



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

LÄMMÖNERISTYKSEN VAIKUTUS ENERGIATEHOKKUUTEEN

Maria Korpela

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka

Kandidaatintyö

Huhtikuu 2024

TIIVISTELMÄ

Lämmöneristyksen vaikutus energiatehokkuuteen

Maria Korpela

Oulun yliopisto, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö, 2024, 27 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Matti Kangaspuoskari

Kandidaatintyön tavoitteena on pohtia lämmöneristyksen vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen ja energiakuluihin, sekä selvittää millainen lämmöneristys on rakenteena. Työssä perehdytään kirjallisuuskatsauksen kautta energiatehokkuuteen käsitteenä, erilaisiin eristemateriaaleihin sekä rakennuksen energiakuluihin ja energiaremontteihin. Käytetty lainsäädäntö ja rakenne-esimerkit ovat soveltuvia Suomessa olevalle rakennukselle ja erityisesti pientaloille.

Lämmöneristys vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen sekä jonkin verran rakennuksen energiakuluihin. Merkittävimmät vaikutukset löytyvät korjauskohteista, joiden rakennuksen aikaan nykyinen lainsäädäntö ei ole vielä säädellyt yhtä tarkasti energiatehokkuutta. Lisälämmöneristyksellä voidaan huomattavasti parantaa talon energiatehokkuutta ja pienentää energiakuluja. Se on kuitenkin toimenpide, joka yleensä tehdään vasta muun korjausremontin ohella. Energiakuluissa asuintilojen lämmitys on suurin menoerä ja sitä voidaan myös sopivissa tilanteissa pienentää lisälämmöneristyksellä. Eristevalinnalla ei ole juurikaan merkitystä energiatehokkuuden parantamiseen, vaan sopivuus rakenteeseen tulee niiden erilaisista ominaisuuksista tai ympäristövaikutuksista.

Rakennuksen lämmöneristys toimii osana ulkovaipan rakennetta, jolloin esimerkiksi energiakulujen muodostumisessa ja rakenteen vaatimusten täyttämässä on muitakin huomioon otettavia seikkoja, kuten rakennuksessa oleva lämmitysjärjestelmä.

Asiasanat: lämmöneristys, energiatehokkuus, energiakulut

ABSTRACT

The effects of thermal insulation on energy efficiency

Maria Korpela

University of Oulu, Degree Programme of Civil Engineering

Bachelor's thesis, 2024, 27 pp.

Supervisor at the university: Matti Kangaspuoskari

The objective of this bachelor's thesis is to discuss the effects of thermal insulation on a building's energy efficiency and energy consumption and examine thermal insulation as a structure. In this thesis one will get acquainted to energy efficiency as a concept, different insulation materials, the energy costs of a building and renovation for energy efficiency through literary analysis. The legislation and structural examples used in this thesis are compatible with a building located in Finland, especially detached houses.

Thermal insulation affects the energy efficiency of a building and in some degree the energy consumption. The most notable effects can be found in older houses that have been built before the current legislation that has raised the standard for energy efficiency in buildings. Supplemental thermal insulation can be used to better the energy efficiency and lessen the energy consumption of a house significantly. However, supplemental insulation is a procedure that is only usually done when other renovations are in order. The largest energy cost of a building is warming of the living spaces which can also be cut with supplemental insulation under the right conditions. The choice of insulation material doesn't notably raise energy efficiency and the choice material for structures come from the different qualities or environmental impact.

The thermal insulation of a building works as a part of the walls, roof and floor which is why other factors will be considered in the formation of energy costs and requirements of the structure such as the heating system.

Keywords: thermal insulation, energy efficiency, energy costs

ALKUSANAT

Tämän kandidaatin työn tarkoituksena on tarkastella ja pohtia lämmöneristyksen vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen ja tutustua hieman rakennuksen energiankulutukseen. Tein tätä työtä lähes koko kolmannen vuoden ajan pikkuhiljaa edeten. Valitsin tämän aiheen, sillä halusin tutustua tarkemmin rakennuksien energiatehokkuuteen ja energiankulutukseen rakennusteknisestä näkökulmasta.

Suuret kiitokset työni ohjaajalle Matti Kangaspuoskarille, joka varmisti, että työni toteuttaa opinnäytetyön vaatimukset.

Oulu, 4.4.2024



Maria Korpela

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

MERKINNÄT JA LYHENTEET

1 JOHDANTO	7
2 ENERGIATEHOKKUUS.....	8
2.1 Energiatehokkuuteen liittyvää lainsäädäntöä	8
2.2 Rakennuksen energiatehokkuuden laskeminen.....	8
3 LÄMMÖNERISTYS RAKENTEENA	12
3.1 Lämmöneristysen toimintaperiaate	12
3.2 Lämmönläpäisevyyskerroin	13
3.3 Lämmönjohtavuus.....	13
3.4 Ilmanvuotoluku	14
4 Lämmöneristemateriaalit.....	15
4.1 Mineraalivilla	15
4.2 Puukuitueristeet.....	16
4.3 XPS- ja EPS-eristeet	16
5 RAKENNUKSEN ENERGIAKULUT.....	18
5.1 Asumisen energiankulutus	19
5.2 Energiaremontti.....	21
6 YHTEENVETO	24
LÄHDELUETTELO.....	25

MERKINNÄT JA LYHENTEET

A_i	rakennusosan i pinta-ala
A_{netto}	rakennuksen lämmitetty nettoala
E	rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailukerroin
EPS	umpisoluinen polystyreeni
f_{kj}	kaukojäähdytyksen energiamuodon kerroin
f_{kl}	kaukolämmön energiamuodon kerroin
$f_{\text{polttoaine},i}$	polttoaineen i energiamuodon kerroin
$f_{\text{sähkö}}$	sähkön energiamuodon kerroin
n_{50}	ilmanvuotoluku
Q_{kj}	kaukojäähdytyksen kulutus
Q_{kl}	kaukolämmön kulutus
$Q_{\text{polttoaine},i}$	polttoaineen i sisältämä energian kulutus
Q_{rakosa}	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi
RakMK	Suomen rakennusmääräyskokoelma
T_s	sisäilman lämpötila
T_u	ulkoilman lämpötila
Δt	ajanjakson pituus
U-arvo	lämmönläpäisevyysarvo
U_i	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin
$W_{\text{sähkö}}$	sähkön kulutus vuodessa
XPS	suulakepuristettu polystyreeni
λ	lämmönjohtavuus
λ_{10}	keskimääräinen lämmönjohtavuus 10°C:ssa suoritetuissa mittauksissa

1 JOHDANTO

Energiatehokkuus on viime vuosien aikana ollut jatkuvasti pinnalla rakentamisen yhteydessä hiilidioksidipäästöjen noustessa ja energian kustannusten kasvaessa. mm. energiakriisin vuoksi. Vaatimukset energiatehokkuuden laajuudesta nousevat jatkuvasti, erilaisten kansainvälisten ja kansallisten sopimuksien ja EU:n asettamien direktiivien mukana. Näin ollen on ajankohtaista pohtia sitä, mitkä seikat vaikuttavat rakennusten energiatehokkuuteen.

Tämän työn tavoite on pohtia sitä, miten rakennuksen lämmöneristys vaikuttaa sen energiatehokkuuteen, kuinka suuressa osassa se on rakennuksen energiakuluissa sekä millainen lämmöneristys on rakenteena.

Kandidaatintyö on kirjallisuustutkielma, näin ollen keskitytään aihepiirin käsitteistön ja rakenteiden selittämiseen ja sen pohtimiseen, miten lämmöneristys ja energiatehokkuus ovat yhteydessä. Työssä käytettävä kirjallisuusaineisto on esimerkiksi lämmöneristämiseen ja energiatehokkuuteen liittyviä verkkotekstejä tai tutkimuksia sekä raportteja ja tilastoja rakennusten energian kulutuksesta.

Tämä tutkielma keskittyy pohtimaan aihetta Suomen kannalta, koska lämmöneristys on keskeisessä asemassa kylmässä ilmastossa ja näin ollen myös rakennusten energiakustannusten muodostumisessa. Käsittelyssä ovat pääasiallisesti pientalot, joita on yksinkertaisempi käsitellä niiden pienemmän koon vuoksi. Tässä työssä ei kuitenkaan puututa energian taloudelliseen puoleen muuten, kuin mitä työn tavoitteet vaativat.

2 ENERGIATEHOKKUUS

2.1 Energiatehokkuuteen liittyvää lainsäädäntöä

Suomessa Maankäyttö- ja rakennuslaki ohjaa rakennustoimintaa ja mm. energiatehokkuuden säädöksiä. Nykyisin rakennushankkeeseen ryhtyvän täytyy lain mukaan huolehtia, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla siten, että luonnonvaroja ja energiaa kuluisi mahdollisimman vähän. Taloteknisten järjestelmien tulee myös olla säädeltävissä ja seurattavissa, jotta rakennuksen käyttötarkoituksen mukainen tehontarve pysyy mahdollisimman vähäisenä. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/132)

Vaatimukset energiatehokkuudesta nousivat viime kerran EU:n 2023 hyväksymän ilmastodirektiivin mukana, jossa tavoitteena on laskea energian loppukulutusta vuoden 2020 kulutusennusteisiin verrattuna 11,7 % vuoteen 2030 mennessä. (EU:n neuvosto, 2023)

Euroopan kaikista rakennuksista, joihin lukeutuu mm. kodit ja julkiset rakennukset, muodostavat Euroopan suurimman energiakulun. Yhteensä 40 % energiankäytöstä ja 36 % kasvihuonekaasupäästöistä ovat rakennuksien aiheuttamia, näin ollen lainsäädännöllä EU:ssa halutaan vaikuttaa myös siihen, kuinka korjausrakentamisessa otetaan huomioon energiatehokkuuden parantaminen. (EU:n neuvosto, 2020)

Myös Maankäyttö- ja rakennuslaki Suomessa uudistuu vuonna 2025, jonka päätavoitteena on ohjata rakentamista Suomessa kohti hiilineutraaliuutta, joka vaikuttaa myös siihen, kuinka tarkasti energiatehokkuus pitää huomioida ja niin ollen myös keinot, joilla sitä pystyy parantamaan. Lakiuudistus ottaa myös kantaa korjausrakentamiseen, joka yhtyy EU:n tavoitteisiin parantaa rakennusten energiatehokkuutta korjausrakentamisen kautta. (Ympäristöministeriö, 2023)

2.2 Rakennuksen energiatehokkuuden laskeminen

Nykyinen Maankäyttö- ja rakennuslaki määrää energiatehokkuudesta esim. siten, että laskelmilla täytyy pystyä osoittamaan, että rakennus täyttää energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset. Laskelmiin käytetään apuna energiamuotojen kertoimia, jotka

muodostuvat jalostamattoman luonnonenergian käytöstä, uusiutuvan energian käytön edistämisestä sekä lämmitystavan valitseminen yleisen energiatuotannon tehokkuuden kannalta. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.12.1999, 177 g § (16.12.2016/1151))

Rakennuksen energiatehokkuuden ja sen tason varmennuksessa sekä tavoitteiden asettamisessa energiankäytön suhteen käytetään energiatodistusta. Sen avulla voidaan myös vertailla rakennusten energiatehokkuutta. Energiatodistus tuli käyttöön Suomessa vuonna 2018 EU:n vuonna 2003 annetun energiatehokkuusdirektiivin myötä. Energiatodistuksen käyttöönotolla ja sen kehittämällä on pyritty vaikuttamaan siihen, että esim. rakennuksen energiankulutus olisi suuremmassa huomioissa ja uusiutuvat energiamuodot etuasemassa rakennuksien tai niiden korjauksien suunnittelussa. Energiatodistuksen voi laatia vain henkilö, kenellä on siihen tarpeelliset pätevyydet, että todistukset ovat laadukkaita ja säädöksissä vaaditun tiedon sisältäviä. (Sankelo ja Vuolle, 2018 s. 4)

Energiatodistuksien laskentaan ja rakennusten energialuokitteluun kytkeytyy laskennallinen vertailukerroin E-luku, joka on energiamuotojen kertoimilla painotettu rakennuksen vakioituun käyttöön perustuva joka vuotinen ostoenergian kulutus lämmitettyä kokonaisalaa kohden. (Motiva, 2022)

E-luvun määrittäminen aloitetaan kartoittamalla rakennuksen energiatarpeet. Ne koostuvat tilojen ja ilmanvaihdon lämmitys- ja viilennystarpeista, käyttöveden lämmitystarpeista ja kuluttajalaitteiden esimerkiksi kodinkoneiden sähköenergian tarpeesta. Laskennassa huomioon otetaan myös auringonsäteilyn, sisäisten lämpökuormien ja poistoilmasta tai jätevedestä talteen otetun ja saadun energian määrä nettoenergiakulutuksessa. Lämmitys-, jäähdytys- ja ilmanvaihtojärjestelmistä otetaan lisäksi huomioon mahdolliset energiahäviöt ja esimerkiksi ilmastoinnin käyttämien apulaitteiden tarvitsema energia. Lopuksi kaikki erilaiset energiatarpeet summataan yhteen ja painotetaan energiamuotojen kertoimilla ja saadaan määritettyä rakennuksen E-luku.

Ympäristöministeriön (2018) mukaan rakennuksen E-luku lasketaan seuraavan kaavan mukaisesti

$$E = \frac{f_{kl}Q_{kl} + f_{kj}Q_{kj} + \sum f_{polttoaine,i}Q_{polttoaine,i} + f_{sähkö}W_{sähkö}}{A_{netto}}, \text{ missä} \quad (2.1)$$

E	on rakennuksen laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku $\text{kWh}_E/(\text{m}^2 \text{ vuosi})$,
Q_{kl}	on kaukolämmön kulutus $[\text{kWh}/\text{a}]$,
Q_{kj}	on kaukojäähdytyksen kulutus $[\text{kWh}/\text{a}]$,
$Q_{\text{polttoaine},i}$	on polttoaineen i sisältämän energian kulutus $[\text{kWh}/\text{a}]$,
$W_{\text{sähkö}}$	on sähkön kulutus vuodessa, missä on otettu huomioon vähennykset rakennukseen kuuluvalla laitteistolla ympäristöstä vapaasti hyödynnettävästä energiasta otettu energia siltä osin, kuin se on käytetty rakennuksessa $[\text{kWh}/\text{a}]$,
f_{kl}	on kaukolämmön energiamuodon kerroin,
f_{kj}	on kaukojäähdytyksen energiamuodon kerroin,
$f_{\text{polttoaine},i}$	on polttoaineen i energiamuodon kerroin,
$f_{\text{sähkö}}$	on sähkön energiamuodon kerroin ja
A_{netto}	on rakennuksen lämmitetty nettoala m^2 .

Rakennukset luokitellaan energiatodistuksessa energiatehokkuusluokkiin niiden käyttötarkoituksensa mukaisesti käyttäen E-lukua vertailuarvona, joka ilmoitetaan tasalukuun ylöspäin pyöristettynä. (Ympäristöministeriö, 2017)

Taulukoissa 1 ja 2 on esitetty $150 \text{ m}^2 - 600 \text{ m}^2$ olevien asuinrakennusten E-lukuja vastaavat energialuokat.

Taulukko 1. Pienet asuinrakennukset, käyttötarkoitussuokka 1 a-c (Ympäristöministeriö, 2017, liite 2).

$50 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$, A_{netto} on rakennuksen lämmitetty nettoala

Energiatehokkuusluokka	E-luku ($\text{kWh}_F/(\text{m}^2\text{vuosi})$)
A	E-luku $\leq 110 - 0,2 \times A_{\text{netto}}$
B	$110 - 0,2 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 215 - 0,6 \times A_{\text{netto}}$
C	$215 - 0,6 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 252 - 0,6 \times A_{\text{netto}}$
D	$252 - 0,6 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 332 - 0,6 \times A_{\text{netto}}$
E	$332 - 0,6 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 462 - 0,6 \times A_{\text{netto}}$
F	$462 - 0,6 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 532 - 0,6 \times A_{\text{netto}}$
G	$532 - 0,6 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku}$

Taulukko 2. Pienet asuinrakennukset, käyttötarkoitusluokka 1 a-c (Ympäristöministeriö, 2017, liite 2).

$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$, A_{netto} on rakennuksen lämmitetty nettoala

Energiatohokkuusluokka	E-luku ($\text{kWh}_F/(\text{m}^2\text{vuosi})$)
A	E-luku $\leq 83 - 0,02 \times A_{\text{netto}}$
B	$83 - 0,02 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 131 - 0,04 \times A_{\text{netto}}$
C	$131 - 0,04 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 173 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
D	$173 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 253 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
E	$253 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 383 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
F	$383 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku} \leq 453 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
G	$453 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < \text{E-luku}$

3 LÄMMÖNERISTYS RAKENTEENA

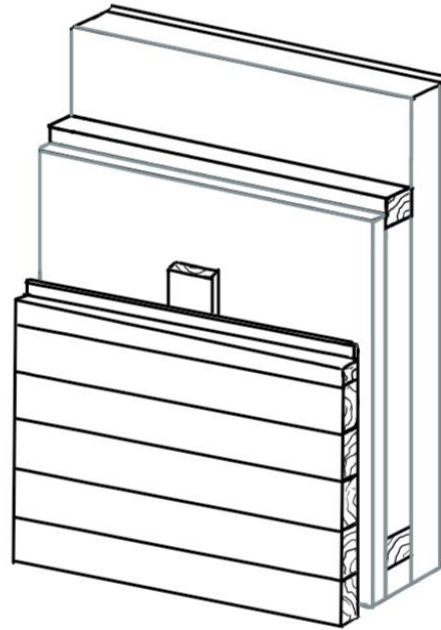
Rakennuksen energiatehokkuuden määräytymisessä rakenteellisesta näkökulmasta lämmöneristys on tärkeässä roolissa. Eristys vaikuttaa siihen, kuinka nopeasti lämpöä siirtyy ulkoilmaan sisältä, jolloin paremmin toimivat eristeet vaikuttavat suoraan rakennuksen lämmityskustannuksiin ja energian käyttöön. Energiakriisin jälkeisenä aikana rakennusten energian kulutus korostuu yhä enemmän, sillä siitä koituvat kulut ovat nousseet huomattavasti. Tilastokeskuksen (2023) mukaan kotitaloussähköstä vuonna 2022 lopussa maksettiin keskimäärin 49 % enemmän vuodentakaiseen hintaan verrattuna. Hyvä lämmöneristys sekä parantaa asumismukavuutta lämpötilojen vaihdellessa ulkona, mutta myös vaikuttaa talouden energiankulutukseen.

3.1 Lämmöneristyksen toimintaperiaate

Lämmöneristyksen tarkoitus on eristää eri tilojen lämpötiloja. Toisin sanoen siis eristämällä halutaan hidastaa lämmön siirtymistä sisältä ulkoilmaan, sekä pitää ulkona vallitseva kylmä ilma loitolla. Eriste materiaalina pyrkii siis estämään lämmön siirtymistä. (Raksystems, 2017)

Eristetyyppejä on monenlaisia ja esimerkiksi seinissä sekä ala- ja yläpohjissa voidaan valita hyvinkin erilaisia materiaaleja eristykseen esim. ympäristöystävällisyyden, energiatehokkuuden tai kustannustehokkuuden mukaan. Nykyisin lainsäädäntö kuitenkin määrää hyvin tarkasti raja-arvoja sille, kuinka ilmatiivis ja energiatehokas rakennuksen täytyy olla. Kuvassa 1 on esimerkki seinärakenteesta, jossa eristemateriaalina toimii mineraalivilla.

Eristeiden vaikutusta rakenteen energiatehokkuuteen miettiessä on oleellista tietää mm. rakenteen ilmanläpäisevyydestä, josta kertoo ilmanvuotoluku n_{50} , lämmönläpäisevyydestä, jota kuvaa lämmönläpäisevyysarvo eli U-arvo ja eristemateriaalien lämmönjohtavuudesta, joka kertoo siitä, kuinka paljon lämpöenergiaa eriste johtaa. Ilmanvuotoluvusta kerrotaan kappaleessa 3.4, lämmönläpäisevyysarvosta kappaleessa 3.2 ja lämmönjohtavuudesta kappaleessa 3.3.



Kuva 1. Esimerkki seinärakenteesta, jossa eristeenä mineraalivilla (Mukaillen, Rakennustieto, 1999).

3.2 Lämmönläpäisevyyskerroin

Lämmönläpäisevyyskerroin eli U-arvo [$\text{W/K}\cdot\text{m}^2$] kertoo rakenteen tai materiaalin lämmöneristävydestä. U-arvon ollessa alhainen on lämmöneristyskyky hyvä ja mitä suurempi se on sitä heikompi. Asetukset ohjaavat myös sallittuja U-arvoja rakenteissa. (Raksystems, 2017)

Ympäristöministeriö asettaa U-arvoja esimerkiksi lämpimille ja erittäin lämpimille tiloille. Muun muassa seinälle on asetettu raja-arvo $0,25 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$, kun lämmin tai erittäin lämmin tila rajoittuu ulkoilmaan. Tämä raja-arvo tulee seinän eristeitä suunniteltaessa täyttää. (Ympäristöministeriö, 2003a)

3.3 Lämmönjohtavuus

Lämmönjohtavuus λ [$\text{W/m}\cdot\text{K}$] ilmoittaa lämpövirran tiheyden jatkuvuustilassa pituusyksikön paksuisen tasa-aineisen ainekerroksen läpi, kun sen pintojen lämpötilaero on yhden yksikön suuruinen. (Ympäristöministeriö, 2003b)

Eristeiden vertailussa lämmönjohtavuus on tärkeä arvo, sillä se näyttää selkeimmin sen mikä eristeistä toimii parhaiten, vaikkakin eristemateriaalien vertailuun liittyy muitakin seikkoja kuten niiden kustannustehokkuus tai kosteudensieto.

Tässä työssä käytämme selkeyden ja yhdenmukaisuuden vuoksi eristemateriaalien vertailuun RakMK:n määrittelemää λ_{10} arvoa, joka on keskimääräinen lämmönjohtavuus, kun mittaukset on suoritettu 10 °C lämpötilassa. Tämä arvo sopii myös vertailuun mieltien Suomen vuoden keskilämpötilaa.

3.4 Ilmanvuotoluku

Ilmanvuotoluku n_{50} [1/h] kertoo nimensä mukaan siitä, kuinka paljon rakennuksesta vuotaa ilmaa. Ympäristöministeriö määrää rakentamismääräyskokoelmassa, että sisäilmaston ja LVI-järjestelmien kannalta rakennuksen ilmapitävyyden tulisi olla lähellä arvoa $n_{50} = 1$ 1/h eli rakennuksen vaipan läpi virtaa tunnissa yksi rakennuksen ilmatilavuus, kun paine ulko- ja sisätilojen välissä on 50 Pa.

Energiatehokkuuden kannalta parhaiden rakenteiden ilmanvuotoluku tulisi olla myös lähellä RakMK:n määrittämää viitearvoa, sillä liian suuri arvo kertoo siitä, että rakennus vuotaa liikaa ilmaa ulos, jolloin energiatehokkuus heikkenee, mutta liian pieni arvo taas aiheuttaa esimerkiksi sisäilmaston heikkenemistä, kun ilma ei pääse vaihtumaan tarpeeksi tehokkaasti. (Ympäristöministeriö, 2003a)

Ilmanvuotoluku ja rakennuksen tiiveys eivät suoranaisesti ole yhteydessä lämmöneristeiden ominaisuuksiin, mutta ovat olennaisia käsitteitä rakenteiden energiatehokkuudesta puhuttaessa, joissa eristeetkin ovat osana.

4 LÄMMÖNERISTEMATERIAALIT

Lämmöneristemateriaaleilla on hieman toisistaan eroavia ominaisuuksia, kuten lämmönjohtavuus, kuivatiheys ja kosteuspitoisuus. Eristemateriaalit valitaan yleensä rakenteen mukaan.

4.1 Mineraalivilla

Mineraalivilla on luultavasti yksi niistä eristetyypeistä, joka ensimmäisenä tulee mieleen puhuttaessa lämmöneristyksistä. Mineraalivillaeristeet koostuvat epäorgaanisista kuiduista ja orgaanisista sideaineista. Kaksi yleisintä mineraalivillaeristettä ovat lasi- ja kivivilla, jotka eroavat raaka-aineiltaan ja hieman ominaisuuksiltaan. Mineraalivillaeristeitä voidaan käyttää moneen eri tarkoitukseen, kuten rakennuseristeinä, eli seinissä, ala- ja yläpohjissa sekä välipohjissa, teknisinä eristeinä esimerkiksi LVI-laitteiden ja putkiston ympärillä ja äänenvaimennustuotteina. (Rakennustieto, 1999)

Sekä kivi- että lasivillalla on erittäin pieni lämmönjohtavuus $\lambda_{10} = 0,033\text{--}0,050 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, joka tarkoittaa, että eristeenä ne ovat melko tehokkaita, joka on hyvän energiatehokkuuden kannalta tarpeellista (Rakennustieto, 1999). Eroavaisuudet mineraalivillojen lämmönjohtavuudesta tulevat siitä, että tyyppihyväksyntäpäätökset ovat valmistajakohtaisia ja näin ollen vaihtelevat. Mineraalivilla on myös hyvä eristevaihtoehto Suomen ilmastoon, sillä se toimii hyvin suurella lämpötilaskaalalla noin $-180 \text{ }^\circ\text{C} - 200 \text{ }^\circ\text{C}$, tämä tarkoittaa, että pakkaset ja kuumat helteet eivät aiheuta paljoa ylimääräistä energiakatoa rakenteissa, joissa eristeenä on mineraalivilla. Korkean toimintalämpötilan vuoksi mineraalivillat ovat myös hyvin palonkestäviä. (Hall, 2010)

Mineraalivillojen huono puoli energiatehokkuuden ja ympäristön kannalta on niiden valmistusmenetelmät, joihin käytetään fossiilisia polttoaineita ja valtava määrä energiaa itsessään. (Saklaurs et. al., 2016)

4.2 Puukuitueristeet

Puukuitueristeet ovat orgaanisista materiaaleista koostuvia lämmöneristeitä. Niitä valmistetaan esimerkiksi selluloosasta, puuhiokkeesta tai sanomalehtikeräyspaperista. Niihin lisätään mukaan erilaisia palon- ja lahonestoaineita.

Puukuitueristeitäkin löytyy muutamassa eri muodossa, joilla jokaisella on omat optimaaliset käyttötarkoituksensa. Puhallettava puukuitueriste toimii esimerkiksi puu- ja teräsrakenteisten ala- ja yläpohjien eristeenä ja pystyrakenteiden lämmön- ja ääneneristykseenä. Ruiskutettavaa puukuitueristettä voidaan käyttää asuinrakennusten lämmöneristeenä sekä myös äänenvaimennustarvikkeena. Puukuitueristettä löytyy myös levynä, joka on pehmeää eristettä ja sitä voidaan käyttää hirs- ja pientalojen lämmöneristeenä ylä- ja alapohjassa sekä seinissä. Lisäksi puukuitueristettä voidaan käyttää eristenuhoina ja tilkkeenä muun muassa hirsirakenteiden saumoissa ja ikkunoiden ja ovien saumoissa. (Rakennustieto, 2012)

Puukuitueristeiden lämmönjohtavuus on $\lambda_{10} = 0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, joka on suurin piirtein samaa luokkaa kuin mineraalivilloilla. Tämän eristetyypin eduksi muodostuu kuitenkin ympäristöystävällisempi valmistustapa, sillä puukuitueristeiden materiaali voi olla esimerkiksi puuteollisuuden sivutuotteita. (Saklaurs et. al., 2016)

Puukuitueristeiden heikkoudeksi eristemateriaalina tulee taas niiden palonkestävyys, jota ei voida tällä hetkellä mitoittaa Eurokoodin 5 mukaan, sillä puukuitueristeelle ei ole olemassa laskentakaavojen edellyttämiä parametrejä. (Puuinfo, 2020)

4.3 XPS- ja EPS-eristeet

ESP- ja XPS-eristeet ovat polystyreenistä valmistettuja eristeitä. EPS-eriste eli expanded polystyrene on umpisoluinen polystyreenieriste, joka valmistetaan kestopuovia olevasta polystyreenistä vesihöyryn avulla paisuttamalla. EPS tunnetaan myös arkisemmin nimellä styrox. Sitä käytetään muun muassa teiden ja katujen routaeristeenä, perustuksissa, sokkeleissa ja alapohjissa sekä betonisandwich-elementeissä eristysmateriaalina. (Rakennustieto, 2013)

EPS-eristeiden lämmönjohtavuus vaihtelee välillä $\lambda_{10} = 0,030 - 0,039 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ riippuen siitä, mihin tarkoitukseen eriste on. Lämmönjohtavuus ei hirveästi poikkea muista esillä

olleista eristeistä, mutta polystyreenieristeiden etu tulee esille varsinkin, kun mietitään eristeiden pitkäikäisyyttä, sillä EPS-eristeet eivät lahoa tai mätäne. (Rakennustieto, 2013)

XPS-eristeet eli extruded polystyrene eristeet ovat suulakepuristetusta polystyreenistä valmistettuja lämmöneristeitä. Niitä käytetään erityisesti sellaisille rakenteille, jotka ovat kosteudelle tai suurelle kuormitukselle alttiina. Yleisimpiä käyttökohteita pientaloissa ovat esimerkiksi kellarinseinät, maanvaraiset ja kantavat alapohjat, perustukset ja sokkelit. XPS-eristeiden lämmönjohtavuus $\lambda_{10} = 0,029 - 0,035 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, joka on hieman parempi verrattuna mineraalivillaan ja puukuitueristeisiin. (Rakennustieto, 2012)

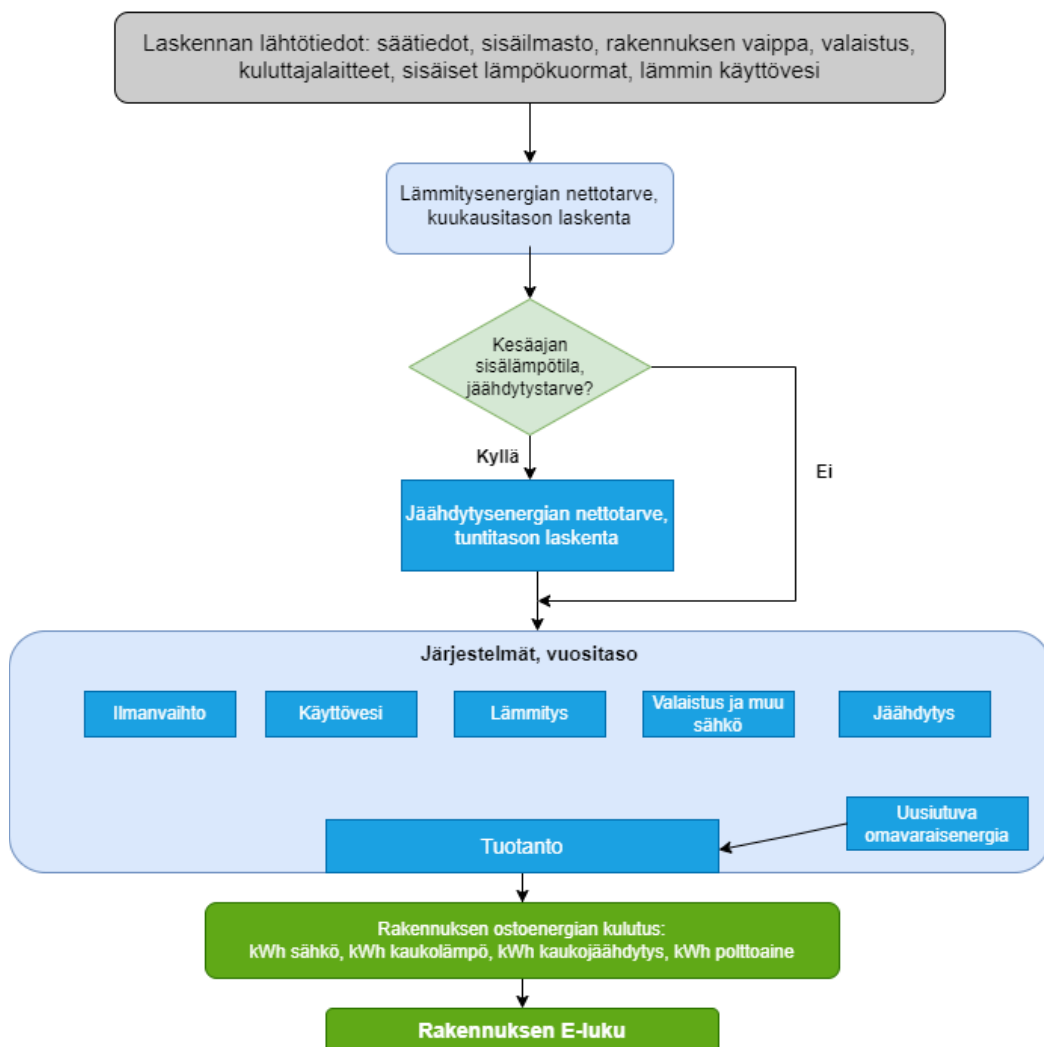
XPS-eriste on rakenteeltaan solumuovi, joka on täysin yhtenäinen ja eristetty sekä valmistusprosessi jättää myös jälkeensä pintanahan, joka hylkii kosteutta. Tähän rakenteeseen perustuu XPS-eristeiden erinomaiset pakkasensieto- ja kosteudensietokyvyt. Pintanahan ja solurakenteen muodostama kerrosmaisuus parantaa levyn jäykkyyttä. (Finnfoam, 2024)

Yksi varmasti suomalaisille tutuimmista XPS-eristeistä on Finnfoam. Energiatehokkuuden kannalta edukseen Finnfoam kertoo mm. siitä, kuinka sen lämmöneristävyyskyky nousee lämpötilan laskiessa, sillä solukaasuna toimii ilma, jonka lämmönjohtavuuskyky heikkenee jäähtyessään. (Finnfoam, 2024)

5 RAKENNUKSEN ENERGIAKULUT

Suomen rakentamismääräyskokoelma esittää laskentamenetelmän, jolla voidaan selvittää jäähdyttämättömien rakennuksien tai yksittäisten jäähdyttämättömien tilojen sisältävien rakennuksien energiankulutus. Laskennassa käytetään lähtötietoina rakennuskohtaisia lähtötietoja, käyttötietoja sekä laskentamenetelmän ohjeissa annettuja ohjearvoja, jos muuta tietoa ei ole saatavilla. Laskentamenetelmä ottaa myös huomioon muun muassa lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien erilaiset lämpöhäviöt. (Ympäristöministeriö, 2018)

Laskenta lähtee rakennuksen energiatarpeiden kartoituksella ja yllä mainittujen lähtötietojen selvityksellä. Se etenee kuvan 2 mukaan aina E-luvun laskemiseen asti.



Kuva 2. Rakennuksen energiakulutuksen laskennan vaiheet (Mukaiillen, Ympäristöministeriö, 2018).

Eristykseen ja seinien sisäeristeisiin yleisesti tärkeimpiä tarkastelukohteita ovat vaipan lämpöhäviöt, jotka tapahtuvat johtumalla ja vuotavan ilman lämmitykseen tarvittava energia. Tästä syystä on tärkeä energiatehokkuuden kannalta, että nämä kaksi seikkaa on suunniteltu hyvin.

Vaipan lämpöhäviöiden laskennassa eristeiden U-arvo tulee käyttöön. Ympäristöministeriön rakentamismääräyskokoelmassa (Ympäristöministeriö, 2018) vaipan rakennusosien, jotka ovat kosketuksissa ulkoilman kanssa, esimerkiksi ylä- tai alapohjien ja seinien lämpöhäviöt lasketaan seuraavan kaavan mukaisesti

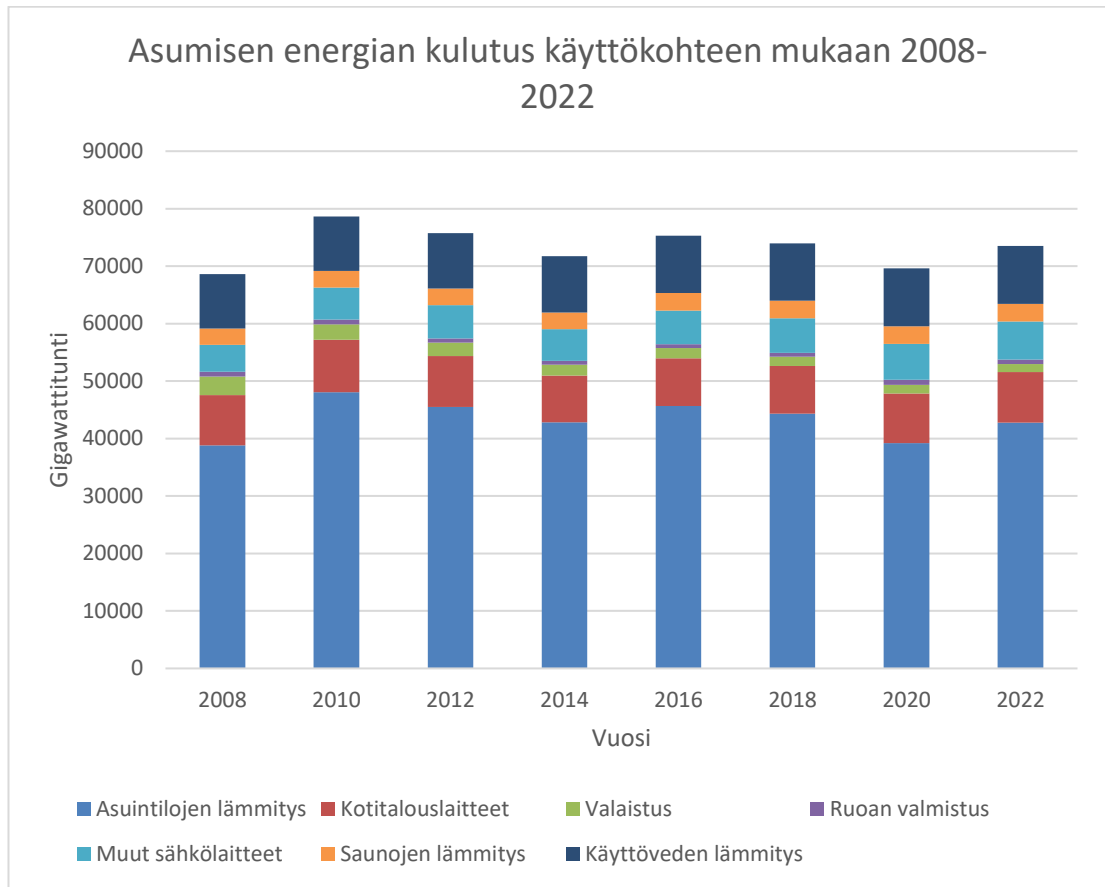
$$Q_{rakosa} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000, \text{ missä} \quad (5.1)$$

Q_{rakosa}	on johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi [kWh],
U_i	on rakennusosan i lämmönläpäisykerroin [$W/(m^2K)$],
A_i	on rakennusosan i pinta-ala [m^2],
T_s	on sisäilman lämpötila [$^{\circ}C$],
T_u	on ulkoilman lämpötila [$^{\circ}C$],
Δt	on ajanjakson pituus [h] ja
1000	on kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

5.1 Asumisen energiankulutus

Energian loppukäytöstä, joka tarkoittaa yritysten, kotitalouksien ja muiden kuluttajien käyttöön jäävää energiaa energiansiirto- ja muuntohäviöiden jälkeen noin 20 % menee asumisen energiankulutukseen. Tilastokeskuksen mukaan asumisen energiankulut Suomessa jaetaan seuraaviin osiin: Tilojen lämmitys, käyttöveden lämmitys, saunojen lämmitys, muut sähkölaitteet, valaistus ja ruoan valmistus. Taulukossa 3 on esitetty tilojen lämmityskulut, joihin on tässä sisällytetty päälämmitysjärjestelmän ja sitä täydentävien lämmitysmuotojen energiankulutus mukaan lukien ilmanvaihtoon ja lämmönjakoon liittyvät laitteet, vuonna 2022 vievät noin kaksi kolmasosaa asumisen energiasta. (Tilastokeskus, 2023)

Taulukko 3. Asumisen energiakulut yhteensä (Mukaillen, Tilastokeskus, 2023).



Voidaan todeta siis, että tilojen lämmityskuluilla on suuri merkitys rakennuksen energian kulutukseen kokonaisuudessaan ja tämän vuoksi lämmöneristeet vaikuttavat energiatehokkuuden tasoon.

Suomen rakennuskanta on vaihtelevan ikäistä, jonka vuoksi mukaan mahtuu monenlaisia lämmitysjärjestelmiä ja rakenneratkaisuja esimerkiksi rakennuksen tiiveyteen ja eristykseen liittyen. Muun muassa 1970-luvulla valmistuneita taloja jouduttiin lisäeristämään, sillä 1973 vuoden öljykriisin lämmityskustannusten nousun jälkeen uusi Rakentamismääräyskokoelma astui voimaan, joka vaati perusteellisempaa lämmöneristystä. (Raksystems, 2022)

Vanhempien rakennusten asuintilojen lämmityskustannusten pienentämiseksi löytyy monta keinoa korjausrakentamisesta, jotka valitaan rakennuksen tarpeiden mukaan. Näitä

ovat esimerkiksi ulkovaipan korjaus, ovien ja ikkunoiden tiivistys, ilmanvaihdon toimivuuden varmistaminen ja lämmitysjärjestelmän säätö.

Lisälämmöneristys tai sen kokonaisvaltainen uusinta ovat keskeisiä ulkovaipan energiatehokkuuden parantamista mietittäessä ja niiden toteutustapa on riippuvainen rakenneratkaisuista. Ulkoseinien osalta korjauksen kohteena ovat yleensä 1950–70-lukujen kerrostalot niiden suuren seinäpinta-alan vuoksi, jolloin eristyksen parantamisella on suuria vaikutuksia sekä pientalot, joiden eristeenä toimii sahanpuru. Myös yläpohjan lisälämmöneristyksellä on myös suuri vaikutus energiatehokkuuteen varsinkin pientaloilla. Alapohjan lisäeristystä tehdään yleensä vain muun alapohjakorjauksen yhteydessä, sillä se on haasteellinen rakenne korjauksen kannalta. Ulkovaippaa korjattaessa on myös erittäin tärkeä ottaa huomioon rakenteen kosteusteknillinen toiminta, sillä lisäeristys vaikuttaa kosteuden kulkuun. (Ojanen, et. al., 2017)

5.2 Energiaremontti

Energiaremontti on nimensä mukaan remontti, jolla pyritään parantamaan rakennuksen energiatehokkuutta tai otetaan käyttöön uusiutuvaa energiaa. Energiatehokkaan kodin etuja ovat mm. optimaalinen sisäilmasto asumiselle, johon voidaan energiaremontin yhteydessä vaikuttaa esimerkiksi ilmanvaihdon tehostamisella ja lisäeristyksellä. Lisäksi talon asumisen energiakustannukset laskevat energiatehokkuutta parantamalla ja talon arvo säilyy todennäköisemmin, kun sillä on hyvä energiatodistus. (Energiatehokas koti, 2021)

Motivan (2024) esittämä tapausesimerkki 1959-luvulla valmistunut sähkölämmitteinen rintamamiestalo 75 m² Vantaalla, kertoo millaiset säästöt todellisuudessa energiaremontilla voi saada aikaan. Taloon on aikaisemmin vuonna 2002 uusittu katto, jonka yhteydessä vanha hormi on putkitettu ja siihen on liitetty tulisija. Lisäksi katon sivulaipoille on lisätty 100 mm villa lisäeristykseksi. Talossa on sähköpatterilämmitys ja painovoimainen ilmanvaihto. Energialuokaltaan talo on E-luokkaa ja E-luku on 369 kWh_E/(m² vuosi).

Korjausvaihtoehtoina on esitetty ilmalämpöpumpun hankinta, aurinkosähköjärjestelmä, käyttövesivaraajan uusiminen, ikkunoiden uusiminen ja tiivistys, koneellinen ilmanvaihto ja julkisivun lisäeristys. Lisälämmöneristys on tässä kohteessa toiseksi

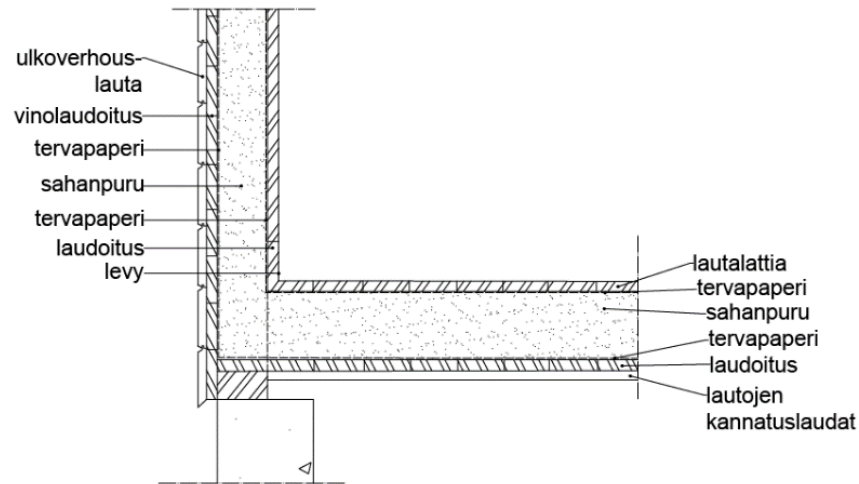
tehokkain menetelmä vähentää vuotuista sähkönkulutusta ja pienentää E-lukua heti koneellisen ilmanvaihdon jälkeen. Julkisivun lisälämmön eristys tässä kohteessa laskisi E-luvun arvoon 189 kWh_E/(m² vuosi) ja nostaisi energialuokituksen jo C-luokkaan, joka on jo huomattavaa parannusta aiemmasta.

Lisälämmöneristys on suositeltavinta toteuttaa esimerkiksi julkisivun uusimisen yhteydessä, jolloin se ei välttämättä ole ensimmäinen ratkaisu mitä lähdetään toteuttamaan tai sitä ei kannata lähteä tekemään ilman muita toimenpiteitä energiatehokkuuden parantamisen vuoksi. Julkisivua uusiessa on myös tärkeä lisäksi kiinnittää huomiota vaipan ilmatiiveyteen. (Motiva, 2024)

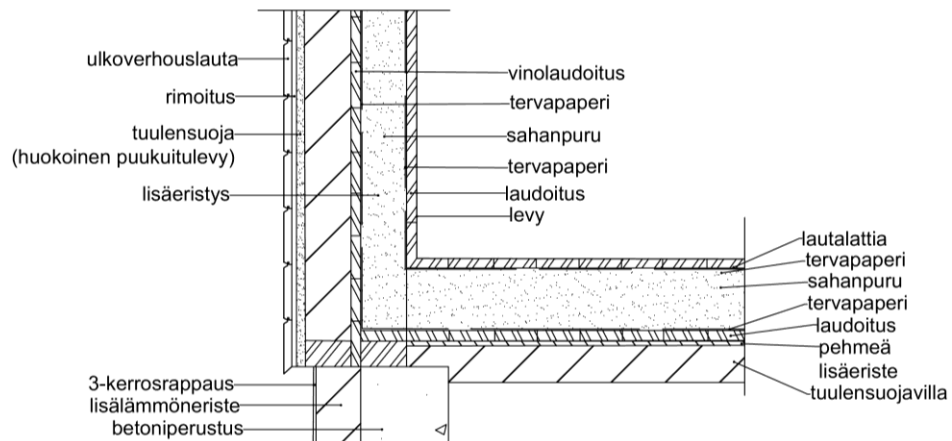
Tapausesimerkin mukaiselle kohteelle on yleensä valmiiksi kehitettyjä lisäeristysratkaisuja, joita on kehitetty erilaisille eristetyypeille. Esimerkiksi sahanpurueristeinen ulkoseinä voi usein olla lisäeristyksen kohteena. Ojasen et. al. (2017) oppaassa Rakenteellinen energiatehokkuus korjausrakentamisessa esitetään kuvan 3 mukaisen seinärakenteen ja alapohjarakenteen, joka koostuu vinolaudoituksesta, tervapapereista ja eristeestä eräs mahdollinen korjausvaihtoehto.

Rakenteeseen lisätään ulkopuolinen lisäeristys, jossa otetaan huomioon talon kosteustekniset ominaisuudet, kuten sisäpinnan vesihöyryn läpäisyominaisuudet, jotka voivat vaikuttaa mm. siihen, millainen tuulensuoja voidaan asentaa. Tällaista korjausta miettiessä täytyy ottaa huomioon myös rakenteen sen hetkinen kunto, sillä esimerkiksi liiat kosteusvauriot voivat johtaa koko rakenteen purkamiseen. (Ojanen, et. al., 2017)

Ennen lisäeristystä



Lisäeristysen jälkeen



Kuva 3. Seinä- ja alapohjarakenteen rakenne ennen ja jälkeen lisäeristysen (Mukaiillen, Ojanen, et. al., 2017).

Ulkoseinien yhteispinta-alan kasvaessa myös lisäeristysen merkitys korostuu, jonka vuoksi yleensä suuremmat kohteet kuten kerrostalojen julkisivut ovat lisäeristysen kohteena ja kuten aiemmin todettiin, pientaloissa lisäeristystä pohditaan vasta muiden korjauksien yhteydessä. (Ojanen, et. al., 2017)

6 YHTEENVETO

Sekä uusi, että jo aikaisemmin tehty lainsäädäntö ohjaavat energiatehokkaaseen rakentamiseen ja uusiorakentamisessa lämmöneristyksen kannalta talot ovat ainakin minimivaatimukset täyttävän energiatehokkaita, koska lainsäädäntö, kuten Maankäyttö- ja rakennuslaki vaatii tarkastelemaan ulkovaipan lämmönjohtavuutta ja asettaa näin ollen eristeille myös riittävät vähimmäismäärät.

Lämmöneristyksiä vertaillessa voidaan huomata, että hirveän suurta merkitystä energiatehokkuuden parantamiseen ei saada pelkällä eristevalinnalla vaan erot eristeiden välillä näkyvät lähinnä niiden ominaisuuksissa ja ympäristövaikutuksissa. Vaikka eristyksellä voidaanakin tietyissä tilanteissa vaikuttaa positiivisesti energiatehokkuuteen, se toimii tiiviinä osana ulkovaipan muita rakenteita, jotka osanaan toimivat esimerkiksi U-arvon ja ilmantiiveyden muodostamisessa.

Rakennuksen energiakuluissa asuintilojen lämmitys on suurin kuluerä ja Suomessa olevien rakennusten sisälle mahtuu monenlaisia lämmitys- ja rakennejärjestelmiä, jotka eivät välttämättä ole optimaalisimpia ratkaisuja energiatehokkuuden kannalta. Asumisen energiakustannuksia miettiessä lämmityskustannuksia yritetään pienentää energiaremonteilla, joissa lisälämmöneristys on yleensä mietinnässä.

Lisälämmöneristys voi olla erittäin tehokas tapa pienentää lämmityskustannuksia ja siten parantaa energiatehokkuutta, mutta se toteutetaan pientaloissa yleensä vasta muiden remonttien yhteydessä, kuten julkisivun uusinnassa. Lämmöneristyksen määrän merkitys korostuu enemmän seinien pinta-alan kasvaessa, jolloin lisäeristyksen kohteena ovat useammin muun muassa kerrostalojen julkisivut.

Lämmöneristyksellä on vaikutusta energiatehokkuuteen, mutta sen merkitys tulee esille enemmän korjauskohteissa, jotka eivät esimerkiksi täytä määräysten vaatimaa U-arvoa tai lämmityskustannukset ovat korkeat, jolloin tietyissä tilanteissa voidaan saada paljon hyötyä lisäeristyksestä. Kuitenkin eristys toimii osana ulkovaipan rakenteita ja esimerkiksi energiakulujen muodostumisessa ja rakenteen vaatimusten täyttämässä on muitakin huomioon otettavia seikkoja.

LÄHDELUETTELO

Energiatehokas koti, 2021. Energiatehokkaan kodin edut [verkkodokumentti]. Helsinki: Motiva. Saatavissa:

https://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/energiatehokkaan_kodin_edut [viitattu 6.3.2024]

EU:n neuvosto, 2020. In focus: energy efficiency in buildings [verkkodokumentti]. EU:n neuvosto. Saatavissa: https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17_en [viitattu 10.11.2023]

EU:n neuvoston lehdistö, 2023. Neuvosto hyväksyi energiatehokkuusdirektiivin [verkkodokumentti]. EU:n neuvosto. Saatavissa: <https://www.consilium.europa.eu/fi/press/press-releases/2023/07/25/council-adopts-energy-efficiency-directive/> [viitattu 17.10.2023]

Finnfoam. Finnfoam – Luja ja vettymätön [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://finnfoam.fi/tuotteet/finnfoam-eristelevyt/> [viitattu 26.1.2024]

Hall M. R., 2010. Materials for energy efficiency and thermal comfort in buildings. Boca Raton, Florida: Woodhead Publishing, 734 s. ISBN 9781845695262

Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.12.1999/132. Finlex. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132> [viitattu 10.11.2023]

Motiva, 2022. Näin luet energiatodistusta [verkkodokumentti]. Motiva Oy. Saatavissa: https://www.motiva.fi/ratkaisut/energiatodistusneuvonta/mika_on_energiatodistus/nain_luet_energiatodistusta [viitattu 19.12.2023]

Motiva, 2024. 1959 valmistunut sähkölämmitteinen talo Vantaalla [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/pientalon_energiaremontit/esimerkkikohde_1959_valmistunut_sahkolammitteinen_talo [viitattu 6.3.2024]

Ojanen, T., Nykänen E. & Hemmilä, K., 2017. Rakenteellinen energiatehokkuus korjausrakentamisessa – opas [verkkodokumentti]. Rakennusteollisuus RTT ry, Puuteollisuus ry, Ympäristöministeriö. Saatavissa:

https://www.motiva.fi/files/15180/Rakenteellinen_energiatehokkuus_korjausrakentamisessa.pdf [viitattu 26.2.2024]

Puuinfo, 2020. Puukuitueristeet puurakennuksessa [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/suunnittelu/ohjeet/tekniset-tiedotteet/puukuitueristeet-puurakennuksessa/> [viitattu 15.1.2024]

Rakennustieto, 1999. RT 36-10689 [verkkodokumentti]. Helsinki: Rakennustieto. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2036-10689> [viitattu 20.1.2024]

Rakennustieto, 2012. RT 36-11090 [verkkodokumentti]. Helsinki: Rakennustieto. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2036-11090> [viitattu 22.1.2024]

Rakennustieto, 2012. RT 36-11102 [verkkodokumentti]. Helsinki: Rakennustieto. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2036-11102> [viitattu 22.1.2024]

Rakennustieto, 2013. RT 36-11113 [verkkodokumentti]. Helsinki: Rakennustieto. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%2036-11113> [viitattu 27.1.2024]

Raksystems, 2017. Lämmöneristys [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://rakersystems.fi/sanasto/lammoneristys/> [viitattu 19.12.2023]

Raksystems, 2017. U-arvo [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://rakersystems.fi/sanasto/u-arvo> [viitattu 19.12.2023]

Raksystems, 2022. Mitkä ovat 1970-luvun talon piirteitä ja ongelmia? [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://rakersystems.fi/ajankohtaista/1970-luvun-pientalot-ja-niille-ominaiset-rakennusratkaisut/> [viitattu 26.2.2024]

Saklaurs, M., Krūmiņš, J., Straupe, I. & Jēkabsons, I., 2016. Research for Rural Development - International Scientific Conference, Volume 2: Wood fiber insulation material. Latvia: Latvia University of Life Sciences & Technologies, 263 s.

Sankelo P. & Vuolle M., 2018. Energiatodistusopas 2018 [verkkodokumentti].
Ympäristöministeriö. Saatavissa:

https://www.motiva.fi/files/16464/Energiatodistusopas_2018_-_Rakennuksen_energiatodistus_ ja_E-luvun_maarittaminen.pdf [viitattu 10.11.2023]

Suomen virallinen tilasto (SVT), 2023. Asumisen energiankulutus [verkkojulkaisu].
Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: <https://stat.fi/tilasto/asen> [viitattu 2.2.2024]

Tilastokeskus, 2023. Sähkön keskimääräinen kuluttajahinta nousi uuteen ennätykseen vuoden 2022 viimeisellä neljänneksellä, Energian hinnat 2022, 4. vuosineljännes [verkkodokumentti]. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavissa: <https://www.stat.fi/julkaisu/cl8la5p5lsmd0cw1981ta2nc> [viitattu 17.10.2023]

Ympäristöministeriö, 2023. Eduskunta hyväksyi rakentamisen päästöjä pienentävät ja digitalisaatiota edistävät lait [verkkodokumentti]. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://ym.fi/-/eduskunta-hyvaksyi-rakentamisen-paastoja-pienentavat-ja-digitalisaatiota-edistavat-lait> [viitattu 10.11.2023]

Ympäristöministeriö, 2003a. Suomen rakentamismääräyskokoelma, C3 [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://ym.fi/documents/1410903/155128351/C3-2003.pdf/de4cf246-2124-bffb-ea21-5544b570ec90/C3-2003.pdf?t=1680082433695> [viitattu 19.12.2023]

Ympäristöministeriö, 2003b. Suomen rakentamismääräyskokoelma, C4 [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://ym.fi/documents/1410903/155128351/C4-2003.pdf/fcc4120f-d8fd-6a9d-cf74-eb2db106ab90/C4-2003.pdf?t=1691402289427> [viitattu 19.12.2023].

Ympäristöministeriö, 2018. Energiatehokkuus, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystarpeen laskenta [verkkodokumentti]. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://ym.fi/rakentamismaaraykset> [viitattu 2.2.2024]

Ympäristöministeriö, 2017. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 1048/2017, liite 1, liite 2. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171048> [viitattu 19.12.2023]