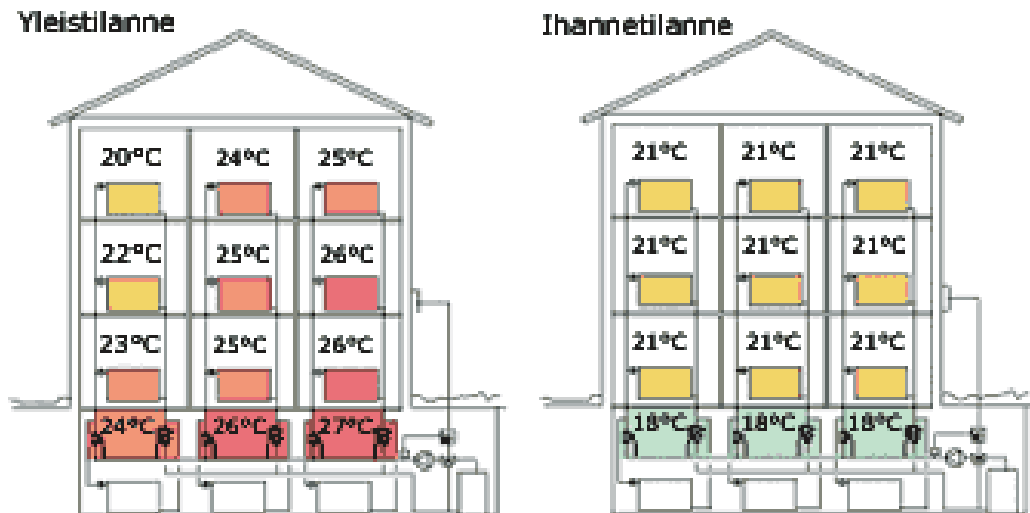
3.7.2 Lämmitysverkoston perussäätö

Lämmityksen perussäädön tarkoituksena on, että vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä säädetään toimimaan suunnitellusti, eli kaikissa kiinteistön huoneistoissa on samat vaatimuksien mukaiset asumislämpötilat ja vesi kiertää jokaisen patterin kautta. Perussäädöllä parannetaan asumismukavuutta merkittävästi lämpötilojen tasaantumisen myötä. Lisäksi lämpötilojen alentuminen vähentää kuivan ilman sekä pölyn aiheuttamia ongelmia. [25.][20, s. 15–17.]

Jotta lämmitysverkoston perussäätö voidaan tehdä perusteellisesti, on syytä ensin varmistua laitteiden ajanmukaisuudesta sekä kunnosta. Perussäädön yhteydessä on usein syytä suorittaa patteriverkoston ilmaus sekä asettaa menoveden lämpötila suunnittelijan ohjeiden mukaiseksi. [18, s. 34][20, s.15.]

Lämmitystehon säätö tapahtuu juuri menoveden lämpötilaa säätämällä. Pääasiallinen lämmitystehon tarve on riippuvainen ulkolämpötilasta, mutta myös kiinteistön sisäiset lämmönlähteet, sekä auringon lämpöenergia, vaikuttavat tarvittavaan lämmitystarpeeseen. [18, s. 34.] [25.]

Yleinen huoneistojen lämpötila tulisi määräysten mukaan olla 21 °C. Yhteisissä tiloissa, kuten rappukäytävissä ja varastoissa riittää lämpötilaksi 15–18 °C. Alla olevassa kuvassa on esitetty tyypillinen asuinkerrostalon lämpötilajakauma ennen ja jälkeen lämmitysverkoston perussäädön:



Kuva 6. Tilanne ennen ja jälkeen lämmitysverkoston perussäädön. [25]

Lämmitysverkoston perussäädöllä saavutettujen tasaisten huonelämpötilojen ansiosta, huoneistoissa tapahtuva ylimääräisen tuuletuksen määrä vähenee, jota myöden myös jatkuvan lisälämmityksen tarve vähenee. Toisena hyötynä on lämmityskustannuksien tasainen jakautuminen osakkeenomistajien kesken, sillä huoneistolämpötilat ovat samat jokaisessa huoneistossa. [18, s. 34.]

Säästöistä puhuttaessa voidaan todeta, että huoneistossa tapahtuva yhden asteen lämpötilan vähennys tarkoittaa noin 5 % säästöä lämmityskustannuksissa. Lämmityksen perussäädöllä voidaan energiankulutusta vähentää jopa 10–15 %, erityisesti jos kiinteistössä on useita huoneistoja. [24.][25, s. 15.]

4 IKKUNOIDEN JA PARVEKEOVIENTEN VAIHTO KERROSTALOKOHOITEESEEN

4.1 Kohde

Esimerkkikohteena ikkunoiden ja parvekeovienten vaihto -toimenpiteessä on vuonna 1977 rakennettu kerrostalokiinteistö Kajaanissa.

4.2 Toimenpiteet

Kiinteistössä on alkuperäiset ikkunat, joiden U-arvo on vuoden 1978 rakennusmääräysten mukainen, eli 2,1 W/m²K. Parvekeovet ovat myös alkuperäiset, U-arvoltaan 1,4 W/m²K. Uudet ikkunat tulevat olemaan U-arvoltaan 1,0 W/m²K ja parvekeovet 1,0 W/m²K. Ikkunoiden yhteenlaskettu pinta-ala on 113 m² ja ovien pinta-ala 26 m², julkisivukuvat on esitetty liitteissä (liite 1).

Ikkunoiden tekninen käyttöikä riippuen materiaalista on 30–50 vuotta, mikäli ikkunat on huollettu ajallaan. Tässä tapauksessa ikkunoiden jäljellä oleva tekninen käyttöikä on n. 12 vuotta, joten ikkunoiden vaihto on ajankohtainen jo pelkästään perustuen teknisen käyttöikänsä umpeutumiseen. Muita syitä vaihdolle voivat olla jatkuvan vedon tunne, karmiosien lahovauriot ja ikkunoiden käytön vaikeus kuluneiden osien takia, sekä muut vastaavat, käyttöä haittaavat vauriot.

4.3 Kustannukset ikkunoiden vaihdon osalta

4.3.1 Investointikustannukset

Kaikki hinnat laskelmien osalta ovat ALV=0 %

Aikaisemmin esitettyssä hintataulukossa ikkunoiden uusintahinta on 440–470 €/m², ja rakennuttamisen hinta 5 % urakkahinnasta. Laskelmissa käytetään hintana 460 €/m², johon täytyy lisätä indeksikorotus 5,6 prosenttiyksikköä, jolloin yksikön hinnaksi saadaan:

$460\text{€}/m^2 * 1,056 \approx 485,8\text{€}/m^2$ ja rakennuttaminen maksaa tällöin $485,8\text{€}/m^2 * 0,05 \approx 24,29\text{€}/m^2$.

Ylläpitokustannukset

Ikkunoiden käyttöiän aikana on tehtävä myös ikkunoihin kohdistuvia huoltotöitä, joita ovat muun muassa ikkunoiden huoltomaalaus ja tiivisteiden uusiminen tarvittaessa. Tässä esimerkissä ikkunat tiivistetään kolme kertaa ikkunan elinkaaren aikana ja huoltomaalaus toteutetaan kahdesti.

Kustannus ikkunoiden ulkopuoliselle maalaukselle on $40\text{€}/m^2$ ja kolmilasisen ikkunan tiivistämisen hintana on myös $40\text{€}/m^2$. Ikkunat tiivistetään 15 vuoden välein ikkunan asentamisesta lähtien. Maalaus toteutetaan 20 vuoden välein, sekä ikkunoiden purku 50 vuoden kuluttua asennuksesta.

Diskonttaus

Jotta syntyvät kustannukset pystyttäisiin määrittelemään jo ennen hankkeeseen ryhtymistä, täytyy huoltotoimenpiteiden hinnat ”diskontata”, eli kustannukset täytyy tuoda nykyarvoon. Tällä tavoin eri aikoina tapahtuvat suoritukset voidaan saattaa vertailukelpoiksi. Diskonttaustekijä voidaan määrittää myös laskennallisesti, mutta helpoin tapa diskonttaustekijän määrittämiselle on taulukot, johon on määritetty diskonttaustekijät laskenta-ajanjaksojen ja korkojen suhteen. [17.] (Liite 2)

Tässä vaiheessa laskelmia hankkeeseen ryhtyvän on määritettävä investoinnilleen odottamansa tuottoprosentti, eli laskentakorkokanta. Yleisesti korko on 4-6 %. Näissä laskelmissa korkokantana käytetään 4 %.

Diskonttausmenetelmä jaetaan kahteen osa-alueeseen; jaksollisiin suorituksiin sekä yksittäisiin suorituksiin. Jaksollisissa suorituksissa lasketaan toistuvien kustannuksien määrä oletetun käyttöiän osalta, tämänkaltaisia kustannuksia ovat energiakustannukset. [17].

Esimerkiksi: Uusien ikkunoiden tekninen käyttöikä on 50 vuotta, eli aiheutuvat energiakustannukset on laskettava 50 vuoden ajanjaksolle. Käyttämällä jaksollisten

suorituksien diskonttausmenetelmää, saadaan 50 vuoden aikana syntyvät energiakustannukset tuotua nykyarvoon.

Yksittäisillä suorituksilla tarkoitetaan nimensä mukaisesti kertasuorituksesta aiheutuvia kustannuksia, kuten huoltokustannuksia. Tässä tapauksessa yksittäiset suoritukset syntyvät ikkunoiden 15 vuoden välein tapahtuvasta tiivistämisestä, sekä 20 vuoden välein tapahtuvasta maalauksesta. Jotta jokaisen toimenpiteen kustannus ajanjakson lopussa saadaan suhteutetuksi nykypäivään, täytyy edellä mainitut toimenpiteet tuoda nykyarvoon, eli diskontata.

Ylläpitokustannusten diskonttaus

Ikkunoiden tiivisteet uusitaan 15 vuoden välein, joten toimenpiteen kustannus täytyy diskontata 15-, 30- ja 45 vuoden päähän.

Tiivisteiden uusiminen 15 vuoden päästä: $40\text{€}/\text{m}^2 * 0,555 = 22,2\text{€}/\text{m}^2$

Tiivisteiden uusiminen 30 vuoden päästä: $40\text{€}/\text{m}^2 * 0,308 = 12,32\text{€}/\text{m}^2$

Tiivisteiden uusiminen 45 vuoden päästä: $40\text{€}/\text{m}^2 * 0,171 = 6,84\text{€}/\text{m}^2$

Laskelmista voidaan todeta, että kokonaisylläpitokustannukset ikkunatiivisteiden vaihdon osalta on yhteensä: **41,36 €/m²**.

Syntyvät ylläpitokustannukset määritellään samalla tavalla huoltomaalauksen osalta, joka suoritetaan 20 ja 40 vuoden kuluttua ikkunoiden asentamisesta. Diskontatut kustannukset ovat:

Huoltomaalaus 20 vuoden kuluttua: $40\text{€}/\text{m}^2 * 0,456 = 18,24\text{€}/\text{m}^2$

Huoltomaalaus 40 vuoden kuluttua: $40\text{€}/\text{m}^2 * 0,208 = 8,32\text{€}/\text{m}^2$

Kokonaiskustannukset huoltomaalauksen osalta yhteensä: **26,56 €/m²**

Ylläpitokustannuksiin kuuluu myös vanhan rakenteen purku 50 vuoden kuluttua.

Purkukustannukset ovat hyvin riippuvaisia purkutyön laadusta sekä määrästä. Työssä käytetään hintana 40€/m². Kustannus tulee jälleen diskontata vastaamaan arvoa nykypäivänä:

$$\text{Purkukustannus 50 vuoden kuluttua: } 40\text{€} / \text{m}^2 * 0,1407 = 5,63\text{€} / \text{m}^2$$

Kun lasketaan kaikki tapahtuvat ylläpitokustannukset ikkunoiden elinkaaren aikana, saadaan kokonaisylläpitokustannukseksi: **73,55 €/m²**.

4.3.2 Energiakustannukset teknisen käyttöiän aikana

Energiakustannukset täytyy määrittää, jotta pystytään laskemaan lämpöenergiakustannukset ja sitä kautta syntyvät säästöt. Energiakustannukset lasketaan seuraavalla kaavalla:

$K = E * U * S_{17} * 24 / 1000$, jossa E=energian hinta, U=U-arvojen erotus, S₁₇ = astepäiväluku vertailupaikkakunnalla (Kajaani =5315), jolloin yksiköksi saadaan €/v*ism²), eli euroa vuodessa ikkunan pinta-alaneliötä kohden.

Kuten edellä on mainittu, elinkaarikustannuksia määriteltäessä energian hintana (E) käytetään kolmea eri arvoa. Tällöin pystytään reagoimaan mahdollisiin energian hinnan muutoksiin ja sen aiheuttamiin elinkaarikustannuksien muutoksiin. Energian hintana käytetään 0.1 €/kWh, 0.2 €/kWh sekä 0,3 €/kWh.

Energian hinta 0,1€/kWh:

$$K = 0,1\text{€} / \text{kWh} * 1,0\text{W} / \text{m}^2 * K * 5315\text{C}^\circ \text{vrk} * 24 / 1000 = 12,76\text{€} / \text{v} * \text{im}^2$$

Energian hinta 0,2€/kWh:

$$K = 0,2\text{€} / \text{kWh} * 1,0\text{W} / \text{m}^2 * K * 5315\text{C}^\circ \text{vrk} * 24 / 1000 = 25,51\text{€} / \text{v} * \text{im}^2$$

Energian hinta 0,3€/kWh:

$$K = 0,3\text{€} / \text{kWh} * 1,0\text{W} / \text{m}^2 * K * 5315\text{C}^\circ \text{vrk} * 24 / 1000 = 38,27\text{€} / \text{v} * \text{im}^2$$

Kuten tuloksista on luettavissa, energian hinnan muutos aiheuttaa hyvin suuria vaihteluita vuotuisiin energiakustannuksiin. Kuten aiemmin on jo mainittu, tulee myös

energiakustannukset diskontata, jotta ne saadaan arvoitettua tähän päivään. Taulukosta saadaan diskonttauskerroin (i) kohdasta 50v ja 4 % = 21,482. Tällöin saadaan diskontattu arvo energian hinnoille (K_{50}).

$$K_{50} = 12,76(\text{€}/\text{v} * \text{im}^2) * 21,482 = 274,11\text{€}/\text{v} * \text{im}^2$$

$$K_{50} = 25,51(\text{€}/\text{v} * \text{im}^2) * 21,482 = 548,01\text{€}/\text{v} * \text{im}^2$$

$$K_{50} = 38,27(\text{€}/\text{v} * \text{im}^2) * 21,482 = 822,12\text{€}/\text{v} * \text{im}^2$$

4.3.3 Kokonaisinvestointi

Kokonaisinvestoinnilla tarkoitetaan käytettyä rahamäärää koko hankkeen aikana. Summa siis sisältää kaikki kustannukset ikkunoiden asentamisesta aina ikkunoiden purkuun asti. Elinkaarikustannukset riippuen käytettävästä energian hinnasta ovat:

Energian hinta = 0,1 €/kWh

$$485,8 \text{ €/m}^2 + 24,29 \text{ €/m}^2 + 73,55 \text{ €/m}^2 + 274,11 \text{ €/v*im}^2 = \mathbf{857,75 \text{ €/im}^2}$$

Energian hinta = 0,2€/kWh

$$485,8 \text{ €/m}^2 + 24,29 \text{ €/m}^2 + 73,55 \text{ €/m}^2 + 546,93 \text{ €/v*im}^2 = \mathbf{1131,65 \text{ €/im}^2}$$

Energian hinta = 0,3 €/kWh

$$485,8 \text{ €/m}^2 + 24,29 \text{ €/m}^2 + 73,55 \text{ €/m}^2 + 820,40 \text{ €/v*im}^2 = \mathbf{1405,76 \text{ €/im}^2}$$

4.3.4 Säästöt

Ikkunoiden U-arvon pieneneminen vaikuttaa luonnollisesti myös kiinteistön lämpöenergian kulutukseen pienentävästi. Lämpöenergian vähenemisen määrä saadaan kaavasta $U * S_{17} * 24 / 1000 * \text{im}^2$, jossa U = U-arvojen erotus, S_{17} = Astepäiväluku vertailupaikkakunnalla (Kajaani 5315) sekä im^2 = ikkunoiden yhteenlaskettu pinta-ala.

Energiansäästö:

$$1,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \cdot 5315 \text{ C}^\circ \text{vrk} \cdot (24/1000) \cdot 113 \text{ m}^2 \approx 15856 \text{ kWh}$$

Arvioidessa rahallista säästöä, käytetään kWh:n hintana jälleen arvoja 0.1 €/kWh, 0.2 €/kWh ja 0,3 €/kWh, jolloin säästöksi saadaan:

$$15886 \text{ kWh} \cdot 0,1 \text{ €/kWh} = 1588,6\text{€}$$

$$15886 \text{ kWh} \cdot 0,2 \text{ €/kWh} = 3177,2\text{€}$$

$$15886 \text{ kWh} \cdot 0,3\text{€/kWh} = 4765,8\text{€}$$

4.3.5 Takaisinmaksuaika

Ikkunoiden takaisinmaksuaikaa määriteltäessä on huomioitava se, että ikkunat on vaihdettava uusiin joka tapauksessa ennemmin tai myöhemmin. Tästä johtuen, takaisinmaksuaikaa määriteltäessä, on otettava huomioon ikkunan jäännösarvo suhteessa uuteen ikkunaan. Kyseessä olevan kohteen ikkunat ovat alkuperäiset. Kiinteistö on rakennettu vuonna 1977 ja ikkunoiden tekninen käyttöikä on 50 vuotta. Tämä tarkoittaa sitä, että ikkunoiden jäljellä oleva arvo suhteessa uusiin ikkunoihin on $50/37 = 1,35 \rightarrow 35 \%$. Käytännössä ikkunoiden todellinen jäljellä oleva tekninen käyttöikä tulisi selvittää perusteellisen ikkunoiden kuntotutkimuksen perusteella.

Uusien ikkunoiden hinnasta voidaan siis vähentää 65 %, kun määritellään takaisinmaksuaikaa. Siis takaisinmaksettava osuus on $0,35 \cdot (485,8 \text{ €/m}^2 \cdot 113 \text{ m}^2) = 19213,39 \text{ €}$.

Riippuen käytetystä energian hinnasta takaisinmaksuaika on:

$$\text{Energian hinta } 0,1 \text{ €/kWh: } 19213,39 \text{ €} / 1588,6 \text{ €} = \text{n.12 vuotta}$$

$$\text{Energian hinta } 0,2 \text{ €/kWh: } 19213,39 \text{ €} / 3177,2 \text{ €} = \text{n. 6 vuotta}$$

$$\text{Energian hinta } 0,3 \text{ €/kWh: } 19213,39 \text{ €} / 4765,8 \text{ €} = \text{n. 4 vuotta.}$$

4.4 Kustannukset parvekeovien vaihdosta

Kohteeseen vaihdetaan ikkunoiden vaihdon yhteydessä myös parvekeovet. Kohteessa on alkuperäiset ovet vuodelta 1977, jolloin U-arvon vaatimus oville oli $1,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Parvekeovien vaihdon myötä U-arvo laskee arvoon $1,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Parvekeovien yhteenlaskettu pinta-ala on 26 m^2 .

4.4.1 Investointikustannukset

Parvekeovien vaihdon hinta $\text{€}/\text{m}^2$ on edellä mainittu $900 \text{ €}/\text{m}^2$, ja kun tähän kustanteeseen tulee lisätä indeksikorotus $5,6 \%$, on kokonaishinta ilman rakennuttamista **$950 \text{ €}/\text{m}^2$** . Rakennuttamisen hinta on 5% kokonaishinnasta, jolloin rakennuttamiselle hinta on $950 \text{ €}/\text{m}^2 * 0,05 = 47,5 \text{ €}/\text{m}^2$

4.4.2 Ylläpitokustannukset

Ikkuna- ja parvekeovivalmistajat eivät ilmoita parvekeoville huoltoja, vaan ovet voidaan tiivistää tarvittaessa itse, sekä maalata ohjeiden mukaan.

Ylläpitokustannuksissa on otettava huomioon syntyvät purkukustannukset ovien teknisen käyttöiän umpeuduttua. Käytetty hinta on sama kuin ikkunoiden purun yhteydessä käytetty $40 \text{ €}/\text{m}^2$.

Purkukustannus 50 vuoden kuluttua: $40 \text{ €}/\text{m}^2 * 0,1407 = 5,63 \text{ €}/\text{m}^2$

Parvekeovien vaihdon ylläpitokustannukset ovat **$5,63 \text{ €}/\text{m}^2$**

4.4.3 Energiakustannukset teknisen käyttöiän aikana

Energiakustannukset määritellään samalla tavalla, kuin ikkunoiden energiakustannuksetkin. Laskelmat osoittavat, kuinka paljon uusitut parvekeovet säästävät energiakustannuksissa vuodessa, verrattuna vanhoihin parvekeoviin.

Energian hinta 0,1€/kWh:

$$K = 0,1\text{€}/kWh * 1,0W / m^2 K * 5315C^{\circ}vrk * 24/1000 = 12,76\text{€}/v * om^2$$

Energian hinta 0,2€/kWh:

$$K = 0,2\text{€}/kWh * 1,0W / m^2 K * 5315C^{\circ}vrk * 24/1000 = 25,51\text{€}/v * om^2$$

Energian hinta 0,3€/kWh:

$$K = 0,3\text{€}/kWh * 1,0W / m^2 K * 5315C^{\circ}vrk * 24/1000 = 38,27\text{€}/v * om^2$$

Saadut hinnat tulee diskontata, jotta saadaan hinnat tuotua tähän päivään.

$$K_{50} = 12,76(\text{€}/v * om^2) * 21,482 = 274,11\text{€}/v * om^2$$

$$K_{50} = 25,51(\text{€}/v * om^2) * 21,482 = 548,01\text{€}/v * om^2$$

$$K_{50} = 38,27(\text{€}/v * om^2) * 21,482 = 822,12\text{€}/v * om^2$$

4.4.4 Kokonaisinvestointi

Kokonaisinvestointi lasketaan samalla periaatteella kuin ikkunoiden vaihdon yhteydessä. Eli yhteen lasketaan investointikustannus, rakennutus, ylläpitokustannus sekä energiakustannus kolmella eri energian hinnalla. Tällöin saadaan arviot siitä, kuinka paljon parvekeovien vaihto aiheuttaa kustannuksia koko elinkaarensa aikana.

Energian hinta = 0,1 €/kWh

$$950 \text{ €/m}^2 + 47,5 \text{ €/m}^2 + 5,63 \text{ €/m}^2 + 274,11 \text{ €/v*om}^2 = \mathbf{1277,24 \text{ €/om}^2}$$

Energian hinta = 0,2€/kWh

$$950 \text{ €/m}^2 + 47,5 \text{ €/m}^2 + 5,63 \text{ €/m}^2 + 548,01 \text{ €/v*om}^2 = \mathbf{1551,14 \text{ €/om}^2}$$

Energian hinta = 0,3 €/kWh

$$950 \text{ €/m}^2 + 47,5 \text{ €/m}^2 + 5,63 \text{ €/m}^2 + 822,12 \text{ €/v*om}^2 = \mathbf{1825,25\text{€/om}^2}$$

4.4.5 Säästöt

Kuten ikkunoiden vaihdon yhteydessä, lämpöenergiankulutus pienenee U-arvon pienenemisen myötä. Energiansäästö saadaan laskettua kaavasta $U \cdot S_{17} \cdot 24 / 1000 \cdot \text{im}^2$, jossa U = U-arvojen erotus, S_{17} = Astepäiväluku vertailupaikkakunnalla (Kajaani 5315) sekä om^2 = ovien yhteenlaskettu pinta-ala.

Energiansäästö:

$$0,4W / m^2 K * 5315C^{\circ}vrk * (24/1000) * 26om^2 \approx 1327 \text{ kWh.}$$

Laskelmasta voidaan todeta, että energiansäästö on hyvin vähäinen.

Arvioidessa rahallista säästöä, käytetään kWh:n hintana jälleen arvoja 0.1 €/kWh, 0.2 €/kWh ja 0,3 €/kWh, jolloin säästökksi saadaan:

$$1327 \text{ kWh} * 0,1 \text{ €/kWh} = 132,7\text{€}$$

$$1327 \text{ kWh} * 0,2 \text{ €/kWh} = 265,4\text{€}$$

$$1327 \text{ kWh} * 0,3\text{€/kWh} = 398,1\text{€}$$

Saavutetuista kustannushyödyistä voidaan todeta, että parvekeovien vaihto energiantehokkuuden parannuskeinona ei ole mielekästä. Parvekeovien vaihdolla saavutetaan hyötyjä lähinnä asumismukavuuden parantumisen osalta.

4.4.6 Takaisinmaksunaika

Parvekeovien takaisinmaksuajassa on huomioitava ovien jäännösarvo, jolle takaisinmaksuaika lasketaan. Kiinteistö on rakennettu vuonna 1977 ja ikkunoiden tekninen käyttöikä on 50 vuotta. Tämä tarkoittaa sitä, että ikkunoiden jäljellä oleva arvo suhteessa uusiin oviin on $50/37 = 35\%$.

Uusien ikkunoiden hinnasta voidaan siis vähentää 65 %, kun määritellään takaisinmaksuaikaa. Siis takaisin maksettava osuus on $0,35 \cdot (950 \text{ €/m}^2 \cdot 26 \text{ m}^2) = 8645 \text{ €}$.

Riippuen käytetystä energian hinnasta takaisinmaksuaika on:

Energian hinta 0,1 €/kWh: $8645 \text{ €} / 132,7 \text{ €} = \text{n. } 65 \text{ vuotta}$

Energian hinta 0,2 €/kWh: $8645 \text{ €} / 265,4 \text{ €} = \text{n. } 33 \text{ vuotta}$

Energian hinta 0,3 €/kWh: $8645 \text{ €} / 398,1 \text{ €} = \text{n. } 22 \text{ vuotta}$.

Parvekeovien vaihto energiatehokkuuden parantamisen kannalta ei ole mielekästä edes takaisinmaksuaikaan verrattaessa.

5 MAALÄMMÖN ASENTAMINEN RIVITALOKOHOITTEESEEN

5.1 Kohde

Kohteena on Kajaanissa vuonna 1977 rakennettu rivitalo-osakeyhtiö, johon sisältyy 3 rivitaloa. Tällä hetkellä kiinteistössä on suorasähkölämmitys. Pohja- ja julkisivupiirustukset on esitetty liitteissä. (Liite 3)

5.2 Toimenpiteet

Toimenpiteenä asennetaan maalämpö ja lasketaan sen kautta saatavat vuotuiset energiasäästöt. Koska kohteessa on sähkölämmitys, tarkoittaa se sitä, että kiinteistössä on tehtävä mittavia LVI-töitä. Tämän kaltaisia töitä ovat uuden vesikiertoisen patteriverkoston teko, sekä uuden lämmitysjärjestelmän asentaminen. Tämän seurauksena joudutaan avaamaan myös kiinteistön rakenteita, jotta putket voidaan asentaa ja tehdä kaikki tarvittavat läpiviennit.. Tämä kohottaa investointikustannuksia merkittävästi sekä vaatii yksityiskohtaiset suunnitelmat, joten työssä ei oteta kantaa investointikustannuksiin.

5.3 Laskenta

Kiinteistön tilavuus: 5444 m^3

Rakennuksen kerrosala: 1438 m^2

Rakennuksien lämmitettävä lattiapinta-ala: 1280 m^2

Vuotuinen sähkönkulutus: 223000 kWh/a

Vuotuinen vedenkulutus: 1201 m^3

Mitoituksessa käytetään menoveden lämpötilana $+60 \text{ }^\circ\text{C}$ ja säävyöhykkeenä vyöhykettä 3, ja näitä tietoja tarvitaan, kun määritetään lämpöpumpun suhteellista lämpöenergiaa.

5.3.1 Sähkönkulutus

Koska paikalliselta sähköntoimittajalta ei ole saatavissa kuin kiinteistön kokonaissähkönkulutus, tarkoittaa tämä sitä, että kokonaislukuun sisältyy myös huoneistoissa käytetty sähkö sekä lämpimän käyttöveden valmistukseen tarvittava sähkö. Jotta kokonaissähkönkulutuksesta saadaan lämmitykseen kulunut sähköenergia, tulee määrästä vähentää huoneistojen käyttämä energia, kuten kuluttajalaitteet ja valaistus sekä lämpimän käyttöveden valmistukseen käytetty energia.

Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden kuluttama sähköenergia kiinteistössä voidaan määrittää Suomen rakentamismääräyskokoelma D3:n mukaan seuraavalla kaavalla:

$$W = kP \frac{\tau_d}{24} \frac{\tau_w}{7} \frac{8760}{1000},$$

jossa W = valaistuksen ja kuluttajalaitteiden kuluttama sähköenergia

kWh/m², k = käyttöaste, P = lämpökuorma W/m², τ_d = rakennuksen käyttötuntien lukumäärä vuorokaudessa tuntia ja τ_w = rakennuksen käyttöpäivien lukumäärä viikossa.

Arvot ovat standardikäytölle arvioituja taulukkoarvoja, jotka on esitetty alla olevassa taulukossa.

Taulukko 7. Rakennusten standardikäyttö ja energialaskennassa käytettävät sisäiset lämpökuormat. [3]

Käyttötarkoitukseluokka	Kellonaika ^d	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Ihmiset ^a W/m ²
		h/24h	d/7d				
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00-24:00	24	7	0,6	8 ^{b,c}	3	2
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7	0,6	11 ^{b,c}	4	3
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5	0,65	12 ^c	12	5
Liikerakennus	08:00-21:00	13	6	1	19 ^c	1	2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14 ^c	4	4
Opetusrakennus ja päiväkot	08:00-16:00	8	5	0,6	18 ^c	8	14
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7	0,5	12 ^c	0	5
Sairaala	00:00-24:00	24	7	0,6	9 ^c	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 erilliselvytys kohtien 3.3.3 ja 3.3.4 mukaisesti.

d ilmanvaihdon käyntiaika kohdan 3.3.7 mukaisesti

Valaistuksen ja kuluttajalaitteiden kuluttama sähköenergia:

$$W = (3W / m^2 * 0,6) + (8W / m^2 * 0,1) * \frac{24}{24} * \frac{7}{7} * \frac{8760}{1000} = 22,78W / m^2$$

Kiinteistössä kulunut kokonaisenergia valaistuksen ja kuluttajalaitteiden osalta on $22,78 W/m^2 * 1280m^2 = 29158,4 W/a$

Kulutustietojen mukaan kiinteistössä on kulunut vettä vuoden aikana $1201m^3$. Koska kiinteistössä ei ole mitattu erikseen lämpimän käyttöveden kulutusta, on oletettava että lämpimän käyttöveden kulutus koko kulutuksesta on 40 %. Lämpimän käyttöveden valmistukseen tarvittavan energian määrä voidaan laskea kaavasta $Q_{LKV,tot} = 0,4 * 58kWh / m^3 * V_{kok.}$, missä $0,4 = 40\%$ kokonaisvedenkulutuksesta, $58 kWh/m^3 =$ energian määrä mikä tarvitaan veden lämmittämiseen 1000 litraa kohden ja $V_{kok} =$ veden kokonaiskulutus kiinteistössä. Joten tarvittava energiamäärä lämpimän käyttöveden valmistamiseen kiinteistössä on:

$$Q_{LKV,tot} = 0,4 * 58kWh / m^3 * 1201m^3 = 27863,2kWh$$

Kiinteistön lämmitykseen kuluva energiamäärä voidaan laskea kaavalla $Q_{tilat,tot} = Q_{kok,tot} - Q_{LKV,tot} - Q_{kulut,tot}$, jossa $Q_{tilat} =$ tilojen lämmitykseen tarvittava energiamäärä (kWh/a), $Q_{kok,tot} =$ kiinteistössä kulunut kokonaisenergia energiantoimittajan raportin mukaan (kWh/a), $Q_{LKV,tot} =$ lämpimän käyttöveden valmistukseen tarvittava energiamäärä toteutuneen kulutuksen mukaan (kWh/a) ja $Q_{kulut,tot} =$ kuluttajalaitteiden ja valaistuksen tarvitsema sähköenergia (kWh/a). [26.]

Kiinteistön lämmitykseen kuluva energia vuodessa:

$$Q_{tilat,tot} = 223000kWh - 27863,2kWh - 29158,4kWh \approx 165978,4kWh$$

5.3.1 Tilojen tarvitsema lämmitystehontarve

Määriteltäessä kuinka tehokkaan maalämpöpumpun kiinteistöön tarvitsee, jotta se kattaisi kiinteistön lämmitykseen tarvittavan tehontarpeen, on kiinteistölle laskettava lämmitystehon tarve.

Lämmitystehon tarvetta laskiessa täytyy ensin laskea kiinteistön rakennustilojen lämmitysenergian tarve kaavasta $Q_{tila} = Q_{joht.} + Q_{vuotoilma} + Q_{LKV} + Q_{iv,korvausilma}$, jossa Q_{tila} = tilojen lämmitysjärjestelmän tehontarve (kWh/a), $Q_{joht.}$ = johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi (kWh/a), $Q_{vuotoilma}$ = vuotoilman lämpenemisen tehontarve (kWh/a), Q_{LKV} = lämpimän käyttöveden valmistukseen tarvittava energia ja $Q_{iv,korvausilma}$ = IV-koneen poistaman ilman tilalle tulevan korvausilman lämmittämiseen tarvittava energia (kWh/a). [26.]

Ennen $Q_{joht.}$ määrittämistä tulee laskea kaikki rakennusosakohtaiset pinta-alat sekä määrittää rakenteiden U-arvot. Alla olevassa taulukossa on esitetty kiinteistön pinta-alat rakennusosakohtaisesti. Koska kiinteistöön ei ole tehty julkisivun kuntotutkimusta, josta selviäisi seinien, yläpohjan, alapohjan, ikkunoiden sekä ovien U-arvot, käytetään arvoina aiemmin työssä esitettyä taulukkoa U-arvojen vertailuarvoista (Taulukko 8).

Taulukko 8. Rakennusosakohtaiset pinta-alat.

	Yks.	Talo A	Talo B	Talo C	Yht.
Julkisivut	m ²	288,24	269,26	375,4	932,9
Ovet	m ²	35,2	26,4	26,22	87,82
Ikkunat	m ²	64,32	70	53,7	188,02
Alapohja	m ²	499,13	457,3	375,44	1438
Yläpohja	m ²	499,13	457,3	375,44	1438

Laskennassa käytetään apuna MX6-energiantodistuksen laadintaohjelmaa, joka laskee automaattisesti johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, vuotoilman lämpenemisen tehontarpeen, lämpimän käyttöveden valmistukseen tarvittavan energian sekä ilmanvaihdon korvausilman lämmittämiseen tarvittavan energian.

Alla olevassa taulukossa on esitetty ohjelman laskemat johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi rakennusosittain sekä vuotoilman lämpenemisen tehontarve. (Taulukko 9.)

Taulukko 9. Kiinteistön johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, vuotoilman lämpenemisen tehontarve ja lämpimän käyttöveden valmistukseen tarvittava energia.

	Yks.	Lukema
Johtumislämpöhäviöt (Q_{joht})	kWh/a	286318
Vuotoilman lämmittäminen ($Q_{\text{vuotoilma}}$)	kWh/a	21109
LKV:n valmistus (Q_{LKV})	kWh/a	44608
Korvausilman lämmitys ($Q_{\text{iv, korvausilma}}$)	kWh/a	100444
Q_{tila}	kWh/a	484265

Koska $Q_{\text{tilat}} = Q_{\text{joht}} + Q_{\text{vuotoilma}} + Q_{\text{LKV}} + Q_{\text{iv, korvausilma}}$, seuraa että $Q_{\text{tilat}} = 474475$ kWh/a.

Tämän jälkeen tilojen lämmitystehon tarvetta määrittettäessä tulee laskea H_{tila} , eli rakennuksen

tilojen ominaislämpöhäviö (W/K) kaavasta $H_{\text{tila}} = \frac{Q_{\text{tila}}}{S_{17} * 24}$, jossa Q_{tila} = rakennuksen

tilojen lämmitysenergiantarve (kWh/a), S_{17} = lämmitystarveluku paikkakunnalla (°Cvrk).

Tämän arvon käyttö edellyttää, että lämmitys on kytketty pois kesäaikana, sekä 24 = tuntien määrä vuorokaudessa. [26.]

$$H_{\text{tila}} = \frac{484265 \text{ kWh/a}}{5315 (\text{°Cvrk} * 24)} = 3796 \text{ W / K}$$

Tämän jälkeen voidaan laskea varsinainen tilojen lämmitykseen tarvittava lämmitysteho ϕ_{tila}

(W) kaavalla $\phi_{\text{tila}} = H_{\text{tila}} * (T_s - T_{\text{umit}})$, jossa H_{tila} = rakennuksen tilojen ominaislämpöhäviö

(W/K) ja T_s = sisätilojen mitoituslämpötila (°C) ja T_{umit} = mitoittava ulkoilmanlämpötila

(°C). Laskelmissa käytetään $T_s = 21$ °C ja $T_{\text{umit}} = -32$ °C, joten: [26.]

$$\phi_{\text{tila}} = 3796 \text{ W / K} * (21^\circ\text{C} - (-32^\circ\text{C})) = 201188 \text{ W / a}$$

5.3.2 Maalämmön tuottama energia ja kulutus

Jotta voidaan määrittää tarvitaanko kiinteistössä lisälämmitysenergiaa, jolla voidaan kattaa tilojen lämmitystehon tarve, täytyy laskea seuraavat asiat:

- lämpöpumpun suhteellinen lämpöteho
- tilojen ja käyttöveden vuotuinen lämmitysenergioiden suhde
- lämpöpumpun suhteellinen lämpöenergia

Lämpöpumpun suhteellinen lämpöteho

Eli tilojen tarvitsema lämmitysteho on 197107 W, jolloin voimme määrittää tarvittavan maalämpöpumpun tehon. Näissä laskelmissa maalämpö mitoitetaan koko lämmitystarpeelle, joten käytämme laskelmissa lämpöpumppuja, joiden yhteenlaskettu nimellisteho on 197107W. Tällöin maalämmön suhteellinen lämpöteho on $\frac{\phi_{lpn}}{\phi_{tila}}$, jossa ϕ_{lpn} = maalämmön tuottama nimellisteho ja ϕ_{tila} = tilojen vaatima lämmitysteho.[26.]

$$\frac{201188W}{201188W} = 1 \rightarrow 100\%$$

Tilojen ja käyttöveden vuotuinen lämmitysenergioiden suhde

Tilojen ja käyttöveden vuotuinen lämmitysenergioiden suhde saadaan yksinkertaisesti jakamalla tilojen lämmitykseen käytetty energia lämpimän käyttöveden valmistukseen kuluneella energialla: [26.]

$$\frac{Q_{tilat,tot}}{Q_{LVK,tot}} = \frac{1659784kWh/a}{27863kWh/a} = 5,9 \rightarrow 4$$

Ympäristöministeriön laatiman rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta D5:n mukaan suhde voi olla ainoastaan 4 tai sitä pienempi.

Lämpöpumpun kattama osuus tilojen vaatimasta lämpöenergiasta

Maalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergiasta saadaan ympäristöministeriön laatimasta taulukosta (Liite 4). Jotta osuus voidaan määrittää, tulee taulukkoon syöttää seuraavat arvot: [26.]

- lämpöpumpun tuottaman lämpötehon ja tilojen lämmityksen mitoitustehon suhde = 1,0
- tilojen lämmityksen ja lämpimän käyttöveden valmistamiseen tarvittavan energian suhde = 4
- sekä edellä mainittu lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötila +60 °C ja säävyöhykkeen numero 3

Tällöin taulukosta saadaan suhteelliselle lämpöpumpun tuottamalle lämpöenergialle arvo 0,98. Tämä tarkoittaa sitä, että maalämpöpumppu kykenee tuottamaan 98 % kaikesta vaaditusta lämmitysenergiasta ja 2 % joudutaan tuottamaan käyttämällä lisälämmitysenergiaa.

5.3.3 Tarvittava lisälämmitysenergia ja maalämpöpumpun tuottama energia

Koska maalämpöpumppu kykenee tuottamaan 98 % kaikesta vaadittavasta lämmitysenergiasta, tulee laskelmissa määrittää tarvittava lisälämmitysenergia tilojen lämmittämiseksi sekä lämpimän käyttöveden valmistamiseksi, joka on 2 % toteutuneesta energiankulutuksesta. Tarvittava tilojen lisälämmitysenergia saadaan kaavasta $Q_{\text{lisäläm,tilat}} = (1-0,98) * Q_{\text{tilat,tot}}$, jossa $(1-0,98)$ = tuotettava lisälämmitysenergian osuus maalämmön tuottamasta kokonaisenergiasta ja $Q_{\text{tilat,tot}}$ = toteutunut tilojen lämmitysenergian tarve, joten tarvittava lisälämmönenergia tilojen lämmittämiseksi on: [26.]

$$Q_{\text{lisäläm,tilat}} = (1-0,98) * 1659784 \text{ kWh/a} \approx 3320 \text{ kWh/a}$$

Puolestaan lämpimän käyttöveden valmistamiseen tarvittava lisäenergian määrä saadaan kaavasta $Q_{\text{lisäläm,LKV}} = (1-0,98) * Q_{\text{LKV,tot}}$, jossa $(1-0,98)$ = tuotettava lisälämmitysenergian osuus maalämmön tuottamasta kokonaisenergiasta ja $Q_{\text{LKV, tot}}$ = toteutunut lämpimän

käyttöveden valmistukseen kulunut energia, joten tarvittava lisälämmönenergia lämpimän käyttöveden tuottamiseksi on: [26.]

$$Q_{\text{lisäläm.,LKV}} = (1 - 0,98) * 27863 \text{ kWh/a} = 557 \text{ kWh/a}$$

Joten yhteenlaskettu lisälämmitysenergian tarve on:

$$3320 \text{ kWh/a} + 557 \text{ kWh/a} = \mathbf{3877 \text{ kWh/a}}$$

Maalämpöpumpun tuottama tilojen lämmitysenergia ja lämpimän käyttöveden valmistamiseen tuottama energia saadaan vähentämällä todellisista kulutuksista edellä lasketut lisälämmitysenergiat.

Maalämpöpumpun tuottama todellinen lämmitysenergia tiloille saadaan laskettua kaavalla,

$$Q_{LP,\text{lämmitys,tilat}} = Q_{\text{tilat,tot}} - Q_{\text{lisäläm,tilat}}, \text{ jossa } Q_{\text{tilat,tot}} = \text{toteutunut tilojen lämmitys (kWh/a) ja}$$

$Q_{\text{lisäläm,tilat}} = \text{tarvittava lisälämmönenergia tilojen lämmittämiseksi (kWh/a)}$, joten maalämmön tuottama lämmitysenergia tiloille on: [26.]

$$Q_{LP,\text{lämmitys,tilat}} = 1659784 \text{ kWh/a} - 3320 \text{ kWh/a} = 1626584 \text{ kWh/a}$$

Puolestaan maalämpöpumpun tuottama energia lämpimänkäyttöveden valmistukseen

$$\text{kaavalla } Q_{LP,\text{lämmitys,LKV}} = Q_{LKV,\text{tot}} - Q_{\text{lisäläm,LKV}}, \text{ missä jossa } Q_{LKV,\text{tot}} = \text{toteutunut lämpimän}$$

käyttöveden valmistukseen kulunut energia (kWh/a) ja $Q_{\text{lisäläm,LKV}} = \text{tarvittava lisälämmönenergia lämpimän käyttöveden valmistukseen (kWh/a)}$, joten maalämmön tuottama lämmitysenergia lämpimän käyttöveden valmistukseen on: [26.]

$$Q_{LP,\text{lämmitys,LKV}} = 27863 \text{ kWh/a} - 557 \text{ kWh/a} = 27306 \text{ kWh/a}$$

Joten maalämpöpumpun tuottama kokonaislämmitysenergia on:

$$162658,4 \text{ kWh/a} + 27306 \text{ kWh/a} = \mathbf{189964,4 \text{ kWh/a}}$$

5.3.4 Maalämpöpumpun kuluttama sähköenergia

Määriteltäessä maalämpöpumpun kuluttamaa sähköenergiaa, on maalämpöpumpulle määriteltävä SPF-luku. Käytännössä luku on lämpöpumpun tuottaman lämmitysenergian ja lämpöpumpun kuluttaman energian suhde. SPF-luku voidaan määrittää suoraan alla olevasta taulukosta:

Taulukko 10. SPF-luvun määrittäminen taulukko. [20]

Maalämpöpumppu	SPF-luku	
	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila, °C	
menoveden korkein lämpötila, °C	-3	+3
<i>Tilojen lämmitys</i>		
30	3,4	3,5
40	3,0	3,1
50	2,7	2,7
60	2,5	2,5
<i>Käyttöveden lämmitys</i>		
60	2,3	2,3

Taulukosta voidaan tulkita, että menoveden korkeimman lämpötilan ollessa + 60 °C ja vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötilan ollessa – 3 °C, tilojen lämmitykselle annettu SPF-luku on 2,5 ja puolestaan käyttöveden lämmitykselle annettu SPF-luku on 2,3. SPF-luku sisältää myös apulaitteiden, kuten kiertovesipumppujen käyttämän energian.

Lämpöpumpun kuluttama energia voidaan laskea kaavalla $W_{LP,lämmitys} = \frac{Q_{LP,tilat}}{SPF_{tilat}} + \frac{Q_{LP,LKV}}{SPF_{LKV}}$,

jossa $Q_{LP,tilat}$ = lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia tiloille, SPF_{tilat} = edellä mainittu lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian suhde kulutettuun energiaan tilojen osalta, $Q_{LP,LKV}$ = lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia lämpimän käyttöveden lämmittämiseen ja SPF_{LKV} = lämpöpumpun tuottaman lämpöenergian suhde kulutettuun energiaan lämpimän käyttöveden valmistamisen osalta. Joten lämpöpumpun kuluttama energia on: [26.]

$$W_{LP,lämmitys} = \frac{1659784 \text{ kWh/a}}{2,5} + \frac{27306 \text{ kWh/a}}{2,3} = 78263,5 \text{ kWh/a}$$

Tämän lisäksi kiinteistöön täytyy ostaa lisälämmitysenergiaa 3877 kWh/a, jolloin kokonaisenergian kulutus on $78263,5 \text{ kWh/a} + 3877 \text{ kWh/a} = \mathbf{82140,5 \text{ kWh/a}}$

5.4 Säästöt

Säästöjä tarkastellessa tulee verrata vanhoja lämmityskuluja uuteen, maalämmöllä saavutettaviin lämmityskuluihin.

Kustannuksien vertailu

Vanha lämmitysjärjestelmä

Laskelmissa käytetään energianhintana $0,12 \text{ €/kWh}$.

Ennen maalämmön asentamista toteutuneet vuotuiset lämmityskustannukset suoralla sähkölämmityksellä ovat noin $165978,4 \text{ kWh/a} * 0,12 \text{ €/kWh} \approx 19917 \text{ €/a}$.

Maalämpö

Maalämmön asentamisen jälkeen lämmityskustannukset olisivat seuraavat:

- Lisälämmitysenergia:

$$3877 \text{ kWh/a} * 0,12 \text{ €/kWh} \approx 465 \text{ €/a}$$

- Lämpöpumpun ja apulaitteiden kuluttama energia:

$$78263,5 \text{ kWh/a} * 0,12 \text{ €/kWh} \approx 9392 \text{ €/a}$$

Joten vuotuiset uudet kustannukset lämmityksen osalta olisivat $465 \text{ €/a} + 9392 \text{ €/a} = 9857 \text{ €/a}$.

Vanhojen lämmityskustannusten ollessa 19917 €/a ja uusien kustannuksien ollessa 9857 €/a , kustannuksien ero olisi $19917 \text{ €/a} - 9857 \text{ €/a} = 10060 \text{ €/a}$. Tulee kuitenkin muistaa, että säästöt ovat ainoastaan laskennallisia, eikä todellista vuosikulutusta voida määrittää ilman sähköntoimittajan raporttia todellisesta lämmitysenergian kulutuksesta.

6 YHTEENVETO

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli esitellä perinteisiä energiatehokkuuden parantamismenetelmiä. Työssä esiteltiin yleisesti julkisivuun kohdistuvia energiatehokkuutta parantavia toimenpiteitä, IV-saneerauksella ja lämmöntalteenotolla saavutettavia hyötyjä. Työn lopussa laskettiin kerrostaloon tehtävän ikkunoiden ja parvekeovien vaihdosta syntyneet elinkaarikustannukset, syntyvät säästöt sekä takaisinmaksuajat.

Ikkunoiden vaihdolla voidaan saavuttaa merkittäväkin energiansäästö, mikäli vanhat ikkunat ovat U-arvoltaan huonot. Säästöt laskettiin kohteeseen, joka oli Kajaanissa 1970-luvulla rakennettu kerrostalokiinteistö. Kiinteistössä oli alkuperäiset ikkunat U-arvoltaan $2,1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, jotka vaihdettiin ikkunoihin, joiden U-arvo on $1,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

Ikkunoiden vaihtamisella voidaan saavuttaa jopa 16000 kWh:n vuotuinen energiansäästö, joka vastaa nykyisellä energian hinnalla noin 1600 euroa vuodessa. Kustannuksia arvioitiin Martti Hekkasen tuottaman KH-kortin luonnoksen avulla. Kustannukset hankkeelle olivat noin 96 000 euroa. Takaisinmaksuaikaa arvioitaessa tuli muistaa tehdä ikkunoille ikävähennys, jonka seurauksena ikkunoiden takaisinmaksuaika oli 12 vuotta.

Maalämpöjärjestelmien ajankohtaisuuden vuoksi toisena esimerkkinä laskettiin maalämpöpumpun tuottama säästö sähkölämmitykseen verrattuna. Kohteena oli 20 asuntoa käsittävä rivitaloyhtiö Kajaanissa.

Laskelmista voitiin todeta, että laskennallinen vuotuinen maalämmöllä saavutettava rahallinen säästö verrattuna sähkölämmitykseen on jopa 10000 €/a. Työssä ei laskettu maalämmön perustamiskustannuksia, koska maalämmön asentaminen kiinteistöön vaatii aina suunnitelmat, joiden myötä voidaan varmistua kustannustasosta.

Kun puhutaan energiatehokkuuden parantamisesta kiinteistössä, tulisi sen olla jatkuvaa, eikä ainoastaan pakon sanelemaa. Yksittäisen toimenpiteen vaikutus tulee selvittää aina suunnitelmien avulla, jotta voidaan varmistua onko toimenpide oikea tietynlaisessa kiinteistössä.

Vuonna 2013 voimaantulleen ympäristöministeriön asetuksen mukaan, energiatehokkuuden parantaminen tulee ottaa huomioon kun kiinteistössä ryhdytään suunnittelemaan korjaustoimenpiteitä, mikäli tämä on rahallisesti ja toteutusteknisesti mielekästä.

LÄHTEET

1. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristöosasto, Rakennusten lämmöneristys, Suomen rakentamismääräyskokoelma osa C3 [PDF-dokumentti], http://www.finlex.fi/data/normit/34163-C3-2010_suomi_221208.pdf, luettu: 3.1.2014
2. Laki rakennuksen energiatodistuksesta: Liite 1, Energiatodistuksen kokonaisenergiankulutuksen (E-luvun) määrittäminen [WWW-dokumentti] <http://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/6186.pdf>, luettu: 29.1.2014
3. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristöosasto, Rakennusten energiatehokkuus, Suomen rakentamismääräyskokoelma osa D3 [PDF-dokumentti], http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf, luettu: 10.1.2014
4. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä [WWW-dokumentti] <http://www.ym.fi/download/noname/%7BC811B930-25A1-4CF9-84AA-AC06CA8A182D%7D/31587>, luettu: 30.1.2014
5. Ympäristöministeriö: Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuuden parantamisesta korjaus- ja muutostöissä, perustelumuistio. [WWW-dokumentti] <http://www.ym.fi/download/noname/%7BABC46079-EFAB-4160-A2EF-A9200E607940%7D/31588>, luettu: 1.2.2014
6. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry: RIL249-2009, Matalaenergiarakentaminen asuinrakennukset, ISBN 978-951-758-517-0
7. Kuva 1, rakennuskannan ikäjakauma. http://www.rakennusperinto.fi/kulttuuriymparisto/rakennuksia_ ja_ ymparistoja/ fi_ FI/tilastoja_rakennuskannasta/ files/13401933870046889/default FS/Rakennuskannan_ ikajakauma_ Koko_ maa2.gif
8. Julkisivun energiakorjaus, Linne Stina, 8.5.2012 [PDF/WWW-dokumentti.] http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari2/images/stories/File/Ajankohtaista_Tilaisuudet/JSY_vuosikokousseminaari08052012/Linne.pdf, luettu: 10.1.2014
9. Rakennusperintö.fi; Kerrostalojen perusrakenteet ja talotekniikka 1880-luvulta nykypäivään, [WWW-artikkeli], luettu: 28.1.2014 http://www.rakennusperinto.fi/Hoito/Korjaus_artikkelit/ fi_ FI/Kerrostalojen_perusrakenteet_talotekniikka/

10. Kuva 2. Kiinteistön lämmitysenergia tase, Keski-Suomen energiatase 2012 esitys [PDF-dokumentti]
11. Hietala Hannu, Betonijulkisivujen rakenteet, luentomateriaali, julkaisematon, Kajaanin ammattikorkeakoulu.
12. Kuva 3, tuulettuva sandwich elementti, Joutsenon elementti
http://www.joutsenonelementti.fi/innovaatiot/tuulettuva_sandwich.html
13. Julkisivu yhdistys. JUKO materiaali:
<http://www.julkisivuyhdistys.fi/julkkari2/juko/korjaustavat.html>, luettu: 3.2.2014
14. Holopainen Riikka, Hekkanen Martti, Hemmilä Kari, Norvasuo Markku, Suomalaisten rakennusten energiakorjausmenetelmät ja säästöpotentiaalit. VTT-tiedote [PDF-dokumentti] <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2377.pdf>, luettu: 10.2.2014
15. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA, www.ara.fi, luettu: 17.2.2014
16. Hekkanen Martti, Energiaselvitys kuntoarviossa, KH-kortinluonnos, julkaisematon, [PDF-dokumentti], luettu: 20.2.2014
17. Elinkaarikustannusten laskenta, luento materiaali, julkaisematon, Kajaanin ammattikorkeakoulu
18. Boström Sanna, Uotila Ulrika, Linne Stina, Hilliaho Kimmo, Lahdensivu Jukka, Erilaisten korjaustoimien vaikutuksia lähiökerrostalojen todelliseen energiankulutukseen, Tampereen teknillinen yliopisto, rakennustekniikan laitos, rakennetekniikka, tutkimusraportti 158. ISBN 978-952-15-2911-5 (nid)
19. Motiva, Ikkunoiden energiatehokkuus,
http://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/ vaikuta_ hankinnoilla/ ikkunoiden_ energialuokitus/ ikkunoiden_ energiatehokkuus [WWW-dokumentti], luettu: 6.2.2014
20. Jaakkola Tuomo, Lindstedt Tuomo, Junnonen Juha-Matti, Energiatehokas asuin- ja kerrostalojen talotekniikkakorjaus, Suomen rakennusmedia Oy, ISBN: 978-9525785-50-0
21. Ympäristöopas 2013, Energiakaivo, maalämmönhyödyntäminen pientaloissa, Juvonen Janne, Lapinlampi Toivo, Edita Prima Oy, ISBN 978-952-11-4211-6 [PDF-dokumentti], luettu: 12.2.2014
22. Motiva, Maalämpöpumppu,
http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/maalampopumppu, luettu: 17.2.2014
23. Energiatehokaskoti, energiatehokas tuloilman viilennys,
http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/miten_tehdaan_energiatehokas_koti/energiatehokas_ilmanvaihto_ ja_ jaahdytys/energiatehokas_tuloilman_viilennys [WWW-dokumentti], luettu: 9.4.2014

24. Suomen Lämpöpumppuyhdistys Ry, lämpöpumput <http://www.sulpu.fi>, luettu 17.2.2014
25. Motiva, lämmitysverkoston perussäätö, http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/lammitysverkoston_perussaato, luettu: 17.2.2014
26. Suomen ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta, D5. [PDF-dokumentti], <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BDF2B6F84-2CF9-4C43-9D76-9B04C7AF1D72%7D/30748>, luettu: 20.4.2014

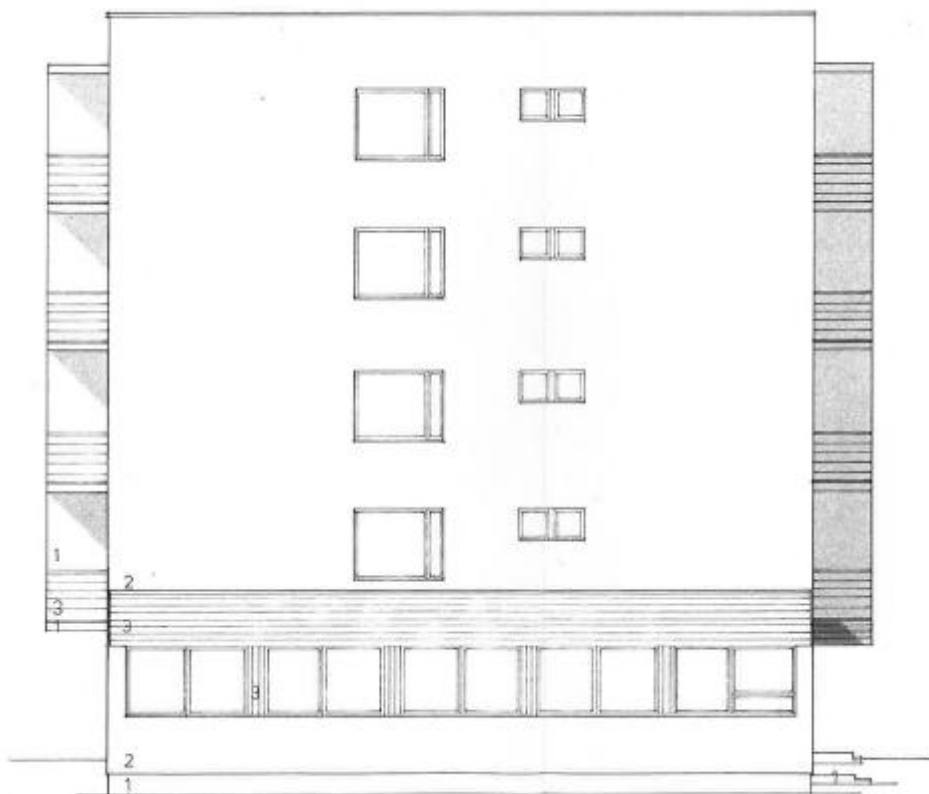
LIITTEET

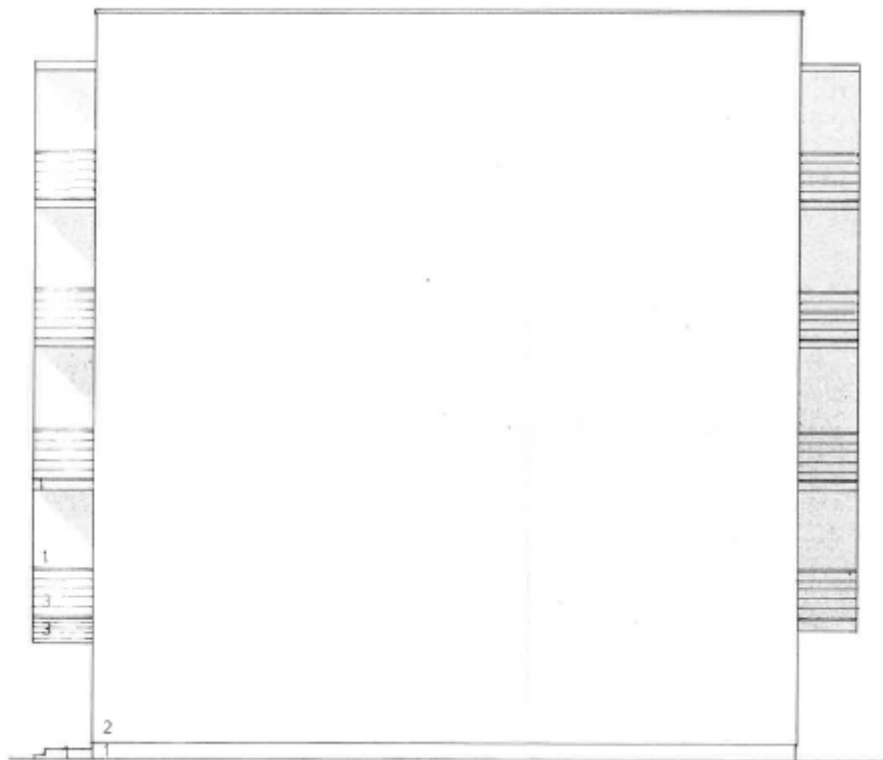
Liite 1. Julkisivukuvat ikkunoiden ja parvekeovien vaihtoon

Liite 2. Diskonttaustaulukot

Liite 3. Julkisivu- ja pohjakuvat maalämpökohteesta

Liite 4. Maalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergiasta





Taulukko 1.
Diskonttaustekijä.

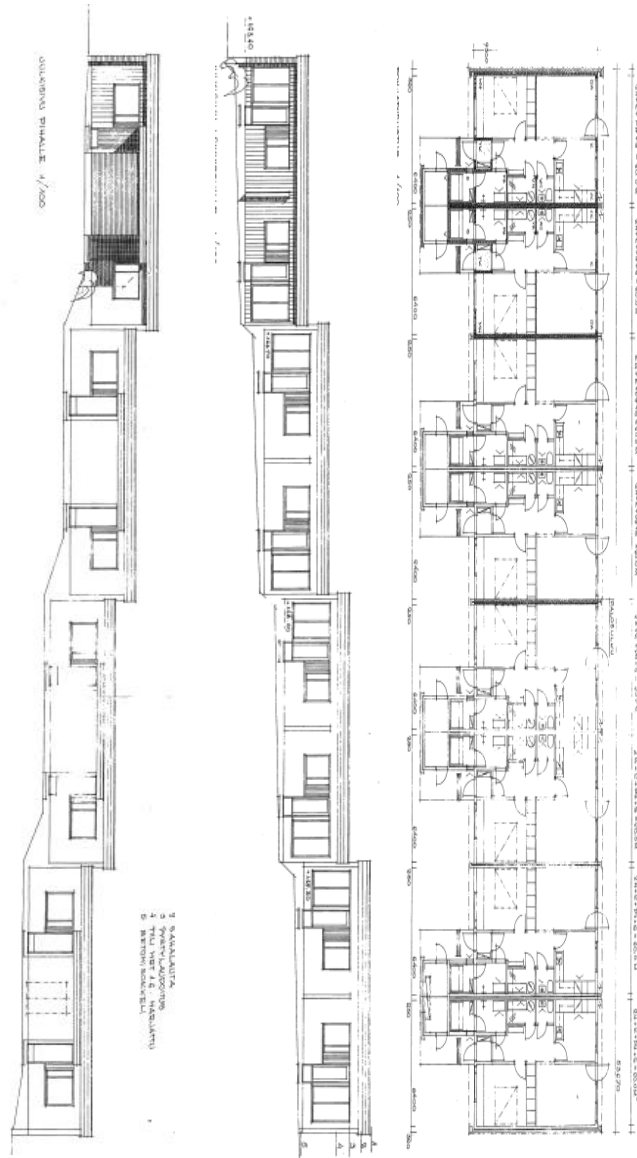
Yksittäissuoritusten diskonttaustekijöiden taulukko luku jaetaan 100:lla

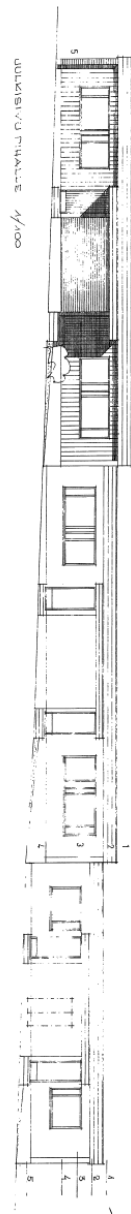
Disk. aika vuotta	Diskonttausprosentti												
	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %	8 %	9 %	10 %	11 %	12 %	13 %	14 %	15 %
1	97,1	96,2	95,2	94,3	93,5	92,8	91,7	90,9	90,1	89,3	88,5	87,7	87,0
2	94,3	92,5	90,7	89,0	87,3	85,7	84,2	82,8	81,2	79,7	78,3	76,9	75,8
3	91,5	88,9	86,4	84,0	81,8	79,4	77,2	75,1	73,1	71,2	69,3	67,5	65,8
4	88,8	85,5	82,3	79,2	76,3	73,5	70,8	68,3	65,9	63,6	61,3	59,2	57,2
5	86,3	82,2	78,4	74,7	71,3	68,1	65,0	62,1	59,3	56,7	54,3	51,9	49,7
6	83,7	79,0	74,6	70,5	66,6	63,0	59,8	56,4	53,5	50,7	48,0	45,6	43,2
7	81,3	76,0	71,1	66,5	62,3	58,3	54,7	51,3	48,2	45,2	42,5	40,0	37,6
8	78,9	73,1	67,7	62,7	58,2	54,0	50,2	46,7	43,4	40,4	37,6	35,1	32,7
9	76,6	70,3	64,5	59,2	54,4	50,0	46,0	42,4	39,1	36,1	33,3	30,8	28,4
10	74,4	67,8	61,4	55,8	50,8	46,3	42,2	38,6	35,2	32,2	29,5	27,0	24,7
11	72,2	65,0	58,5	52,7	47,5	42,9	38,8	35,0	31,7	28,7	26,1	23,7	21,5
12	70,1	62,5	55,7	49,7	44,4	39,7	35,6	31,9	28,6	25,7	23,1	20,8	18,7
13	68,1	60,1	53,0	46,9	41,5	36,8	32,6	29,0	25,8	22,9	20,4	18,2	16,3
14	66,1	57,7	50,5	44,2	38,8	34,0	29,9	26,3	23,2	20,5	18,1	16,0	14,1
15	64,2	55,5	48,1	41,7	36,2	31,5	27,5	23,9	20,9	18,3	16,0	14,0	12,3
16	62,3	53,4	45,8	39,4	33,9	29,2	25,2	21,8	18,8	16,3	14,1	12,3	10,7
17	60,5	51,3	43,6	37,1	31,7	27,0	23,1	19,8	17,0	14,6	12,5	10,8	9,3
18	58,7	49,4	41,6	35,0	29,6	25,0	21,2	18,0	15,3	13,0	11,1	9,5	8,1
19	57,0	47,5	39,6	33,1	27,7	23,2	19,4	16,4	13,8	11,6	9,8	8,3	7,0
20	55,4	45,6	37,7	31,2	25,8	21,5	17,8	14,9	12,4	10,4	8,7	7,3	6,1
25	47,8	37,5	29,5	23,3	18,4	14,8	11,6	9,2	7,4	5,9	4,7	3,8	3,0
30	41,2	30,8	23,1	17,4	13,1	9,9	7,5	5,7	4,4	3,3	2,6	2,0	1,5
35	35,5	25,3	18,1	13,0	9,4	6,8	4,9	3,6	2,8	1,9	1,4	1,0	0,8
40	30,7	20,8	14,2	9,7	6,7	4,6	3,2	2,2	1,5	1,1	0,8	0,5	0,4
45	26,4	17,1	11,1	7,3	4,8	3,1	2,1	1,4	0,9	0,6	0,4	0,3	0,2
50	22,8	14,1	8,7	5,4	3,4	2,1	1,3	0,9	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1
55	19,7	11,6	6,8	4,1	2,4	1,5	0,9	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0
60	17,0	9,5	5,4	3,0	1,7	1,0	0,6	0,3	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0
65	14,6	7,8	4,2	2,3	1,2	0,7	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
70	12,6	6,4	3,3	1,7	0,9	0,5	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
75	10,9	5,3	2,6	1,3	0,6	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
80	9,4	4,3	2,0	0,9	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
85	8,1	3,6	1,6	0,7	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
90	7,0	2,9	1,2	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
95	6,0	2,4	1,0	0,4	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
100	5,2	2,0	0,8	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Taulukko 4.
Jaksollisten maksujen diskonttaustekijä.

Jaksollisten suoritusten diskonttaustekijä luku jaetaan 100:lla

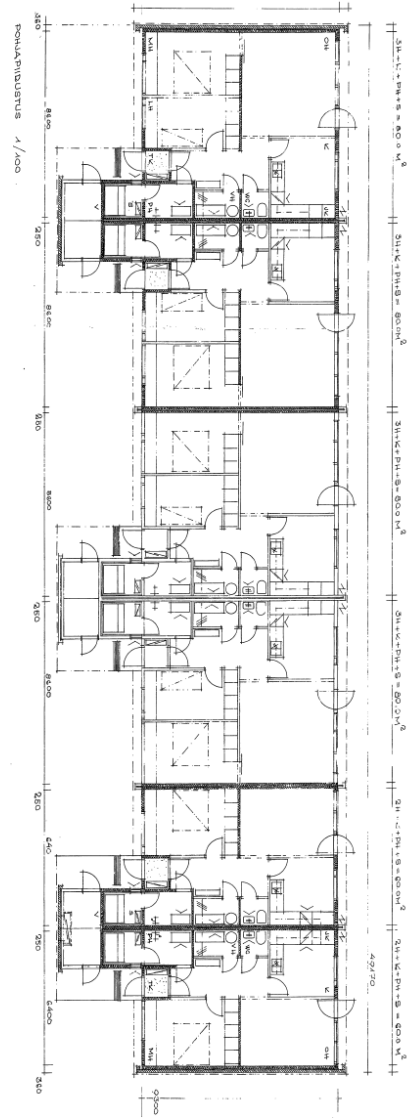
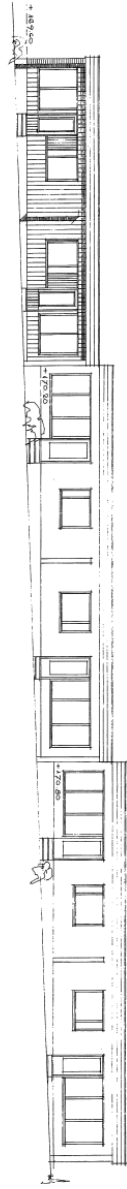
Tuottoaika vuotta	Korkoprosentti													
	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %	8 %	9 %	10 %	11 %	12 %	13 %	14 %	15 %	
1	97	96	95	94	93	93	92	91	90	89	88	88	87	
2	191	189	186	183	181	178	176	174	171	169	167	165	163	
3	283	278	272	267	262	258	253	249	244	240	236	232	228	
4	372	363	355	347	339	331	324	317	310	304	297	291	285	
5	458	445	433	421	410	399	389	379	370	360	352	343	335	
6	542	524	508	492	477	462	449	436	423	411	400	389	378	
7	623	600	579	558	539	521	503	487	471	456	442	429	416	
8	702	673	646	621	597	575	553	533	515	497	480	464	449	
9	779	744	711	680	652	625	600	576	554	533	513	495	477	
10	853	811	772	736	702	671	642	614	589	565	543	522	502	
11	925	876	831	789	750	714	681	650	621	594	569	545	523	
12	995	939	886	838	794	754	716	681	646	619	592	568	542	
13	1063	999	939	885	836	790	749	710	675	642	612	584	558	
14	1130	1056	990	929	875	824	779	737	698	663	630	600	572	
15	1194	1112	1038	971	911	856	808	761	719	681	646	614	585	
16	1256	1165	1084	1011	945	885	831	782	738	697	660	627	595	
17	1317	1217	1127	1048	976	912	854	802	755	712	673	637	605	
18	1375	1266	1169	1083	1006	937	876	820	770	725	684	647	613	
19	1432	1313	1209	1116	1034	960	895	836	784	737	694	655	620	
20	1488	1359	1246	1147	1059	982	913	851	798	747	702	662	626	
25	1741	1562	1409	1278	1165	1067	982	908	842	784	733	687	646	
30	1980	1729	1537	1376	1241	1126	1027	943	869	806	750	700	657	
35	2149	1866	1637	1450	1295	1165	1057	964	886	818	759	707	662	
40	2311	1979	1716	1505	1333	1192	1076	978	895	824	763	711	664	
45	2452	2072	1777	1546	1361	1211	1088	986	901	828	766	712	665	
50	2573	2148	1826	1576	1380	1223	1096	991	904	830	768	713	666	
55	2677	2211	1863	1599	1394	1232	1101	995	906	832	769	714	666	
60	2768	2262	1893	1616	1404	1238	1105	997	907	832	769	714	667	
65	2845	2305	1916	1629	1411	1242	1107	998	908	833	769	714	667	
70	2912	2339	1934	1638	1416	1244	1108	999	908	833	769	714	667	
75	2970	2368	1948	1646	1420	1246	1109	999	909	833	769	714	667	
80	3020	2392	1960	1651	1422	1247	1110	1000	909	833	769	714	667	
85	3063	2411	1968	1655	1424	1248	1110	1000	909	833	769	714	667	
90	3100	2427	1975	1658	1425	1249	1111	1000	909	833	769	714	667	
95	3132	2440	1981	1660	1426	1249	1111	1000	909	833	769	714	667	
100	3160	2450	1985	1662	1427	1249	1111	1000	909	833	769	714	667	





- 1. KIDONKATTE
- 2. OVIKORIT
- 3. PESTYLAADONTUS
- 4. TIILINPÄÄK. MAALANTU
- 5. BÄNKKÖKORIT

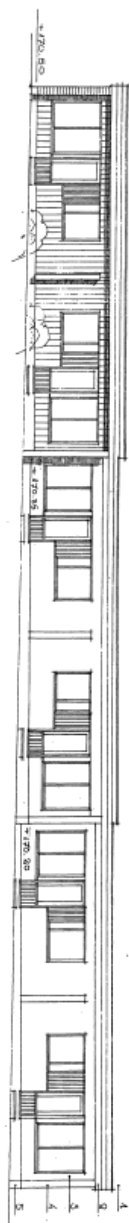
ULKOSIVUN LEIKKEPOUILLE 1/100



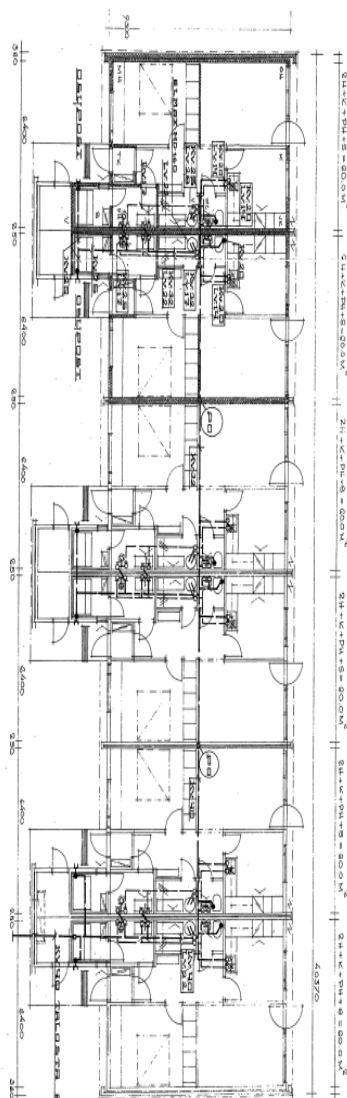
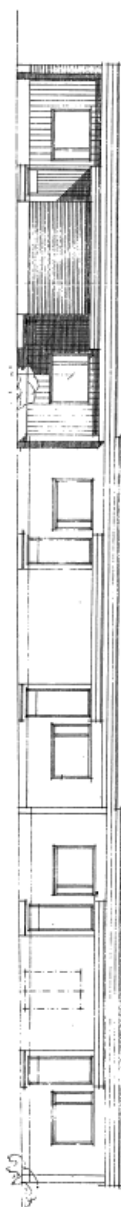


E PÄÄTY 1/100

PÄÄTY 1/100



ULKOKSIVU PIAALLE 1/100



Taulukko L2.1. Maalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergian tarpeesta ($Q_{L,P}/Q_{\text{lämmitys, tilat, lkv}}$). Taulukossa ($\phi_{L,P}/\phi_{\text{tila}}$) on lämpöpumpun tuottaman lämpötehon ja tilojen lämmityksen mitoitustehon suhde, ($Q_{\text{lämmitys, tilat}}/Q_{\text{lämmitys, lkv}}$) tilojen lämmityksen lämpöenergian tarpeen ja lämpimän käyttöveden lämmittämisen lämpöenergian tarpeen suhde ja (T_m) on korkein menoveden lämpötila. Lämpöpumpun nimellisteho $\phi_{L,P,n}$ annetaan toimintapisteessä T_{huot}/T_m 0/35 °C.

$\phi_{L,P}/\phi_{\text{tila}}$	$\frac{Q_{\text{lämmitys, tilat}}}{Q_{\text{lämmitys, lkv}}}$	Maalämpöpumpun kattama osuus tilojen ja lämpimän käyttöveden lämpöenergiasta ($Q_{L,P}/Q_{\text{lämmitys, tilat, lkv}}$)											
		Säävyöhyke: I-II				Säävyöhyke: III				Säävyöhyke: IV			
		$T_m, \text{°C}$				$T_m, \text{°C}$				$T_m, \text{°C}$			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0.30	0.50	0.39	0.39	0.39	0.39	0.38	0.38	0.38	0.38	0.36	0.36	0.36	0.36
	1.00	0.47	0.47	0.47	0.47	0.46	0.46	0.46	0.46	0.44	0.44	0.44	0.44
	2.00	0.62	0.60	0.58	0.56	0.60	0.58	0.56	0.54	0.44	0.54	0.52	0.51
	4.00	0.68	0.65	0.62	0.59	0.67	0.63	0.60	0.58	0.63	0.59	0.56	0.54
0.40	0.50	0.52	0.52	0.52	0.52	0.51	0.51	0.51	0.51	0.48	0.48	0.48	0.48
	1.00	0.67	0.66	0.65	0.64	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59	0.59
	2.00	0.78	0.75	0.72	0.70	0.76	0.73	0.70	0.68	0.59	0.69	0.67	0.64
	4.00	0.84	0.79	0.76	0.73	0.82	0.77	0.73	0.70	0.78	0.73	0.69	0.66
0.50	0.50	0.65	0.65	0.65	0.65	0.63	0.63	0.63	0.63	0.61	0.61	0.61	0.61
	1.00	0.82	0.80	0.78	0.76	0.80	0.78	0.76	0.74	0.77	0.74	0.73	0.71
	2.00	0.90	0.87	0.84	0.81	0.89	0.85	0.82	0.79	0.71	0.81	0.78	0.75
	4.00	0.92	0.89	0.86	0.83	0.91	0.88	0.84	0.81	0.89	0.84	0.80	0.76
0.60	0.50	0.81	0.80	0.79	0.78	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.74	0.73
	1.00	0.92	0.90	0.88	0.86	0.91	0.88	0.86	0.84	0.88	0.85	0.82	0.80
	2.00	0.95	0.93	0.91	0.89	0.95	0.92	0.90	0.87	0.80	0.90	0.86	0.83
	4.00	0.96	0.94	0.92	0.90	0.96	0.93	0.91	0.88	0.95	0.91	0.88	0.85
0.70	0.50	0.92	0.90	0.88	0.87	0.90	0.88	0.87	0.86	0.87	0.85	0.84	0.83
	1.00	0.97	0.95	0.94	0.92	0.96	0.95	0.93	0.91	0.95	0.92	0.90	0.88
	2.00	0.98	0.96	0.95	0.93	0.98	0.96	0.94	0.92	0.88	0.95	0.92	0.90
	4.00	0.98	0.97	0.95	0.94	0.98	0.96	0.95	0.93	0.98	0.95	0.93	0.90
0.80	0.50	0.97	0.96	0.95	0.94	0.97	0.95	0.94	0.93	0.95	0.93	0.91	0.90
	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.99	0.97	0.96	0.95	0.98	0.96	0.95	0.93
	2.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.99	0.98	0.97	0.95	0.99	0.97	0.95	0.95
	4.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.99	0.98	0.97	0.95	0.99	0.98	0.96	0.94
0.90	0.50	0.99	0.98	0.98	0.97	0.99	0.98	0.97	0.96	0.99	0.97	0.96	0.95
	1.00	1.00	0.99	0.98	0.97	1.00	0.99	0.98	0.97	0.99	0.98	0.97	0.96
	2.00	1.00	0.99	0.98	0.98	1.00	0.99	0.98	0.97	1.00	0.99	0.97	0.96
	4.00	1.00	0.99	0.98	0.97	1.00	0.99	0.98	0.97	1.00	0.99	0.97	0.96
1.00	0.50	1.00	0.99	0.99	0.98	1.00	0.99	0.99	0.98	1.00	0.99	0.98	0.97
	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	0.99	0.98	1.00	0.99	0.99	0.98
	2.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	0.99	0.98	1.00	0.99	0.99	0.98
	4.00	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00	0.99	0.98	1.00	1.00	0.99	0.98