

Julius Luukka

ASUINRAKENNUSTEN
LÄMMITYSENERGIAN-
KULUTUKSEN VÄHENTÄMINEN

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Toukokuu 2010




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences	Opinnäytetyön päivämäärä				
Tekijä(t) Julius Luukka	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikka				
Nimeke Asuinrakennusten lämmitysenergiankulutuksen vähentäminen					
Tiivistelmä <p>Insinööriyössä tutkittiin asuinrakennusten lämmitysenergiankulutusta ja keinoja kulutuksen vähentämiseen. Pääpaino asetettiin energiansäästötoimenpiteisiin. Työssä kerättiin tietoa tavallisimpien toimenpiteiden teknisestä toteuttamisesta, investointikustannuksista ja kannattavuudesta.</p> <p>Suomi on osana Euroopan unionia sitoutunut vähentämään kasvihuonepäästöjään ja lisäämään uusiutuvan energian käyttöä ilmastomuutoksen torjumiseksi. Rakennusten lämmityksellä on merkittävä osuus energian loppukäytöstä ja energiantuotannon päästöistä.</p> <p>Eryisesti vanhaan rakennuskantaan kohdistuvat energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet ovat keskeisiä keinoja päästöjen ja energiankulutuksen vähentämisessä. Valittavana on erilaisia toimenpiteitä, joiden kannattavuutta arvioidaan energiansäästölaskelmien ja kustannusten perusteella.</p> <p>Tutkimusaineistona käytettiin LVI-alan oppikirjoja, tutkimusraportteja, lehtiartikkeleita sekä rakentamismääräyksiä ja -ohjeita. Oppikirjoista ja rakentamismääräyksistä selvitettiin energiansäästölaskelmat, joilla arvioidaan toimenpiteiden vaikutusta rakennuksen lämmitysenergiankulutukseen. Toimenpiteiden teknologiaa ja toteuttamista selvitettiin lehtiartikkeleista, tuote-esitteistä ja oppikirjoista. Kustannuksia selvitettiin rakentamisen yleisistä laatuvaatimuksista ja tutkimusraporteista.</p> <p>Työn tuloksena syntyi kokoelma erilaisten toimenpiteiden kuvauksista ja kannattavuuteen liittyvien laskelmien tekemisestä. Tärkein yksittäinen toimenpide on poistoilman lämmön talteenotto. Toteutettavat ratkaisut on selvitettävä tapauskohtaisesti kohteen ominaisuuksien mukaan. Energiansäästölaskelmat ovat arvioita ja todelliset säästöt on selvitettävä mittaamalla.</p>					
Asiasanat (avainsanat) energiansäästö, energiatehokkuus, toimenpiteet, takaisinmaksuaika, kannattavuus,					
Sivumäärä	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Kieli</td> <td style="width: 33%;">URN</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">suomi</td> <td></td> </tr> </table>	Kieli	URN	suomi	
Kieli	URN				
suomi					
Huomautus (huomautukset liitteistä)					
Ohjaavan opettajan nimi Jarmo Tuunanen	Opinnäytetyön toimeksiantaja Senera Oy				

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis	
Author(s) Julius Luukka		Degree programme and option Building Services Engineering	
Name of the bachelor's thesis Methods for reducing the heating energy consumption of residential buildings			
Abstract <p>The purpose of the bachelor thesis was to study the heating energy consumption of residential buildings and methods for reducing the energy consumption. The emphasis was placed on the methods of energy conservation. The purpose was to collect information of the most common technical procedures of energy conservation and investment costs and profitability of the investment.</p> <p>The information sources of the study were the HVAC – branch study books, research reports, news articles as well as construction codes and instructions. The HVAC-branch study books were the sources of information of energy conservation calculations. These are used for assessment of the effect on the heating energy consumption of the buildings. The technology and the implementation of the procedures was studied based on news articles, product brochures as well as study books. Costs of the various procedures were studied based on the Generic Quality Requirements and research reports.</p> <p>As the final product of the study is a group of descriptions of various methods and procedures as well as calculations of the profitability. The most important procedure is the heat recovery of exhaust air. The procedures which can be implemented have to be selected based on the qualities of the specific facility. Energy conservation calculations are estimates, and the real quantities of conserved energy must be verified by measurements.</p>			
Subject headings, (keywords) reducing the energy consumption, energy efficiency, repayment period, profitability			
Pages	Language finnish	URN	
Remarks, notes on appendices			
Tutor JarmoTuunanen		Bachelor's thesis assigned by Senera Oy	

SYMBOLILUOTTELO

a	Annuiteettikerroin
g	Auringon säteilyn kokonaisläpäisy
D	Diskonttaustekijä
e	Energian yksikköhinta, e / kWh
W	Energian säästö, kWh / a
\bar{e}	Energian säästökustannus, e / kWh
M	Henkilön kehon aineenvaihdunnan teho, met
I_{cl}	Henkilön vaatetuksen lämmöneristävyys, clo
T_o	Huoneen optimaalinen operatiivinen lämpötila, °C
L	Ikkunan ilmanvuotoluku, m ³ /m ² h
ΔQ_{ikkuna}	Ikkunan vaihdolla saavutettava energiansäästö, kWh/a
ρ_i	Ilman tiheys, kg/m ³
$Q_{IV, ei LTO}$	Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia ilman LTO:a
$Q_{ilmanvaihto}$	Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema lämmitysenergia
c	Ilmanvaihdon viikonloppukäytön kerroin
τ	Ilmanvaihdon vuorokautinen käyttöaikakerroin
C	Ilmanvaihdon ominaiskulutusluku, kJh/kg/a
ΔC	Ilmanvaihdon ominaiskulutusten muutos, kJh/kg/a
H_{iv}	Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö
q_i	Ilmavirta, m ³ /s
K	Investoinnista aiheutuvat vuotuiset käyttökustannukset, e / a
I	Investoinnin hankintakustannukset, e
T	Investoinnin takaisinmaksuaika, a
N	Investoinnin nykyarvo, e
A	Investoinnin vuosiannuiteetti, e / a
$T_{jäte}$	Jäteilman lämpötila, °C
b	Kerroin, jolla otetaan huomioon ikkunan suuntaus ja ympäristö, 0,8-1,0
T_{KV}	Kylmän käyttöveden lämpötila, °C
Q_{LKV}	Käyttöveden lämmityksen energiankulutus, kWh

$Q_{LKV,netto}$	Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli netto-energiantarve, kWh
$Q_{LKV,häviöt}$	Käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh
Q_L	Käyttövesijärjestelmään liitettyjen lämmityslaitteiden hyötylämpö, kWh
Q_P	Käyttövesijärjestelmään tuotu primäärienergia, kWh
n	Laskenta-aika, investoinnin pitoaika, a
i	Laskentakorkokanta jaettuna 100:lla, %
E	Laskennallinen vuotuinen energiankulutus, kWh/m ² /a
ΔQ_{joht}	Lisäeristyksen aikaansaama energiansäästö vuodessa, kWh/a
V	Lämmitetty tilavuus, jota ilmanvaihdon muutos koskee, m ³
Q	Lämmönkulutus tarkastelujakson aikana, kWh
$\Delta Q_{ilmanvaihto}$	Lämmöntalteenotolla saavutettava säästö vuodessa, kWh/a
Q_{LTO}	Lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettu ja tuloilman lämmityksessä hyödynnetty energia, kWh
S	Lämmöntarveluku, Kd/a
S_{17}	Lämmöntarveluku, joka on laskettu + 17 °C sisälämpötilalla, Kd
$\eta_{lämmitys}$	Lämmöntuottolaitteen vuosihyötysuhde
q	Lämmön ominaiskulutus, kWh/W/K
$T_{lkv,kierto, paluu}$	Lämpimän käyttöveden kiertopiirin paluuveden lämpötila, °C
$q_{v,lkv,kierto}$	Lämpimän käyttöveden kiertopiirin vesivirta, m ³ /s
V_{LKV}	Lämpimän käyttöveden kulutus, m ³
T_{lkv}	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
T_{LKV}	Lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
η_{LKV}	Lämpimän käyttövesijärjestelmän hyötysuhde
$Q_{LTO,LP}$	Poistoilmalämpöpumpulla talteenotettu ja tilojen tai käyttöveden lämmityksessä hyödynnetty energia, kWh
$Q_{LP,LKV}$	Poistoilmalämpöpumpun varaajaan siirtämä ja käyttöveden lämmityksessä hyödynnetty energia, kWh
Q_{LP}	Poistoilmalämpöpumpun varaajaan siirtämä ja tilojen tai käyttöveden lämmityksessä hyödynnetty energia, kWh
ε_{LP}	Poistoilmalämpöpumpun vuotuinen lämpökerroin

$Q_{\text{lämmitys}}$	Rakennuksen lämmitysenergiankulutus, kWh
$Q_{\text{lämmitys, osto}}$	Rakennuksen ostettavan lämmitysenergian kulutus, kWh
$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$	Rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus, kWh
n_{50}	Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h
$n_{\text{vuotoilma}}$	Rakennuksen vuotoilmakerroin, 1/h
U	Rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m ² K)
A	Rakennusosan pinta-ala, m ² .
H_{joht}	Rakennusosan ominaisjohtumislämpöhäviö, W/K
ΔU	Rakenteen vanhan ja uuden U-arvon erotus, W/m ² K
T_s	Sisäilman lämpötila, °C
d	Suorituksen diskonttauskerroin
Δt	Tarkastelujakson pituus, h
T_u	Ulkoilman lämpötila, °C
G	Ulkovaipan konduktanssi, W/K
ΔU	Vanhan ja uuden ikkunan U -arvojen erotus, W/m ² K
Δn	Vanhan ja uuden vuotoilmakertoimen erotus, 1/h
C_{pv}	Veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK
ρ_v	Veden tiheys, kg/m ³
$Q_{\text{vuotoilma}}$	Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh
$H_{\text{vuotoilma}}$	Vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	TUTKIMUS	2
2.1	Tausta.....	2
2.2	Tavoitteet	2
2.3	Rajaus	3
2.4	Toteutus	3
3	ASUINRAKENNUSTEN LÄMMITYSENERGIAN KULUTUS.....	3
3.1	Asuinrakennusten lämpötase	6
3.2	Ostoenergia	7
3.3	Ilmaisenergiat	8
3.4	Käyttöveden lämmityksen energiankulutus.....	9
3.5	Johtumislämpöhäviöt.....	10
3.6	Ilmanvaihdon ja ilmastoinnin lämmitysenergiankulutus.....	12
3.7	Vuotoilmanvaihdon lämmityksen energiankulutus	13
3.8	Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöt.....	13
4	ASUINRAKENNUKSEN ELINKAAREN AIKAISEN LÄMMITYSENERGIANKULUTUKSEN HALLINTA	14
4.1	Suunnittelu.....	15
4.2	Käyttö ja ylläpito	17
4.2.1	Käyttöveden lämpötila ja kulutus	18
4.2.2	Huonelämpötila.....	20
4.2.3	Tarpeenmukainen ilmanvaihto.....	21
4.3	Energiatehokkuuden parantaminen	24
5	KÄYTTÖVEDEN LÄMMITYKSEN ENERGIANKULUTUKSEN VÄHENTÄMINEN	25
5.1	Paineenalennus	27
5.2	Käyttövesijärjestelmän lämpöhäviöiden vähentäminen	27
5.3	Vesikalusteiden vaihtaminen	29
5.4	Asuntokohtaisen vedenmittauksen asentaminen	30
5.5	Vuotokartoitus ja korjaukset.....	31
6	RAKENNUKSEN LÄMPÖHÄVIÖIDEN VÄHENTÄMINEN.....	33

6.1	Rakenteiden tiivistäminen	33
6.2	Ikkunoiden uusiminen	36
6.3	Lisäeristäminen.....	38
6.3.1	Ulkoseinien lisäeristäminen	38
6.3.2	Yläpohjan lisäeristäminen.....	40
6.3.3	Alapohjan lisäeristäminen.....	40
7	LÄMMÖN TALTEENOTTO JA HYÖDYNTÄMINEN.....	41
7.1	Poistoilman lämmöntalteenotto	41
7.2	Savukaasun ja jäteveden lämmöntalteenotto	46
8	LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN ENERGIATEHOKKUUS	46
8.1	Lämmitystavat	46
8.1.1	Sähkölämmitys.....	48
8.1.2	Kattilalaitokset	49
8.1.3	Kaukolämmitys	50
8.1.4	Lämpöpumput	51
8.2	Lämmitystavan vaihtaminen.....	54
8.2.1	Vaikutukset lämmönjakeluun ja lämmönluovutukseen	54
8.3	Patteriverkoston perussäätö	55
8.4	Termostaattiset patteriventtiilit.....	58
9	SANEERAUSTOIMENPITEEN KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI.....	59
9.1	Lähtöarvot.....	60
9.2	Energiansäästölaskelmat.....	61
9.3	Kannattavuuden arviointimenettelyt.....	61
9.4	Tulosten tarkastelu ja päätöksenteko	64
10	POHDINTA	66
11	LÄHTEET	67

1 JOHDANTO

Primäärienergiankulutus on kasvanut Suomessa tasaisesti hintojen noususta huolimatta useita vuosikymmeniä. Tähän ovat syynä talouskasvu ja kansallisen elintason vahvistuminen. Rakennusten lämmitys muodostaa viidenneksen energian loppukäytöstä Suomessa. Se on tärkeä tekijä suomalaisessa energiapolitiikassa ja kansantaloudessa.

Suomi on sitoutunut EU:ssa yhteisesti sovittuihin energiapoliittisiin tavoitteisiin. Päätöt pyritään vähentämään Suomessa 1990 – luvun alun tasolle vuoteen 2012 mennessä. Tavoitteet ohjaavat kansallista energiapolitiikkaa. Energiansäästöinvestointeja tuetaan verohelpotuksin ja erilaisilla avustuksilla.

Lämmityskustannukset ovat rakennuksen elinkaaren aikaisten ylläpitokustannusten suurin osa. Intressiryhmiä ovat julkishallinnon lisäksi rakennusten lämmitysenergian ostajat yksityistalouksista asunto-osakeyhtiöihin. Tarve kulutuksen vähentämiseen syntyy näissä intressiryhmissä yleensä taloudellisista perusteista.

Lämmityskustannusten vähentäminen tapahtuu lämmitysenergian kulutusta tai hintaa pienentämällä. Kulutusta vähennetään käyttäteknisin keinoin tai rakennuksen energiatehokkuutta parantamalla. Energian hintaan voidaan vaikuttaa tariffimuutoksilla, polttoainehinnoilla tai lämmitystapaa vaihtamalla.

Perinteisten energiansäästötoimien rinnalle syntyy uusia menetelmiä. Useat ratkaisut ovat toistensa muunnelmia. Rakennuksen lämpötaseen lämpövirtojen suuntaa ei voida kääntää, mutta niiden vahvuutta voidaan pienentää. Keinot tähän ovat rajalliset ja toimenpidevaihtoehtoja tulee harkita rakennuksen ominaisuuksien ja käyttäjien mukaan.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia asuinrakennusten lämmitysenergiankulutusta ja keinoja kulutuksen vähentämiseen. Pääpaino on asetettu tavallisimpiin energiansäästötoimenpiteisiin. Niistä selvitetään tekninen toteutus, kustannukset ja saavutettavat säästöt.

2 TUTKIMUS

Tutkimuksen päätarkoitus on tiedon lisääminen ja aiheeseen liittyvien asiayhteyksien ymmärtäminen. Kyseessä on perustutkimus, joten sen toteutuksessa ei ole käytännöllistä tavoitetta. Useista eri lähteistä saatujen tietojen konsilienssi on asuinrakennusten lämmitysenergiankulutuksen muodostuminen ja keinot kulutuksen vähentämiseen.

2.1 Tausta

Suomi on osana Euroopan unionia sitoutunut vähentämään kasvihuonepäästöjään ja lisäämään uusiutuvan energian käyttöä ilmastonmuutoksen torjumiseksi. Rakennusten lämmityksellä on merkittävä osuus energian loppukäytöstä ja energiantuotannon päästöistä Suomessa.

Energiankulutukseen voidaan vaikuttaa käyttöteknisin toimenpitein tai rakennuksen energiatehokkuutta parantamalla.

Erityisesti vanhaan rakennuskantaan kohdistuvat energiatehokkuutta parantavat toimenpiteet ovat keskeisiä keinoja päästöjen ja energiankulutuksen vähentämisessä. Valittavana on erilaisia toimenpiteitä, joiden kannattavuutta arvioidaan energiansäästölaskelmien ja kustannusten perusteella.

2.2 Tavoitteet

Työn tavoitteena oli tutkia asuinrakennusten lämmitysenergiankulutusta ja keinoja kulutuksen vähentämiseen. Työ vastaa seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mistä osa-alueista muodostuu asuinrakennuksen lämmitysenergiankulutus?
- Mikä on suurin yksittäinen kulutuksen aiheuttaja?
- Minkälainen merkitys lämmityskustannuksilla on rakennuksen elinkaarikustannuksiin?
- Miten rakennuksen elinkaaren aikaista lämmitysenergiankulutusta voidaan hallita?
- Mikä on tehokkain yksittäinen energiansäästötoimenpide?

Raportin on tarkoitus sisältää kuvaus asuinrakennusten lämmitysenergiankulutuksen muodostumisesta ja kulutuksen hallinnasta. Energiansäästötoimenpiteet investointikustannuksineen esitetään luettelomuodossa. Raportin tulee sisältää yksinkertaiset laskentaohjeet energiansäästön ja saneeraustoimenpiteen kannattavuuden selvittämiseksi.

2.3 Rajaus

Aihe rajattiin käsittelemään ainoastaan asuinrakennuksia. Raportissa esiintyy viittauksia muihin rakennustyyppeihin. Asuinrakennusten lämmityksen tuottamat ympäristövaikutukset rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle.

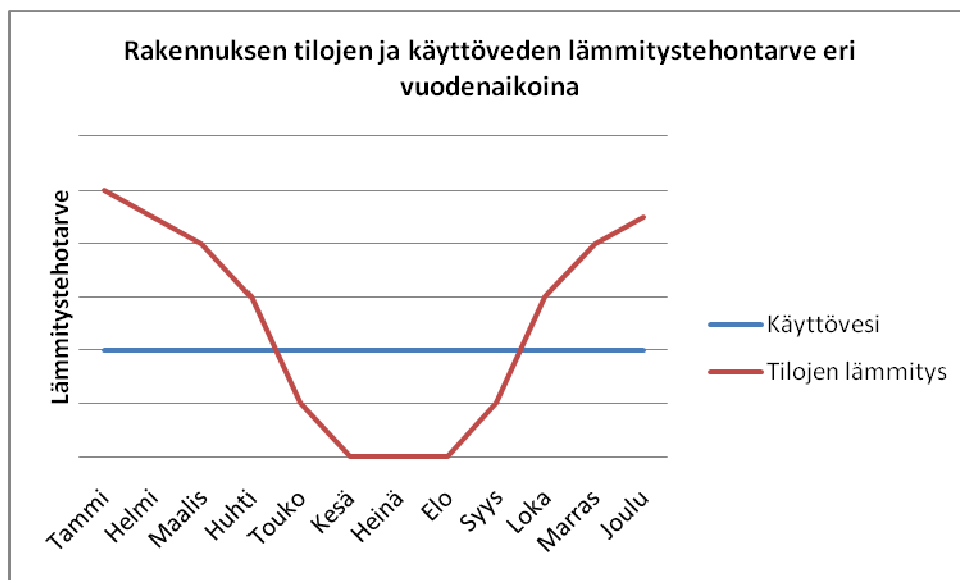
2.4 Toteutus

Tutkimusaineistona käytettiin LVI-alan oppikirjoja, tutkimusraportteja, lehtiartikkeleita sekä rakentamismääräyksiä ja -ohjeita. Oppikirjoista ja rakentamismääräyksistä selvitettiin energiansäästölaskelmat, joilla arvioidaan toimenpiteiden vaikutusta rakennuksen lämmitysenergiankulutukseen. Toimenpiteiden teknologiaa ja toteuttamista selvitettiin lehtiartikkeleista, tuote-esitteistä ja oppikirjoista. Kustannuksia selvitettiin rakentamisen yleisistä laatuvaatimuksista (RYL) ja tutkimusraporteista.

3 ASUINRAKENNUSTEN LÄMMITYSENERGIAN KULUTUS

Asuinrakennusten kokonaisenergian kulutuksesta noin puolet muodostuu lämmitysenergiankulutuksesta. Rakennuksen lämmitysenergiankulutuksella tarkoitetaan rakennuksen sisätilojen lämmitysenergian ja lämpimän käyttöveden lämmitysenergian yhteenlaskettua kulutusta. Rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus huomioi johtumislämpöhäviöiden ja lämmitysjärjestelmän häviöiden lisäksi vuotoilman ja ilmanvaihdon lämmityksen tarvitseman energian.

Sisätilojen ja ilmanvaihdon lämmitystarve ajoittuu lämmityskaudelle. Käyttöveden lämmitys on vuodenajasta riippumatonta. (Kuva1)



KUVA1. Rakennuksen tilojen ja käyttöveden lämmitystehotarve eri vuodenaikoina. /1/

Lämmitystarpeen suuruus ja kulutusprofiili riippuvat rakennuksen ominaisuuksista, sijainnista ja käyttötarkoituksesta. Sijainnilla tarkoitetaan rakennuksen geologista ja maantieteellistä sijaintia. Energiateknisissä laskelmissa rakennuksen maantieteellisen sijainnin ja vuotuisten sääolosuhteiden vaihtelujen aiheuttamat muuttujat poistetaan lämmitysenergiankulutuksen normeerauksella.

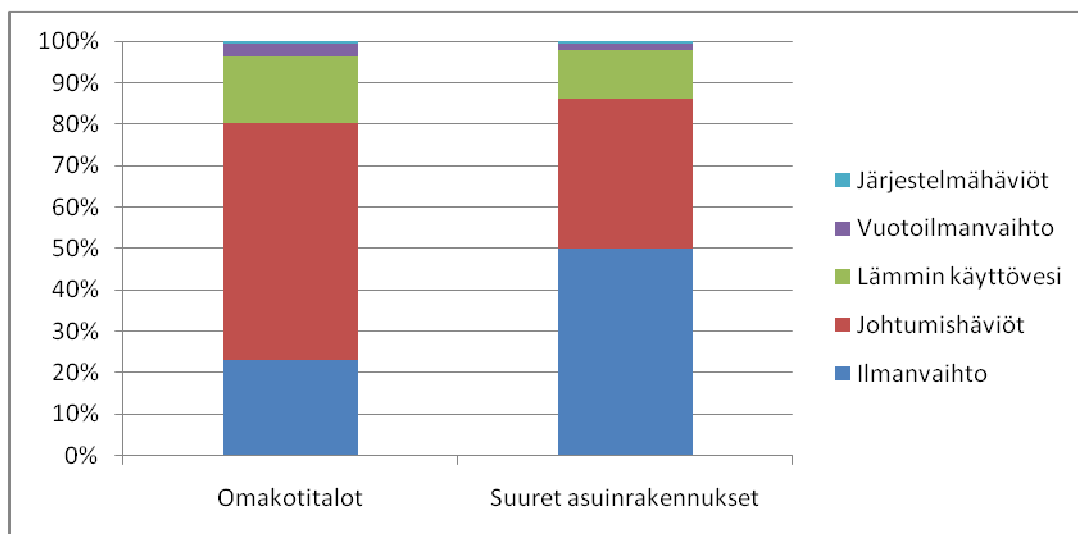
Rakennuksen käyttötavan merkitys on suuri erityisesti käyttöveden ja ilmanvaihdon osuuteen lämmitysenergian kokonaiskulutuksesta. Kaikissa rakennustyypeissä on ilmanvaihdon osuus yksittäisenä kulutuskohteena suurin. Asuinrakennuksissa käyttöveden lämmityksen energiankulutus on suurempi kuin muissa rakennustyypeissä. (Kuva2)

Rakennuksen lämmitysenergiankulutus lasketaan yhtälöllä 1. /1/

$$Q_{\text{lämmitys}} = Q_{\text{lämmitys, tilat}} + Q_{\text{LKV}} + Q_{\text{LP}} / \varepsilon_{\text{LP}} \quad (1)$$

$Q_{\text{lämmitys}}$ Rakennuksen lämmitysenergiankulutus, kWh

$Q_{\text{lämmitys, tilat}}$	Rakennuksen tilojen lämmitysenergiankulutus, kWh
Q_{LKV}	Käyttöveden lämmityksen energiankulutus, kWh
Q_{LP}	Poistoilmalämpöpumpun varaajaan siirtämä ja tilojen tai käyttöveden lämmityksessä hyödynnetty energia, kWh
ε_{LP}	Poistoilmalämpöpumpun vuotuinen lämpökerroin



KAAVIO1: Lämmitysenergian kulutuksen jakautuminen asuinrakennuksissa. /3/

Kulutuksen laskeminen

Suomen Rakentamismääräyskokoelma antaa perusteelliset ohjeet asuinrakennuksen lämmitysenergiankulutuksen laskentaan ja kulutuksen normeeraukseen.

Menetelmä on energiatasemenetelmä, jossa energiankulutus lasketaan kuukausittain. Energiatasemenetelmässä saman kuukauden aikana rakennukseen sisään tuleva energiamäärä on sama kuin rakennuksesta poistuva energiamäärä. Vuosikulutus on kuukausikulutusten summa. Rakennuksen energiatehokkuuslukua (ET -luku) määrittäessä rakennuksen vuotuinen energiankulutus (laskennallinen tai mitattu) jaetaan rakennuksen bruttopinta-alalla. /1/

3.1 Asuinrakennusten lämpötase

Asuinrakennuksen lämpötaseen muodostavat rakennukseen tulevat ja sieltä lähtevät lämpövirrat Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan seuraavasti. /1/

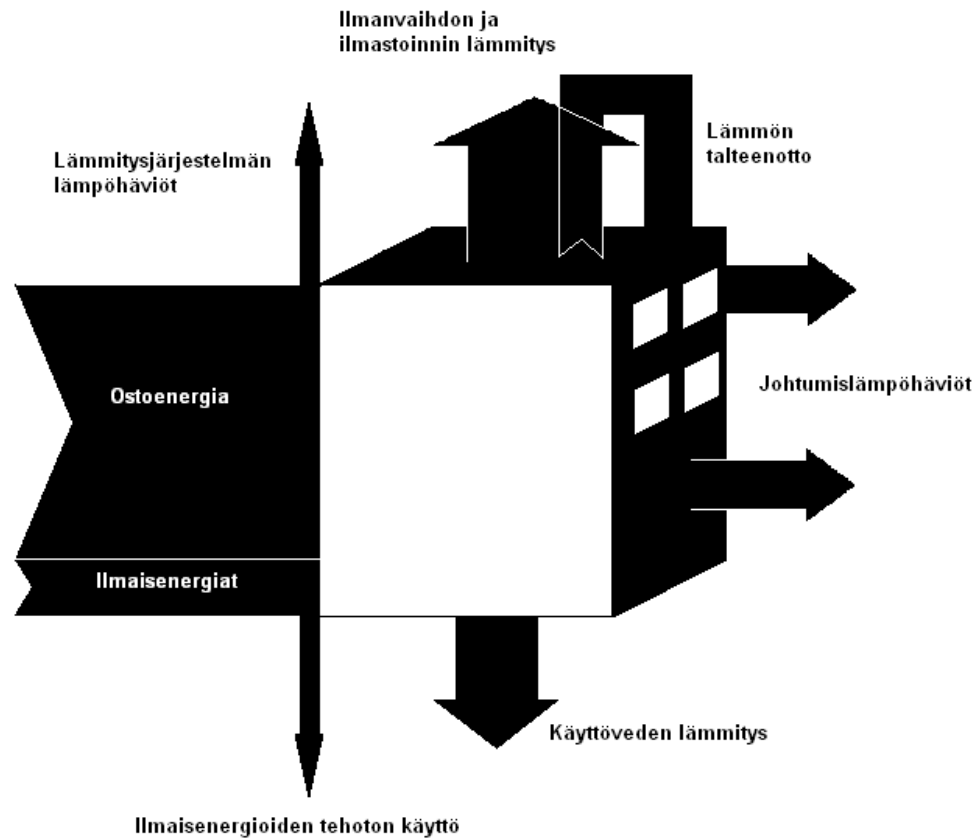
Rakennuksen lämmitysenergia muodostuu kahdesta osasta:

- primääri- eli ostoenergiasta
- ilmaisenergiasta.

Rakennuksesta lähtevä lämpöenergia jakautuu viiteen osaan:

- johtumislämpöhäviöihin
- ilmanvaihdon lämmityksen energiankulutukseen
- vuotoilmanvaihdon lämmityksen energiankulutukseen
- käyttöveden lämmityksen energiankulutukseen
- järjestelmähäviöihin, joita ei voida hyödyntää lämmityksessä.

Lämmönkierrätyksellä voidaan pienentää lämpöhäviöitä ja samalla primäärienergian tarvetta. Lämpöä voidaan kierrättää esimerkiksi ilmanvaihdon tai jäteveden lämmöntalteenotolla. /4/



KUVA2. Asuinrakennuksen lämpövirrat.

3.2 Ostoenergia

Rakennuksen ostoenergia on rakennukseen ostettua lämmitysenergiaa. Se voi olla kaukolämpöenergiaa, sähköenergiaa, maakaasua tai muuta polttoainetta. Rakennuksen lämmitystapaa valittaessa valitaan samalla käytettävä ostoenergia.

Rakennuksen ostettava lämmitysenergiankulutus lasketaan D5:n mukaan yhtälöllä 2.

/1/

$$Q_{\text{lämmitys}} = Q_{\text{lämmitys}} \cdot \eta_{\text{lämmitys}} \quad (2)$$

$Q_{\text{lämmitys, osto}}$ Rakennuksen ostettavan lämmitysenergian kulutus, kWh

$\eta_{\text{lämmitys}}$ Lämmöntuottolaitteen vuosihyötysuhde

3.3 Ilmaisenergiat

Ilmaisenergioilla tarkoitetaan sitä lämpöä, jolla voidaan korvata lämmitykseen käytettyä primäärienergiaa. Tärkeimpiä ilmaisenergian lähteitä ovat auringon emittoima säteilyenergia sekä sähkölaitteiden ja ihmisten tuottama lämpöenergia. Niiden suuruus vaihtelee rakennusten ominaisuuksien ja käyttötarkoituksen mukaan. Ideaalisella lämmityksen säädöllä voidaan ilmaisenergioita hyödyntämällä saavuttaa jopa 30 % säästöjä lämmitysenergiankulutuksessa. /4/

Ihmisten tuottama ilmaisenergia

Ihmisten aineenvaihdunnan tuloksena syntyy lämpöä. Aineenvaihdunnan lämmöntuotto riippuu ihmisten toiminnoista rakennuksessa. Yhden ihmisen aineenvaihdunnan tuottama lämpöteho on 80...150W.

Sähkölaitteiden tuottama ilmaisenergia

Sähköenergia muuttuu lämmöksi resistanssissa ja mekaaninen energia muuttuu lämmöksi, kun kappale tekee liikettä vastustavia voimia vastaan työtä. Näin ollen suuri osa rakennuksessa käytetystä sähköenergiasta muuttuu primäärilämmitysenergian tarvetta vähentäväksi ilmaisenergiaksi. Lämpöä tuottavien kodinkoneiden lämpöhäviöt voidaan hyödyntää täysimääräisinä lämmityskauden aikana.

Auringon emittoima ilmaisenergia

Auringonsäteily on tärkein ilmaisenergian lähde. Kevätkaudella voidaan rakennusten eteläfasadeilla selvitä ilman lämmitystä pitkiä jaksoja. Rakennuksen sijoituksella ja ikkunajärjestelyillä auringon tuottama ilmaisenergia huomioidaan jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa. Tätä kutsutaan passiiviseksi aurinkolämmitykseksi.

3.4 Käyttöveden lämmityksen energiankulutus

Lämpimän käyttöveden tuottamiseen käytetty energia on 10...30 % asuinrakennuksen lämmitysenergiankulutuksesta. Energiankulutus muodostuu käyttöveden lämmityksen tarvitsemasta lämpöenergiasta ja käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergiasta.

Käyttöveden lämmityksen energiankulutus lasketaan yhtälöllä 3. /1/

$$Q_{LKV} = Q_{LKV,netto} + Q_{LKV,häviöt} - (Q_{LP,LKV}) \quad (3)$$

Q_{LKV}	Käyttöveden lämmityksen energiankulutus, kWh
$Q_{LKV,netto}$	Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergiatarve, kWh
$Q_{LKV,häviöt}$	Käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöenergia, kWh
$Q_{LP,LKV}$	Poistoilmalämpöpumpun varaajaan siirtämä ja käyttöveden lämmityksessä hyödynnetty energia, kWh

Käyttöveden lämmityksen energiankulutus muodostuu veden määrän ja lämpötilan mukaan. Viranomaismääräysten mukaan lämpimän käyttöveden lämpötila tulee pitää välillä 55 - 65 °C. Matalampi lämpötila mahdollistaa mikrobien lisääntymisen verkostossa. Lämpimän käyttöveden osuus kokonaisvedenkulutuksesta on 30...40 prosenttia. /6/

Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia lasketaan yhtälöllä 4. /1/

$$Q_{LKV,netto} = \rho_v C_{pv} V_{LKV} (T_{LKV} - T_{KV}) / 3600 \quad (4)$$

ρ_v	Veden tiheys, kg/m ³
C_{pv}	Veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK
V_{LKV}	Lämpimän käyttöveden kulutus, m ³
T_{LKV}	Lämpimän käyttöveden lämpötila, °C

T_{KV}	Kylmän käyttöveden lämpötila, °C
3600	Kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h

Lämpimän käyttövesijärjestelmän häviöitä ovat putkiston ja kiertojohdon, putkistovaruusteiden ja lämmönkehityslaitteiden sekä mahdollisten varaajien lämpöhäviöt. Näistä osa tulee hyödynnettyä lämmityksessä. Käyttövesijärjestelmään liitettyjen lämmittimien luovuttama lämpöenergia huonontaa järjestelmän hyötysuhdetta, mutta vähentää rakennuksen lämmitysjärjestelmän luovuttaman lämmitysenergian tarvetta.

Asuinkerrostaloissa lämpöhäviöiden osuus on kosteiden tilojen lämmitys mukaan laskettuna noin 40 prosenttia lämmitysjärjestelmän kuluttamasta lämmitysenergiasta 40 %. /7/

Lämpimän käyttövesijärjestelmän hyötysuhde lasketaan yhtälöllä 5. /4/

$$\eta_{LKV} = \frac{Q_{LKV} + Q_L}{Q_P} \quad (5)$$

η_{LKV}	Lämpimän käyttövesijärjestelmän hyötysuhde
Q_L	Järjestelmään liitettyjen lämmityslaitteiden hyötylämpö, kWh
Q_P	Järjestelmään tuotu primäärienergia, kWh

3.5 Johtumislämpöhäviöt

Rakennuksen johtumislämpöhäviöt ovat sisä- ja ulkoilman välisen lämpötilaeron aikaansaamia lämpövirtoja rakennuksen vaipan läpi. Lämpövirran suuruus on suoraan verrannollinen sisä- ja ulkoilman väliseen lämpötilaeroon.

Rakenneosan kykyä vastustaa lämmön siirtymistä kuvaa kyseisen rakenteen lämmönläpäisykerroin (U-arvo), jonka yksikkö on W/m²K. Kertoimeen voidaan vaikuttaa eristysaineen lämmönjohtavuudella ja sen paksuudella. Taulukossa 1 on kuvattu rakennusosien lämmönläpäisykertoimien Rakentamismääräyskokoelman osan C3 mukaisia vertailuarvoja.

TAULUKKO1: Rakennusosien lämmönläpäisykertoimen rakentamismääräyskokoelman mukaiset vertailuarvot. /11/

Rakennusosa	Lämmönläpäisykertoimen vertailuarvo
	W/m ² K
Seinä	0,17
Hirsiseinä	0,4
Yläpohja	0,09
Ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09
Ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,17
Maata vasten oleva rakennusosa	0,16
Ikkuna, kattoikkuna, ovi	1

Eristepaksuuden lisäyksellä ei voida rajattomasti parantaa rakenteen lämpötaloutta. Paksussa eristekerroksessa syntyy konvektiovirtauksia, jotka alentavat eristeen lämpötilaa ja lämmönsiirto eristeen läpi kasvaa. Eristyspaksuuden lisäyksen rajahyöty pienenee eristepaksuuden kasvaessa. /4/

Ikkunat ja ovet

Ikkunat ja ovet ovat energiataloudellisessa mielessä rakennuksen vaipan heikoimpia osia. Tästä johtuen rakennuksen ikkunoiden yhteenlaskettu pinta-ala ei saa olla yli 15 prosenttia lattiapinta-alasta.

Ulkoseinät

Ulkoseinien yhteenlaskettu pinta-ala muodostaa rakennuksen suurimman yhtenäisen vaippapinnan. Näin ollen ulkoseinien rakenteen valinnalla on suuri vaikutus johtumislämpöhäviöihin. Seinämän lämmönläpäisykertoimen ollessa hyvä, korostuu kylmäsiirtojen merkitys kokonaistalouteen.

Alapohja

Maanvaraisen alapohjan lämpöhäviöt pitävät perustukset ja rakennuksen alapuolisen maan routimattomana. Jos maanvaraisen alapohjan lämpöhäviöt ovat vähäiset, joudutaan se ottamaan huomioon rakennuksen routaeristyksessä.

Ryömintätilaisen alapohjan läpi tapahtuvat lämpöhäviöt ovat pienempiä kuin ulkoilmaan rajoittuvissa rakennusosissa, koska maaperä lämmittää ryömintätilaa.

Alapohjan johtumislämpöhäviöiden osuus rakennuksen kokonaislämpöhäviöistä on yleensä alle 10 prosenttia.

Yläpohja

Suomessa yleinen avoin yläpohjarakenne mahdollistaa yläpohjan lämmöneristämisen kustannustehokkaasti. Eristepaksuutta ei kuitenkaan kannata kasvattaa yli 500mm, koska tällöin eristeroksessa syntyvät konvektiovirtaukset heikentävät lämmöneristystä. Yläpohjan osuus rakennuksen kokonaislämpöhäviöistä on 10...15 prosenttia.

Rakennuksen vaipan johtumislämpöhäviöt lasketaan yhtälöllä 6. /1/

$$\sum H_{\text{joht}} = \sum (U_{\text{Ulkoseinä}} A_{\text{Ulkoseinä}}) + \sum (U_{\text{Yläpohja}} A_{\text{Yläpohja}}) + \sum (U_{\text{Alapohja}} A_{\text{Alapohja}}) + \sum (U_{\text{Ikkuna}} A_{\text{Ikkuna}}) + \sum (U_{\text{Ovi}} A_{\text{Ovi}}) \quad (6)$$

$\sum H_{\text{joht}}$ Rakennusosien yhteenlaskettu ominaislämpöhäviö, W/K

U Rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m²K)

A Rakennusosan pinta-ala, m².

3.6 Ilmanvaihdon ja ilmastoinnin lämmitysenergiankulutus

Ilmanvaihdolla on suuri merkitys kaikkien rakennustyyppien lämmitysenergian kulutukseen. Asuinrakennuksissa ilmanvaihdon osuus lämmitysenergian kulutuksesta on 25...50 %.

Rakennusmääräysten minimivaatimuksen mukaan asuintilojen ilmatilavuuden on vaihduttava vähintään kerran kahdessa tunnissa /2/. Lämmityskauden aikana tuloilma on lämmitettävä huoneilman lämpöiseksi.

Ilmanvaihdon ja ilmastoinnin energiankulutuksen laskennassa on erotettava toisistaan tuloilman lämmittämiseen käytetty energia sekä ilmastointikoneiden käyttämä sähkö-

ja jäähdytysenergia. Ilmastointikoneen energiataloutta kuvataan sfp -luvulla, joka on koneen tarvitseman sähköenergian suhde sen käsittelemään ilmamäärään. Asuinrakennuksen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema lämmitysenergia lasketaan yhtälöllä 7. /1/

$$Q_{\text{ilmanvaihto}} = \sum (H_{\text{iv}} (T_s - T_u) \Delta t) / 1000 \quad (7)$$

$Q_{\text{ilmanvaihto}}$ Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema lämmitysenergia

H_{iv} Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö

T_s Sisäilman lämpötila, °C

T_u Ulkoilman lämpötila, °C

Δt Tarkastelujakson pituus, h

3.7 Vuotoilmanvaihdon lämmityksen energiankulutus

Vuotoilmanvaihto on tahatonta ja tarpeetonta rakennuksen vaipan epätiiviyksien kautta tapahtuvaa ilman kulkeutumista. Sen suuruus riippuu sääolosuhteista ja rakennuksen painejakaumasta. Epätiivissä rakennuksessa rakennuksen läpi virtaavaan ilmavirran suuruus kasvaa tuulen nopeuden kasvaessa. /4/

Rakenteiden epätiiviyksien kautta sisään ja ulos virtaavan vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia lasketaan yhtälöllä 8. /1/

$$Q_{\text{vuotoilma}} = H_{\text{vuotoilma}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (8)$$

$Q_{\text{vuotoilma}}$ Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh

$H_{\text{vuotoilma}}$ Vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

3.8 Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöt

Lämmitysjärjestelmän lämpöhäviöt ovat lämmöntuotantolaitteiden, putkien, säiliöiden ja putkistovarusteiden häviöitä. Häviöiden suuruus on verrannollinen nesteeseen ja ympäröivän ilman lämpötilaeroon sekä lämpöä siirtävien pintojen suuruuteen.

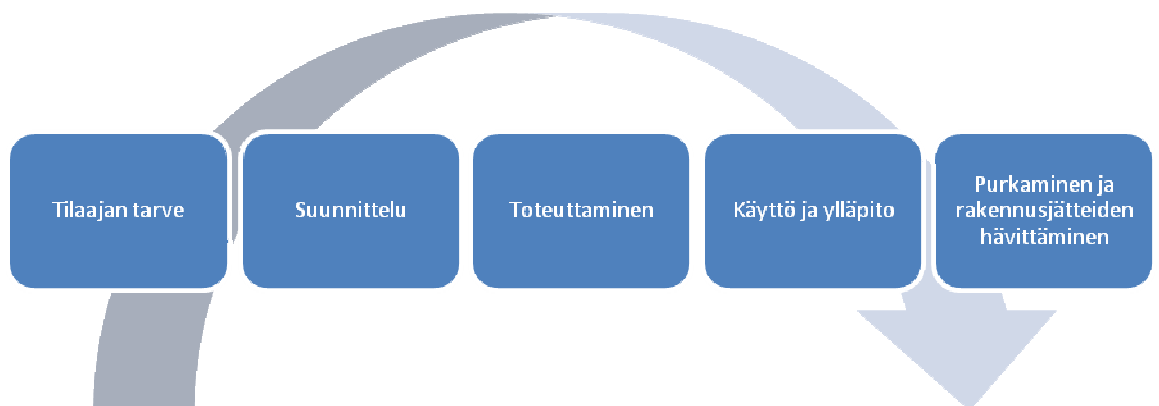
Korkeille toimintalämpötiloille mitoitettun järjestelmän keskimääräinen lämpötilaero nesteen ja ympäröivän ilman kanssa on suurempi kuin matalilla lämpötiloilla. Toisaalta matalat toimintalämpötilat vaativat suurempia virtaamia ja putkidimensioita, jolloin lämmönsiirtopinta kasvaa.

Järjestelmähäviöiden osuus rakennuksen lämmitysenergiankulutukseen on yleensä alle 5 %. Osa häviöenergiasta tulee lämpökuormina hyödynnettyä rakennuksen lämmityksessä.

4 ASUINRAKENNUKSEN ELINKAAREN AIKAISEN LÄMMITYSENERGIANKULUTUKSEN HALLINTA

Elinkaariajattelu on yleistynyt rakennustaloudessa. Rakennuskustannusten sijaan määräävä tekijä ovat rakennuksen elinkaaren aikaiset kustannukset, jotka muodostavat rakennuksen kaikista kustannuksista suurimman osan.

Ajallisesti rakennuksen elinkaari tarkoittaa sitä jaksoa, joka kuluu tilaajan tarpeesta rakennuksen purkamiseen. (Kuva3)



KUVA3. Rakennuksen elinkaaren vaiheet. /12/

Elinkaarikustannukset

Asuinrakennuksen elinkaarikustannukset jaotellaan seuraavasti: /12/

- Hankintakustannukset
- Rahoituskustannukset
- Huoltokustannukset
- Kunnossapitokustannukset
- Lämpöenergiakustannukset
- Sähköenergiakustannukset
- Ympäristökustannukset

Elinkaaren aikaiset lämpöenergiakustannukset ovat rakennuksen käyttökustannusten merkittävin osatekijä.

Lämmitysenergian ominaiskulutus

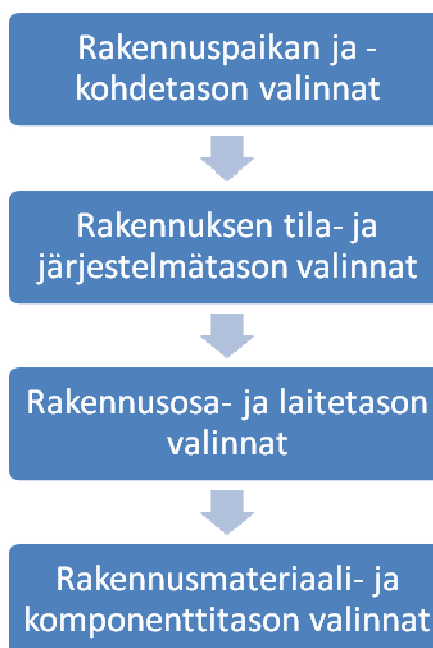
Rakennusten lämmitysenergiankulutuksen vertailuarvona käytetään ominaiskulutusta, jonka yksikkö on kWh/m²/a tai kWh/m³/a. Muissa kuin asuinrakennuksissa voidaan käyttää myös muita yksiköjä.

Asuinrakennusten lämmitysenergiankulutuksen ominaisarvo on tyypillisesti 40...70 kWh/ m³/a. Lämmitysenergiankulutuksen ominaisarvoa ei tule sekoittaa energiatehokkuuslukuun (ET -luku), joka on rakennuksen tarvitsema vuotuinen energiamäärä jaettuna rakennuksen bruttopinta-alalla.

Vaikka kahden samankokoisen rakennuksen lämmitystehon tarve olisi sama, voi niiden vuotuinen lämmitysenergiankulutus vaihdella jopa suhteessa 1:5 riippuen suunnitteluratkaisuista ja käytöstä. /3/

4.1 Suunnittelu

Suunnittelun merkitys rakennuksen lämmityskustannuksiin tulee huomioida yleisratkaisujen ja teknisten ratkaisujen kannalta erikseen. (Kuva4)



KUVA4. Rakennuksen valinnan hierarkiatasot. /5/

Yleisratkaisut

Yleisratkaisujen ensimmäisessä vaiheessa valitaan rakennuspaikka ja – kohde. Tällä valintatasolla määräytyvät rakennuksen sijainti, talotyyppi, huonetilaohjelma sekä laatu- ja varustetaso. Rakennuksen sijainti määrittää energiankulutukseen vaikuttavista tekijöistä rakennuksen ympäristöolosuhteet sekä pienilmaston. Talotyypin, huonetilaohjelman, laatu- ja varustetason valinnan perusteella voidaan arvioida rakennuksen energiankulutuksen taso. /5/

Tekniset ratkaisut

Teknisten ratkaisujen valinnassa ongelmana ovat huonekoon, eri tilojen laatu- ja varustetason sekä taloteknisten järjestelmien valinta. Rakennuksen energiatalouden kannalta keskeisessä asemassa ovat lämmönkehitys-, lämmönjako-, lämmönvarastointi- ja ilmanvaihtojärjestelmät sekä niitä ohjaavat säätöjärjestelmät. /6/

Lämmitystavan valinta määrää rakennuksen ostoenergian muodon. Tämän vuoksi kaikkien energiansäästötoimien edullisuus on riippuvainen lämmönkehitysjärjestelmän valinnasta. Säästetyt energian määrä sekä rakentamis- ja laitekustannukset riippuvat järjestelmävalinnoista.

4.2 Käyttö ja ylläpito

Asukkaiden käyttötottumuksilla on huomattavan suuri vaikutus asuinrakennuksen lämmitysenergian kulutukseen. Suurimmat erot kohdistuvat käyttöveden kulutukseen ja huonelämpötilan asetteluun. Huonelämpötiloissa voi olla jopa 6 °C eroja, mikäli säätöaluetta ei ole rajoitettu. Lämpimän käyttöveden kulutuksessa voi olla 100 litran ero asukkaiden välillä vuorokaudessa.

Yleinen ongelma asuinrakennuksissa on lämmityskaudella tapahtuva jatkuva ikkuna-tuuletus, jolla pyritään tehostamaan ilmanvaihtoa ja poistamaan lämpökuormia.

Huolto- ja korjaustoimet

Rakennuksen ylläpito eli huolto- ja korjaustoimet kuuluvat pientaloissa tyypillisesti asukkaille ja omistajille. Suuremmissa asuinrakennuksissa huolto- ja korjaustoimet hoidetaan alihankintana kiinteistöhuoltoyhtiön toimesta. Pienessä osassa asunto-osakeyhtiöitä on käytössä asukasvetoinen huolto-organisaatio.

Huoltotoiminnan tärkeimmät osatekijät ovat:

- ajoittaminen: määräaikaisuus ja priorisointi
- menetelmät
- materiaalit
- seuranta ja dokumentointi.

Asuinrakennusten tärkeimpiä huoltotoimenpiteitä lämmitysenergiankulutuksen kannalta ovat:

- lämmönkehityslaitteiden määräaikaishuollot
- ikkunoiden ja ovien huoltokorjaukset
- tulisijojen ja piippujen nuohous
- ilmanvaihtokoneiden suodattimien vaihto
- lämmitysjärjestelmän suodattimien vaihto
- patteriverkoston säätö
- ilmamäärien säätö.

4.2.1 Käyttöveden lämpötila ja kulutus

Käyttöveden lämmityksen energiankulutuksen vähentämiseen ovat käyttötottumusten tarkistaminen ja oikeiden asetusarvojen määrittäminen ensisijaisia toimenpiteitä.

Käyttöveden lämmityksen tarvitseman lämpöenergian määrään voidaan vaikuttaa lämpimän käyttöveden määrää (kulutusta) tai lämpötiloja muuttamalla.

Lämpimän käyttöveden lämpötila

Viranomaismääräysten mukaan lämminvesilaitteisto on suunniteltava ja asennettava siten, että veden lämpötila verkoston kaikissa osissa on vähintään 55 °C.

Laitteisto on tehtävä siten, että vältetään veden liian korkean lämpötilan aiheuttamilta tapaturmilta. Peseytymiseen tarkoitetuista lämminvesikalusteista saatavan veden lämpötila ei saa olla korkeampi kuin 65 astetta. /6/

Alle 55 °C lämpötilalla järjestelmän häviöt olisivat pienemmät. Se kuitenkin mahdollistaisi mikrobien lisääntymisen verkostossa.

Lämpimän käyttöveden kulutus

Toinen ja tärkeämpi keino käyttöveden lämmityksen nettoenergiantarpeen pienentämiseen on lämpimän käyttöveden kulutuksen vähentäminen. Lämpimän käyttöveden osuus kokonaisvedenkulutuksesta on 30...40 %. Vedenkulutuksen pieneneminen viidenneksellä vähentää käyttöveden nettoenergiantarvetta 10 %.

Asuinrakennuksen kokonaislämmitysenergian kulutus pienenee siten noin 5 prosenttia. /9/

Asukkaiden käyttötottumuksilla on kulutukseen suurin merkitys. Käyttötottumuksista johtuva ero vedenkulutuksessa voi olla jopa 200 litraa asukasta kohden vuorokaudessa.

Lämpimän käyttöveden osuuteen vaikuttaa asukkaan käyttäjäprofiili, ts. mihin tarkoitukseen asukas eniten vettä käyttää.

Kulutuksen vertailu

Asuinrakennuksissa vedenkulutusta voidaan arvioida suhteuttamalla kulutustietoja asukkaiden lukumäärään ja vertailutietoihin. Suomalaisten tyypillinen vedenkulutus on 90 - 270 litraa asukasta kohden vuorokaudessa. Keskimääräinen kulutus on 155 litraa henkilöä kohden vuorokaudessa. /10/

Vedenkulutuksen ylittäessä 170 litraa henkilöä kohti vuorokaudessa, on syytä tutkia syitä poikkeukselliseen suureen kulutukseen.

Havainnollistus kulutuksen vähentämisen tuottamasta säästöstä

Henkilö peseytyy suihkussa kaksi kertaa päivässä. Hän viihtyy suihkussa 10 min / peseytymiskerta. Yhteensä hän viettää aikaa suihkussa 20 min eli 1200 sekuntia päivässä. Tässä tapauksessa lämpimän veden virtaama on 0,1 l/s peseytymisen aikana. Lämpimän käyttöveden lämpötila on 55 °C. Kylmän käyttöveden lämpötila on 5 °C.

- Lämmintä vettä kuluu peseytymiseen päivässä $1200 \text{ s} * 0,1 \text{ l/s} = 120 \text{ litraa}$.
- Lämmitysenergiaa kuluu siten päivässä $58 \text{ kWh} / \text{m}^3 * 0,12 \text{ m}^3 = 6,96 \text{ kWh}$.

Henkilö saa valistusta veden käytön vähentämiseen ja viettää aikaa suihkussa enää 7 minuuttia kerrallaan. Lisäksi hän pitää suihkuveden virtaamaa hieman pienempänä. Lämpimän veden virtaama on 0,09 l/s.

- Lämmintä vettä kuluu peseytymiseen päivässä $840 \text{ s} * 0,09 \text{ l/s} = 75,6 \text{ litraa}$.
- Lämmitysenergiaa kuluu $58 \text{ kWh} / \text{m}^3 * 0,0756 \text{ m}^3 = 4,4 \text{ kWh}$.
- Lämmintä käyttövettä säästyy $44,4 \text{ l} * 365 = 16,2 \text{ m}^3 \text{ vuodessa}$.
- Lämmitysenergiaa säästyy $58 \text{ kWh/m}^3 * 16,206 \text{ m}^3 = 939,95 \text{ kWh}$.
- Jos taloyhtiössä asuu 50 henkilöä, joiden käyttötottumukset ovat samanlaiset, säästyy vuodessa lähes $50 \text{ hlö} * 939,95 \text{ kWh} / \text{hlö} = 47 \text{ MWh}$.

4.2.2 Huonelämpötila

Huonetilan termisiä olosuhteita tarkasteltaessa pelkkä tavanomaisen lämpömittarin lukema ei ole riittävä mittatieto. Ihmisen lämpöaistimus syntyy huoneilman kosteuden, liikenopeuden sekä huoneen pintalämpötilojen summana.

Lämpötilojen aistiminen ja mieltymykset ovat yksilöllisiä. Tilannetta, jossa käyttäjällä on mahdollisuus säätää huonelämpötilaa kahdella asteella rakennuksen keskimääräisestä sisälämpötilasta, pidetään hyvänä. Se kattaa riittävällä tarkkuudella käyttäjän iästä, vaatetuksesta ja toiminnasta riippuvia muuttujia. Asuinkiinteistöissä huonelämpötilojen säätömahdollisuuden rajoittaminen lämpötila-alueelle 19...22 C° on hyvä ratkaisu.

Optimaalinen operatiivinen lämpötila

Huoneen optimaalinen operatiivinen lämpötila voidaan laskea yhtälön 9 avulla henkilön vaatetuksen ja aineenvaihdunnan tehon mukaan. Yhtälö pätee tilanteessa, jossa huoneen suhteellinen kosteus on 50 % ja ilman nopeus on enintään 0,1 m/s.

Huoneen optimaalinen operatiivinen lämpötila lasketaan yhtälöllä 9. /4/

$$T_o = 33,5 I_{cl} - (4,65 + 2,9 I_{cl})M \quad (9)$$

T_o Huoneen optimaalinen operatiivinen lämpötila, °C

I_{cl} Henkilön vaatetuksen lämmöneristävyys, clo

M Henkilön kehon aineenvaihdunnan teho, met

Aineenvaihdunnan teho riippuu henkilön toiminnoista. (Taulukko2) Mitä enemmän ihminen liikkuu, sitä tehokkaammin hän tuottaa lämpöä. Vaatetuksen lämmöneristyskyky on ensisijaisesti riippuvainen kankaan ja vaatetuksen sisäänsä sulkeman ilman määrästä. (Taulukko3)

TAULUKKO2: Esimerkkejä henkilön aineenvaihdunnan tehosta. /4/

Toiminto	Aineenvaihdunnan teho
	met
Nukkuminen	0,8
Istuminen	1
Seisominen	1,2
Ruoanlaitto	1,8
Kävely	2

TAULUKKO3: Esimerkkejä henkilön vaatetuksen lämmöneristävydestä. /4/

Vaatetus	Vaatetuksen lämmöneristävyys
	clo
Shortsit, T-paita, ohuet sukat ja sandaalit	0,3
Pitkähivainen paita, housut ja kengät	0,7
Pitkähivainen paita, housut, takki ja kengät	1

Tyypillinen tilanne, jossa vaatetuksen lämmöneristävyys on 1 clo ja aineenvaihdunnan teho 1,2 met, optimaalinen huonelämpötila on 21 astetta. /4/

Asetusarvojen muuttaminen kuuluu asuinkiinteistön huoltosopimukseen. Näin ollen se on erittäin suositeltava toimenpide, jolla rakennuksen lämmitysenergian kulutusta voidaan kustannustehokkaasti vähentää.

4.2.3 Tarpeenmukainen ilmanvaihto

Ilmanvaihtojärjestelmän suunnittelun ja käytön perusteena on, että ilmanvaihtolaitteisto mitoitetaan suurimman tarpeen mukaan, mutta sitä käytetään vain todellisen tarpeen mukaan. Tällä vähennetään lämmitettävän tuloilman määrää ja laitteiden käyttämää sähköenergiaa. Sellaisissa tiloissa, joissa henkilökuorma vaihtelee paljon, on lämpöolojen kannalta järkevää muuttaa ilmamääräiä henkilöperusteisesti. Tarpeenmukainen ilmanvaihto toteutetaan mittatietoja tai aikaohjelmia hyödyntämällä.

Mittatiedot

Mittatietona voidaan käyttää esimerkiksi CO₂ -pitoisuutta. Silloin kun pitoisuus on suuri, ilmaa vaihdetaan tehokkaasti ja pitoisuuksien pienentyessä ilmanvaihtoa vastaavasti pienennetään. Muita mitattavia suureita ovat lämpötila, ilmankosteus tai CO -pitoisuus.

Aikaohjelmat

Aikaohjelmia ovat kalenteriin ja kellonaikaan perustuvat viikko- ja erikoispäiväohjelmat. Päiväohjelmiin on mahdollista tehdä järjestelmästä riippuen yksi tai useampia käynnistys- ja pysäytysajankohtia. Koneita voidaan ohjata hetkellisen tarpeen mukaan myös manuaalisesti antamalla toimintarajat aikamuodossa tai henkilömäärän mukaan.

Ilmamäärien muutosten lisäksi voidaan tehdä sisäänpuhalluslämpötilan muutoksia silloin, kun rakennuksessa ei ole henkilökuormaa. Lämpötilan pudotus voidaan tehdä aikaohjelman mukaisesti tai poissaolokuittauksen perusteella. Aikaohjelma ei ota huomioon muuttuvan ulkolämpötilan vaikutusta oikean pudotus- ja nostohetken valintaan.

Käyntiaikojen vaikutusta ilmanvaihdon energiankulutukseen voidaan arvioida yhtälöllä 10. /5/

$$Q_{\text{ilmanvaihto}} = C * q_i * \rho_i * \tau * c \quad (10)$$

C	Ominaiskulutusluku, kJh/kg/a
q _i	Ilmavirta, m ³ /s
ρ _i	Ilman tiheys, kg/m ³
τ	Vuorokautinen käyttöaikakerroin
c	Viikonloppukäytön kerroin

Ominaiskulutusluku C tulee selvittää ulkoilman lämpösisällön pysyvyyskäyrästä vuorokautisen käyntiajan funktiona. Vuorokautinen käyttöaikakerroin ottaa huomioon ulkoilman lämpötilan muutokset eri vuorokaudenaikoina. (Taulukko4)

TAULUKKO4: Vuorokautinen käyttöaikakerroin saadaan lopetus- ja aloitus-ajan kertoimien erotuksena. /5/

Kellonaika	Kerroin
1	0,046
2	0,093
3	0,141
4	0,188
5	0,234
6	0,280
7	0,324
8	0,367
9	0,409
10	0,449
11	0,488
12	0,526
13	0,652
14	0,599
15	0,635
16	0,672
17	0,708
18	0,746
19	0,785
20	0,825
21	0,867
22	0,910
23	0,955
24	1,000

Viikonloppukäytön kerroin on yksi, mikäli kone käy aina. Jos kone käy vähemmän kuin seitsemän päivää viikossa, tulee laskelmassa käyttää viikonloppukäytön kerrointa taulukon 5 mukaisesti.

TAULUKKO5: Viikonloppukäytön kerroin. /5/

Käyntiaika / viikko	Kerroin
Koje käy aina	1
6 päivää	0,86
5 päivää	0,71

Ilmanvaihdon tehonsäätö painovoimaisissa ja koneellisissa poistoilmajärjestelmissä

Koneellisissa poistoilmajärjestelmissä ilmamäärät säädetään puhaltimien kierroslukua ja raitisilmaventtiilien asentoa muuttamalla. Painovoimaisissa laitoksissa tuloilmamääriin voidaan vaikuttaa raitisilmaventtiilien asentoa muuttamalla, jos sellaiset on asennettu. Mikäli tuloilma johdetaan rakennukseen ikkunarakojen kautta, on säätäminen käytännössä mahdotonta ja ilmamäärät määräytyvät tuulen ja rakennuksen painejakauman perusteella.

4.3 Energiatehokkuuden parantaminen

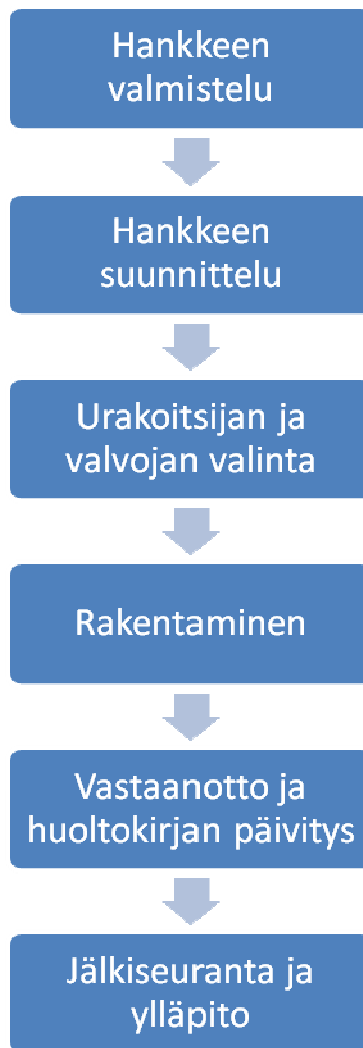
Energiataloutta parantavat toimenpiteet voidaan jakaa investointia vaativiin rakenteiden ja teknisten järjestelmien perusparantamiseen ja korjaamiseen sekä laskennallisiin tehontarkistuksiin ja toimenpiteisiin, joilla energiataloutta parannetaan ilman investointeja. /15/

Korjaussuunnittelussa huomioon otettavia asioita:

- Rakenneosien kosteustekninen käyttäytyminen
- Kesäajan jäähdytystarpeen lisääntyminen
- Lämmitystarpeen muutokset tulee huomioida lämmityksen ohjauksessa
- Vedenkäytön vähentäminen saattaa aiheuttaa viemärien tukkiintumista
- Routavaurioiden mahdollisuus kasvaa alapohjan johtumislämpöhäviöiden pienentyessä
- Lämpövuotojen kuivattava vaikutus rakenteissa jää pois

Hankkeiden toteuttaminen

Toimenpiteet voidaan toteuttaa omina hankkeinaan tai sisällytettynä suurempiin kokonaisuuksiin. Yksittäisen toimenpiteen kannattavuutta ei voida arvioida silloin, kun useita toimenpiteitä on toteutettu samaan aikaan. Korjaushankkeen etenemistä on havainnollistettu kuvassa 5.



KUVA5. Korjaushankkeen vaiheet. /13/

5 KÄYTTÖVEDEN LÄMMITYKSEN ENERGIANKULUTUKSEN VÄHENTÄMINEN

Asuinrakennusten lämpimän käyttöveden energiakulutukseen voidaan vaikuttaa korjaustoimenpiteillä ja käyttöteknisillä keinoilla. Perusparannusten yhteydessä tehtyjen toimenpiteiden vaikutusta voi olla vaikea erotella. Jos rakennuksessa toteutetaan vain yksi toimenpide, voidaan sen vaikutusta tarkastella kulutustietoja vertailemalla.

Tavanomaisissa asuinrakennuksissa tehokkaimmat korjaustoimenpiteet ovat:

- käyttötottumusten ja asetusarvomuutosten tarkastaminen

- vesijohtopaineen alentaminen
- vuotokartoitukset
- lämpöhäviöiden pienentäminen
- vesikalusteiden vaihto
- huoneistokohtainen vedenmittaus.

Kattilalaitokset

Öljylämmityksessä öljypolttimen käyntiaikasuhteen tulisi olla mahdollisimman suuri. Ylimoitettu poltin käy lyhyitä käyntijaksoja, jolloin seisontavaiheen aikana kattilassa tapahtuu läpivirtaushäviöitä. Kaikissa kattilalaitoksissa ylimitoitus johtaa huonoon hyötysuhteeseen. Suurissa laitoksissa on lämmityskauden ulkopuolella syytä harkita, kannattaako käyttövettä lämmittää polttoaineella. Tällöin käyttövesi voidaan lämmittää esimerkiksi varaajan sähkövastuksilla, jolloin se on edullisempaa.

Lämpöpumput

Lämpöpumppujärjestelmissä kompressorin käynnistymis- ja sammumispieste säädetään mahdollisimman kauas toisistaan, jotta käyntijaksot saadaan pitkiksi. Tällöin kompressorin tekninen käyttöikä pysyy pitkänä. Nykyisissä lämpöpumpuissa vaihtuvaan lauhtukseen perustuva lämpimän käyttöveden tuotto on syrjäyttämässä perinteistä tulistustekniikkaa paremman hyötysuhteensa ansiosta.

Kaukolämmitys

Kaukolämmitetyissä rakennuksissa käyttöveden säätöventtiilin vaikutusasteen tulee olla suuri, jotta lämpimän käyttöveden lämpötila saadaan pidettyä asetusarvossaan. Verkoston vesitilavuuden ollessa pieni, esimerkiksi omakotitaloissa, järjestelmä voidaan varustaa työsäiliöllä tai lämpimän käyttöveden kiertojohdolla lämpötila- ja painevaihtelujen välttämiseksi.

5.1 Paineenalennus

Paineenalennus on kustannustehokas tapa vaikuttaa rakennuksessa tapahtuvaan vedenkulutukseen. Vesijohtopaineen alentaminen 200 kPa:lla aiheuttaa kulutuksen pienenemisen 10...15 % verrattuna tilanteeseen, jossa painetaso olisi 500...600 kPa.

/17/

Paineenalennus tulee kyseeseen tavanomaisessa asuinrakennuksessa aina, kun käyttöveden paine on yli 500 kPa. Tällöin verkoston painetasot ovat liian kovat ja vesikalusteiden mitoitusvirtaamat ylittyvät. Kova painetaso aiheuttaa ääniongelmia ja liian suuria virtausnopeuksia. Kupariputkissa liian suuri virtausnopeus saa aikaan eroosiokorroosiota.

Jos painetaso on välillä 350-500kPa, alennetaan sitä huomioon ottaen rakennuksen kerroskorkeus ja verkoston sekä vesikalusteiden painehäviöt. Tämä edellyttää virtaamien mittauksia vesikalusteilta. Mikäli rakennuksen vesikalusteiden virtaamat ylittävät puolitoistakertaisesti tai enemmän ko. kalusteiden normivirtaaman, on paineenalennus suositeltavaa. Lisäksi on otettava huomioon verkostossa tapahtuneet muutokset ja putkiston kunto.

Paineenalennus- tai vakiopaineventtiili maksaa asennettuna 250...300 e / kpl. Omalla vesikaivolla varustetuissa rakennuksissa paineenalennus toteutetaan pumpun toimintatapoista muuttamalla. Tapauksissa, joissa paineenalennus on tarpeellista, on investointi poikkeuksetta kannattava.

5.2 Käyttövesijärjestelmän lämpöhäviöiden vähentäminen

Lämpimän käyttöveden lämmitysjärjestelmän energiatehokkuutta heikentävät järjestelmän lämpöhäviöt. Ne ovat putkiston ja kiertojohdon, kiertovesipumpun ja lämmönkehityslaitteiden sekä mahdollisten varaajien lämpöhäviöt. Häviöitä vähennettäessä putket ja putkistovarusteet eristetään tai vanhaa eristystä parannetaan eristepaksuutta kasvattamalla.

Putkiston kunto ja ikä on otettava huomioon toimenpiteen kannattavuutta tarkasteltaessa. Jos putket tulee uusia lähiaikoina, vanhojen putkien eristäminen on harvoin kannattavaa.

Näkyvillä olevat putket

Jos putket ovat näkyvillä, voidaan ne eristää suhteellisen helposti vuorivillakouruin tai solukumieristeillä. Mekaaniselle rasitukselle altistuvat putket suojataan peltikuorella.

Piiloon asennetut putket

Piilossa olevien putkien ja putkistovarusteiden eristäminen jälkeinpäin tulee kyseen silloin, kun rakenteen avaaminen onnistuu helposti. Maassa tai maanalaisessa putkitunnelissa sijaitsevien putkien eristäminen on erityisen tärkeää, koska lämpötilaero veden ja maaperän välillä on suuri ja lämpöhäviö tästä johtuen suurempi kuin rakennuksen sisällä.

Säiliöt

Säiliöt eristetään verkkovillamatoilla, jotka sidotaan toisiinsa rautalangalla. Eristeen pysyminen säiliön päällä varmistetaan metallisilla vanteilla, jotka asennetaan eristeen tueksi. Säiliöiden eristys viimeistellään alumiinikuorella.

Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviöt lasketaan yhtälöllä 11. /1/

$$Q_{\text{lkv,kiertohäviöt}} = \rho_v * C_{pv} * q_{v,\text{lkv,kierto}} * (T_{\text{lkv}} - T_{\text{lkv,kierto, paluu}}) * \Delta t \quad (11)$$

ρ_v veden tiheys, kg/m³

C_{pv} veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

$q_{v,\text{lkv,kierto}}$ lämpimän käyttöveden kiertopiirin vesivirta, m³/s

T_{lkv} lämpimän käyttöveden lämpötila, °C

$T_{\text{lkv,kierto, paluu}}$ lämpimän käyttöveden kiertopiirin paluuveden lämpötila, °C

Δt ajanjakson pituus, h

5.3 Vesikalusteiden vaihtaminen

Nykyisessä rakennuskannassa on käytössä lähinnä 1970-luvun jälkeen valmistettuja vesikalusteita. Näin ollen kaikkein vanhimmat vesikalusteet, kuten kaksiotehanat ja ylävesisäiliöllä varustetut WC-istuimet ovat harvinaisia. Kalustekanta uusiutuu siten, että laitteet tulevat käyttöikänsä päähän ja ne korvataan uusilla kehittyneemmällä mallilla.

Kalustekantaa uusitaan pääasiassa putkisto- ja kylpyhuonesaneerausten yhteydessä. On kuitenkin tilanteita, joissa rakennuksen käyttövesijärjestelmä on vielä hyvässä kunnossa, mutta vesikalusteiden uusimisella voidaan saavuttaa merkittävää rahallista hyötyä. Tällaisia rakennuksia voivat olla esimerkiksi hotellit, kylpylät tai urheiluhallit. Asuinrakennuksissa kyseeseen voivat tulla asuntolat sekä rivi- ja kerrostalomuotoiset asunto-osakeyhtiöt. Kalusteiden keskimääräisiä vaihtokustannuksia on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO7: Erilaisten kalustetyyppien investointikustannuksia. /15/

Toimenpide	Kustannus	
	e / yks	e / m ³
Wc -istuimen uusiminen	400	1,3
Vesikalusteen vaihto	150	
Suihkukalusteen vaihto	250	

Julkisissa tiloissa yleistyneet automaattiset ja kosketusvapaat hanat säästävät vettä, koska hukkaajuoksutusta tapahtuu hyvin vähän. Termostaatilla varustettua suihkusekoittajaa käytettäessä veden lämpötilaa ei tarvitse säätää niin paljon kuin vipuhanoissa. Lisäksi sekoittajissa on käytössä erilaisia painikkeita ja rajoittimia, joilla virtaamaa voidaan pienentää. WC-istuimissa on yleistynyt kaksoishuuhtelutoiminto, jolla voidaan valita huuhteluvesimäärä tarpeen mukaan. Sekoittajien vaihdon tuottamaa säästöä on kuvattu taulukossa 6.

TAULUKKO6: Kahden erilaisen kalustetyypin vaihdon tuottama säästö vuorokausitasolla. /14/

Vesikaluste	Lämpimän käyttöveden säästö	Lämmitysenergian säästö
	l / hlö /a	kWh / hlö / a
Yksiotesekeitin	7	0,406
Aikaohjattu suihkusekeitin	6	0,35

5.4 Asuntokohtaisen vedenmittauksen asentaminen

Huoneistokohtaisen vedenmittauksen ja laskutuksen tavoitteena on vesikustannusten oikeudenmukainen jakaminen, vedenkulutuksen vähentäminen sekä energiansäästö. Jokainen asukas maksaa vedenkulutuksesta käyttötottumustensa mukaisesti.

Yleinen tapa on mitata erikseen lämmintä ja kylmää käyttövettä, mutta mahdollista on myös mitata niitä erikseen. Mikäli vesimittarit asennetaan sekä kylmään että lämpimään veteen voidaan laskutuksessa ottaa tarkasti huomioon huoneistokohtainen vedenkulutus ja laskea erikseen lämpimän käyttöveden energiakustannus. Mikäli vesimittari asennetaan pelkästään kylmään veteen, voidaan laskutusta varten käyttää oletusarvona lämpimän veden osuutta 40 % kokonaisvesimäärästä.

Vesimittareiden lisääminen on asennusteknisesti yksinkertainen toimenpide, mutta korjausrakentamisessa ongelmaksi muodostuu putkien reititys. Vaatimuksena on, että putket tulevat asuntoon keskitetysti. Mittarit tulisi sijoittaa sellaiseen paikkaan, jossa niitä voidaan huoltaa ja lukea helposti. Estetiikan kannalta olisi toivottavaa, että mittarit ovat poissa näkyviltä esimerkiksi kalustekotelossa tai alakaton sisällä. Mittarin yhteydessä on oltava sulkuventtiilit ja roskasuodatin.

Mittareiden luenta

Mittareiden luenta toteutetaan mekaanisten mittareiden osalta huoltoyhtiön, isännöitsijän tai asukkaiden toimesta. Sähköiset mittarit luetaan keskitetysti kiinteistön teknisestä tilasta tai etäluentana huoltoyhtiössä.

Mittaus- ja laskutusjärjestelmän käyttö- ja huoltokustannukset on saatava alhaisiksi, jotta järjestelmän rakentaminen olisi kannattavaa. Mittareiden on oltava korkealaatuisia, vaikka hankintavaiheessa se aiheuttaisi suurempia kustannuksia verrattuna edullisempiin ja heikkolaatuisimpiin tuotteisiin.

Kustannukset

Huoneistokohtaisen vesimittarijärjestelmän investointikustannus on n. 500 €/ kpl tai 1,50 e / m^3 . Vuosittaiset luenta-, laskutus- ja huoltokustannukset ovat arvioiden mukaan 10...30 € / asunto.

Yhtiöjärjestyksen muutokset

Asunto-osakeyhtiössä huoneistokohtaiseen vedenmittaukseen siirtyminen edellyttää muutoksia yhtiöjärjestykseen. Yhtiöjärjestyksessä määritellyn vastikeperusteen muuttaminen annettujen osakkeiden osalta vaatii taakseen kaksi kolmasosaa osakkeenomistajista, ellei yhtiöjärjestyksessä ole vaadittu suurempaa enemmistöä. Lisäksi vaaditaan niiden osakkeenomistajien suostumus, joiden maksuvelvollisuus muutoksen johdosta kasvaisi. /9/

5.5 Vuotokartoitus ja korjaukset

Käyttöveden poikkeuksellisen korkeaan kulutukseen voivat olla syynä verkoston vuodot. Vuotoja voi esiintyä kaikenikäisissä verkostoissa kiinteistöjen sisällä ja ulkopuolella. Uusien rakennusten vesivuodot ovat harvinaisia. Rakennuksen sisällä tapahtuvat vuodot paljastuvat helpommin. Vahingollisimpia ovat vuodot, jotka kastelevat rakenteita hitaasti vuosien kuluessa niin, että sitä ei ajoissa huomata.

Vuotojen syyt

Kupariputkissa vuodot ovat tavallisesti seurausta korroosiosta sekä jäätyksen aiheuttamista halkeamisista. Mekaaninen rasitus voi myös aiheuttaa vuotoja kupariputkissa.

Korroosiota aiheuttavat:

- Kova virtausnopeus
- Metallihiukkaset putkessa
- Liian jyrkkä suunnanmuutos
- Virheellinen haaroitus
- Veden korkea mineraalipitoisuus
- Veden alhainen PH-arvo

Muoviputkissa yleisin vuodonaiheuttaja on jäätyminen aiheuttama halkeaminen. Rakennusten ulkopuolella muoviputki voi vaurioitua routimisen seurauksena.

Vuotojen etsiminen

Yleinen tapa etsiä vuotoja on yökulutusseuranta. Tarkkuus riippuu tutkittavan rakennuksen tai alueen laajuudesta ja verkostogeometriasta. Menetelmä edellyttää joko kiinteitä ja luotettavia vesimittareita tai siirrettäviä virtausmittareita. Oleellista on, että vuotovesitarkkailua tehdään yöllä, kun normaali kulutus on minimissään ja vuotojen aiheuttamat mittarin liikkeet on helpompi erottaa.

Paikantamiseen käytetään virtausmittausten, visuaalisten havaintojen sekä lämpötilamittausten lisäksi vuotovirtauksen aiheuttaman äänen havainnointiin perustuvia menetelmiä. Äänen aiheuttaa materiaalin värähtely, joka syntyy ulospurkautumiskohdassa putkiseinämän ja ulospurkautuvan aineen välisestä kitkasta. Vuotoääni puolestaan kulkeutuu putken seinämissä, putken sisältämässä aineessa ja putkea ympäröivässä materiaalissa.

Kustannukset

Vuotokartoituksista laskutetaan yleensä aikaperusteisesti, mutta myös muista korvauksista voidaan sopia. Äkillisissä vuototapauksissa kustannuksia syntyy päivystyslun- teisesta laskutuksesta ja siitä, että urakoita ei ehditä kilpailuttaa. Vuotojen korjaukset ovat kuitenkin aina kannattavia toimenpiteitä. Vuotoveden kulkeutuminen rakenteisiin aiheuttaa helposti aineellisia vahinkoja ja terveydellisiä riskejä.

6 RAKENNUKSEN LÄMPÖHÄVIÖIDEN VÄHENTÄMINEN

Rakennuksen lämpöhäviöitä vähennetään rakennusteknisillä saneeraustoimenpiteillä. Ne ovat laajamittaisia korjauksia, jotka vaikuttavat rakennuksen visuaaliseen ilmeeseen. Lämpöhäviöitä vähentäviä toimia tehdäänkin usein muiden saneerausten yhteydessä.

Kun rakenneosia on kulunut korjauksettomaan kuntoon, tulee se uusiksi. Uusien materiaalien valmistuksessa otetaan huomioon nykyaikaiset energiatehokkuutta koskevat rakennusmääräykset. Näin ollen vanha rakennusosa korvataan yleensä energiatehokkaammalla mallilla. Poikkeuksena ovat rakennusperintökohteet, joissa ratkaisevat arvotekijät.

Varsinaisen energiansäästöön tähtäävän muutoksen seurauksena joudutaan tekemään muita rakennustöitä. Verhousmateriaalit, koristelistat, pellitykset ym. joudutaan yleensä uusimaan. Tämä nostaa toimenpiteiden kustannuksia.

6.1 Rakenteiden tiivistäminen

Rakennuksen vaipan tiiviyyden merkitys lämpöenergian kulutukseen on suuri. Epätiivit rakenteet aiheuttavat lämpöenergian kulutusta vuotoilmanvaihdon lämmityksen lisäksi vetoisten sisäilmaolosuhteiden aiheuttaman korkean huonelämpötilan takia. Huonot tiiviysominaisuudet kiihdyttävät haitallista vesihöyryn diffuusiota seinärakenteissa.

Vuotoilmavirtaus

Heikosti tiivistetyssä seinärakenteessa paine-eron vaikutuksesta syntyy voimakas vuotoilmavirtaus. Kylmä virtaus jäädyttää rakennetta ja kasvattaa lämpötilaeroa sisäilman ja seinärakenteen välillä. Tällöin lämpövirta sisäilmasta rakenteeseen päin kasvaa.

Lisäksi rakennuksen sisälle virtaa kylmää ulkoilmaa, joka tulee lämmittää sisäilman lämpöiseksi. Rakojen kohdalla rakenteen kyky vastustaa lämpövirtaa ulospäin on heikko ja hatarista kohdista vuotaa hallitsemattomasti lämpöenergiaa ulos. Rakoja voi

rakennusvaiheessa jäädä rakennusosien yhtymäkohtiin, luukkujen karmien ja seinän väliin sekä läpivienteihin. Hallitsematon vuotoilmanvaihto aiheuttaa vedon tunnetta ja johtaa huonelämpötilan korottamiseen.

Diffuusio seinärakenteessa

Kosteus kulkee rakenteessa kapillaarisen imun, vesihöyryn osapaineiden aiheuttaman diffuusion sekä ilmavirtausten mukana. Usein kaikki kolme ilmiötä vaikuttavat samaan aikaan. /4/

Seinärakenteen toimivuuden takia diffuusion ja ilman paine-erojen vaikutus tulee ottaa huomioon. Epätiivis seinärakenne suosii kumpaakin ilmiötä. Talvitilanteessa diffuusio on voimakkaimmillaan. Ulko- ja sisäilman sisältämän vesihöyryn osapaineiden ero pyrkii tasoittumaan ja rakenteeseen syntyy höyryvirta. Vesihöyryn osapaineen ylittäessä kyllästymispaineen, vesihöyry tiivistyy vedeksi seinän sisällä.

Tiivistyvä kosteus aiheuttaa homevaurioita ja lämpöeristeiden toimivuuden heikkene- mistä. Tiiviillä seinärakenteella voidaan ilman ja vesihöyryn liikkumista rajoittaa huomattavasti.

Vuotokohtien etsiminen

Vuotokohdat on tehokkainta selvittää lämpökamerakuvauksilla ja lämpötilamittauksilla. Vuotokohdat erottuvat lämpökamerakuvissa ympäristöään lämpöisempinä tai kylmempinä kohtina riippuen vuodenajasta ja siitä, kuvataanko rakennusta ulkoa vai sisältä.

Vuotokohtien korjaus

Vanhoissa puurakenteisissa taloissa rakoihin sullotaan pellavaa ja sahanpurua. Ilman- sulkuna käytetään rakennuspaperia.

Villaeristetyt puutalot ja kivitalot tiivistetään sullomalla rakoihin mineraalivillaa. Toinen tapa on ruiskuttaa rakoihin muovipohjaista tiivistysainetta kuten polyure-

taanivaahtoa. Vaahto turpoo ja täyttää raon tehokkaasti. Ilman- ja höyrynsulkuna käytetään rakennusmuovia.

Rakenteen ollessa kauttaaltaan huonosti tiivistetty, korjataan kaikki vuotokohdat yhdellä kerralla.

Vuotoilmakerroin

Rakennuksen vuotoilmakertoimen määrittämiseksi on tunnettava rakennuksen n50 – luku. Luku selvitetään painekokeella, jossa rakennuksen ulkovaipan yli luodaan 50 Pa:n paine-ero poistamalla rakennuksesta ilmaa. Kokeen ajan rakennuksen varsinainen ilmanvaihto on poissa käytöstä ja kaikkien ikkunoiden ja ovien tulee olla kiinni.

n50 - Luku ilmaisee, montako kertaa talon tilavuuden verran rakennuksen vaippa läpäisee ilmaa yhden tunnin aikana 50 pa:n paine-erolla. Pientaloissa laskennallinen kokonaisenergiankulutuksen lisäys on keskimäärin 4 % jokaista n50-luvun kokonaisyksikön lisäystä kohti.

Vuotoilmakerroin lasketaan yhtälöllä 12. /1/

$$n \text{ vuotoilma} = n50 / 25 \quad (12)$$

n vuotoilma Rakennuksen vuotoilmakerroin, 1/h

n50 Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla, 1/h

Rakenteiden tiivistämisellä saavutettava energiansäästö

Suomessa tehtyjen tutkimusten perusteella on tiiviyskorjausten todettu parantavan ilmanvuotolukua keskimäärin n. 20 %. Peruskorjauksilla on saavutettu jopa 50 % parannuksia ilmanvuotolukuihin.

Tiivistämisellä saavutettuja energiansäästöjä on vaikea laskea tarkasti ja laskelmista saadaan vain suuntaa antavaa tietoa.

Lämmöntalteenotolla varustetuissa rakennuksissa talteenoton hyötysuhde paranee, kun suurempi osa ilmanvaihdosta tapahtuu lämmöntalteenottolaitteiston kautta.

Rakenteiden tiivistämisellä saavutettava energiansäästö lasketaan yhtälöllä 13. /5/

$$\Delta Q_{\text{vuotoilma}} = 0,33 * \Delta n * V * S * 24 / 1000 \quad (13)$$

0,33	Ilman ominaislämpökapasiteetti, Wh/m ³ K
Δn	Vanhan ja uuden vuotoilmakertoimen erotus, 1/h
V	Lämmitetty tilavuus, jota ilmanvaihdon muutos koskee, m ³
S	Lämmöntarveluku, Kd

6.2 Ikkunoiden uusiminen

Ikkunat ovat asuinrakennuksen vaipan heikoiten lämpöä eristävä osa. Niillä on siten merkittävä osuus rakennuksen johtumislämpöhäviöihin. Ikkunaremontin lähtökohtana on asumisviihtyvyyden parantaminen, ikkunavaurioiden korjaaminen ja rakennuksen energiankulutuksen vähentäminen. Korjaustarve määritellään asukaskyselyn ja kunto- tutkimusten perusteella.

Ikkunoiden vauriot

Ikkunat turmeltuvat rasituksen ja huonon huollon seurauksena. Rasitusta synnyttävät viistosade, auringon säteily ja ilman saasteet. Eteläpuolen ja ylimpien kerrosten ikkunat turmeltuvat ensimmäisenä. Ikkunoiden kestoikään vaikuttavat niiden rakenne ja käytetyt materiaalit. Ikkunoiden huoltotoimenpiteet määräytyvät ikkunapuitteiden materiaalista ja ikkunatyypistä. Korjauskittaus, huoltomaalaus sekä puhtaanapito ovat ikkunoiden tärkeimmät huoltotoimenpiteet.

Vaihtoehdot

Korjaustoimiksi voidaan valita ikkunan ulkopuolisten osien tai koko ikkunan kunnostaminen, lisälasiin asentaminen tai koko ikkunakokonaisuuden uusiminen. Edullisinta olisi vaihtaa vain huonoimmat ikkunat uusiin ja kunnostaa loput. Yleensä kaikki ikkunat uusitaan kuitenkin samalla kertaa.

Ikkunoiden ominaisuudet

Ikkunan käyttöominaisuuksiin liittyy ikkunakokonaisuuden energiatehokkuus. Siihen vaikuttaa lämmönläpäisykertoimen lisäksi koko ikkunarakenteen eli lasin, karmien ja puitteiden ilmantiiveys. Nykyaikaiset ikkunat ovat usean eri materiaalin yhdistelmiä. Niiden suunnittelussa on pyritty ottamaan huomioon kaikki lämmönsiirtymisen muodot. Eristyslasilla ja selektiivikalvolla varustetut ikkunat ovat lämmöneristävyydeltään noin kaksi kertaa parempia kuin 2-lasiset ikkunat.

2- ja 3-lasisten ikkunoiden U-arvot saattavat olla hyvin lähellä toisiaan. On kuitenkin huomattava, että U-arvot ilmoitetaan standardoiduissa, lauhkeissa olosuhteissa. Tuulen vaikutuksesta 2-lasisen elementin lämmöneristävyys heikkenee 3-lasista enemmän.

Ikkunan ilmanpitävyyden vertailuarvo lasketaan yhtälöllä 14.

$$E = 140 * U - 160 * g + 50 * L \quad (14)$$

E	Laskennallinen vuotuinen energiankulutus, kWh/m ² /a
U	Ikkunan U-arvo, W/m ² K
g	Auringon säteilyn kokonaisläpäisy
L	Ilmanvuotoluku, m ³ /m ² h

Kustannukset ja vaikutukset

Ikkunoita vaihdettaessa on otettava huomioon toimenpiteen vaikutus rakennuksen taloteknisissä järjestelmissä. Painovoimaisissa ja koneelliseen poistoon perustuvissa ilmanvaihtojärjestelmissä ikkunat muodostavat tuloilman kulkureitin rakennukseen, jos seiniin ei ole asennettu raitisilmaventtiileitä.

Vanhojen ikkunoiden vaihto uusiin tiiviimpiin ikkunoihin vähentää huonetilaan tulevaa tuloilmaa. Tällöin ulkoseiniin on asennettava raitisilmaventtiilit. Uusien ikkunoiden paremmat lämpötekniset ominaisuudet vähentävät huonetilojen lämmitystarvetta. Muuttunut tilanne tulee ottaa huomioon lämmitysjärjestelmän toiminnassa.

Korvausilmaventtiilien asentaminen ja lämmitysjärjestelmän säätötarve pidentävät ikkunaremontin kannattavuutta. Ikkunat tulee kuitenkin kunnostaa tai uusia niiden teknisen käyttöiän päätyttyä. Ikkunoiden tiivistäminen ja sisäpuolinen kunnostus maksaa 120...180 e / ikkuna-m². Ikkunakokonaisuuden uusimisen investointikustannus on 200...400 e / ikkuna-m².

Ikkunan vaihdolla saavutettavaa energiansäästöä voidaan arvioida yhtälöllä 15. /5/

$$\Delta Q_{\text{ikkuna}} = \Delta U * S_{17} * A * b * 24 / 1000 \quad (15)$$

ΔQ_{ikkuna}	Ikkunan vaihdolla saavutettava energiansäästö, kWh/a
ΔU	Vanhan ja uuden ikkunan U -arvojen erotus, W/m ² K
S_{17}	Lämmöntarveluku, joka on laskettu + 17 °C sisälämpötilalla, Kd
A	Ikkunan pinta-ala, m ²
b	Kerroin, jolla otetaan huomioon ikkunan suuntaus ja ympäristö, 0,8-1,0

6.3 Lisäeristäminen

Lisäeristämisen tavoitteena on vähentää rakennuksen johtumislämpöhäviöitä. Menetelmä on ollut aiemmin laajalti suosittu Suomessa. Menetelmät ovat vaikuttaneet rakennusten visuaaliseen ilmeeseen: ikkuna-aukot ovat syvällä rakennusten seinässä ja räystäät ovat lyhentyneet. Lisäeristäminen tulee kyseeseen silloin, kun se on helposti toteutettavissa ja rakenteen kosteustekninen toimivuus varmistetaan.

6.3.1 Ulkoseinien lisäeristäminen

Seinien lisäeristäminen voidaan tehdä ulko- tai sisäpuolelle riippuen pintamateriaalien uusimistarpeesta. Seiniä eristettäessä menetetään lämmönvarauskyky siltä puolelta rakennetta, johon lämmöneriste asennetaan.

Ulkopuolinen lisäeristys

Puurakenteisissa taloissa koolauspuut kiinnitetään vanhan ulkoverhouksen päälle tai vanha verhoukset puretaan pois. Kivirakenteisissa taloissa koolauspuut kiinnitetään hark-

koon, tiileen tai betoniin ankkuroimalla. Koolauksen välit täytetään eristeellä. Päälle asennetaan tuulensuojalevyt ja tuuletusrimat. Lopuksi asennetaan ulkoverhous.

Sisäpuolinen lisäeristys

Villaeristeitä sisäpuolella käytettäessä tulee vanhat höyrysulkukerrokset poistaa. Koolauspuut kiinnitetään puurakenteisissa taloissa ulkoseinän runkotolppiin ja kivirakenteisissa taloissa harkkoon, tiileen tai betoniin ankkuroimalla. Koolauksen välit täytetään eristeellä. Eristeen painumista tulee välttää. Seuraavaksi kiinnitetään mahdollinen höyrynsulku. Muovieristeitä käytettäessä erillistä höyrynsulkua ei aina tarvita. Lopuksi asennetaan sisäverhous. Putkia, sähkörasioita tai johtoja ei saa jättää eristeen sisään.

Sisäpuolisten eristeiden tulee olla hyvin hengittäviä tai sisäpinnassa on käytettävä höyrynsulkua. Suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota kylmäsiltojen välttämiseen. Puuverhotun ulkoseinän lisäeristämisen investointikustannus on 150 e / m² tai 44 e / m³.

Rakennuksen ulkovaipan lisäeristämällä saavutettavaa energiansäästöä voidaan arvioida yhtälöllä 16. /5/

$$\Delta Q_{\text{joht}} = \Delta U * A * S * 24 / 1000 \quad (16)$$

ΔQ_{joht}	Lisäeristykseen aikaansaama energiansäästö vuodessa, kWh/a
ΔU	Rakenteen vanhan ja uuden U-arvon erotus, W/m ² K
A	Lisäeristettävä pinta-ala, m ²
S	Lämmöntarveluku, Kd/a

Yhtälö17: Todellista sisälämpötilaa vastaava lämmöntarveluku S

$$S = S_{17} + (t_s - (+ 17 \text{ °C})) * \Delta t$$

S	Todellista sisälämpötilaa vastaava lämmöntarveluku, Kd/a
S ₁₇	+17 °C:een sisälämpötilaa vastaava lämmöntarveluku, Kd/a
t _s	Todellinen sisälämpötila, °C

Δt Lämmityskauden pituus, d

Lisäeristämisen vaikutus rakennuksen lämmitysenergian kulutukseen pystytään laskelmaan kohtalaisen luotettavasti verrattuna useisiin muihin energiansäästötoimenpiteisiin. Eristepaksuuden kasvattamisen tuottama hyöty jää kuitenkin arvioitua heikommaksi, jos työtä ei tehdä oikein. Eristekerrokseen jäävät ilmaraot, eristeen painuminen ja kosteus eristeissä ovat syitä eristyskyvyn heikkenemiseen.

6.3.2 Yläpohjan lisäeristäminen

Yläpohjan eristepaksuuden kasvattaminen on yleensä helpoin ja kannattavin lisäeristystapa. Avoimet yläpohjarakenteet mahdollistavat eristeiden lisäämisen jälkeinpäin. Eristystä voidaan parantaa myös kattoremontin yhteydessä.

Yleinen tapa on puhaltaa huokoinen eristemateriaali vanhan eristeen päälle. Puhallettavat eristemateriaalit ovat orgaanisia ja hengittäviä aineita, joten rakenteissa ei tapahdu kosteuden kerääntymistä muutosten yhteydessä. Savupiippujen ympärökset tulee suojata palamattomalla eristeellä ja aukkojen reunukset tulee korottaa kasvanutta eristevahvuutta vastaaviksi. Eristeellä ei saa tukkia rakenteen tuuletusreittejä.

Yleistäen voidaan sanoa, että yläpohjan lisäeristäminen kannattaa aina, jos vanha eristevahvuus on 150...200mm ja jos eristeen lisääminen onnistuu helposti. 200 mm lisäeristekerroksen investointikustannus on 14 e / m² tai 2,5 e / m³. Kevytbetonista tehdyissä yläpohjissa lisäeristämällä menetetään massiivisuuden tasaavaa vaikutusta rakennuksen lämpötekniiseen käyttäytymiseen.

6.3.3 Alapohjan lisäeristäminen

Maanvaraisen alapohjan lisäeristys on perusteltu lähinnä silloin, jos lattiaan asennetaan lattialämmitys tai pyritään estämään kosteuden nousua maasta.

Alapohjan lisäeristäminen ryömintätilan kautta on yleensä mahdollista. Tällöin eriste asennetaan rakenteen kylmälle puolelle. Ryömintätalaisessa alapohjassa lisäeristäminen lisää rakenteen homehtumisriskiä, koska ryömintätilan lämpötila laskee lisäeristuksen seurauksena.

Sisäpuolinen eristäminen aiheuttaa rakennusteknisiä töitä, kuten lattioiden pinnoittaminen ja oviaukkojen muutostyöt. Maanvaraisessa laattaperustuksessa sokkelin ulkopuolinen lisäeristäminen saattaa jäädä ainoaksi vaihtoehdoksi. Sokkelin lämmöneristyksen investointikustannus on 60 e / m² tai 2,5 e / m³.

7 LÄMMÖN TALTEENOTTO JA HYÖDYNTÄMINEN

Nykyaikainen talotekniikka mahdollistaa energiavirtojen kierrättämisen rakennuksessa. Rakennuksesta poistuvaa lämpöenergiaa voidaan ottaa talteen ja hyödyntää tilojen, käyttöveden tai ilmanvaihdon lämmityksessä. Talteenotettava energia on sitoutunut poistoilmaan, jäteveteen ja savukaasuihin.

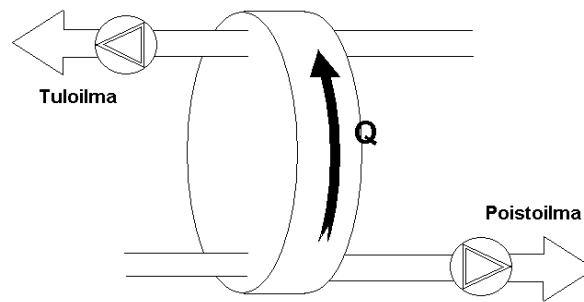
7.1 Poistoilman lämmöntalteenotto

Asuinrakennusten tärkein yksittäinen energiansäästökeino on poistoilman lämmöntalteenotto. Talteenottoprosessissa poistoilman lämpöenergia otetaan talteen ja hyödynnetään se tuloilman, käyttöveden tai tilojen lämmityksessä. Lämmöntalteenottolaitteiden päätyypit ovat regeneraattori, rekuperaattori ja poistoilmalämpöpumppu.

Regeneraattorit

Regeneratiivinen lämmönsiirrin on lämmönsiirrin, jossa kiinteä aine siirtää lämpöä ainevirrasta toiseen vuorotellen jäähtyen ja lämmiten /16/. Talteenottoprosessissa väliaineena toimii kiinteä tai liikkuva massa.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton regeneraattori on pyörivä lämmönsiirrin. Siirtimesä tapahtuu poistoilman kosteuden siirtymistä tuloilmaan. Tästä johtuen pyörivää lämmönsiirrintä ei voida käyttää tapauksissa, joissa ilmavirtojen sekoittumista ei voida sallia. Pyörivän lämmönsiirtimen tehoa rajoitetaan hidastamalla siirtimen pyörimisnopeutta. Pyörivän lämmönsiirtimen toimintaperiaatetta on havainnollistettu kuvassa 6.



KUVA6. Periaatepiirros pyörivästä lämmönsiirtimestä.

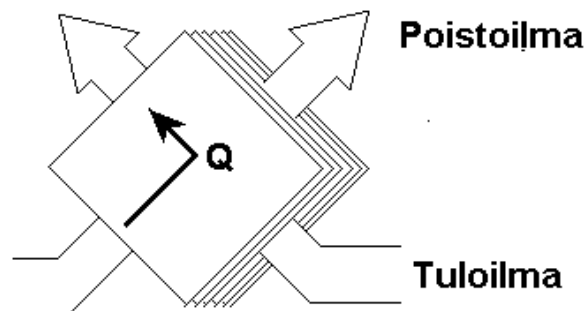
Rekuperaatit

Rekuperatiivinen lämmönsiirrin on lämmönsiirrin, jossa lämpö virtaa ainevirrasta toiseen kiinteän väliaineen lävitse. /16/

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton rekuperaatit ovat:

- levylämmönsiirrin
- nestekiertoinen järjestelmä
- lämpöputkipatteri.

Nestekiertoisen järjestelmän tehonsäätö toimii siten, että pattereiden nestevirtoja sekoitetaan kolmitieventtiilissä. Levylämmönsiirtimen tehoa rajoitetaan ohjaamalla osa tuloilmavirrasta kennon ohi. Levylämmönsiirtimen toimintaperiaatetta on havainnollistettu kuvassa 7.



KUVA7. Periaatepiirros levylämmönsiirtimestä.

Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppu on laite, jossa talteenotto-prosessin lämmönsiirto perustuu väliaineen pakotettuun faasimuutokseen. Kylmäaine sitoo poistoilman lämpöenergiaa höyrystyessään ja luovuttaa sen lauhtuessaan tuloilmaan, käyttövedeen tai tilojen lämmitysvedeen.

Poistoilmalämpöpumpulla on mahdollista siirtää lämpöenergia käyttöveden tai tilojen lämmitykseen. Prosessi voi olla suora höyrysteinen, suoralauidutteinen tai siinä voi olla väliainekierto. Väliaineena käytetään jäätymätöntä nestettä.

Pienissä rakennuksissa poistoilmalämpöpumppua voidaan käyttää pääasiallisena lämmöntuottolaitteena. Laitteissa on ilmanvaihdon puhaltimet ja suodattimet, joten se on yhdistetty lämmitys- ja ilmanvaihtokone.

Suurempien rakennusten poistoilmalämpöpumput ovat laitekokonaisuuksia, jossa huippumurien tilalla käytetään lämmöntalteenottoyksiköitä. Jäätymättömän liuoksen avulla poistoilman lämpö siirretään lämpöpumpulle, joka siirtää sen käyttövedeen tai lämmitykseen.

Poistoilman lämpöä voidaan hyödyntää lisäksi maalämpöjärjestelmässä tuomalla kerätty lämpöenergia maalämpöpumpun lämmönkeruupiiriin. Korkea höyrystymislämpötila nostaa lämpöpumpun hyötysuhdetta. Kesäaikana lämmitystarpeen ollessa pienimmillään voidaan poistoilman lämpöä varastoida kallioperään. Tällaisia kokonaisuuksia nimitetään yhdistetyiksi poistoilma- ja maalämpöpumpuiksi.

Hyötysuhde

Talteenoton hyötysuhde ilmaistaan tuloilman lämpötilan tai entalpian muutoksen suhteena suurimpaan mahdolliseen. Lämmöntalteenottolaitteen vuosihyötysuhde laske-taan ulkolämpötilan pysyvyyskäyrän mukaan.

Lämmönsäästö

Ilmanvaihtosaneerauksissa on lämmöntalteenoton asennuksella saavutettu jopa 50 % säästöjä ilmanvaihdon lämmitysenergian kulutuksessa.

Rakennusmääräysten mukaan uuden rakennuksen ilmanvaihdon poistoilmasta on otettava lämpöä talteen lämpömäärä, joka vastaa vähintään 45 % ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemasta lämpömäärästä. /2/

Lämmöntalteenotolla saavutettavaa energiansäästöä voidaan arvioida yhtälöllä 18. /5/

$$\Delta Q_{\text{ilmanvaihto}} = \Delta C * q_i * \rho_i * \tau * c \quad (18)$$

$\Delta Q_{\text{ilmanvaihto}}$ Lämmöntalteenotolla saavutettava säästö vuodessa, kWh/a

ΔC Ominaiskulutusten muutos, kWh/kg/a

Ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettu ja tuloilman lämmityksessä hyödynnetty energia lasketaan yhtälöllä 19. /1/

$$Q_{\text{LTO}} = Q_{\text{IV, ei LTO}} - Q_{\text{IV}} \quad (19)$$

Q_{LTO} Lämmöntalteenottolaitteistolla talteenotettu ja tuloilman lämmityksessä hyödynnetty energia, kWh

$Q_{\text{IV, ei LTO}}$ Ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsema energia ilman LTO:a

Poistoilmalämpöpumpun varaajaan siirtämä ja tilojen tai käyttöveden lämmityksessä hyödynnetty energia lasketaan yhtälöllä 20. /1/

$$Q_{\text{LP}} = \frac{\varepsilon_{\text{LP}}}{(\varepsilon_{\text{LP}} - 1)} * Q_{\text{LTO, LP}}$$

ε_{LP} Poistoilmalämpöpumpun vuotuinen lämpökerroin

$Q_{\text{LTO, LP}}$ Poistoilmalämpöpumpulla talteenotettu ja tilojen tai käyttöveden lämmityksessä hyödynnetty energia, kWh

Yhtälö21: Poistoilmalämpöpumpulla talteenotettu ja tilojen tai käyttöveden lämmityksessä hyödynnetty energia. /1/

$$Q_{LTO, LP} = \left[\frac{\sum (T_s - T_{jäte}) \Delta t}{\sum (T_s - T_u) \Delta t} \right] * Q_{IV, ei LTO}$$

$T_{jäte}$ Jäteilman lämpötila, °C

Δt Ajanjakson pituus, h

Lämmön talteenoton lisääminen olemassa olevaan järjestelmään

Vanhan järjestelmän saneerauksissa lämmöntalteenottolaitteiston asennukselle on rajoituksia. Painovoimaisen järjestelmän paine-erot ovat niin heikkoja, että lämmöntalteenotto ei onnistu lainkaan. Koneellisessa poistoilmanvaihtojärjestelmässä talteenotettua lämpöä ei voida hyödyntää tuloilman lämmityksessä, vaan se tulee käyttää rakennuksen tilojen lämmityksessä ja lämpimän käyttöveden tuottamiseen.

Tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmissä, joissa ei ole lämmöntalteenottolaitteistoa, on se lisääminen jälkepäin vaikeaa johtuen tilan puutteesta. Tulo- ja poistokone sijaitsevat usein kaukana toisistaan. Kyseeseen tulee yleensä vain nestekiertoinen järjestelmä, jonka hyötysuhde on huonompi kuin muissa järjestelmissä.

Vanhojen asuinkerrostalojen koneellinen poistoilmanvaihtojärjestelmä on toteutettu yleensä yhteiskanavapoistojärjestelmänä, jossa vesikatolle sijoitetut puhaltimet palvelevat useita asuntoja. Rakennusgeometria määrää huippuimureiden lukumäärän ja niiden virtaamat. Jos rakennuksessa on isot huippuimurit, joilla on suuret virtaamat (yli 0,4m³/s) voidaan harkita poistoilmalämpöpumpun asentamista.

Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtokoneen uusiminen lämmöntalteenoton takia on järkevää, jos nestekiertoista järjestelmää ei voida asentaa. Tällöin vanha kone puretaan pois ja vanhat kanavat päätelaitteineen jäävät käyttöön. Uuden koneen toiminta-arvot valitaan alkuperäisten suunnitteluarvojen mukaiseksi.

Jälkilämmityspattereiden tehot ja puhaltimien paineenkorotus tulee valita niin, että lämmöntalteenottolaitteiston aiheuttamat muutokset huomioidaan. Tässä yhteydessä

on mahdollista tehdä myös muita parannuksia, esimerkiksi kierroslukusäädön asentaminen puhaltimille.

7.2 Savukaasun ja jäteveden lämmöntalteenotto

Asuinrakennuksissa lämpöä voidaan ottaa talteen poistoilman lisäksi jätevedestä tai savukaasuista.

Savukaasujen lämpöenergian talteenotto

Savukaasujen lämmöntalteenotossa hyödynnetään tulisijojen savukaasujen sisältämää lämpöenergiaa lämmityksessä tai lämpimän käyttöveden tuottamisessa. Savukaasujen lämpöenergiaa kerätään joko suoraan savukaasuvirrasta tai piipun lämpöhäviöistä. Suoran systeemin savupiippuvaraajassa savukaasun lämpö johdetaan hormia ympäröivään vesitilaan.

Jäteveden lämpöenergian talteenotto

Jäteveden sisältämää lämpöä hyödynnetään tällä hetkellä Suomessa vain kunnallisissa laitoksissa sekä teollisuuskiinteistöissä. Talteenotto voi olla suora esilämmityssysteemi tai lämpöpumppu. Asuinrakennuksissa jäteveden lämmöntalteenottolaitteiston asentamista voidaan harkita silloin, kun käytössä on jäteveden pumppaamo. Jäteveden lämpöä on saatavilla ympäri vuoden, joten se soveltuu erityisesti käyttöveden lämmitykseen.

8 LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN ENERGIATEHOKKUUS

8.1 Lämmitystavat

Lämmitystavalla on suuri vaikutus rakennuksen lämmityskustannuksiin. Eri lämmitystapojen välillä on eroa siinä, kuinka paljon ostetusta energiasta saadaan höytykäyttöön. Käyttökustannusten ero syntyy ostettavan energian määrästä ja hinnasta.

Valittavana on suora lämmitys tai keskuslämmitys. Suorassa lämmityksessä ostoenergia tuodaan tilojen lämmönluovuttimiin ja muutetaan lämmöksi. Tällaisia ovat esimerkiksi sähköinen lattialämmitys tai huonekohtaiset kaasulämmittimet.

Keskuslämmityksessä ostoenergia muutetaan lämpöenergiaksi keskitetysti lämmönkehityslaitteissa ja tuodaan huoneiden lämmitykseen väliaineen välityksellä.

Varaava lämmitys

Varaavalla lämmityksellä tarkoitetaan sellaista järjestelmää, jossa lämpöenergiaa varataan lämmitysveteen tai kivirakenteeseen ja käytetään tarpeen mukaan. Varastointi kannattaa silloin kun energian hinta tai lämmitystarve vaihtelee paljon. Sähkölämmityksessä suositetaan varaavaa systeemiä, koska yöaikaan sähköenergian hinta on alhaisempi kuin päivällä.

Varaavan järjestelmän hankintahinta on korkeampi kuin ei-varaavan johtuen kaksiaikatariffin mittauksen mahdollistavasta sähkönsyötöstä ja kattilalaitosten varaajasäiliöiden tarpeesta. Varaavat tulisijat ovat myös kalliimpia kuin ei-varaavat.

Hankintahintaa alentaa se, että varaavan järjestelmän teho voi olla pienempi kuin ei-varaavassa järjestelmässä.

Lämmitystavan valinta

Lämmitystavan valintaan vaikuttavat rakennukseen liittyvät seuraavat seikat:

- Rakennuksen koko ja ominaisuudet
- Rakennuspaikka
- Ympäristövaikutukset
- Taloudellisuus

Jos rakennus kuluttaa hyvin vähän lämmitysenergiaa, on lämmitystavan valinnalla pienempi merkitys kuin enemmän kuluttavalla rakennuksella. Tulisijojen käytöllä voidaan vähentää rakennuksen varsinaisen lämmitysjärjestelmän ostoenergian tarvetta.

Kustannukset

Lämmityksen aiheuttamat kustannukset koostuvat lämmitysjärjestelmän investointi-kustannuksista ja käyttökustannuksista. Yleensä järjestelmissä, joissa hankintahinta on korkea, ovat käyttökustannukset matalat. Vastaavasti hankintahinnaltaan edullisen järjestelmän kokonaiskustannuksia kasvattaa energian kalliimpi yksikköhinta.

Lämmitysjärjestelmien kokonaiskustannuksiin vaikuttavat:

- järjestelmän hankintahinta
- energian yksikköhinta
- kiinteät perusmaksut
- huoltokustannukset.

Lämmitystapojen vaikutusta rakennusten energiankulutukseen on arvioitava ominaiskulutusluvun avulla, jossa lämmitysenergiankulutus jaetaan ulkovaipan konduktanssin ja ilmanvaihdon lämpökapasiteettivirran summalla yhtälön 22 mukaisesti.

$$q = Q / (G + c) \quad (22)$$

q	Lämmön ominaiskulutus, kWh/W/K
Q	Lämmönkulutus tarkastelujakson aikana, kWh
G	Ulkovaipan konduktanssi, W/K
c	Ilmanvaihdon lämpökapasiteettivirta, W/K

8.1.1 Sähkölämmitys

Sähkölämmityksessä verkosta ostettu sähköenergia muutetaan lämmöksi sähkölämmityselementeissä. Sähköenergia muuttuu lämpöenergiaksi elementin resistanssin vaikutuksesta.

Suoran sähkölämmityksen järjestelmävaihtoehdot:

- Sähköpatterit

- Lämmityskelmut
- Säteilylämmitys

Varaavan sähkölämmityksen järjestelmävaihtoehdot:

- Lattialämmitys
- Massavaraajat
- Sähkökattila
- Sähkövaraaja

Suorassa sähkölämmityksessä tehonsäätö on nopeaa, koska sähköverkossa on valmiina potentiaalia ja vastus reagoi ohjausvirtaan viiveettä. Suoran sähkölämmityksen etu ovat alhaiset investointikustannukset. Nämä tekijät kompensoivat sähköenergian korkeaa hintaa, joten sähkölämmitys on suosittu lämmitystapa pientaloissa.

Tariffit

Sähkön käyttäjä valitsee käyttötarkoitukseen sopivan tariffin. Tariffivaihtoehtoja on useita, mutta niitä ollaan vähentämässä. Tariffin valintaan vaikuttaa sähkönkäytön määrä ja ajallinen vaihtelu.

Esimerkkejä erilaisista sähköaikatariffeista: /4/

- Yleistariffi
- Aikatariffi
- Vuodenaikatariffi
- Dynaamiset tariffit
- Tehotariffit

8.1.2 Kattilalaitokset

Kattilalaitos on lämpöenergian tuottamista varten rakennettu laitteisto, johon kuuluvat kattila, savuhormi, polttoaineen syöttöjärjestelmä, mahdolliset varaajat ja polttoaineen varastosäiliö. Asuinrakennusten kattilat ovat teräslevykattiloita tai valurautaisia liitekattiloita.

Asuinrakennusten lämmityskattilat jaotellaan seuraavasti:

- pientalokattila, 15 - 40 kW
- maatilakattila, 40 – 80 kW
- kiinteistökattilat, 40 – 1000 kW.

Lämmityksessä käytetään sijainnista riippuen seuraavia polttoaineita:

- öljyä
- maakaasua
- kiinteitä polttoaineita (puu, pelletti, hake ym.).

Palamishyötysuhde

Kattilahyötysuhde on kattilan luovuttaman ja kattilaan tuodun energian suhde. Se ilmaisee, kuinka hyvin kattila siirtää siihen tuodun energian hyödyksi.

8.1.3 Kaukolämmitys

Kaukolämmitys on useiden rakennusten, alueiden tai kaupunginosien keskitettyä lämmöntuotantoa. Lämpöteho tuotetaan lämpölaitosten suurilla kattiloilla paremmalla hyötysuhteella kuin useilla pienillä kattiloilla. Energiataloudellisesti suurimmat hyödyt saavutetaan silloin, kun lämpö tuotetaan vastapainevoimalassa sähköntuotannon sivutuotteena.

Kustannukset

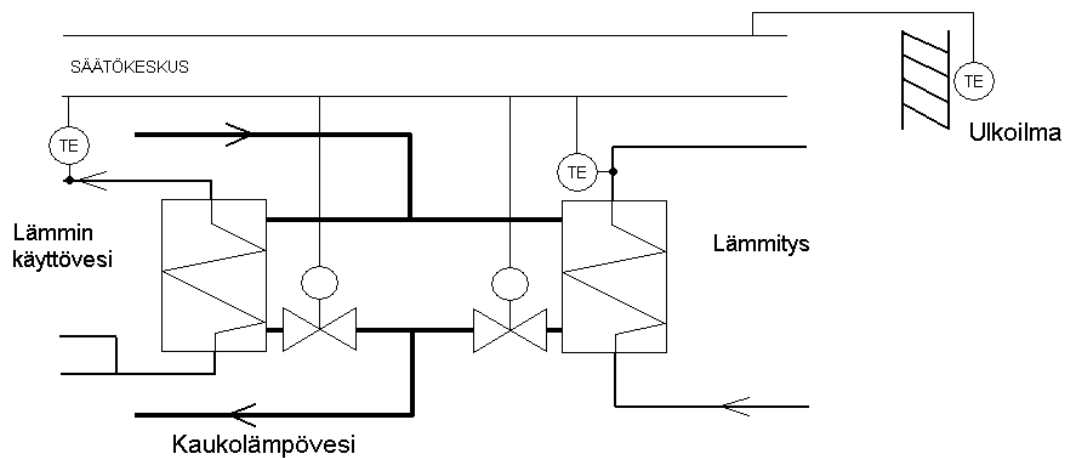
Kaukolämmityksen investointikustannus muodostuu kiinteistökohtaisesta lämmönjakokeskuksesta ja liittymismaksusta.

Käyttökustannukset muodostuvat energiamaksuista ja kaukolämmön perusmaksusta, jotka vaihtelevat energiayhtiön ja paikkakunnan mukaan.

Tehonsäätö

Kaukolämmön lämmönjakokeskuksen lämmityksen tehonsäätö tapahtuu siten, että säätökeskus ohjaa ensiöputkeen sijoitettua säätöventtiiliä ulkoilman lämpötilan mukaan tehontarvetta vastaavasti.

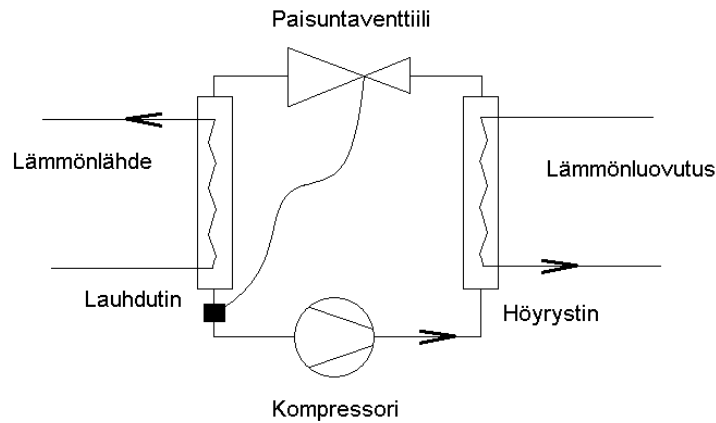
Käyttöveden tehonsäätö tapahtuu säätöventtiiliä ohjaamalla käyttöveden lämpötilan ja asetusarvon perusteella. Tehonsäätöä on havainnollistettu kuvassa 8.



KUVA8. Periaatepiirros kaukolämmön tehonsäädöstä

8.1.4 Lämpöpumput

Lämpöpumppulämmityksen toimintaperiaatteena on suljettu kylmäaineen kiertoprosessi. Kylmäaine sitoo höyrystyessään lämpöä lämmönlähteestä ja luovuttaa sen rakennuksen käyttöveden ja tilojen lämmitykseen. Kiertoprosessia ylläpidetään kompressorilla ja paisuntaventtiilillä. Kompressorilla nostaa kylmäaineen paineen ennen lauhdumista. Paisuntaventtiilillä paine alennetaan ennen höyrystintä. Lämpöpumpun pääosia on havainnollistettu kuvassa 9.



KUVA9. Lämpöpumpun pääosat

Lauhduttimesta saatava lämpöenergia on höyrytimessä kylmäaineeseen sitoutuneen lämpöenergian ja kompressorin kylmäaineeseen tuoman akselienergian summa.

Lämpöpumppulämmityksen perusedellytys on sopiva lämmönlähde. Tällaisia ovat:

- maaperä
- pohjavesi
- poistoilma
- ulkoilma
- järvet ja joet.

Muita edellytyksiä ovat kohtuulliset laitoksen perustamiskustannukset ja sähköenergian riittävän alhainen hinta. /4/

Lauhtumislämpötila

Lämpöpumppujen käytön edullisuutta parantaa se, mitä alhaisempi lauhtumislämpötila ja –paine vaaditaan. Näin ollen lauhtumislämpötila tulee pitää mahdollisimman alhaisella tasolla.

Tämä saavutetaan lämpöpumpuilla, joissa kylmäprosessia ohjataan todellisen tarpeen mukaan vaihtuvalauhdutteisesti tai kompressorin kierroslukua portaattomasti muuttamalla. Kylmäaineen tulistuminen tulee pitää vähäisenä. Korkea tulistuslämpötila muuttaa kylmäaineen stabiilisuutta ja aiheuttaa korroosiota koneikossa.

Lauhtumislämpötilaan voidaan vaikuttaa lämmitysverkoston toimintalämpötiloilla. Matala lämpötilataso tarkoittaa sitä, että lämmönlouvutuspinna-ala on oltava suuri. Lämpöpumppulämmitys soveltuu erityisen hyvin lattialämmitettyihin rakennuksiin.

Lämpökerroin

Lämpöpumpun kylmäkerroin kuvaa tuotetun lämpötehon suhdetta kulutettuun sähkötehoon. Sen lyhenne on COP, joka tulee englanninkielien sanoista coefficient of power. Suhde voidaan myös ilmaista SPF -lukuna, joka on tuotetun tehon suhde kulutettuun sähkötehoon vuoden ajalta tarkasteltuna.

Maalämpö

Maalämpö on tärkein lämpöpumppulämmityksen muoto. Maalämpöpumppu on muita lämpöpumppuja tehokkaampi ja sen lämpökerroin on muita lämpöpumppuja parempi. Lämmönlähteenä toimii maaperä, jonka vuotuinen keskilämpötila on ilman keskilämpötilaa korkeampi.

Maalämpöjärjestelmän mitoitus perustuu lämpöpumpulla vuositasolla tuotettavaan lämmitysenergiamäärään eli rakennuksen lämmitysenergian kulutukseen. Energiaa kerätään maasta muoviputkistolla. Putkisto upotetaan lämpökaivoihin, maahan tai vesistöön.

Lämmönlähteestä voidaan ottaa putkimetriä kohden rajoitettu määrä lämpöä. Jos lämmönlähde on alimitoitettu, se jäähtyy ja voi jopa jäätä. Alimitoituksesta seuraa lämpökertoimen pieneneminen höyrystyslämpötilan laskiessa.

Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa täystehoiseksi tai osatehoiseksi. Täystehomitoitus on harvoin perusteltua, koska huipputehon osuus vuotuisesta lämmitysenergiatarpeesta on vain 2...6 %. Lisätehontarve katetaan sähkövastuksilla, öljykattilalla tai esimerkiksi kaukolämmöllä. Lisälämmönlähde toimii myös varajärjestelmänä vikatilanteissa.

8.2 Lämmitystavan vaihtaminen

Lämmitystavan vaihdolla vaikutetaan rakennuksen lämmityksessä tarvittavan ostoenergian määrään tai siirrytään käyttämään erilaista ostoenergiaa.

Jos suoraan lämmönluovutukseen perustuva lämmitysjärjestelmä vaihdetaan keskuslämmitykseen, tulee rakennukseen rakentaa lämmitysverkosto. Tämä aiheuttaa lisäkustannuksia. Verkosto voidaan rakentaa jälkeinpäin omana toimenpiteenään tai muiden remonttien yhteydessä. Patteriverkoston putket asennetaan pintaan ja lattialämmitys tehdään vanhan lattian päälle silloin kun rakenteita ei avata.

Lämmönkehityslaitteiden vaihto voidaan tehdä myös lämmityskaudella, jos rakennusta voidaan pitää työn aikana lämpimänä esimerkiksi sähköpattereilla. Mikäli laitteet saadaan mahtumaan tekniseen tilaan ennen vanhan järjestelmän purkamista, lämmityskatkoa saadaan lyhennettyä.

8.2.1 Vaikutukset lämmönjakeluun ja lämmönluovutukseen

Toimintalämpötilat

Keskuslämmityksen lämmönlähteen vaihtaminen toiseen voi aiheuttaa muutoksia järjestelmän toimintalämpötiloissa. Tämä tilanne tulee eteen, kun siirrytään lämpöpumpputarkaisuun. Järjestelmän toiminnan ja hyötysuhteen kannalta verkoston lauhtumislämpötilojen olisi oltava mahdollisimman alhaiset. Tämä tarkoittaa matalia toimintalämpötiloja.

Patteriverkostoissa tulee lämmönluovuttimien pinta-alan olla suuri, jotta järjestelmän lämmönluovutus matalilla lämpötiloilla on riittävä. Tämä johtaa saneeraushankkeissa joskus lämmönluovuttimien vaihtoon. Verkostoon voidaan myös lisätä lämmönluovuttimia, jos putkidimensiot riittävät.

Virtaama ja painehäviö

Järjestelmän toimintalämpötilojen muuttaminen vaikuttaa verkoston mitoitusvirtaamaan. Jos lämpötilaero pienenee, tarvitaan suurempi virtaama saman tehon siirtämi-

seen. Virtaaman kasvattaminen lisää putkiston kitkapainehäviöitä ja nostaa pump-
pauskustannuksia. Kiertovesipumppujen toimintapisteet tulee tarkistaa. Jos vanhoilla
pumpuilla ei ole kierroslukusäätöä, juoksupyörät on vaihdettava mitoitus-
vastaaviksi.

Paisunta- ja varolaitteet

Toimintalämpötilojen ja verkoston vesitilavuuden muutos vaikuttaa paisuntasäiliön
mitoitukseen, joten se tulee uusiksi. Varoventtiilin avautumispaineen on oltava alhai-
sempi kuin verkoston heikoimman osan paineenkestävyys.

Muut vaikutukset

Jos rakennukseen asennetaan kattilalaitos jonkin muun lämmönkehityslaitteen tilalle,
on huomioitava kattilalaitosten tilantarve. Kiinteän polttoaineen kattilat vaativat run-
saasti varaajakapasiteettia. Rakennuksen lämmönjakohuoneeseen tulee olla suurikokoi-
nen ja siinä on oltava toimiva ja oikein mitoitettu savupiippu. Paloturvallisuus on otet-
tava tarkemmin huomioon kuin muissa lämmitystavoissa. Polttoaineille on oltava
omat helposti täytettävät varastointitilat.

Useissa tapauksissa lämmönkehityslaitteiden häviöt ovat riittäneet teknisten tilojen
lämmitykseen. Jos lämmönkehityslaitteita vaihdetaan sellaiseen, jonka häviöt ovat pie-
nemmät kuin vanhan, tulee tekniseen tilaan asentaa lämmönluovutin.

Lämmönkehityslaitteiden äänenkehitys vaihtelee. Teknisen tilan äänieristystä on jos-
kus paranneltava, jos lämmönkehityslaitteiden seurauksena äänenkehitys kasvaa.

8.3 Patteriverkoston perussäätö

Patteriverkoston toiminta häiriintyy verkostoon kerääntyvien epäpuhtauksien ja vääri-
en huolto- ja säätötoimenpiteiden seurauksena. Verkoston toimintaa muuttavat jälkikä-
teen tehtävät muutokset rakennuksen ominaisuuksissa tai lämmitysverkostossa.

Perussäätötyö kannattaa suorittaa, jos

- asuinhuoneiden lämpötiloissa on yli 5 °C poikkeamia
- patteriventtiilit pitävät epämiellyttävän kovaa ääntä
- patteriventtiilit ovat huonokuntoiset; niitä ei voi käyttää tai ne vuotavat
- linjasulku/-säätöventtiilit ovat huonokuntoiset
- edellisestä säädöstä on kulunut yli 15 vuotta
- lämmitysenergian kulutus on suuri.

Epäpuhtaudet

Verkostoon kerääntyy asennusvaiheessa hiekkaa, hitsauskuonaa, kivi- ja metallipölyä sekä lastuavien työmenetelmien tuottamia purseita. Näitä aineita ei aina onnistuta poistamaan valmiista verkostosta. Lisäksi metallisista putkistovarusteista ja lämmönluovuttimista irtoaa korroosion seurauksena ruostetta.

Nesteen virtauksen vaikutuksesta kaikki verkostoon kuulumaton aines muuttuu sakaksi, joka tukkii venttiileitä ja kerääntyy ahtaimpiin verkoston osiin. Verkostoon kerääntynyt sakka sekä erilaiset kaasuseokset aiheuttavat muutoksia verkoston dynamiikassa.

Muutokset

Verkoston toimintaa muuttavat jälkikäteen tehtävät muutokset rakennuksen ominaisuuksissa tai lämmitysverkostossa. Tällaisia muutoksia ovat muun muassa:

- lämmönluovuttimien lisääminen ja vähentäminen
- venttiilien uusiminen
- lämmönkehityslaitteiden uusiminen
- rakennuksen lämpöhäviöiden vähentäminen
- putkireittien muutokset.

Lämmitysverkoston väärät huolto- ja korjaustoimenpiteet heikentävät laitoksen toimintaa. Tällaisia toimenpiteitä ovat muun muassa:

- Verkostoon asennetaan keskenään erilaisia kertasäätöventtiileitä.
- Kertasäätöventtiileiden esisäätöarvot asetetaan virheellisesti.
- Kertasäätöventtiili asennetaan väärin päin.
- Kiertovesipumpun virtaama tai paineenkorotus valitaan väärin.
- Yksisuuntaventtiili tai lianerotin asennetaan väärin päin tai väärään kohtaan.
- Lianerotinta ei puhdisteta säännöllisesti.
- Varoventtiilin avautumispaine valitaan väärin.
- Paisunta-astian esipaine tai koko valitaan väärin.
- Putkiin tehdään liian jyrkkiä suunnanmuutoksia tai haarakohtia.
- Verkostoon asennetaan ilmataskuja.
- Verkostoon asennetaan happidiffuusiolle alttiita osia.
- Putkikoot valitaan väärin.

Virtaukset häiriintyvät ja painesuhteiden muutokset saattavat verkoston epätasapainoon. Vesivirrat eivät vastaa lämmöntarvetta ja rakennus lämpenee epätasaisesti. Lämmitysveden menolämpötilaa joudutaan kasvattamaan riittävän lämmönluovutus-
tehon aikaansaamiseksi kylmien huoneiden mukaan. Tällöin muut huoneet lämpenevät liikaa ja jakeluhäviöt kasvavat. Seurauksena järjestelmän toiminta muuttuu epätaloudelliseksi.

Perussäädön tarkoitus

Lämmitysverkoston perussäädön tarkoitus on tasapainottaa järjestelmä siten, että verkoston jokaisella kiertopiirillä on sama painehäviö ja jokaisen lämmönluovuttimen kautta kulkee kyseisen lämmönluovuttimen tehoa vastaava virtaama. Jakojohdoille lasketaan virtaamat, jotka vastaavat kyseiseen linjaan liitettyjen lämmittimien yhteenlaskettua tehoa.

Perussäädön toteutus

Tasapainotukseen on kehitetty useita eri menetelmiä, joista nykyään yleisin on paine-eromenetelmä. Säädön aluksia mitataan linjojen paine-erot, jotka säädetään yhtä suureksi linjasäätöventtiileitä. Vanhojen kerrostalojen lämmitysverkostojen perussäädössä huomataan usein, että väljien putkistojen johdosta linjasäätöventtiileitä ei tarvita, vaan

säätö suoritetaan mittaamalla vain verkoston kokonaispainehäviötä. Kokonaisvesivirta ja paineenkorotus saadaan kohdalleen pumpun kierroslukua muuttamalla.

Nykyiset mittausmenetelmät mahdollistivat paine-eron mittaamisen huomattavasti tarkemmin kuin virtaamien. Näin ollen paine-eron mittaamiseen perustuvalla menetelmällä päästään edulliseen ja tarkkaan perussäätöön.

Toinen tapa tasapainotukseen on laskea eri kiertopiirien väliset paine-erot ja valita kertäsäätöventtiilien säätöarvot laskentatulosten perusteella. Käytännössä laskentaa ei kuitenkaan voida tehdä niin tarkasti, että säätötyö onnistuisi kerralla. Tämän johdosta kertäsäätöventtiilien asettelun jälkeen toteutuneet virtaamat ja paine-erot tulee mitata. Mittaustietojen perusteella laaditaan korjauslaskelmat ja venttiilit asetellaan uudelleen. Lämmitysjärjestelmän perussäädön kustannus on luokkaa 50 e / asunto tai 0,15 e / m³.

8.4 Termostaattiset patteriventtiilit

Nykyaikaiset patteriventtiilit ovat kaksitoimisia. Niiden tehtävänä on huomioida huoneen ilmaisenergiat ja säädellä patteriveden virtausta tehotarpeen mukaan. Venttiilien esisäätösalla säädetään linjan painehäviöt tasa-arvoisiksi. Oikein toimivilla termostaattisilla patteriventtiileillä voidaan hyödyntää 60 – 70 % huoneen lämpökuormista.

Vanhon patteriventtiilien korvaaminen uusilla tapahtuu yleensä siksi, että vanhat venttiilit eivät toimi kunnolla tai niissä ei ole säätöominaisuutta. Vaihtotyö ajoitetaan kesäaikaan, jolloin ei ole lämmitystarvetta. Uusia venttiilejä valittaessa tulee ottaa huomioon venttiilien mitat, jotta kytkentäjohtoihin ei tarvitse tehdä muutoksia. Venttiilien uusimisen yhteydessä verkosto tulee huuhdella ja tasapainottaa.

Patteriventtiilin esisäätöarvo

Pattereiden esisäädöllä patterit asetetaan painehäviöltään samanarvoisiksi. Tällöin lämmitysvesi virtaa verkoston kaikissa osissa. Patteriventtiilin säätöarvo ilmoitetaan venttiilin valmistajasta ja mallista riippuvana esisäätöarvona tai ns. kv -arvona. Kv -arvo ilmoittaa virtaaman venttiilin läpi kuutioina tunnissa, kun paine-ero venttiilin yli on 1 bar. Esisäätöarvo on venttiilissä tai säätöavaimessa näkyvän asetteluasteikon jo-

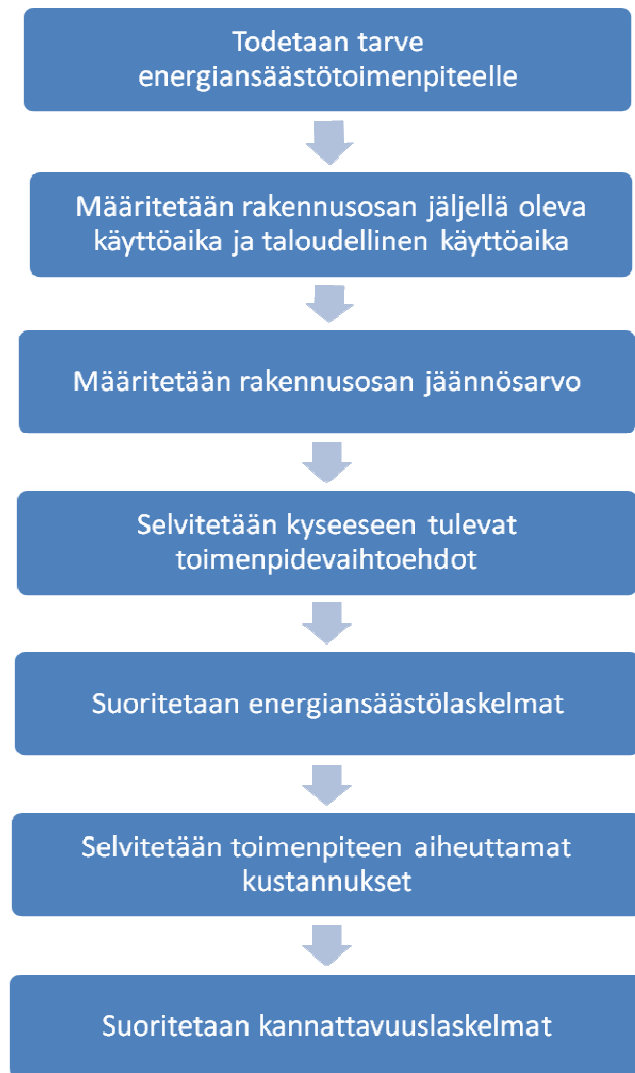
kin arvo. Pieni esisäätoarvo tarkoittaa suurta painehäviötä ja suuri arvo pientä painehäviötä.

Patteriventtiilin rakenne ja toiminta

Venttiili koostuu mekaanisesta venttiiliosasta ja termostaattianturista. Termostaattiosa on kiinnitetty venttiiliosaan tai kapillaariputken välityksellä seinälle. Venttiilin toiminta perustuu termostaattiosan lämpötiloihin reagoivaan nestetäytteeseen palkeeseen. Lämpötilan noustessa palje laajenee ja painaa venttiilin karaa, jolloin virtaus heikkenee. Lämpötilan laskiessa palje supistuu ja jousi työntää venttiilin karaa ylös kasvattamalla virtausta.

9 SANEERAUSTOIMENPITEEN KANNATTAVUUDEN ARVIOINTI

Saneeraustoimenpiteen kannattavuuden arviointi tehdään ennen hankkeeseen ryhtymistä ja hankkeen toteuttamisen jälkeen. Ennen hanketta tehtävät arviot antavat tietoa päätöksenteon tueksi. Niiden merkitys on suuri, koska investointeihin liittyy taloudellisia riskejä. Jälkeenpäin tehtävät arviot antavat tietoa budjetointiin ja vertailuihin. Suunnitteluvaiheen kannattavuuden arvioinnin prosessia on havainnollistettu kuvassa 10.



KUVA10. Energiansäästötoimenpiteen kannattavuuden arvioinnin vaiheet.

9.1 Lähtöarvot

Energian hinta

Energiansäästöinvestointien kannattavuuslaskelmissa energian hintana käytetään nk. rajahintaa. Se ottaa huomioon energiayksikön hinnan lisäksi lämmöntuotantoon liittyviä muita kuluja kuten pääomakustannukset ja perusmaksut. Kauko- ja sähkölämmityksessä rajahinta huomioi perusmaksut. Kattilalaitoksissa otetaan huomioon palamis-
hyötysuhde. Ostoenegian hintana tulee käyttää laskentahetken yksikköhintaa.

Energian hinnannousu

Energian reaalin hinnannousu voidaan ottaa huomioon kahdella tavalla. Käyttöajan keskimääräinen hinta valitaan nykyhintaa korkeammaksi tai hinnalle oletetaan tietty nousuvauhti. Pitkäkestoisissa investoinneissa hinnannousu tulee valita maltillisemmin kuin lyhytkestoisissa.

Käyttöaika

Laskenta-ajanjaksona käytetään investoidun järjestelmän taloudellista käyttöaikaa. Sen ylärajana käytetään 30 vuotta.

Laskentakorko

Laskentakorko on valittu suure, jolla tarkoitetaan investoinnilta vaadittavaa tuottoa prosentteina. Investoinnin sisäiseksi korkokannaksi kutsutaan sitä laskentakorkoa, jolla investoinnin nykyarvo on nolla. Rakennustaloudellisissa laskelmissa laskentakorkona käytetään tyypillisesti 5 prosenttia.

9.2 Energiansäästö-laskelmat

Energiansäästötoimenpiteellä saavutettavat energiansäästöt lasketaan teoreettisesti tai arvioidaan vertailutietojen perusteella.

Arvioitaessa useiden toimien kokonaisenergiansäästöä on huomattava, että säästövaikutukset eivät yleensä ole yhteenlaskettavissa. Useiden energiansäästötoimenpiteiden yhteisvaikutus on yleensä pienempi kuin vastaavien yksittäistoimenpiteiden säästöjen summa. /18/

9.3 Kannattavuuden arviointimenettelyt

Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuutta arvioidaan tavanomaisilla investointilaskennan menetelmillä. Kannattavuuslaskelmilla pyritään saamaan vastaus seuraaviin kysymyksiin: /18/

- Onko energiansäästötoimenpide kannattava?
- Mikä toimenpiteistä on kannattavin?

Yleisimmät arviointimenettelyt ovat:

- takaisinmaksuajan menetelmä
- nykyarvomenetelmä
- annuiteettimenetelmä
- sisäisen koron menetelmä
- energiansäästökustannusmenetelmä.

Takaisinmaksuajan menetelmä

Menetelmällä saadaan selville onko investointi kannattava. Se ei ota huomioon takaisinmaksuajan jälkeisen käyttöajan säästöjä.

Takaisinmaksuaika lasketaan yhtälöllä 23. /18/

$$T = I (W * e - K) \quad (23)$$

T	Investoinnin takaisinmaksuaika, a
I	Investoinnin hankintakustannukset, e
W	Energian säästö, kWh / a
e	Energian yksikköhinta, e / kWh
K	Investoinnista aiheutuvat vuotuiset käyttökustannukset, e / a

Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmällä lasketaan investoinnin nykyarvo käyttöaikana saatavien säästöjen nykyarvon ja hankinta- sekä käyttökustannusten nykyarvon erotuksena. Jos tulos on positiivinen, toimenpide on kannattava. Eripituisten hankkeiden kannattavuutta vertaillaessa hankkeet on kuviteltava pituudeltaan yhtämittaisiksi.

Investoinnin nykyarvo lasketaan yhtälöllä 24. /18/

$$N = d_1 * W * e - d_2 * K - I \quad (24)$$

N Investoinnin nykyarvo, e
d₂, d₁ Suorituksen diskonttauskertoimet

Annuiteettimenetelmä

Investointikustannus jaetaan annuiteettitekijän avulla investoinnin pitoajan eri vuosille tasaeriksi. Investointi on kannattava, jos vuotuinen nettotuotto on suurempi kuin perushankintakustannusten annuiteetti. Menetelmä suosii suuria investointeja.

Investoinnin vuosiannuiteetti lasketaan yhtälöllä 25. /18/

$$A = W * e - K - a_n * I \quad (25)$$

A Investoinnin vuosiannuiteetti, e / a
a_n Annuiteettikerroin

Sisäisen koron menetelmä

Sisäisen koron menetelmässä asetetaan nykyarvo nolaksi ja näin saadaan määritettyä investoinnin sisäinen korko. Sisäisellä korolla tarkoitetaan sitä koron arvoa, jolla laskien investoinnin tuotot ja kustannukset ovat yhtä suuret käyttöaikana. Tarkka laskenta edellyttää monimutkaisia toimenpiteitä, joten käytännössä korko on helpointa määrittää kokeellisesti diskonttaustaulukoiden tai käyrästöjen avulla. Menetelmää käytettäessä on otettava huomioon, että sisäinen korko muuttuu käyttöajan mukaan.

Sisäisen koron menetelmä toteutetaan yhtälöllä 26. /18/

$$d_{nr} = I / (W * e - K) \quad (26)$$

d_{nr} Suorituksen diskonttauskerroin

Energiansäästökustannusmenetelmä

Energiansäästökustannusmenetelmällä selvitetään investoinnilla säästetyn energian yksikkökustannusta. Yksikkö on e / kWh. Kustannusta verrataan käytettävän ostoenergian hintaan. Energiansäästökustannuksen on oltava ostoenergian hintaa pienempi.

Energian säästökustannus lasketaan yhtälöllä 27. /18/

$$\bar{e} = (I + d_2 * K) / (W * d_1) \quad (27)$$

\bar{e} Energian säästökustannus, e / kWh

d_2, d_1 Suorituksen diskonttauskertoimet

Diskonttaus

Diskonttaustekijällä muunnetaan tietyn ajan kuluttua erääntyvän kertaluonteisen maksun nimellisarvo nykyarvoksi. Laskentakorkokanta voi olla esimerkiksi lainakorko tai talletuskorko. /18/

Diskonttaustekijä lasketaan yhtälöllä 28. /18/

$$D = 100 / (1 + i)^n \quad (28)$$

D Diskonttaustekijä

i Laskentakorkokanta jaettuna 100:lla, %

n laskenta-aika, investoinnin pitoaika, a

9.4 Tulosten tarkastelu ja päätöksenteko

Tulosten luotettavuus

Kannattavuuslaskelmat sisältävät olettamuksia ja arvioita. Ne heikentävät tulosten luotettavuutta. Tuloksia käytetään päätöksenteon apuvälineinä. Päätöksiä tehtäessä on huomioitava, että laskentatulokset ovat suuntaa-antavaa tietoa ja niiden käyttöön sisältyy taloudellisia riskejä.

Herkkyystarkastelu

Herkkyystarkastelussa muutetaan yhtä kannattavuuslaskelman lähtöarvoa kerrallaan. Lopputuloksesta, kannattavuuden vaihtelusta perustapaukseen verrattuna nähdään hankkeen kriittisyys kyseisen lähtöarvon virheisiin nähden. /18/

Arvotekijät

Kannattavuuslaskentaa suoritettaessa ja tuloksia tulkittaessa on aina muistettava myös sellaiset tekijät, joita ei laskelmaan voi sisällyttää. Nämä arvotekijät on syytä esittää laskelmien tulosten yhteydessä. Jos on tarpeen, voidaan arvotekijöitäkin käsitellä yksityiskohtaisesti arvoanalyysin puitteissa. /18/

Päätöksenteko

Päätöksenteko tehdään kannattavuuslaskelmien perusteella huomioiden taloudelliset resurssit. Energiansäästötoimenpiteillä on vaikutus rakennuksen elinkaaren aikaisiin päästöihin. Asuinrakennuksen asumismukavuus paranee usein toimenpiteiden seurauksena. Jos nämä tekijät otetaan huomioon, voi päätös tapahtua laskelmien ulkopuolisten arvotekijöiden perusteella. Yksittäinen päätöksentekijä tekee valinnan järki- tai tunnepohjaisesti. Yhteisön päätöksenteko tapahtuu yleensä tietoperusteisesti määränemmistön mukaan.

10 POHDINTA

Tarve lämmitysenergian säästämiseen syntyy yleensä taloudellisista syistä. Taloudellisessa mielessä energiansäästötoimenpiteitä kannattaakin toteuttaa vain siinä laajuudessa, kuin ne ovat kilpailukykyisiä muihin sijoituksiin nähden.

On kuitenkin huomattava, että investoinnit tuottavat asuinrakennusten käyttäjille muitakin hyötyjä kuin lämmityskustannusten säästöt. Asumisviihtyvyys paranee usein saneeraustoimenpiteiden seurauksena. Esimerkiksi ikkunoiden uusiminen tuottaa miellyttävämmän lämpöaistimuksen johtuen ikkunoiden pintalämpötilan noususta.

Investointien kannattavuutta arvioidaan usein takaisinmaksuajan menetelmää hyödyntäen. On kuitenkin huomattava, että vaikka investoinnin takaisinmaksuaika olisikin sopiva, tulee omistajakunnan pysyä samana, jotta taloudellinen hyöty toteutuisi. Investointien rahoitusmuoto tulee ottaa tarkasti huomioon. Lainanhoitokuluista johtuen lainarahoitettujen hankkeiden takaisinmaksuajat ovat pitkiä. Elinkaarensa loppupäässä olevaan rakennukseen ei kannata kohdistaa suuria investointeja.

Lämmitysenergian säästäminen tulisi ensisijaisesti aloittaa yksinkertaisista toimenpiteistä. Käyttötottumusten ja asetusrvojen tarkistaminen ovat tärkeimmät asiat, kun lämmitysenergiankulutusta halutaan vähentää. Elinkaariajattelun seurauksena kulutuksen seuranta ja dokumentointi aloitetaan nykyään heti, kun rakennus otetaan käyttöön. Seurantaa helpottaa mittausmekniikan kehittyminen. Pienet toimenpiteet, kuten paineenalennus ja lämmitysverkoston perussäätö voivat tuottaa hyviä säästöjä pienellä investointiriskillä.

Rakennuksen lämmitysenergian kulutus ja kustannukset tulee erottaa toisistaan. Kustannuksia nostaa kallis ostoenergian rajahinta. Taloudellisessa mielessä ei ole merkitystä sillä, vähennetäänkö kulutusta vai ostetaanko halvempaa polttoainetta, jos lopputulos on sama.

11 LÄHTEET

- /1/ Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5, 2007.
- /2/ Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. 2010
- /3/ Seppänen, O., Seppänen, M. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. SIY Sisäilmatieto Oy, Espoo. 2004
- /4/ Seppänen, O. Rakennusten lämmitys. Suomen LVI-liitto Ry. 2001.
- /5/ Aalto, R., Heljo, J. Rakennusten energiataloudelliset valinnat. Rakentajain Kustannus Oy. 1984
- /6/ Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. Määräykset ja ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D1. 2007.
- /7/ Lindstedt, T. Junnonen, J-M. Energiatehokkaat ja teolliset korjausrakentamiskäytännöt Suomessa ja kansainvälisesti. Sitran selvityksiä 11. Helsinki. 2009.
- /8/ Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D3. 2007.
- /9/ Huoneistokohtaisten vesimittareiden käyttö ja vaikutukset rakennuksen energiankulutukseen. Ympäristöministeriö. Työryhmämuistio 15.6.2009
- /10/ Motiva Oy. Vedenkulutus.WWW-sivusto.
http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/mihin_energiaa_kuluu/vedenkulutus. Viitattu 4.4.2010
- /11/ Rakennuksen lämmöneristys. Määräykset. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa C3

- /12/ Puolakka, S. Heimonen, I. Junnonen, J-M. Vuolle, M. Talotekniikan elinkaarikustannukset. VTT tiedotteita 2409. Espoo. 2007.
- /13/ Asuntoyhtiön korjaushankkeen kulku. LVI – kortti. LVI 03-10351.
- /14/ Asuinrakennusten vedenkulutukseen vaikuttavia tekijöitä. LVI – kortti. LVI 20-10097.
- /15/ Asuinkiinteistön kuntoarvio laajennettu energiatalouden selvitys. LVI - ohjekortti LVI 01-10353.
- /16/ Seppänen, O. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. Suomen LVI-yhdistysten Liitto. Espoo. 1996.
- /17/ Lämmönjakojärjestelmän vaikutus pientalon energiankulutukseen. LVI – kortti. LVI 10-10102.
- /18/ Energiansäästötoimenpiteiden kannattavuuslaskelma. LVI – kortti. LVI 02-10018.