

Peter Kemppainen

# Omakotitalon energiatalouden parantaminen ja lämmitysenergian tuottaminen

Insinööri (AMK)

Rakennus- ja yhdys-  
kuntatekniikka

Kevät 2023



**KAMK • University  
of Applied Sciences**

## Tiivistelmä

**Tekijä(t):** Peter Kempainen

**Työn nimi:** Omakotitalon energiatalouden parantaminen ja lämmitysenergian tuottaminen

**Tutkintonimike:** Insinööri (AMK), rakennustekniikka

**Asiasanat:** Energiatehokkuus, Lämmitysenergian tarve, Rakennuksen lämmitys, Rakenteiden lämmöneristävyyys

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella alustavasti Kajaanissa sijaitsevaan omakotitalokohteeseen käyttömukavuutta ja energiataloutta parantava korjauskokonaisuus. Energiataloutta suunniteltiin parannettavan rakenteiden lämmöneristeitä parantamalla sekä uusimalla talotekniikkajärjestelmiä. Suunnitelmissa tavoitellaan tilannetta, missä lämpöpumppujen ja lämpimän käyttöveden sähköenergia korvataan kokonaisuudessaan aurinkokennojen ja aurinkokeräinten avulla. Opinnäytetyö toimii ohjeena jatkosuunnitelmia varten kyseisessä kohteessa.

Työssä käytiin läpi vanhojen rakenteiden lämpötekniisiä ominaisuuksia ja niiden pohjalta suunniteltiin uusia paremmin lämmöneristäviä rakenteita kohteessa. Uusien rakenteiden toimivuutta tarkasteltiin kosteusteknisen toimivuuden kautta. Kosteusteknistä toimivuutta selvitettiin työssä kastepisteen osalta teoreettisesti laskemalla.

Työssä käytiin läpi kohteeseen suunniteltuja talotekniikkajärjestelmiä. Talotekniikkajärjestelmistä käytiin läpi vesi-ilmalämpöpumppu, maalämpöpumppu, aurinkokeräin ja aurinkosähköjärjestelmän toiminta ja alustava mitoitus. Tilojen lämmityksen näkökulmasta työssä käytiin läpi lattialämmitys ja patterilämmitys sekä alustava mitoitus kohteessa.

Tilojen tarvitsema lämmitysenergia ja sähköenergia voidaan korvata valittujen järjestelmien avulla. Lämpöpumppujen sähköenergia voidaan korvata aurinkosähköjärjestelmän avulla. Lämpimän käyttöveden tarvitsema energia voidaan tuottaa aurinkokeräinten avulla.

Rakenteiden hyvä lämmöneristävyyys ja lämpöpumppujen sekä aurinkojärjestelmien yhdistäminen mahdollistivat vähän ostoenergiaa kuluttavan korjauskokonaisuuden suunnittelussa kohteessa. Suunnitellut järjestelmät toimivat myös Suomen haasteellisessa ympäristössä.

## **Abstract**

**Author(s):** Peter Kemppainen

**Title of the Publication:** Improving the Energy Economy of a Single-Family House and Producing Heating Energy at the Site.

**Degree Title:** Bachelor of Engineering, Construction Engineering

**Keywords:** Energy efficiency, Need for heating energy, Building heating, Thermal insulation of structures

The aim of the thesis was to preliminarily design a renovation project for a detached house site in Kajaani that improves user comfort and energy economy. The energy economy was planned to be improved by enhancing the heat insulators of the structures and by renewing the building technology systems. The aim of the project was to achieve a situation where the electrical energy of the heat pumps and heating the domestic hot water is fully covered by solar cells and solar collectors. The thesis serves as a guideline for further plans at the site in question.

The thesis work reviewed the heat-technical characteristics of the old structures and accordingly designed new, improved heat-insulating structures at the site. The functionality of the new structures has been examined in terms of moisture technical properties. In the work, the moisture technical properties were studied theoretically by calculating the dew point.

The thesis work reviewed the building service systems designed for the site. The building service systems were reviewed with a water-to-air heat pump, ground source heat pump, solar collector and the operation and preliminary dimensioning of the photovoltaic system. Regarding the heating of the premises, the thesis work examined underfloor heating and radiator heating, as well as preliminary sizing at the site.

The heating energy and the electrical energy required by the premises can be covered by selected systems. The electrical energy of heat pumps can be covered by a solar panel system. The energy needed for heating the domestic hot water can be generated with solar collectors.

The good thermal insulation of the structures and the combination of heat pumps and solar systems made it possible to carry out a repair combination that consumes little purchased energy at the planned site. The planned systems also operate in Finland's challenging environment.

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
2	Rakennuksen energiankulutus ja rakenteiden toimivuus .....	2
2.1	Rakennuksen energiatehokkuus ja energiankulutus .....	2
2.2	Lämmitysenergian tarve.....	3
2.3	Lämmitysenergian tarve ja tarvelaskenta .....	4
2.4	Lämmin käyttövesi .....	8
2.5	Lämmönläpäisykerroin .....	8
2.5.1	ulkoseinät ja yläpohja .....	9
2.5.2	alapohja.....	12
2.6	Rakenteiden kosteustekninen toiminta .....	14
3	Lämpöenergian tuottaminen.....	18
3.1	Ilmavesilämpöpumppu.....	18
3.2	Maalämpöpumppu.....	19
3.3	Maalämpöpumppujen sähkönkulutus .....	21
3.4	Aurinkokeräin .....	26
3.5	Aurinkokeräimen lämmöntuotto .....	27
3.6	Aurinkosähköjärjestelmä.....	31
3.7	Aurinkosähköjärjestelmän sähköteho.....	32
4	Tilojen lämmittäminen .....	34
4.1	Lattialämmitys .....	34
4.2	Lämmityspatteri .....	35
5	Lähtötilanne.....	37
5.1	Vanhat rakenteet .....	38
5.1.1	Alapohja .....	38
5.1.2	Ulkoseinät .....	39
5.1.3	Yläpohja .....	41
5.2	Lämmitysenergian tarve.....	42
6	Uudet rakenteet .....	44
6.1	Alapohja.....	44

6.2	Ulkoseinät.....	45
6.3	Yläpohja .....	46
6.4	Uusien rakenteiden kosteustekninen toiminta.....	48
6.4.1	Alapohja .....	48
6.4.2	Ryömintätila.....	49
6.4.3	Ulkoseinät .....	50
6.4.4	Yläpohja .....	51
6.5	Lämmitysenergian tarve uusilla rakenteilla .....	53
7	Talotekniikka.....	55
7.1	Lattialämmitys .....	55
7.2	Lämmityspatteri .....	57
7.3	Aurinkokeräin ja lämmin käyttövesi.....	59
7.4	Lämmitysmuodot .....	62
7.4.1	Ilmavesilämpöpumppu .....	62
7.4.2	Maalämpöpumppu .....	64
7.5	Aurinkosähköjärjestelmä.....	66
7.6	Kooste talotekniikkajärjestelmistä .....	68
8	Yhteenveto .....	70
	Lähteet .....	71
	Liitteet	

## 1 Johdanto

Rakennusten energiankulutus on Suomessa kohtuullisen suuri johtuen Suomen kylmästä ilmastosta. Rakennusten lämmittäminen ja lämmin käyttövesi muodostavat suurimman osan rakennuksen energiankulutuksesta. Rakennusten energiankulutusta pyritään kehittämään koko ajan pienempään suuntaan ja uudet rakennukset ovat nykyisellään vanhoja rakennuksia energiatehokkaampia. Rakennusten energiankulutuksen pienentämisellä on niin ympäristöllisiä kuin taloudellisia vaikutuksia.

Rakennusten sisäilmaongelmat ovat puhutuimpia aiheita Suomessa rakennusalalla. Sisäilmaongelmien syynä on lähes aina huono suunnittelu. Huonon suunnittelun seurauksena rakennuksia on pilattu energiaremonttien yhteydessä. Rakenteet eivät toimi remontin jäljiltä niin kuin ennen ja täten aiheuttavat ongelmia rakennuksessa.

Johtuen Suomen kylmästä ilmastosta kaikki talviasuttivat rakennukset tarvitsevat ulkoisen lämmityslähteen. Perinteisesti lämmitys on toteutettu puun poltolla, sähköllä sekä öljyn avulla. Uudempien rakennusten lämmitys perustuu pitkälti lämpöpumppuihin. Lämpöpumppujen suurimpana etuna muihin ratkaisuihin on sen huolettomuus. Lämpöpumppujen ongelmaksi muodostuu toimintakyky kylmissä olosuhteissa, jolloin pumpun tuottama hyöty sähkökulutuksessa katoaa. Siksi tulevaisuuden rakennuksen erillislämmitys ei voi pohjautua pelkästään lämpöpumppuihin.

Suomen vuoden auringon säteilyenergian määrä on suhteellisen pieni, koska Suomi sijaitsee päiväntasaajalta katsottuna pohjoisessa. Auringon säteilyn vähäisyydestä huolimatta aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää rakennuksen sähköntuotannossa sekä tilojen- ja käyttöveden lämmityksessä. Uudenlaiset aurinkotehojärjestelmät toimivat varsin hyvin myös Suomen olosuhteissa.

Opinnäytetyön tavoitteena on laatia alustava suunnitelma pientalon energiatalouden parantamiseen ja lämmitysenergian tuottamiseen yhdistämällä lämpöpumppu ja aurinkoenergia. Työ on tehty teoreettisesti laskien ja laskennan pohjana on käytetty eri asiantuntijoiden teoksia liittyen rakennusten energiatekniikasta.

Nykyinen energiatilanne ja kiinnostus aiheeseen saivat valitsemaan opinnäytetyön aiheeksi energiatalouden parantamisen. Rakennusten energiantarpeella on niin ympäristöllisiä kuin yhteiskunnallisia vaikutuksia yksilöön ja yhteisöön.

## 2 Rakennuksen energiankulutus ja rakenteiden toimivuus

Tässä kappaleessa käsitellään rakennuksen energiakulutuksen periaate sekä lämmönläpäisykerroimen ja lämmitysenergian tarpeen laskeminen. Lämmönläpäisykerroin muodostuu materiaalin ominaisuuksista ja rakennuksen energiankulutus rakenteiden ominaisuuksista ja käytetyistä laitteista. Kappaleessa pohjustetaan myös rakenteiden toimivuutta kosteuden suhteen. Tilojen lämmitysenergiantarpeen laskentamallina on käytetty Ympäristöministeriön uusinta vuonna 2017 julkaistua ohjetta rakennuksen energiankulutuksesta ja lämmitystehon tarpeen laskennasta. [1.]

### 2.1 Rakennuksen energiatehokkuus ja energiankulutus

Rakennusten energian käyttö on noin 40 % koko energiankäytöstä Suomessa. Suurin osa rakennusten energiasta kuluu tilojen lämmitykseen. Rakennusten energiankulutusta pyritään vähentämään uusissa rakennuksissa säännösten ja hyvän suunnittelun avulla. [2.]

Rakennuksen energiatehokkuus koostuu rakennuksessa käytettävistä rakenteista, lämmitystavoista, ilmanvaihdosta, rakenteiden tiiveydestä ja lämpökuormista. Rakennuksen energiatehokkuutta tarkastellaan energiatalouden arvioinnissa. Rakennuksen energiatalouden arvioinnin perusteella sekä käytettävän lämmitysmuodon perusteella lasketaan rakennuksen E-luku. E-luvun avulla pystytään vertailemaan rakennuksen energiatehokkuutta muihin rakennuksiin. Tässä työssä E-luvun laskeminen on rajattu pois. [1.]

Rakennuksen lämmitysenergiantarpeella tarkoitetaan sitä energiamäärää mikä kuluu rakennuksen normaalissa toiminnassa tietyssä olosuhteessa. Rakennuksen lämmitysenergian tarve koostuu rakenteiden kautta johtuvasta lämpöhäviöstä, ilmanvaihdon kautta aiheutuvasta lämpöhäviöstä sekä lämpimän käyttöveden tarpeesta. Tilojen lämmitys vie noin kaksi kolmasosaa asumisen energiasta. Toiseksi eniten energiaa tarvitaan lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. [3.]

Tilojen lämmitysenergia tuotetaan Suomessa pääasiassa sähköllä, öljyllä ja puun polttamisella. Uusissa rakennuksissa lämmitysenergia tuotetaan erilaisten lämpöpumppujen avulla. Lämpöpumppujen lisäksi aurinkokennot ja aurinkokeräimet ovat kasvattaneet suosiotaan etenkin uusien rakennusten lämmityksessä. [4.]

Rakennuksen energiankulutus vaihtelee rakennuksen sijainnin mukaan. Suomi on jaettu laskennan kannalta neljään eri säävyöhykkeeseen vuoden keskilämpötilojen perusteella. Pohjois-Suomessa lämmitysenergiatarve on huomattavasti suurempi kuin Etelä-Suomessa. [5.] Kylmempi ilmasto aiheuttaa haasteita myös lämmitysenergian tuotannossa. Lämpöpumppujen lämmitysenergian tuotto on riippuvainen vallitsevasta ulkolämpötilasta, sillä lämpöpumppujen kylmäainneiden ominaisuudet vaihtelevat lämpötilojen mukaan. [6.]

Rakennusten lämmitysenergian tarpeeseen voidaan vaikuttaa rakenteiden rakenneratkaisulla sekä LVI- laitteistojen avulla. Rakenteiden energiankulutus koostuu rakenteiden lämmönjohtavuudesta, kylmäsilloista ja rakenteiden vuotoilmasta. LVI- laiteissa tapahtuu lämpöhäviöitä, jotka lisäävät lämmitysenergian tarvetta. LVI-laitteiden lämpöhäviöt koostuvat ilmanvaihdon lämpöhäviöistä, lämpimän käyttöveden lämpöhäviöistä sekä käytettävien lämmityslaitteiden lämpöhäviöistä ja hyötysuhteista. [1.]

## 2.2 Lämmitysenergian tarve

Rakenteiden lämmitysenergian tarve lasketaan sijaintipaikkakunnan mukaan. Lämmitysenergian tarve määräytyy vuoden keskilämpötilan mukaan säävyöhykkeittäin. Mitoitustilanne tarkoittaa kylmintä laskennallista lämpötilaa säävyöhykkeellä. Kuvassa 1 on esitetty Suomen säävyöhykkeet. [5.]



Kuva 1. Suomen säävyöhykkeet. [5, s .29].

Mitoitustilanteessa lämmitysenergian tarve lasketaan kylmimmän lämpötilan perusteella säävyöhykkeittäin. Mitoitustilanne on siten suurin mahdollinen lämmitysenergian hetkellinen tarve tiloille vuoden aikana. Mitoitustilanteen lämmitysenergian tarpeen perusteella mitoitetään rakennuksen lämmitysjärjestelmä ja lämmönjakotavat tiloille. Taulukossa 1 on esitetty keskilämpötila ja mitoituslämpötila säävyöhykkeittäin. Lämmitysenergian tarve määritellään lämmönläpäisykertoimen ja pinta-alan perusteella. [5.]

Taulukko 1. Säävyöhykeitäiset keskilämpötilat ja mitoituslämpötilat. [5, s. 29]

Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C
I	-26	5,3
II	-29	4,6
III	-32	3,2
IV	-38	-0,4

### 2.3 Lämmitysenergian tarve ja tarvelaskenta

Rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve muodostuu tilojen lämmitysenergiatarpeesta, vuotoilman lämmittämisestä sekä ilmanvaihdon lämpöhäviöistä. Tilojen lämmitysenergian tarve on siten rakenteista johtuvien lämpöhäviöiden ja talotekniikasta johtuvien lämpöhäviöiden summa. Rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve lasketaan kaavalla 1.

$$Q_{tila} = Q_{joht} + Q_{vuotoilma} + Q_{iv,tuloilma} + Q_{iv,korvausilma} \quad (1)$$

missä  $Q_{joht}$  on tilojen lämmitysenergian tarve.  $Q_{vuotoilma}$  on vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve.  $Q_{iv,tuloilma}$  on tilassa tapahtuva tuloilman lämpenemisen lämpöenergian tarve.  $Q_{iv,korvausilma}$  on korvausilman lämpenemisen energiantarve. Kaavan yksikkö on (kWh). [1.]

Rakennusvaipan johtumislämpöhäviö on ulkoseinien, yläpohjan, ikkunoiden, ovien ja kylmäsiltojen kautta muodostuva lämpöhäviö. Rakennusvaipan johtumislämpöhäviö on siten kaikkien talon rakenteiden kautta ulkoilmaan johtuva lämpöenergia. Johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi lasketaan kaavalla 2.

$$Q_{\text{joht}} = Q_{\text{ulkoseinä}} + Q_{\text{yläpohja}} + Q_{\text{alapohja}} + Q_{\text{ikkuna}} + Q_{\text{ovi}} + Q_{\text{kylmäsiltilat}} \quad (2)$$

missä  $Q_{\text{ulkoseinä}}$  on johtumislämpöhäviö ulkoseinän läpi.  $Q_{\text{yläpohja}}$  on johtumislämpöhäviö alapohjan läpi.  $Q_{\text{ikkuna}}$  on johtumislämpöhäviö ikkunoiden läpi.  $Q_{\text{ovi}}$  on johtumislämpöhäviö ovien läpi.  $Q_{\text{kylmäsiltilat}}$  on kylmäsiltoista aiheutuvat johtumislämpöhäviöt. Kaavan yksikkö on (kWh) [1.]

Rakennusosan lämpöhäviö muodostuu rakenteen pinta-alasta ja rakenteen lämmönläpäisykerroimesta eli rakenteen U-arvosta. U-arvo kuvaa rakenteen eristyskykyä. Mitä pienempi U-arvo, sitä paremmin rakenneosia eristää lämpöä. Rakennusosien U-arvosta on kerrottu kohdassa 2.4. Rakennusosien lämpöhäviöt lasketaan kaavalla 3.

$$Q_{\text{rakosa}} = \sum U_i * A_i * (T_s - T_U) dt / 1000 \quad (3)$$

missä  $U_i$  on rakennusosan lämmönläpäisykerroin ( $W/m^2K$ ).  $A_i$  rakennusosan pinta-ala ( $m^2$ ).  $T_s$  on sisäpuolen lämpötila ( $^{\circ}C$ ).  $T_U$  on ulkopuolen lämpötila ( $^{\circ}C$ ).  $dt$  on ajanjakson pituus (h). Kaavan yksikkö on (kWh). [1.]

Rakennusosassa olevia huonommin eristäviä osuuksia kutsutaan kylmäsiltoiksi. Kylmäsiltilat muodostavat huonommin lämpöä eristävän kerroksen eristekerroksen välillä. Kylmäsiltoja ovat esimerkiksi teräskiinnikkeet betonielementissä eristekerroksen läpi tai rungon ja mineraalivillan välinen ilmarako rankarakenteessa. Kylmäsiltoista aiheutuva lämpöhäviö lasketaan lisäkonduktanssin ja kylmäsiltilan pituuden perusteella. Lisäkonduktanssi tarkoittaa kylmäsiltilan lämmönjohtavuutta. Rakennuksen rakenteiden kylmäsiltoista aiheutuvat lämpöhäviöt lasketaan kaavalla 4.

$$Q_{\text{rakosa}} = \sum I_k * \Psi_k * (T_s - T_U) dt / 1000 \quad (4)$$

missä  $I_k$  on viivamaisen kylmäsiltilan pituus (m).  $\Psi_k$  viivamaisen kylmäsiltilan lisäkonduktanssi (m/K). Kaavan yksikkö on (kWh) [1.]

Taulukossa 2 on esitetty viivamaisia lisäkonduktansseja, jotka muodostuvat rakenteiden välisistä liitoksista sekä käytetyistä materiaaleista. Hyvin lämpöä johtavat materiaalit muodostavat kylmäsiltoja, mikäli materiaali on yhtenäinen eristekerroksen läpi.

Taulukko 2. Seinä, katto ja lattiarakenteiden välisiä viivamaisia lisäkonduktansseja [1, s. 19]

Ulkoseinä- materiaali	Lisäkonduktanssi $\Psi_s$ , W/(m K)									
	Yläpohjan (ulkonurkka) runkomateriaali			Välipohjan runko- materiaali			Alapohjan runkomateriaali			
	betoni	kevyt- betoni	puu	betoni	kevyt- betoni	puu	betoni maan- vast.	betoni ryöm. tila	kevyt- betoni ryöm. tila	puu ryöm. tila
betoni	0,08	-	0,04	0,00	-	-	0,24	0,28	-	--
kevytbetoni	0,18	0,06	0,04	0,10	0,00	-	0,09	0,08	0,03	-
kevytsora- betoni	0,13	-	0,04	0,07	-	-	0,15	0,11	-	-
tiili	0,08	-	0,04	0,00	-	-	0,17	0,06	-	-
puu	-	-	0,05	-	-	0,05	0,10	-	-	0,06
hirsi	-	-	0,04	-	-	0,00	0,11	-	-	0,09

Rakenteen kohdat, missä on muita rakenteita, esimerkiksi ikkuna- ja ovirakenteita, aiheuttavat kylmäsiltoja eristekerroksen läpi. Esimerkiksi ikkunoissa ikkunan puukarmi muodostaa kylmäsiltaa seinärakenteen eristekerroksen läpi ja täten huonontaa seinärakenteen lämmöneristyskykyä ikkunakarmin ja seinärakenteen liitoksen kohdalla. Taulukossa 3 on esitetty ikkunoista ja ovista aiheutuvia lisäkonduktansseja.

Taulukko 3. Viivamaisia lisäkonduktansseja ikkunoiden ja ovien välillä sekä seinärakenteiden välisissä liitoksissa. [1, s. 19]

Liitos	Lisäkonduktanssi $\Psi_s$ , W/(m K)					
	Ulkoseinän runkomateriaali					
	betoni	kevyt- betoni	kevyt- sora- betoni	tiili	puu	hirsi
ulkoseinien välinen liitos, ulkonurkka	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05
ulkoseinien välinen liitos, sisänurkka	-0,06	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05
ikkuna- ja oviliitos, lämmöneristeen kohdalla <sup>1)</sup>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
ikkuna- ja oviliitos muussa tapauksessa	0,15	0,07	0,10	0,10	0,07	0,07

<sup>1)</sup> Karmi peittää vähintään 40 % lämmöneristeen kokonaispaksuudesta.

Epätiivien rakenteiden kautta tapahtuu ei-toivottua virtausta rakenteiden läpi. Ei-toivottua ilmavirtausta kutsutaan vuotoilmavirraksi. Vuotoilmavirta vaihtelee rakennustyyppien mukaan ja

uudet rakenteet ovat monesti vanhoja tiiviimpiä. Vuotoilmavirta aiheuttaa rakennuksessa lämpöhäviötä, sillä ulkoa tuleva kylmä ilma lämpiää sisätiloissa ja täten lisää tilojen lämmittämiseen tarvittavaa energiamäärää. Vuotoilmavirtaa torjutaan tiiviillä rakenteilla. Vuotoilman lämpenemiseen kuluva energia lasketaan kaavalla 5.

$$Q_{Vuotoilma} = \rho_i * c_{pi} * q_{v,vuotoilma} * (T_s - T_u) * dt / 1000 \quad (5)$$

missä  $\rho_i$  on ilman tiheys ( $1,2 \text{ kg/m}^3$ ).  $c_{pi}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti ( $1000 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ ).  $q_{v,vuotoilma}$  on vuotoilmavirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).  $T_s$  on sisäilman lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ ).  $T_u$  on ulkoilman lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ ).  $dt$  on ajanjakson pituus (h). Kaavan yksikkö on (kWh). [1.]

Vuotoilmaan sitoutuva energia on riippuvainen vuotoilmavirrasta. Vuotoilmavirran suuruus vaihtelee rakenteiden ja rakenteiden tiiviyksien mukaan. Vuotoilmavirtaan vaikuttava rakennusvaiipan ilmanvuotoluku vaihtelee rakennusten ja käytettyjen rakenteiden mukaan. Vuotoilmavirta lasketaan kaavalla 6.

$$q_{Vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} * A_{Vaiippa} \quad (6)$$

missä  $q_{50}$  on rakennusvaiipan ilmanvuotoluku ( $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ), hyvä ilmanpitävyys pientalot 1–3  $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ . Kerroin kerrosten mukaan, yksikerroksinen rakennus 35, kaksikerroksinen rakennus 24.  $A_{Vaiippa}$  on rakennusvaiipan pinta-ala ( $\text{m}^2$ ). Kaavan yksikkö on ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). [1.]

Painovoimaisen ilmanvaihdon lämpöhäviö muodostuu sisä- ja ulkopuolen lämpöhäviötä sekä ulkoilmavirrasta. Ulkoilmavirta tarkoittaa ilmamäärää, mikä tulee ulkoa sisälle tietyssä ajassa. Ulkoilmavirta riippuu käytetyistä ilmanvaihtokanavien koosta. Tämän työn laskennoissa tuloilmavirtana on käytetty arvoa  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Painovoimaisesta ilmanvaihdosta aiheutuva lämpöhäviö lasketaan kaavalla 7.

$$Q_{tuloilma} = \rho_i * c_{pi} * q_{v,tulo} * (T_s - T_u) * dt / 1000 \quad (7)$$

missä  $\rho_i$  on ilman tiheys ( $1,2 \text{ kg/m}^3$ ).  $c_{pi}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti ( $1000 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ ).  $q_{v,tulo}$  on tuloilmavirta ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), (pientalot  $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ).  $T_s$  on sisälämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ ).  $T_u$  on ulkolämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ ).  $dt$  on ajanjakson pituus (h). Kaavan yksikkö on (kWh). [1.]

Ilmanvaihtokoneen lämpöhäviö muodostuu ilmanvaihtokoneen poistoilmavirrasta, ilmanvaihtokoneen käyntiajasta sekä ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton hyötysuhteesta. Poistoilmavirta tarkoittaa ilmamäärää, jonka ilmanvaihtokone korvaa huoneilmaan tietyssä ajassa. Ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenotolla tarkoitetaan ilmanvaihtokoneen ominaisuutta lämmittää ulkoa tuleva kylmä ilma sisältä tulevalla lämpimällä poistoilmalla. Ilmanvaihtokoneen lämpöhäviö on sitä pienempi, mitä paremmin sisäilman poistoilmassa oleva lämpöenergia saadaan siirrettyä ulkoilmasta tulevaan tuloilmaan. Ilmanvaihtokoneen lämpöhäviö lasketaan kaavalla 8.

$$H_{iv} = \rho_i * C_{pi} * q_{v,poisto} * t_d * t_v * (1 - \eta_a) \quad (8)$$

missä  $\rho_i$  on ilman tiheys ( $1,2 \text{ kg/m}^3$ ).  $C_{pi}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti  $1000 \text{ (Ws/(kgK))}$ .  $q_{v,poisto}$  on laskennallinen poistoilmavirta, pientalot ( $0,4 \text{ dm}^3/\text{s} * \text{m}^2$ ).  $t_d$  on vuorokautinen käyntiaikasuhte, pientalot (1).  $t_v$  on viikoittainen käyntiaikasuhte, pientalot (1).  $\eta_a$  on poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde. [7.]

#### 2.4 Lämmin käyttövesi

Lämmin käyttövesi ei suoraan vaikuta tilojen lämmitysenergian määrään, mutta se vaikuttaa lämmitysjärjestelmän mitoitukseen, sillä lämmin käyttövesi tuotetaan yleensä tilojen lämmitysenergian mukana. Lämpimän käyttöveden energiamäärä riippuu vedenkulutuksesta sekä siitä, miten lämpimäksi vesi lämmitetään. Lämpimän käyttöveden energiantarve lasketaan kaavalla 9.

$$Q_{lkv} = P_v * C_{pv} * V_{lkv} * (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad (9)$$

missä  $P_v$  on veden tiheys ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ).  $C_{pv}$  on veden ominaislämpökapasiteetti ( $4,2 \text{ kJ/kgK}$ ).  $V_{lkv}$  on lämpimän käyttöveden kulutus ( $\text{m}^3$ ).  $T_{lkv}$  on lämpimän käyttöveden lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ ).  $T_{kv}$  on kylmän käyttöveden lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$ ). [1.]

#### 2.5 Lämmönläpäisykerroin

Lämmönläpäisykerroin kuvaa rakennusosan lämmöneristyskykyä. Lämmönläpäisykerroin on riippuvainen rakenteen paksuudesta, lämmöneristeistä sekä kylmäsilloista. Mitä pienempi lämmönläpäisykerroin on, sitä parempi on rakenteen lämmöneristävyys. Lämmönläpäisykerroimesta käytetään myös nimitystä U-arvo. U-arvon laskemiseksi on määriteltävä rakenteesta ainekerroksen

lämmönvastukset, lämmönjohtavuus sekä rakenteen korjauskertoimet. Seuraavissa kappaleissa on esitelty yläpohjan, ulkoseinien ja alapohjan lämmönläpäisykerroimen laskentaperiaatteet.

### 2.5.1 ulkoseinät ja yläpohja

Ulkoseinien ja yläpohjan lämmönläpäisykerroin lasketaan samalla periaatteella. Laskennan alussa määritellään ainekerroksen lämmönjohtavuus ja materiaalin paksuus. Materiaalin lämmönjohtavuuden ja ainepaksuuden perusteella saadaan ainekerroksen lämmönvastus. Ainekerroksen lämmönvastus kuvaa materiaalin kykyä vastustaa lämpövirtaa sen lävitse. Ainekerroksen lämmönvastus riippuu materiaalin paksuudesta ja materiaalin lämmönjohtavuudesta. Ainekerroksen lämmönvastus saadaan kaavalla 10.

$$R = \frac{d}{\lambda_u} \quad (10)$$

missä  $d$  on ainekerroksen paksuus (m) ja  $\lambda_u$  on ainekerroksen lämmönjohtavuus ( $W/mK$ ). Kaavan yksikkö on ( $m^2K/W$ ). [8.]

Rakennepinnan lämmönvastus on rakennusosien lämmönvastuksien summa. Rakennusosan lämmönvastus pitää myös sisällään ulkopuolen sekä sisäpuolen pintavastukset. Myös ohuilla materiaalikerroksilla, kuten esimerkiksi höyrynsulkumuovilla, on oma lämmönvastusarvo. Rakennepinnan lämmönvastus saadaan kaavalla 11.

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (11)$$

missä  $R_{si}$  on sisäpuolen pintavastus ( $m^2K/W$ ),  $R_1 + R_2 + \dots + R_n$  ovat eri ainekerrosten lämmönvastukset ( $m^2K/W$ ) ja  $R_{se}$  on ulkopuolen pintavastus ( $m^2K/W$ ). Kaavan yksikkö on ( $m^2K/W$ ). [8.]

Rakenteissa on monesti epätasaisia kerroksia tai eristeissä esiintyy asennuspoikkeamia. Nämä epätasaisuudet aiheuttavat kylmäsilan eristekerroksen läpi. Eristekerroksen epätäydellisyys otetaan huomioon korjauskertoimen avulla. Ilmaraoista ja epäideaalisuudesta johtuva korjauskertoimen lasketaan kaavalla 12.

$$\Delta U_g = \Delta U * \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 \quad (12)$$

missä  $\Delta U$  on korjauskerroin,  $R_1$  on ainekerroksen lämmönvastus ( $m^2K/W$ ) ja  $R_2$  on rakennusosan korjaamaton lämmönvastus, jossa ainekerros on ( $m^2K/W$ ). Kaavan yksikkö on  $W/m^2K$ . [8.]

Lämmönvastuksen yläikiarvon avulla otetaan huomioon ainekerroksen eri materiaalien lämmönjohtavuudet. Lämmönvastuksen yläikiarvoa laskettaessa rakennusosa jaetaan itsenäisiin lohkoihin ainekerrosten mukaan. Ainekerrosten lämmönjohtavuus suhteutetaan rakennusosaan pinta-alojen perusteella. Esimerkiksi rankarakenteisen seinän kohdalla lämmönvastuksen yläikiarvo lasketaan siten, että ensin lasketaan seinän lämmönvastus eristeen kohdalla. Tämän jälkeen lasketaan lämmönvastus puurungon kohdalla. Kun tiedetään lämmönvastus puurungon ja eristeen kohdalla, lasketaan lämmönvastukset yhteen kertoen lämmönvastukset niiden suhteellisinä pinta-aloina. Lämmönvastuksen yläikiarvo saadaan kaavalla 13.

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{Tn}} \quad (13)$$

missä  $R_{Ta} + R_{Tb} + \dots + R_{Tn}$  ovat eri rakenneleikkausten lämmönvastukset ( $m^2K/W$ ),  $f_a + f_b + \dots + f_n$  ovat eri eristeosuusien suhteelliset pinta-ala osuudet. Kaavan yksikkö on ( $m^2K/W$ ). [8.]

Lämmönjohtavuus epätasa-aineisen kerroksen kohdalla lasketaan suhteellisten pinta-alojen perusteella. Esimerkiksi rankarakenteisessa ulkoseinässä lasketaan lämmönjohtavuus seinärakenteen läpi siten, että kerrotaan eristekerroksen ja puuosan lämmönjohtavuudet niiden suhteellisilla osuuksilla seinärakenteessa ja tämän jälkeen lasketaan lämmönjohtavuudet yhteen. Lämmönjohtavuus epätasa-aineisen rakenneosan kohdalla lasketaan kaavalla (14).

$$\lambda_u = f_a * \lambda_a + f_b * \lambda_b + \dots + f_n * \lambda_n \quad (14)$$

missä  $f_a + f_b + \dots + f_n$  ovat ainekerrosten suhteelliset osuudet rakenneosassa ja  $\lambda_a + \lambda_b + \dots + \lambda_n$  ovat ainekerrosten lämmönjohtavuudet rakenneosassa ( $W/mK$ ). Kaavan yksikkö on ( $W/mK$ ). [8.]

Lämmönvastuksen alalikiarvo lasketaan rakennusosan ainekerrosten suhteellisten pinta-alojen perusteella. Pinta-alojen perusteella saatu rakennekerroksen yhtenäinen lämmönjohtavuuden

arvo käytetään rakennusosan lämmönjohtavuutena koko rakenteessa. Esimerkiksi rankarakenteisessa seinässä lasketaan lämmöneristeen lämmönjohtavuus ja puurungon lämmönjohtavuus yhteen suhteellisina pinta-aloina kerrottuna. Täten saadaan yhtenäinen lämmönjohtavuuden arvo, jota käytetään kaikkien rakennekerrosten lämmönvastusten laskemisessa. Lämmönvastuksen alalikiarvo saadaan kaavalla 15.

$$R''_T = R_{si} + (R''_1 + R''_2 + \dots + R''_j) + (R_1 + R_2 + \dots + R_k) + R_{se} \quad (15)$$

missä  $R_{si}$  on sisäpuolen pintavastus,  $R''_1 + R''_2 + \dots + R''_j$  ovat lämmönvastuksen suhteutetut arvot rakenneosassa,  $R_1 + R_2 + \dots + R_k$  ovat rakenneosan lämmönvastukset eri materiaalikerroksissa.  $R_{se}$  on ulkopuolen pintavastus. [8.]

Ehdon tarkistus tehdään kaavalla 16. Jos lämmönvastuksen yläikiarvon ja alalikiarvon osamäärä on suurempi kuin 1,5, lämmönvastuksen ylä- ja alalikiarvo laskentatapaa ei voida käyttää. [8].

$$\frac{R'}{R''} < 1,5 \text{ ok} \quad (16)$$

Lämmönvastusten ylä- ja alalikiarvojen keskiarvon perusteella saadaan rakenneosan kokonaislämmönvastus. Kokonaislämmönvastus kuvaa rakenneosan todellista lämmönvastusta, mutta siinä ei ole vielä mukana muita korjaustekijöitä. Kokonaislämmönvastus saadaan kaavalla 17.

$$R_{T\psi} = \frac{R' + R''}{2} \quad (17)$$

missä  $R'$  on lämmönvastuksen yläikiarvo ( $m^2K/W$ ) ja  $R''$  lämmönvastuksen alalikiarvo ( $m^2K/W$ ). Kaavan yksikkö on ( $m^2K/W$ ). [8.]

Lämmönvastusten ylä- ja alalikiarvojen ja korjaustekijöiden sumalla saadaan rakenteen lämmönvastuksen korjaustekijä. Korjaustermi saadaan lämmönvastuksen yläikiarvon- ja alalikiarvon keskiarvon ja korjaamattoman lämmönvastuksen erotuksena. Korjaustermi otetaan huomioon, jos korjaustermi on suurempi, kuin 3 % korjaamattomasta lämmönläpäisykertoimesta. Ulkoseinien korjattu lämmönläpäisykerroin saadaan laskemalla korjaustekijät ja korjaamaton lämmönläpäisykerroin yhteen. Korjaustermi lasketaan kaavalla 18.

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U\psi \quad (18)$$

missä  $\Delta U_g$  korjastermi, joka saadaan lämmönvastusten ylä- ja alalikiarvon avulla,  $\Delta U\psi$  on korjaus-tekijä. Kaavan yksikkö on ( $W/m^2K$ ). [8.]

### 2.5.2 alapohja

Alapohjan U-arvo voidaan laskea yksinkertaistetulla tavalla 19. Toinen tapa alapohjan U-arvon laskemiseen on jatkuvuustilaan perustuva laskentatapa kaava 20. Yksinkertaistetulla tavalla laskettaessa lattiarakenteen U-arvo kerrotaan kertoimella 0,9.

$$U = 0.9 * \frac{1}{R_T} \quad (19)$$

missä  $R_T$  on rakennusosan kokonaislämmönvastus. [8.]

Alapohjan U- arvo jatkuvuustilaan perustuvalla laskennalla. Jatkuvuustilaan perustuvaa laskentatapaa voidaan käyttää, mikäli alapohjan tuuletus on heikkoa. Mikäli ryömintätilassa vallitsee ulkoilman olosuhteet, lasketaan lämmönvastus ja lämmönläpäisykerroin kohdan 2.4.1 mukaan. Tuuletetun alapohjan lämmönläpäisykerroin lasketaan kaavalla 20.

$$\frac{1}{u} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad (20)$$

missä  $U_f$  on lattiarakenteen lämmönläpäisykerroin,  $U_g$  on ryömintätilan pohjalla olevan lämmöneristeen ja ryömintätilaa ympäröivän maan sekä syvässä ryömintätilassa myös ryömintätilan maanvastaisen perusmuurin yhdistetty lämmönläpäisykerroin ja  $U_x$  on ryömintätilan ekvivalentti lämmönläpäisykerroin. Alapohjan U-arvon yksikkö on  $W/m^2K$ . [8.]

Ryömintätilan yhdistetty lämmönläpäisykerroin ottaa huomioon ryömintätilan ja ryömintätilaa ympäröivän maan lämmöneristävydet. Ryömintätilan ja maan lämmöneristävyys parantaa alapohjan lämmöneristävyttä eli alapohjan lämmönläpäisykerrointa. Ryömintätilan yhdistetty lämmönläpäisykerroin saadaan kaavalla 21.

$$U_g = \frac{2\lambda_s}{\pi*B' + D_g} + \ln\left(\frac{\pi*B'}{D_g} + 1\right) \quad (21)$$

missä  $\lambda_s$  on maan lämmönjohtavuus,  $B'$  on suhteellinen lattiamitta,  $D_g$  on ryömintätilan pohjan ekvivalentti paksuus. Maan lämmönjohtavuuden arvona käytetään arvoa 2,0 w/mk. Kaavan yksikkö on ( $W/m^2K$ ). [8.]

Ryömintätilan pohjan tehollinen paksuus ottaa huomioon ryömintätilan pohjalla olevan eristeen lämmönjohtavuuden ja maan lämmönjohtavuuden. Hyvä eristävyys ryömintätilan pohjalla parantaa alapohjan lämmöneristävyyttä. Ryömintätilan pohjan tehollinen paksuus saadaan kaavalla 22.

$$D_g = w + \lambda_s(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (22)$$

missä  $w$  on ryömintätilan maanvastaisen perusmuurin paksuus ryömintätilan pohjalla,  $\lambda_s$  on maan lämmönjohtavuus,  $R_{si}$  on ryömintätilan pohjan pintavastus,  $R_{gf}$  on ryömintätilan pohjalla olevan lämmöneristeen lämmönvastus,  $R_{se}$  on maan pinnan pintavastus ulkona. Kaavan yksikkö on (m). [8.]

Suhteellinen lattiamitta saadaan kaavalla 23.

$$B' = \frac{A}{0,5*p} \quad (23)$$

missä  $A$  on lattiarakenteen pinta-ala ja  $p$  on lattiarakenteen piiri ulkoilmaa vasten. Kaavan yksikkö on (m). [8.]

Pinovoimaisesti tuuletetun alapohjan tehollinen eli ekvivalentti paksuus ottaa huomioon ryömintätilan ilmakerroksen lämmöneristävyyden. Ilmakerroksen lämmöneristävyyteen vaikuttavat tuuletusaukkojen kautta kulkeva ilmavirta ja sokkelirakenteen lämmöneristävyys maanpinnan yläpuolella. Painovoimaisesti tuuletetun alapohjan ekvivalentti paksuus saadaan kaavalla 24.

$$U_x = \frac{2hU_w}{B'} + 1450 * \frac{\epsilon v f_w}{B'} \quad (24)$$

missä  $h$  on ympäröivän maan pinnan yläpuolella olevan perusmuurin keskimääräinen korkeus,  $U_w$  on maan pinnan yläpuolella olevan perusmuurin lämmönläpäisykerroin,  $\epsilon$  on perusmuurissa olevien tuuletusaukkojen pinta-ala perusmuurin pituusyksikköä kohti,  $v$  on tuulen keskinopeus 10 m korkeudella,  $f_w$  on tuulen suojauskerroin [8.]

## 2.6 Rakenteiden kosteustekninen toiminta

Rakenteen kosteusteknisessä tarkastelussa tarkastellaan rakenteen toimintaa ilman vesihöyryn osalta. Ilman kuljettama vesihöyry on ongelma etenkin paksuille eristekerroksille, koska ilman vesihöyry kulkeutuu eristekerrokseen ja jää eristekerrokseen, jos rakenne ei ole kuivumisen kannalta oikeanlainen. Kosteus kulkeutuu rakenteisiin vesihöyrynä ja tiivistyy rakenteisiin, mikäli lämpötila on sopiva vesihöyryn tiivistymiselle. Lämmin ilma pystyy sitomaan itseensä suuremman määrän vesihöyryä kuin kylmä ilma. Kun lämmin ilma sisältä ulospäin kulkeutuessaan viilenee, pystyy se sitomaan itseensä vähemmän vesihöyryä ja täten vesihöyry tiivistyy tietyssä pisteessä. Rakenne toimii oikein, mikäli rakenteen keskelle ei tiivisty kosteutta ja rakenteeseen kulkeutunut vesihöyry pääsee kuivumaan ulkoilmaan. [9.]

Ilman vesihöyryn tiivistymispistettä arvioidaan rakennekohtaisesti lämpötilojen ja ilman vesihöyryn osapaineiden avulla. Kylmemmässä ilmassa vesihöyryn osapaine voi olla pienempi verrattuna lämpimään ilmaan. Lämmin ilma pystyy sitomaan itseensä enemmän vesihöyryä, kuin kylmä ilma. Osapaine-erojen takia vesihöyry pyrkii siirtymään lämpimästä kylmään päin. Osapaineesta aiheutuvaa virtausta kutsutaan diffuusiiovirtaukseksi. [10.]

Ilman vesihöyryn pitoisuus vaihtelee vuodeaikojen mukaan. Kesällä ilmassa on enemmän kosteutta kuin talvella. Kesällä ilma voi sitoa itseensä enemmän kosteutta kuin talvella, joten kesällä suhteellinen ilmankosteus on pienempi kuin talvella. Kesällä suhteellinen kosteus on yleensä välillä 60 % – 70 %. Talvella suhteellinen kosteus on välillä 80 % – 90 %. [11.]

Rakenteen kastepiste sijaitsee kohdassa, missä ilma ei kykene enää sitomaan itseensä vesihöyryä eli ilman vesihöyryn osapaine on ilman vesihöyryn osapaineen maksimi-arvo. Kastepisteessä ilman suhteellinen kosteus on 100 %. [12.] Ilman kyllästyskosteudet on esitetty taulukossa 4 lämpötiloittain.

Taulukko 4. Ilman ominaisuuksia eri lämpötiloissa. [17, s. 7]

t °C	v <sub>s</sub> g/m <sup>3</sup>	p <sub>s</sub> Pa	t °C	v <sub>s</sub> g/m <sup>3</sup>	p <sub>s</sub> Pa	t °C	v <sub>s</sub> g/m <sup>3</sup>	p <sub>s</sub> Pa
-20	0,87	102	14	12,10	1602	48	75,67	11207
-19	0,95	111	15	12,86	1708	49	79,33	11786
-18	1,04	122	16	13,65	1820	50	83,14	12390
-17	1,14	135	17	14,49	1939	51	87,10	13020
-16	1,25	149	18	15,37	2064	52	91,21	13677
-15	1,38	164	19	16,30	2197	53	95,48	14362
-14	1,52	181	20	17,28	2337	54	99,92	15075
-13	1,67	200	21	18,31	2484	55	104,5	15818
-12	1,83	221	22	19,40	2640	56	109,3	16592
-11	2,01	242	23	20,54	2805	57	114,2	17397
-10	2,20	266	24	21,74	2979	58	119,4	18234
-9	2,40	292	25	23,00	3162	59	124,7	19105
-8	2,61	319	26	24,32	3355	60	130,2	20010
-7	2,84	348	27	25,71	3559	61	135,9	20951
-6	3,08	379	28	27,17	3773	62	141,9	21928
-5	3,33	412	29	28,70	3999	63	143,0	22943
-4	3,60	447	30	30,31	4237	64	154,3	23997
-3	3,89	485	31	31,99	4487	65	160,9	25090
-2	4,19	524	32	33,75	4750	66	167,7	26224
-1	4,51	566	33	35,60	5027	67	174,7	27401
0	4,85	611	34	37,54	5317	68	181,9	28620
1	5,21	658	35	39,56	5622	69	189,4	29884
2	5,58	708	36	41,68	5940	70	197,1	31194
3	5,98	762	37	43,89	6278	71	205,1	32551
4	6,40	818	38	46,21	6631	72	213,3	33956
5	6,84	878	39	48,63	7000	73	221,8	35410
6	7,31	941	40	51,16	7388	74	230,6	36915
7	7,80	1008	41	53,79	7793	75	239,6	38471
8	8,32	1079	42	56,54	8218	76	248,9	40082
9	8,87	1154	43	59,41	8663	77	258,5	41747
10	9,45	1234	44	62,40	9127	78	268,4	43468
11	10,06	1318	45	65,52	9614	79	278,6	45247
12	10,71	1408	46	68,77	10122	80	289,1	47084
13	11,38	1502	47	72,15	10653			

Sisäilman kosteuspitoisuus määräytyy ulkoilman kosteuden mukaan. Sisäilman kosteuspitoisuus on ulkoilman kosteuspitoisuuden ja sisäilman kosteuslisän summa. Sisäilman kosteuslisä voidaan laskea eri kosteuslähteiden mukaan. Taulukossa 5 on esitetty sisäilman kosteuslisä kosteusluokittain. [13.]

Taulukko 5. Sisäilman kosteuslisä. Mukailten [13, s. 24]

Kosteusluokka	Kosteuslisän mitoitusarvo talevlla	Rakennustyytit
1	>5g/m <sup>3</sup>	Suuret kosteusrasitukset (umahallit kylpylät...)
2	5g/m <sup>3</sup>	Tavallinen kosteusrasitus (asuinrakennukset, toimistot...)
3	3g/m <sup>3</sup>	Vähäinen kosteusrasitus ( vapaa-ajan asunnot, varastot...)

Jokaisella rakennusmateriaalilla on sille ominainen vesihöyrynvastus. Vesihöyrynvastus kuvaa materiaalin kykyä vastustaa vesihöyryn kulkeutumista materiaalin läpi. [13.] Taulukossa 6 on esitetty tässä työssä myöhemmin esiintyviä rakennusosien vesihöyrynvastuksia.

Taulukko 6. Työssä esiintyvien materiaalien vesihöyrynvastuksia 23°C:n lämpötilassa. Mukailten [13, s. 34], [13, s. 37], [14.]

Tuote tai materiaalikerros	Vesihöyrynvastus ( $Z_p \cdot 10^9 \text{m}^2 \text{sPa/kg}$ )
Höyrynsulkumuovi 0,2 mm	100–500
Muovitiivistyspaperi	15–50
Kipsilevy 13 mm	0,5
Mineraalivilla 100 mm	0,5
Puolikova puukuitulevy	1
Kevytbetoni	1,5
Mineraalivilla kova 100 mm	1,5
Kova puukuitulevy	1,5
Laminaatti	0,4–0,75
Puu	5
Paperi	0,1

Lämpötilajakauma rakennekerroksessa voidaan laskea kaavalla 25. Lämpötilajakauman perusteella voidaan arvioida rakenteen toimintaa tietyssä olosuhteessa. Lämpötilajakauman perusteella voidaan laskea kohta, missä vesihöyry tiivistyy vedeksi sillä, tiedetään kunkin ilman lämpötilan vesihöyryn sitomiskyky tietyssä lämpötilassa.

$$T_x = T_y - \frac{R_z}{R_T} * (T_s - T_u) \quad (25)$$

missä  $T_x$  on lämpötila tarkasteltavassa kohdassa.  $T_y$  on lämpötila sisällä tai ulkona.  $R_z$  on rakennekerroksen lämmönvastus tarkasteltavassa kohdassa.  $R_T$  on rakennekerroksen kokonaislämmönvastus.  $T_s$  on sisäpuolen lämpötila.  $T_u$  on ulkopuolen lämpötila. Kaavan yksikkö on (°C). [16.]

Vesihöyryn osapaine vaihtelee ilman lämpötilan mukaan. Vesihöyryn osapaine vaihtelee rakennekerroksittain, sillä ilma viilenee rakenteessa sisältä ulospäin mentäessä. Vesihöyryn osapaineeseen vaikuttaa myös rakenteessa käytettävien materiaalien vesihöyrynvastukset. Vesihöyryn osapaine rakenneosassa saadaan kaavalla 26.

$$P_x = P_s - \frac{Z_x}{Z_T} * (P_s - P_u) \quad (26)$$

missä  $P_s$  on vesihöyryn osapaine rakenteen sisäosassa.  $Z_x$  on rakenteen vesihöyrynvastus tarkasteltavassa osassa.  $Z_T$  on rakenteen kokonaisvesihöyrynvastus.  $P_s$  on rakenteen sisäpuolen vesihöyryn osapaine.  $P_u$  on rakenteen ulkopuolen vesihöyryn osapaine. Kaavan yksikkö on (Pascal). [17.]

Rakenteen lämpötilan ja vesihöyryn osapaineen avulla saadaan määritettyä kastepisteen kohta rakennekerroksessa. Kastepiste on siinä kohdassa rakennetta, missä rakenteen ilman kyky sitoa vesihöyryä on matalampi, kuin lämpimämmän ilman, mikä tulee sisältä ulospäin. Lämmin ilma sisältää enemmän kosteutta kuin kylmempi ilma pystyy sitomaan itseensä.

Vesihöyryn kulkeutumista rakenteeseen voidaan pienentää hyvin vesihöyryä vastustavalla kerroksella. Hyvin vesihöyryä vastustava kerros vähentää vesihöyryn kulkeutumista rakenteisiin sinä määrin, että kylmempikin ilma pystyy sitomaan kaiken vesihöyryn itseensä rakenteessa.

Vesihöyryä vastustavia kerroksia kutsutaan höyrynsulkukerroksiksi ja höyrynsulku voidaan toteuttaa esimerkiksi höyrynsulkumuovin avulla. Höyrynsulkukerros tulee asentaa siten, että höyrynsulkukerroksen jälkeinen rakenne pääsee kuivumaan ulkoilmaan. Sääntönä on, että avo-  
huokoisella lämmöneristeellä toteutetuissa vaipparakenteissa lämmöneristyksen lämpimällä puolella olevan vesihöyrynvastuksen tulee olla aina vähintään viisinkertainen lämmöneristeen ulkopuolella olevan tuulensuojakerroksen vesihöyryvastukseen verrattuna. [14.]

### 3 Lämpöenergian tuottaminen

Tässä kappaleessa perehdytään ilmavesilämpöpumpun ja maalämpöpumpun toimintaan. Kappaleessa on kerrottu lämpöpumpuista yleisesti sekä tarkasteltu lämpöpumppujen sähkönkulutusta. Laajempi tehomitoitus on tässä työssä rajattu pois.

#### 3.1 Ilmavesilämpöpumppu

Ilmavesilämpöpumppu on laite, joka siirtää ilmassa olevan lämpöenergian lämmitettävään veteen. Ilmavesilämpöpumpun toiminta perustuu kaasujen tilanmuutoksiin ja kiertoprosessin hyödyntämiseen. Ilmavesilämpöpumppu soveltuu kohteisiin, missä maalämpökaivoja ei voida tehdä. Ilmavesilämpöpumppujen hyötysuhde sekä alin toimintalämpötila vaihtelevat pumpun valmistajan mukaan.

Ilmavesilämpöpumppujen teho laskee noin 50 % lämpötilojen laskiessa alle  $-20^{\circ}\text{C}$  lämpötilan. Ilmavesilämpöpumpun teho on yleensä annettu  $7^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa, joka tulee huomioida laitetta mitoittaessa. Kaikkien kylmimmissä olosuhteissa ilmavesilämpöpumppu sammuttaa itsensä, jolloin puuttuva lämmitysteho on tuotettava muulla tehonlähteellä. [18.]

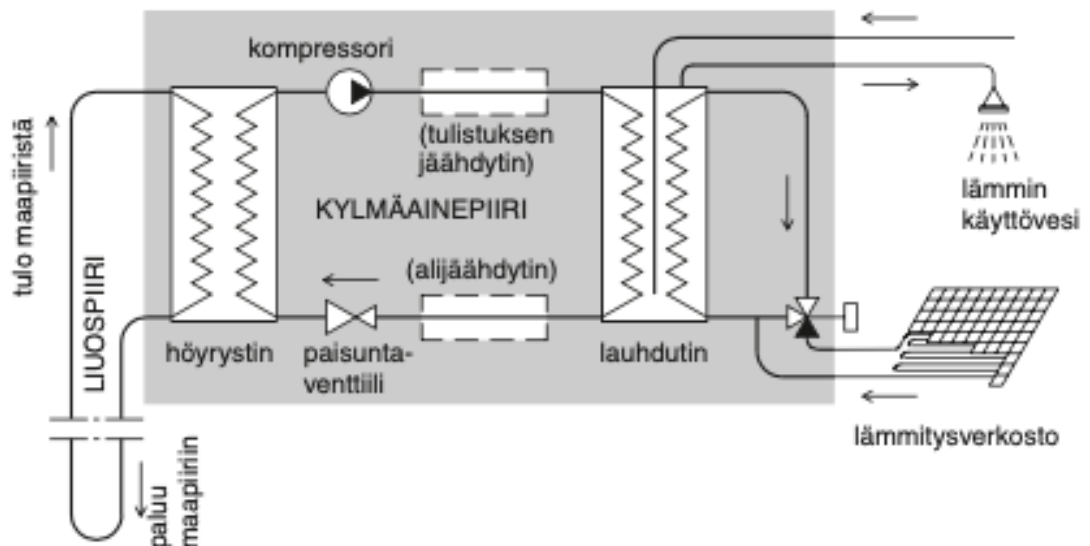
Ilmavesilämpöpumpuissa hyötysuhde on ilmoitettu yleensä COP-luvulla. COP-luku kertoo kuinka paljon energiaa laite voi tuottaa kulutettua sähkömäärää kohden. COP lukuja on ilmoitettu standardin EN 255 mukaan tai standardin EN 14511 mukaan. Nykyinen EN 14511 -standartti antaa alhaisemman COP-luvun laiteelle, kun taas EN 255 -standartti antaa suuremman COP-luvun samalle laitteelle. [19.]

Ilmavesilämpöpumpun lämpökertoimenä tässä työssä käytetään SPF-lukua. SPF on lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin. SPF-lukua voidaan pitää tarkempaan muihin lämpökertoimiin verrattuna, sillä sen ottaa huomioon myös lämpimän käyttöveden tuottamisen tilojen lämmitysten lisäksi lämpöpumpulla. [20.]

### 3.2 Maalämpöpumppu

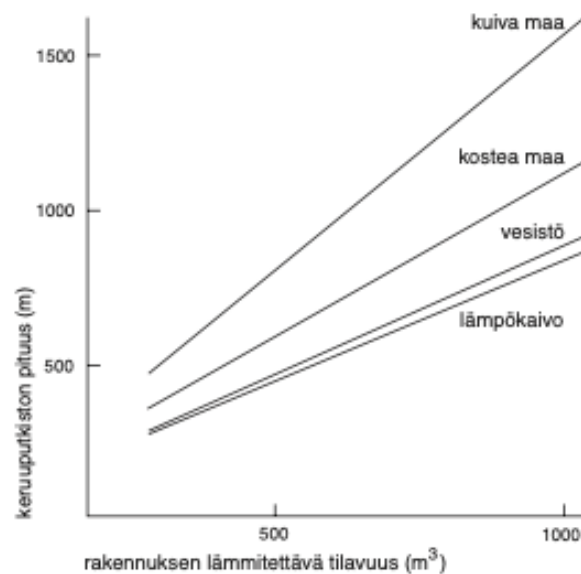
Maalämpöpumppu on laite, joka muuttaa maahan säilyneen auringon lämpösäteilyn tilojen lämmittämiseen sopivaksi lämmöksi. Maalämpöpumpun toiminta perustuu samoihin periaatteisiin, kuin muillakin lämpöpumpuilla. Maalämmössä pumpulle tuleva lämpö kerätään keruupiirillä maasta, vedestä tai muusta lämmönlähteestä pumpulle, missä lämpötila nostetaan kiertoprosessin avulla tilojen lämmittämiseen sopivaksi. [21.] Maalämpöpumpun periaatekuva on esitetty kuvassa 2.

Maalämmön mitoittamiseen vaikuttavat olemassa oleva lämmönlähde sekä asennustapa keruupiirille. Keruupiiri voi olla maahan vaakasuoraan asennettava tai keruupiiri voidaan asentaa lämpökaivoon. Maalämpöpumpun teho kannattaa mitoittaa täystehoiseksi eli pumppu kattaa tilojen lämmityksen kokonaan. Lämpöpumpun rinnalla käytetään puskurivaraajaa, johon lämpöpumpun tuottama lämmin vesi varastoidaan. Varaajan avulla lämmöntuotto tasataan ja vältytään lämpöpumpun lyhyiltä käyntiajoilta, jotka huonontavat pumpun hyötysuhdetta. Lämpimän käyttöveden lämmitystapa riippuu laitevalmistajasta. [22.]



Kuva 2. Maalämpöpumpun periaatekuva. [22, s. 2]

Maalämpöpumpun keruupiirin mitoitus riippuu rakennuksen lämmitettävästä pinta-alasta. Keruupiiristöön siirtyvä lämpöenergia riippuu maanperän kosteudesta. Mitä kosteampi maaperä on sitä paremmin maaperän lämpöenergia siirtyy keruupiiristöön. Keruupiiren teho on parhaimmillaan lämpökaivoon tai vesistöön asennettaessa. Lämpökaivon tarkoitus on se, että kaivo täyttyy vedellä ja täten maaperän lämpöenergia siirtyy tehokkaasti keruuputkistoon. [22.] Kuvassa 3 on esitetty keruupiiristön pituuden suhteita eri rakennuksen tilavuuksilla ja eri keruupiiriin asennuspaikoilla.



Kuva 3. Keruupiiristön pituus eri lämmönlähteillä ja lämmöntarpeella. [22, s. 4]

Maalämpöpumppujen lämpökertoimet ilmoitetaan joko COP-arvoina tai SCOP-arvoina. SCOP-arvo on kasvattamassa suosiotaan maalämpöpumpuissa. SCOP tarkoittaa lämpöpumpun vuosilämpökerrointa eli laitteen lämpökertoimen arvon koko lämmityskauden ajan. SCOP-kertoimen lisäksi voidaan ilmoittaa merkintä ”kylmä”, mikä tarkoittaa, että SCOP-arvo on laskettu kylmemmän ilmaston mukaan. SCOP-kylmän laskentailmastona on käytetty Helsingin ilmastoa. [19.]

Maalämpöpumpun lämpökertoimena tässä työssä käytetään SPF-lukua. SPF on lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin. SPF-lukua voidaan pitää tarkempana muihin lämpökertoimiin verrattuna, sillä sen ottaa huomioon myös lämpimän käyttöveden tuottamisen tilojen lämmitysten lisäksi lämpöpumpulla. [20.]

### 3.3 Maalämpöpumppujen sähkönkulutus

Lämpöpumppujen teho ilmoitetaan tietyssä mitoituslaitanteessa. Mikäli lämpöpumppu lämmittää vettä, ilmoitetaan veden lämpötila mitoituslaitanteessa. Lämpöpumppujen lämmitysteho ilmoitetaan mitoituslaitanteessa kohdan 27 mukaan.

$$\theta_{lpn}(T_{ulko}/T_{meno}) \quad (27)$$

missä  $T_{ulko}$  on ulkoilman lämpötila ja  $T_{meno}$  on menoveden lämpötila. Lämmitystehon yksikkö on watti. [20.]

Tilojen lämmitysenergiatarve on se tehomäärä, mikä tarvitaan tilojen lämmittämiseen kylmimpänä ajankohtana. Kylmin mitoittava lämpötila riippuu sijainnin mukaan. Mitoituslämpötilan tehontarve määrää lämpöpumpun tehon. Tilojen lämmitysenergian tarve mitoituslaitanteessa ilmoitetaan muodossa 28.

$$\theta_{tila} \text{ [mitoituslämpötila]} \quad (28)$$

missä mitoituslämpötila on säävyöhykkeen mitoituslämpötila. [20.] Säävyöhykkeellä 1 (-26°C), säävyöhykkeellä 2 (-29°C), säävyöhykkeellä 3 (-32°C), säävyöhykkeellä 4 (-38°C). [5.]

Lämpöpumpun suhteellinen lämpöteho ilmoittaa lämpöpumpun tehon suhteessa tilojen lämmittämiseen tarvittavaan tehoon mitoituslaitanteessa. Lämpöpumpun suhteellinen lämpöteho laskeaan kaavalla 29.

$$\theta_{lpn}/\theta_{tila} \quad (29)$$

missä  $\theta_{lpn}$  on lämpöpumpun lämmitysteho.  $\theta_{tila}$  on tilojen tarvitsema lämmitysenergia mitoituslaitanteessa. [20.]

Tilojen vuotuinen lämmitysenergian ja lämpimän käyttöveden suhde ilmoittaa tilojen tarvittavan tehontarpeen ja lämpimän käyttöveden tehontarpeen suhteen mitoituslaitanteessa. Tilojen ja käyttöveden vuotuinen lämmitysenergian suhde ilmoitetaan muodossa 30.

$$\theta_{\text{l\u00e4mmitys,tilat}}/\theta_{\text{l\u00e4mmitys,LKV}} \text{ (30)}$$

miss\u00e4  $\theta_{\text{l\u00e4mmitys,tilat}}$  on tilojen l\u00e4mmityksen energiantarve mitoitustilanteessa.  $\theta_{\text{l\u00e4mmitys,LKV}}$  on l\u00e4mpim\u00e4n k\u00e4ytt\u00f6veden energiantarve. [20.]

Taulukosta 7 voidaan lukea maal\u00e4mp\u00f6pumpun ja taulukosta 8 ilmavesil\u00e4mp\u00f6pumpun suhteellinen l\u00e4mp\u00f6teho. Suhteellinen l\u00e4mp\u00f6teho luetaan rakennuksen sijainnin, tilojen ja k\u00e4ytt\u00f6veden l\u00e4mmitysenergian suhteen, l\u00e4mp\u00f6pumpun ja tilojen l\u00e4mmitysenergian suhteen ja menoveden l\u00e4mp\u00f6tilan perusteella. Ensiksi taulukosta luetaan l\u00e4mp\u00f6pumpun tuottama teho ja tilan tehontarpeen suhde ja sen j\u00e4lkeen luetaan tilojen ja l\u00e4mpim\u00e4n k\u00e4ytt\u00f6veden tehontarpeen suhde. T\u00e4m\u00e4n j\u00e4lkeen valitaan menoveden l\u00e4mp\u00f6tila ja s\u00e4\u00e4vy\u00f6hyke. Arvojen leikkauskohdassa saadaan l\u00e4mp\u00f6pumpun tuottama energiaosuus vuositasolla l\u00e4mmityksen osalta.

Taulukko 7. Maalämpöpumppujen suhteellinen lämpöenergia. [20, s. 7]

$\phi_{pnp}/\phi_{sta}$	$Q_{\text{lämmitys,IIaI}}/$ $Q_{\text{lämmitys,I,KV}}$	Säävyöhyke: I-II				Säävyöhyke: III				Säävyöhyke: IV			
		$T_{m, \text{ °C}}$				$T_{m, \text{ °C}}$				$T_{m, \text{ °C}}$			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,3	0,5	0,39	0,39	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,38	0,36	0,36	0,36	0,36
	1	0,47	0,47	0,47	0,47	0,46	0,46	0,46	0,46	0,44	0,44	0,44	0,44
	2	0,62	0,60	0,58	0,56	0,60	0,58	0,56	0,54	0,44	0,54	0,52	0,51
	4	0,68	0,65	0,62	0,59	0,67	0,63	0,60	0,58	0,63	0,59	0,56	0,54
0,4	0,5	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,48	0,48	0,48	0,48
	1	0,67	0,66	0,65	0,64	0,65	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59
	2	0,78	0,75	0,72	0,70	0,76	0,73	0,70	0,68	0,59	0,69	0,67	0,64
	4	0,84	0,79	0,76	0,73	0,82	0,77	0,73	0,70	0,78	0,73	0,69	0,66
0,5	0,5	0,65	0,65	0,65	0,65	0,63	0,63	0,63	0,63	0,61	0,61	0,61	0,61
	1	0,82	0,80	0,78	0,76	0,80	0,78	0,76	0,74	0,77	0,74	0,73	0,71
	2	0,90	0,87	0,84	0,81	0,89	0,85	0,82	0,79	0,71	0,81	0,78	0,75
	4	0,92	0,89	0,86	0,83	0,91	0,88	0,84	0,81	0,89	0,84	0,80	0,76
0,6	0,5	0,81	0,80	0,79	0,78	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,74	0,73
	1	0,92	0,90	0,88	0,86	0,91	0,88	0,86	0,84	0,88	0,85	0,82	0,80
	2	0,95	0,93	0,91	0,89	0,95	0,92	0,90	0,87	0,80	0,90	0,86	0,83
	4	0,96	0,94	0,92	0,90	0,96	0,93	0,91	0,88	0,95	0,91	0,88	0,85
0,7	0,5	0,92	0,90	0,88	0,87	0,90	0,88	0,87	0,86	0,87	0,85	0,84	0,83
	1	0,97	0,95	0,94	0,92	0,96	0,95	0,93	0,91	0,95	0,92	0,90	0,88
	2	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,96	0,94	0,92	0,88	0,95	0,92	0,90
	4	0,98	0,97	0,95	0,94	0,98	0,96	0,95	0,93	0,98	0,95	0,93	0,90
0,8	0,5	0,97	0,96	0,95	0,94	0,97	0,95	0,94	0,93	0,95	0,93	0,91	0,90
	1	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95	0,98	0,96	0,95	0,93
	2	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,97	0,95	0,95
	4	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,98	0,97	0,95	0,99	0,98	0,96	0,94
0,9	0,5	0,99	0,98	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96	0,99	0,97	0,96	0,95
	1	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	0,99	0,98	0,97	0,96
	2	1,00	0,99	0,98	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
	4	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,98	0,97	1,00	0,99	0,97	0,96
1,0	0,5	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98	1,00	0,99	0,98	0,97
	1	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	2	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	0,99	0,99	0,98
	4	1,00	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	1,00	1,00	0,99	0,98

Taulukko 8. Ilma-vesilämpöpumppujen suhteellinen lämpöenergia. [20, s. 8]

$\phi_{p}/\phi_{sis}$	$Q_{l\ddot{a}mmitys,tilat}/Q_{l\ddot{a}mmitys,LKV}$	Saavyohyke: I-II				Saavyohyke: III				Saavyohyke: IV			
		$T_{m}, ^\circ C$				$T_{m}, ^\circ C$				$T_{m}, ^\circ C$			
		30	40	50	60	30	40	50	60	30	40	50	60
0,3	0,5	0,33	0,33	0,33	0,33	0,31	0,31	0,31	0,31	0,28	0,28	0,28	0,28
	1	0,39	0,39	0,39	0,39	0,37	0,37	0,37	0,37	0,33	0,33	0,33	0,33
	2	0,49	0,48	0,47	0,46	0,46	0,45	0,44	0,44	0,40	0,39	0,39	0,38
	4	0,56	0,54	0,52	0,50	0,53	0,51	0,49	0,48	0,46	0,44	0,43	0,41
0,4	0,5	0,44	0,44	0,44	0,44	0,42	0,42	0,42	0,42	0,38	0,38	0,38	0,38
	1	0,52	0,52	0,52	0,52	0,50	0,50	0,49	0,49	0,44	0,44	0,44	0,44
	2	0,63	0,61	0,60	0,58	0,60	0,58	0,57	0,56	0,52	0,51	0,50	0,49
	4	0,68	0,65	0,63	0,61	0,64	0,62	0,60	0,58	0,56	0,54	0,52	0,51
0,5	0,5	0,54	0,54	0,54	0,54	0,52	0,52	0,52	0,52	0,47	0,47	0,47	0,47
	1	0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,60	0,55	0,54	0,54	0,53
	2	0,73	0,71	0,69	0,68	0,70	0,68	0,66	0,64	0,61	0,60	0,58	0,57
	4	0,78	0,75	0,72	0,70	0,74	0,71	0,68	0,66	0,64	0,62	0,60	0,58
0,6	0,5	0,64	0,64	0,64	0,64	0,62	0,62	0,62	0,61	0,55	0,55	0,55	0,55
	1	0,75	0,74	0,72	0,72	0,72	0,70	0,69	0,69	0,64	0,63	0,62	0,61
	2	0,82	0,79	0,77	0,75	0,78	0,76	0,74	0,72	0,69	0,67	0,65	0,64
	4	0,84	0,82	0,80	0,77	0,81	0,78	0,76	0,73	0,71	0,69	0,66	0,64
0,7	0,5	0,73	0,73	0,73	0,73	0,70	0,70	0,70	0,70	0,63	0,63	0,63	0,63
	1	0,83	0,81	0,80	0,78	0,79	0,78	0,76	0,75	0,71	0,69	0,68	0,67
	2	0,87	0,85	0,83	0,82	0,84	0,82	0,80	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69
	4	0,89	0,87	0,85	0,83	0,86	0,84	0,81	0,79	0,76	0,74	0,72	0,70
0,8	0,5	0,81	0,80	0,80	0,79	0,80	0,80	0,79	0,78	0,72	0,71	0,71	0,70
	1	0,88	0,87	0,85	0,84	0,86	0,85	0,84	0,82	0,77	0,76	0,74	0,73
	2	0,90	0,89	0,88	0,86	0,88	0,86	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74
	4	0,91	0,90	0,88	0,87	0,88	0,87	0,85	0,84	0,79	0,77	0,76	0,74

Lämpöpumppu ei välttämättä pysty tuottamaan tiloille tarvittavaa energiaa ilman lisälämmitystä. Lisälämmitys tuotetaan lämpöpumpuissa yleisesti sähkön avulla. Lisälämmitysenergia on siten suoralla sähköllä tuotettua energiaa, eikä sitä voida ottaa huomioon lämpöpumpun tuottamassa hyödyssä. Tilojen tarvitsema lisälämmitysenergia lasketaan kaavalla 31.

$$\theta_{l\ddot{a}l\ddot{a}mmitys,tilat} = (1 - Q_{lp}/Q_{l\ddot{a}mmitys,tilat,LKV}) * \text{l\ddot{a}mm\ddot{o}ntarve mitoitustilanteessa (31)}$$

missä  $Q_{lp}/Q_{l\ddot{a}mmitys,tilat,LKV}$  on suhteellinen lämpöenergia taulukosta 9 tai 10. [20.]

Lämmin käyttövesi tuotetaan monesti tilojen lämmitysenergian yhteydessä. Lämpimän käyttöveden lämpötila voi olla käytettävää kiertovettä korkeampaa ja siksi lämmintä käyttövettä joudutaan lisälämmittämään sähkön avulla. Lämpimän käyttöveden tarvitsema lisälämmitysenergia lasketaan kaavalla 32.

$$\theta_{\text{lisälämmitys,LKV}} = (1 - Q_{lp} / Q_{\text{lämmitys,tilat,LKV}}) * \text{lämpimän käyttöveden energiantarve (32) [20.]}$$

Lämpöpumppujen tuottama lämmitysenergia on se energiamäärä, minkä lämpöpumppu pystyy tuottamaan ilman lisälämmitysenergiaa. Lämpöpumppujen tuottama lämmitysenergia on siten energiamäärä, minkä lämpöpumppu tuottaa hyötynä kulutettuun suorasähköön verrattuna. Lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia tiloille lasketaan kaavalla 33.

$$Q_{LP,\text{lämmitys tilat}} = \theta_{\text{lämmitys tilat,mitoitus}} - \theta_{\text{lisälämmitys,tilat}} \quad (32) [20.]$$

Lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia lämpimälle käyttövedelle on se energiamäärä, minkä lämpöpumppu pystyy tuottamaan käyttövedelle ilman veden lämpötilan nostamista suoran sähkön avulla. Käyttövesi on samanlämpöistä kuin lämmitysjärjestelmässä kiertävän kiertoveden lämpötila. Lämpöpumpun tuottama lämmitysenergia lämpimälle käyttövedelle lasketaan kaavalla 34.

$$Q_{LP,\text{lämmitys,LKV}} = \theta_{\text{lämmin käyttövesi,mitoitus}} - \theta_{\text{lisälämmitys,LKV}} \quad (34) [20.]$$

Lämpöpumpun vuotuinen sähköenergiankulutus saadaan spf-lukujen avulla. Spf-luku kertoo, missä suhteessa lämpöpumppu pystyy tuottamaan lämpöenergiaa kuluttamaansa energiayksikköä kohden. Lämpöpumpun vuotuinen sähköenergian osuus ei pidä sisällään lisälämmityksestä aiheutuvaa sähkönkulutusta. Lämpöpumpun vuotuinen sähköenergiankulutus kertoo lämpöpumpun tarvitseman energian tilojen ja lämpimän käyttöveden osalta, mikä kuluu itse lämmön tuottoon prosessiin. Lämpöpumpun vuotuinen sähköenergian kulutus saadaan laskettua kaavalla 35.

$$W_{LP,\text{lämmitys}} = Q_{LP,\text{lämmitys tilat}} / SPF_{\text{tilat}} + Q_{LP,\text{lämmitys,LKV}} / SPF_{LKV} \quad (35)$$

missä  $SPF_{\text{tilat}}$  on lämpöpumpun vuosilämpökerroin tiloille taulukot 11 ja 12.  $SPF_{LKV}$  on lämpöpumpun vuosilämpökerroin lämpimälle käyttövedelle taulukosta 9 tai 10. [20.]

Taulukko 9. Ulkoilmalämpöpumppujen SPF-lukuja. [20, s. 11]

Ulkoilmalämpöpumput max. lämpötila (menovesi), °C	SPF-luku		
	Säävyöhykkeet		
	I-II	III	IV
Ilma-ilma	2,8	2,8	2,7
Ilma-vesi (tilojen lämmitys)			
30	2,8	2,8	2,7
40	2,5	2,5	2,4
50	2,3	2,3	2,2
60	2,2	2,1	2,0
Ilma-vesi (käyttöveden lämmitys)			
60	1,8	1,6	1,3

Taulukko 10. Maalämpöpumppujen SPF-lukuja. [20, s. 11]

Maalämpöpumppu max. lämpötila (menovesi), °C	SPF-luku	
	Vuotuinen keruupiirin paluunesteen keskilämpötila, °C	
	-3	+3
Tilojen lämmitys		
30	3,4	3,5
40	3,0	3,1
50	2,7	2,7
60	2,5	2,5
Käyttöveden lämmitys		
60	2,3	2,3

### 3.4 Aurinkokeräin

Aurinkokeräin on laite, jonka avulla auringon tuottama lämpösäteily siirretään nesteeseen. Aurinkokeräimessä oleva neste on yleensä vettä, johon on sekoitettu pakkasenkestoja parantavia aineita. Aurinkokeräimellä voidaan lämmittää lämmintä käyttövettä tai tilojen lämmitykseen tarvittavaa kiertovettä. Aurinkokeräimen lämpöä siirtävänä elementtinä voi toimia myös ilma. [23.]

Aurinkokeräinjärjestelmä koostuu aurinkokeräimistä, varaajasta, putkistosta, lämmönsiirtimestä, pumppuyksiköstä ja varolaitteista. Pumppuyksikkö kierrättää lämmönsiirtonestettä aurinkokeräinten ja lämmönsiirtimeen läpi. Lämmönsiirrin on kytketty joko talon lämmitysjärjestelmään tai lämminvesivaraajaan. [23.]

Aurinkokeräimen lämmön tuotto on riippuvainen vallitsevasta vuodenaajasta. Talvella keräimen tuottama lämpö on heikoimmillaan ja kesäkuukausina se on parhaimmillaan. Aurinkokeräimen hyötysuhde huononee lämpötilaerojen kasvaessa lämpövuotojen seurauksena. Aurinkokeräimen tehoon vaikuttavat mm. lämmönsiirtonesteen ominaisuudet, aurinkokeräinjärjestelmän lämmöneristeiden lämmöneristävyys ja auringon tulokulma. [24.]

Aurinkolämpöjärjestelmä voidaan kytkeä joko lämmittämän rakennuksen käyttövetä tai osaksi rakennuksen lämmitysjärjestelmää. Aurinkokeräin järjestelmän kytkemistä lämmitysjärjestelmään suositellaan niissä tapauksissa, missä lämmitys tapahtuu matalilla veden lämpötiloilla. [23.]

### 3.5 Aurinkokeräimen lämmöntuotto

Aurinkolämpöjärjestelmän lämmön tuotto vaihtelee vuodenaikojen mukaan. Aurinkolämpöjärjestelmän suunnittelussa voidaan tarkastella lämmön tuottoa jokaiselle kuukaudelle erikseen. Aurinkolämpöjärjestelmästä saatava tuotto kuukausitasolla lasketaan kaavalla 36.

$$Q_{tuotto,,A} = c_{tyyppi} * (aY + bX + cY^2 + dX^2 + eY^3) * Q_{tarve,A} \quad (36)$$

missä  $c_{tyyppi}$  on varaajatyypin korjauskerroin, käytetään arvoa 1.  $a = 1,029$ .  $b = -0,065$ .  $c = -0,245$ .  $d = 0,0018$ .  $e = 0,0215$ . [25.]

Aurinkolämpöjärjestelmässä tapahtuu myös lämmön ei-toivottua siirtymistä ulkoilmaan. Lämpöhäviöt aiheuttavat keräinten hyötysuhteen huonontumista. Järjestelmän lämpöhäviöt otetaan huomioon suureen X avulla. Suure X saadaan kaavalla 37.

$$X = \frac{A * U_c * n_{kierto} * dt * t_h * C_{cap}}{Q_{tarve,A}} \quad (37)$$

missä  $A$  on keräinten pinta-ala ( $m^2$ ).  $U_c$  on keräinpiirin lämpöhäviökerroin ( $w/m^2K$ ).  $n_{kierto}$  on keräinpiirin hyötysuhde, käytetään arvoa 0,8.  $dt$  on keräinten standardihäviöiden laskentaan käytettävä referenssilämpötilaero.  $t_h$  on tarkastelujakson pituus (h).  $c_{cap}$  on varastokapasiteetin korjauskerroin. [25.]

Aurinkolämpöjärjestelmään kytkettävällä varaajalla voidaan aurinkokeräinten tehohiippuja tasetta ja varastoida ylimääräinen lämpöenergia veteen. Varaaja otetaan huomioon järjestelmässä korjauskertoimen avulla. Varastokapasiteetin korjauskerroin saadaan kaavalla 38.

$$c_{cap} = \left(\frac{V_{tod}}{V_{ref}}\right)^{\wedge} - 0,25 \quad (38)$$

missä  $V_{tod}$  on varaajan suunniteltu tilavuus ( $m^3$ ).  $V_{ref}$  on referenssilavuus, 75 ( $dm^3/keräin-m^2$ ). [25.]

Lämmin käyttövesi sisältää energiaa sitoutuneena itseensä. Kyseinen korkealämpöinen vesi pyrkii tasaantumaan ulkolämpötilan kanssa. Lämmön luovuttaminen tapahtuu varaajan seinän läpi ulkoilmaan. Lämpimän käyttöveden lämpöhäviö otetaan huomioon suureessa  $X$  referenssilämpötilan avulla. Referenssilämpötilaero lasketaan kaavalla 39.

$$dT = \Theta_{ref} - \Theta_e \quad (39)$$

missä  $\Theta_{ref}$  on sovelluksesta ja varastotyypistä riippuva vertailulämpötila ( $^{\circ}C$ ).  $\Theta_e$  on tarkastelujakson keskimääräinen ulkolämpötila ( $^{\circ}C$ ). [25.]

Lämpimän käyttöveden lämpöhäviö riippuu käytettävien vesien lämpötiloista. Veden lämpötilan vaikutus otetaan huomioon vertailulämpötilan avulla. Sovelluksesta riippuva vertailulämpötila lasketaan kaavalla 40.

$$\Theta_{ref} = 11,6 + 1,18 * \Theta_{hw} + 3,86 \Theta_{cw} - 1,32\Theta_e \quad (40)$$

missä  $\Theta_{hw}$  on lämpimän käyttöveden minimilämpötila, käytetään arvoa ( $40^{\circ}C$ ).  $\Theta_{cw}$  on kylmän veden lämpötila, käytetään arvoa ( $5^{\circ}C$ ). [25.]

Aurinkokeräimen teho riippuu käytetystä asennuskulmasta. Asennuskulma vaikuttaa auringon säteilyenergian kulkeutumiseen kennon pinnalle. Aurinkokeräimen asennuskulmasta aiheutuva tehomuutos otetaan huomioon suureen  $Y$  avulla. Suure  $Y$  saadaan kaavalla 41.

$$Y = \frac{A \cdot IAM \cdot n_0 \cdot n_{kierto} \cdot Q_{keräin}}{Q_{tarve,A}} \quad (41)$$

missä keräinten pinta-ala ( $m^2$ ).  $U_c$  on keräinpiirin lämpöhäviökerroin ( $W/m^2K$ ).  $n_{kierto}$  on keräinpiirin hyötysuhde, käytetään arvoa 0,8.  $n_0$  on optinen hyötysuhde.  $Q_{keräin}$  on auringon säteilyenergia aurinkokeräinten tasopinoille tarkastelujaksolla ( $Wh/m^2, kk$ ).  $Q_{tarve,A}$  on lämmöntarve mikä kohdistuu aurinkokeräimille. IAM on keräintyyppin kohtaamiskulmakerroin:

IAM = 1 kattamaton keräin

IAM = 0,94 lasikatteinen tasokeräin

IAM = 0,97 tyhjiöputkikeräin tasomaisella absorptiopinnalla

IAM = 1 tyhjiöputkikeräin putkimaisella absorptiopinnalla [25.]

Auringosta saatava säteilyenergian määrä riippuu käytetystä kallistuskulmasta sekä sijainnista. Etelämpänä auringon energia kohdistuu suuremmissa kulmissa kennoon ja täten kennon tuottama energiamäärä on suurempi kuin esimerkiksi pohjoisessa, missä auringon säteilyenergia tulee viistosti kennon pintaan. Pohjoisempana aurinkokennojen tuottamaa energiaa saadaan suuremmaksi suuntaamalla ne aurinkoon päin ja kallistamalla kennot vaakasuoraan pystyasentoon. Taulukossa 11 on esitetty paikkakuntaakohtaisia auringon säteilyenergiämääriä Suomessa. Taulukossa 12 on esitetty kallistuskulman aiheuttama korjauskerroin paikkakunnalla Jyväskylä. Säteilyenergia kallistetulle pinnalle lasketaan kaavalla 42.

$$Q_{keräin} = k \cdot Q_{sät,0^\circ} \quad (42)$$

missä  $k$  on korjauskerroin, joka riippuu keräinten kallistuskulmasta.  $Q_{sät,0^\circ}$  on vaakatasolle tuleva säteilyenergia, joka on paikkakuntaakohtainen ( $kWh/m^2 \cdot kk$ ). Kaavan yksikkö on ( $kWh/m^2 \cdot kk$ ). [25.]

Taulukko 11. Paikkakuntaakohtaiset säteilyenergiat vaakapinnalle. [25, s. 15]

Kuukausi	Säteilyenergiat vaakasuoralle pinnalle (kallistuskulma 0°) paikkakunnittain, (kWh/m <sup>2</sup> ,kk)		
	Helsinki	Jyväskylä	Sodankylä
Tammikuu	6	5	1
Helmikuu	22	20	14
Maaliskuu	64	52	48
Huhtikuu	120	103	121
Toukokuu	166	171	128
Kesäkuu	169	159	154
Heinäkuu	181	158	146
Elokuu	127	114	95
Syyskuu	82	71	64
Lokakuu	26	25	17
Marraskuu	8	7	3
Joulukuu	4	3	0
<b>Vuosi</b>	<b>975</b>	<b>890</b>	<b>791</b>

Taulukko 12. Kallistetun keräimen korjauskertoimet etelään suunnattuna ja paikkakunnan ollessa Jyväskylä [25, s. 16]

Kuukausi	Korjauskertoimet etelään suunnatulle keräimelle eri kallistuskulmilla, paikkakunta Jyväskylä				
	0°	30°	45°	60°	90°
Tammikuu	1,00	1,50	1,75	1,75	1,75
Helmikuu	1,00	1,95	2,27	2,50	2,55
Maaliskuu	1,00	1,57	1,75	1,85	1,75
Huhtikuu	1,00	1,25	1,30	1,29	1,13
Toukokuu	1,00	1,09	1,07	1,01	0,78
Kesäkuu	1,00	1,03	0,99	0,90	0,63
Heinäkuu	1,00	1,05	1,01	0,93	0,66
Elokuu	1,00	1,12	1,11	1,05	0,80
Syyskuu	1,00	1,28	1,33	1,33	1,11
Lokakuu	1,00	1,46	1,62	1,65	1,54
Marraskuu	1,00	1,33	1,33	1,50	1,33
Joulukuu	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50
<b>Vuosi</b>	<b>1,00</b>	<b>1,21</b>	<b>1,26</b>	<b>1,27</b>	<b>1,13</b>

### 3.6 Aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmä tarkoittaa järjestelmää, mihin kuuluvat aurinkokennot, invertteri sekä akusto. Aurinkosähköjärjestelmä voidaan tehdä myös ilman akustoa, jolloin investointikustannukset pienenevät. Aurinkosähköjärjestelmän teho muodostuu sijainnin sekä käytettävien aurinkokennojen mukaan. Aurinkokenno muuttaa auringon säteilyn sähköksi valosähköisen ilmiön avulla. [26.]

Aurinkokennoja on monia eri malleja ja aurinkokennojen ominaisuudet riippuvat käytetyistä materiaaleista. Perinteisen aurinkokennon lisäksi käytetään half-cut-kennoisia aurinkokennoja. Half cut -ratkaisussa aurinkokenno on jaettu pienempiin osiin perinteisiin aurinkokennoihin verrattuna. Half cut -mallissa aurinkopaneelin tehoa saadaan suuremmaksi perinteisiin paneeleihin verrattuna, sillä half cut -mallisissa paneeleissa hukkalämmön osuus paneelia kohti pienenee perinteisiin paneeleihin verrattuna. Half-cut-paneelien etuina ovat myös pidempi käyttöikä ja parempi toiminta osittain varjostettuna. [27.]

Vaihtosuuntaajan eli invertterin avulla aurinkokennojen tuottama sähkö muutetaan vaihtosähköksi ja sopivalle jännitteelle verkkovirtalaitteistojen käytettäväksi. Suurin osa nykyisistä inverttereistä pystyy mukautumaan kulutuksen ja aurinkokennojen tuoton mukaan, joko varastoimaan ylimääräisen sähköenergian akkuihin tai myymään ylimääräisen sähköenergian yleiseen verkkoon. Invertteristä saatava teho määräytyy aurinkokennojen sähkötehon ja invertterin ominaisuuksien mukaan. [28.]

Akustona voidaan aurinkokennojärjestelmässä käyttää joko perinteisiä lyijyakkutyyppejä tai litiumakkuja. Litiumakkujen suurin etu tavallisiin akkumalleihin on suurempi energiatiheys painoyksikköä kohden. Lyijyakkujen etuna on alhaisempi hankintahinta litium-akkuihin verrattuna. Lyijyakut ovat lyhyempi-ikäisempiä litium-akkuihin verrattuna. [29.]

Aurinkosähköjärjestelmän teho määräytyy itse kennojen lisäksi myös sijainnin perusteella. Sijainti vaikuttaa aurinkopaneelien tehoon, koska auringon säteilynteho heikkenee pohjoista kohti mentäessä. Parhaimman hyödyn aurinkopaneeleista saa suuntaamalla ne etelään päin. [30.]

### 3.7 Aurinkosähköjärjestelmän sähköteho

Aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähköteho on riippuvainen itse aurinkokennon lisäksi käytetystä kallistuskulmasta sekä sijainnista. Kennostoon kohdistuva säteilyenergian määrä on paikkakohtainen ja etelämpänä säteilyenergia on pohjoista suurempaa. Aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähköteho lasketaan kaavalla 43.

$$W_{pv} = \frac{G_{aur} * P_{max} * F_{käyttö}}{I_{ref}} \quad (43)$$

missä  $G_{aur}$  on kennostoon kohdistuva auringon säteilyn energia vuoden aikana (kWh/m<sup>2</sup>).  $P_{max}$  aurinkosähkökennojen tuottama suurin sähköteho, jonka kennosto tuottaa referenssisäteilytilanteessa ( $I_{ref} = 1 \text{ kW/m}^2$ , referenssilämpötilassa 25 °C), kW.  $F_{käyttö}$  on käyttötilanteen toimivuuskerroin.  $I_{ref}$  on referenssisäteilytilanne (1 kW/m<sup>2</sup>). [25.]

Aurinkokennon teho muodostuu kennostoon kohdistuvasta auringon säteilystä. Auringon säteilyn määrään vaikuttaa aurinkokennon asento ja asennuspaikan auringon säteilyenergian määrä. Kennostoon kohdistuva auringon säteily määrä otetaan huomioon korjauskertoimen avulla. Kennostoon kohdistuva auringon säteilyenergia lasketaan kaavalla 44.

$$G_{aur} = G_{aur,hor} * F_{asento} \quad (44)$$

missä  $G_{aur,hor}$  on vaakatasolle osuvan auringon säteilyn kokonaisenergian määrä vuodessa (kWh/m<sup>2</sup>). [5].  $F_{asento}$  on aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin. [25.]

Aurinkokennojen suunta ja kallistuskulma vaikuttavat järjestelmästä saatavaan tehoon. Aurinkokennojen asennussuunta ja kallistuskulma vaikuttavat aurinkokennoon tulevaan auringon säteilyenergiamäärään. Taulukossa 13 on esitetty ilmansuunnasta johtuvat korjauskertoimet ja taulukossa 14 on esitetty asennuskulmasta johtuvat korjauskertoimet. Aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin lasketaan kaavalla 45.

$$F_{asento} = F_1 * F_2 \quad (45)$$

missä  $F_1$  on ilmansuunnan mukainen korjauskertoin taulukko 13 ja  $F_2$  on kallistuksen mukainen kerroin taulukko 14. [25.]

Taulukko 13. Ilmansuunnan mukainen korjaus kerroin. Mukailten [25, s. 21]

<b>Suuntaus</b>	<b>F1</b>
etelä/kaakko/lounas	1
ita/länsi	0,8
pohjoinen/koillinen/luode	0,6

Taulukko 14. Kallistuksen mukainen korjaus kerroin. Mukailten [25, s. 21]

<b>Kallistukulma</b>	<b>F2</b>
<30°	1
30°...70°	1,2
>70°	1

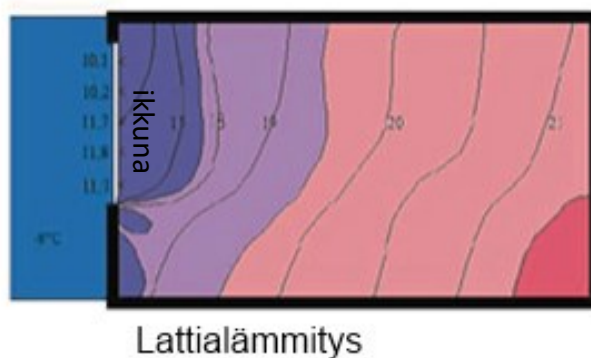
## 4 Tilojen lämmittäminen

Rakennuksen tiloja voidaan lämmittää esimerkiksi seinäpatterien, lattialämmityksen, konvektorien tai kattolämmityksen avulla. Tilojen lämmittämisen muoto määräytyy tilojen tarpeen ja käyttökävyyden mukaan. Tämän työn kohteessa lämpöenergia siirretään tiloihin veden avulla. Lämmityslaitteiden teho muodostuu lämmönlähteen tehosta, lämmittimen tehosta, veden virtaamasta ja vesimäärän suuruudesta. Tässä työssä tilojen lämmittäminen suunnitellaan järjestettävän joko seinäpatterien tai lattialämmityksen avulla, joten tämä työ käsittelee vesikiertoisten seinäpatterien ja lattialämmityksen toimintaa.

### 4.1 Lattialämmitys

Lattialämmityksen avulla huonekohtainen lämpötila saadaan saavutettua matalilla kiertoveden lämpötiloilla. Lattialämmityksen etuna on tasainen lämpötila, joka alkaa lattianrajasta. Vedon tunne on vähäistä lattiapintojen ollessa lämpimät. [31.] [32.]

Lattialämmityksessä osa lämpöenergiasta menee hukkaan lattiarakenteiden läpi. Myös paksut rakenteet lattialämmityspotkiston päällä pienentävät lattialämmityksen tehoa. Lattialämmityspotkistojen rikkoutuessa täytyy lattiarakenteita purkaa vian korjaamiseksi. Lattialämmityksellä toteutetuissa huoneissa huoneen lämpötila on alhaisempi ikkunoiden läheisyydessä. Ikkunoiden lähellä voi tuntua vedon tunnetta varsinkin kylmemmillä ilmoilla. [33.] [34.] Kuvassa 4 on esitetty lattialämmityksellä toteutetun huoneen lämpötilajakauma. Kuvasta nähdään, että huoneen kylmin alue on ikkunan läheisyydessä.



Kuva 4. Huoneen lämpötilajakauma lattialämmityksellä. [35, s .8]

Lattialämmityksen teho perustuu kiertävän veden lämpötilaan sekä vesimäärään, joka liikkuu lattialämmitysputkistossa. Lattiarakenteen käyttömukavuutta voidaan parantaa tiheämmällä putkivälillä, jolloin kylmät kohdat lattiassa pienenevät. [34.] Taulukossa 15 on esitetty ohjeelliset arvot lattialämmitysputkiston asennukselle sekä lattialämmityksen tehoon ja käyttömukavuuteen vaikuttavista seikoista.

Taulukko 15. Vesikiertoisen lattialämmityksen suositusarvoja. [34, s. 4]

	Suositusarvo	Vähimmäisarvo	Enimmäisarvo
Menoveden lämpötila, °C	35...50 <sup>1)</sup>	25...30 <sup>1)</sup>	50 <sup>1)</sup>
Meno/paluuveden lämpötilaero, °C	5...10 <sup>1)</sup>		
Lattian pintalämpötila, °C	25...27 <sup>2)</sup>	23 <sup>2)</sup>	30 <sup>2)</sup>
Putkien asennusväli, mm	150...200	50	300
Yhden lattialämmityspiirin painehäviö, kPa	15...20		
Asennussyvyys, mm	40	30	70
Kiertoveden virtausnopeus			
• muoviputki, m/s	0,3	0,1	1,0
• kupariputki, m/s	0,3	0,1	0,8
Maanvaraisen betonilaatan eristyspaksuus (polystyreeni), mm	100 <sup>3)</sup>		

<sup>1)</sup> Riippuu lattiarakenteesta.

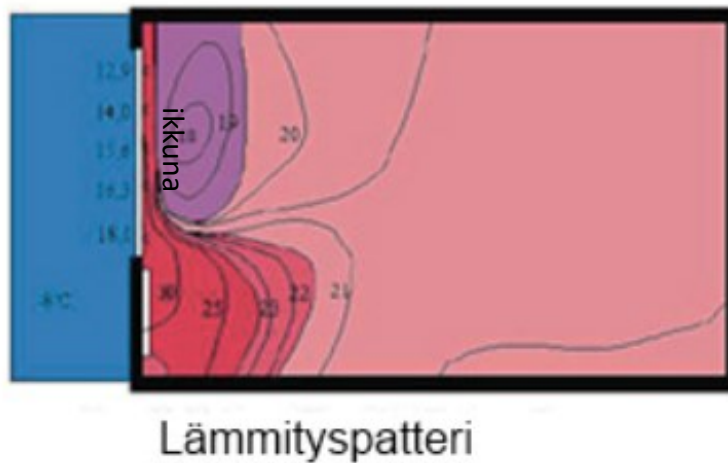
<sup>2)</sup> Laskennallinen raja-arvo, riippuu lattianpäällysteestä, huonetilan käyttötarkoituksesta ja keskimääräisistä lämpöhäviöistä.

- tiloissa, joissa säännöllisesti työskennellään seisten, lattian pintalämpötila on  $\leq +25$  °C
- asuinhuoneiden lattian pintalämpötila on  $\leq +26...+27$  °C
- kylpyhuoneissa, WC:ssä, uimahalleissa ja tiloissa, joita käytetään harvoin, lattian pintalämpötila on  $\leq +30$  °C
- varastoissa, autotalleissa yms. tiloissa lattian pintalämpötilana voidaan käyttää vähimmäisarvoa  $+23$  °C, jos lämpötehontarve sen sallii.

<sup>3)</sup> Ulommalla reuna-alueella eristyspaksuus on 150 mm, muualla 100 mm.

## 4.2 Lämmityspatteri

Lämmityspatteri lämmityksen avulla huoneilman lämpiäminen tapahtuu tasaisemmin verrattuna lattialämmitykseen, mikä voidaan nähdä kuvasta 5. Ikkunoiden alle asennettuna patterin tuottama lämpö siirtyy huoneilmaan ikkunan kohdalla syntyvän konvektiovirtauksen avulla. Ikkunoiden kohdalle asennettaessa lämmityspatterit vähentävät vedon tunnetta ikkunoiden läheisyydessä. Vikatilanteessa patterilämmitysjärjestelmä on kohtuullisen helppo korjata, jos järjestelmän putkisto on tehty pinta-asennuksilla. [36.]



Kuva 5. Huoneen lämpötilajakauma patterilämmityksellä. [35, s. 8]

Patterilämmitys vaatii suurempia veden lämpötiloja kuin lattialämmitys toimiakseen. Suositusarvot esitetty taulukossa 16. Kuumemman veden tuottaminen huonontaa lämpöpumppujen hyötysuhdetta. Patteriverkostoon keräytyy ajan mittaan rautasaostetta, joka tukkii patteritermostaateja ja muita linjaston säätölaitteita, mikäli järjestelmää ei puhdisteta säännöllisesti. [37.] [38.]

Patterilämmityksen teho perustuu kiertävän veden lämpötilaan, veden virtausnopeuteen ja veden lämpötilaan. Käytettävän menoveden lämpötilaa voidaan pienentää suurentamalla patterikokoja, jolloin lämmön siirtyminen huoneilmaan on tehokkaampaa. [39.] [40.]

Taulukko 16. Vesikiertoisen patterilämmityksen suositusarvoja. [40.s.2]

Lämmönlähde	Lämmönjakotapa	Meno/paluuveden lämpötila °C
Öljylämmitys	kaksiputkijärjestelmä	70/40
	yksiputkijärjestelmä	60/50
Kaukolämmitys	kaksiputkijärjestelmä	70/40**
	yksiputkijärjestelmä	60/50
Varaava lämmitys	kaksiputkijärjestelmä	60/40
	yksiputkijärjestelmä	60/50
Lämpöpumppulämmitys	kaksiputkijärjestelmä	60/40
	yksiputkijärjestelmä	60/50

\*) matalalämpöjärjestelmissä

\*\*\*) lämpötilat ovat enimmäislämpötiloja.

## 5 Lähtötilanne

Tämän opinnäytetyön Kohde on 1950-luvulla valmistunut kaksikerroksinen omakotitalo, joka sijaitsee Kajaanissa. Rakennus on peruskorjattu 1980-luvulla, minkä yhteydessä rakennuksen energiatehokkuutta on parannettu lisäeristämällä vanhojen rakenteiden päälle. Rakennuksen lämmitysenergian tuotanto toteutetaan nykyisellään sähköllä ja tulisijoilla. Rakennuksen ilmanvaihtona toimii painovoimainen ilmanvaihto. Rakennuksen ikkunat ovat kolmelasisia ja ulko-ovi on nykyaikainen puukuitu-ulko-ovi. Rakennuksen talotekniikka on uusittu edellisen peruskorjauksen yhteydessä.

Rakennuksen rakenteet ovat alkuperäisiä. Edellisen peruskorjauksen yhteydessä rakenteiden päälle on lisätty eristekerroksia ja levytyksiä. Alkuperäisten rakenteiden pääasiallinen rakennusmateriaali on puu. Rakenteiden alkuperäinen lämmöneristys on toteutettu purulla. Rakenteiden ilmatiiveys on varmistettu tervapaperin avulla. Lisälämmöneristykset on tehty mineraalivillalla. Rakenteiden levytykset on toteutettu puukuitulevyillä ja kipsilevyillä.

Rakennuksen rakenteissa on havaittu kosteusvaurioita kuntoarvion perusteella. Havainnot on todettu paikan päällä käymällä. Kosteusvaurioita on havaittu alapohjassa sekä yläpohjassa ja ullakkotilassa.

Rakenteiden yleisen kunnon ja käyttöiän perusteella on päätetty suorittaa kohteessa peruskorjaus. Peruskorjauksen yhteydessä rakenteiden energiatehokkuutta parannetaan ja rakennuksen ulkomuoto palautetaan alkuperäiseen 1950-luvun ulkoasuun. Rakennuksen LVI-järjestelmä päivitetään peruskorjauksen yhteydessä ja tilojen lämmittäminen pyritään tuottamaan ensisijaisesti lämpöpumpun avulla.

Talon energiankulutus pyritään suunnittelemaan siten, että vuotuinen lämpöpumppujen sähköenergiankulutus pystytään korvaamaan aurinkokennojen avulla. Lämmityskauden aikana kuluttu sähkö pyritään tuottamaan aurinkokennojen avulla ja ylimääräinen sähkö myydään takaisin sähköverkkoon. Lämmin käyttövesi pyritään lämmittämään kokonaisuudessaan aurinkokeräinten avulla niiltä osin kuin mahdollista. Loput lämpimän käyttöveden energiasta tuotetaan sähkön ja lämpöpumpun avulla.

## 5.1 Vanhat rakenteet

Kustannusten arvioinnin ja uusien rakenteiden suunnittelussa on käytetty lähtötietona vanhojen rakenteiden lämpöhäviöitä. Vanhojen rakenteita ja uusia rakenteita vertailemalla voidaan arvioida investoinnin kannattavuutta sekä miten rakenteiden energiatehokkuus on parantunut vanhoihin rakenteisiin verrattuna. Vanhojen rakenteiden havainnekuvat on piirretty paikan päällä tehtyjen havaintojen perusteella.

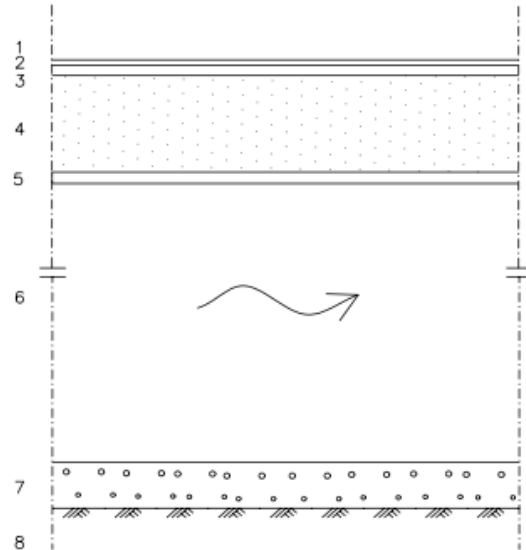
### 5.1.1 Alapohja

Alapohjarakenne on tuulettuva alapohja. Alapohjan keskimääräinen korkeus maanpinnasta on noin 50 cm. Alapohjarakenne on eristetty EPS-levyllä sokkelirakenteen ulkopinnasta. Sokkelirakenne on betonia. Oletetaan, että routaeristykset puuttuvat. Alapohjan tuuletus tapahtuu kolmen tuuletusaukon kautta, joiden koko on 150 cm X 150 cm. Ryömintätilan pohja on eristämätön ja pohjana toimii perusmaa. Ryömintätilan sokkelirakenteet ovat eristämättömiä. Alapohjarakenne ryömintätilaan päin on: parketti 13 mm, alkuperäinen lattialaudoitus 25 mm, puru 500 mm, aluslaudoitus 25 mm. Lattiarakenteiden kantava materiaali on puu. Kuvassa 6 on esitetty vanha alapohjarakenne. Alapohjan eristeen ja puuosien lämmönjohtavuutena on käytetty arvoa 0,13 W/(K·m) Alapohjarakenteen lämmönläpäisykerroin kohdan (2.4.2) mukaan laskettuna on 0,1 W/m<sup>2</sup>K.

Alapohjan lämmönläpäisykerroin on verrattain hyvä verrattuna nykyisiin määräysten arvoihin, joka tuuletetulle alapohjalle on 0,09 W/m<sup>2</sup>K ja vähän tuuletetulle alapohjalle 0,17 W/m<sup>2</sup>K. [41]. Lämmönläpäisykerrointa parantaa vanhassa rakenteessa se, että alapohjan tuuletus on vähäistä ja sokkelirakenne on eristetty.

Alkuperäisissä alapohjarakenteissa on havaittu lahovaurioita. Alapohjan lahovauriot ovat todennäköisesti syntyneet alapohjan riittämättömästä tuuleutuksesta sekä eristämättömästä maanpinnasta alapohjarakenteessa. Eristämätön maaperä aiheuttaa kosteusrasitusta alapohjarakenteessa ja huonon tuuletuksen vuoksi kosteus ei pääse kulkeutumaan pois rakenteista. Kosteus tiivistyy puihin rakenteisiin ja aiheuttaa niissä kosteus- ja mikrobivaurioita. Uutta alapohjarakennetta suunniteltaessa tulee nämä seikat huomioida.

Kuva 6. Vanha alapohjarakenne



- 1 Parketti
- 2 Askeläänieriste
- 3 25 mm pontattu lattialauta
- 4 Purueriste 500mm
- 5 Aluslaudoitus 25mm
- 6 Tuuletuväli 500mm
- 7 Tasaushiekka
- 8 Perusmaa

### 5.1.2 Ulkoseinät

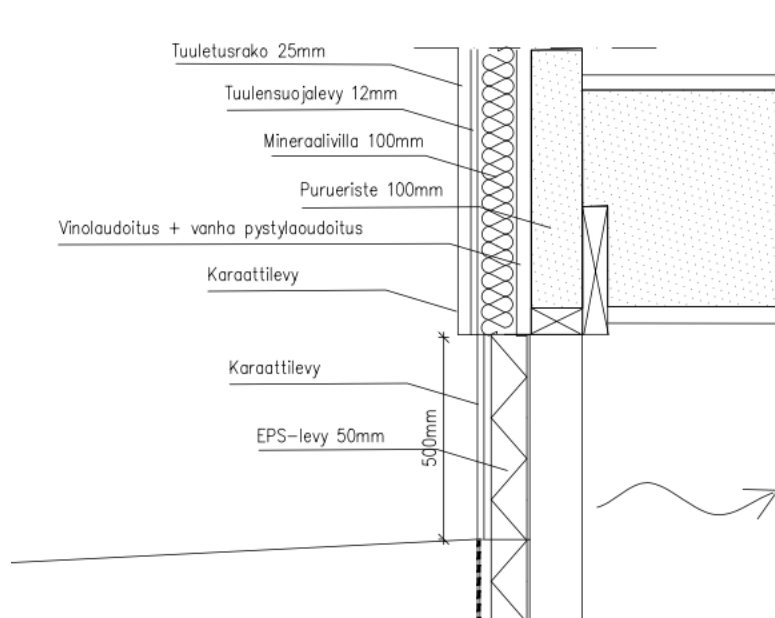
Ulkoseinien Ulkoseinärakenne on esitetty kuvassa 7. Ulkoseinien rakenne ulkoa sisälle päin on: karatilevy 12 mm, tuuletusrako 25 mm, tuulensuojalevy 25 mm, mineraalivilla 100 mm, vanha pysty-laudoitus 25 mm, vinolaudoitus 25 mm, puru 100 mm, puukuitulevy 13 mm ja kipsilevy 13 mm. Ulkoseinien kantava materiaali on puu. Mineraalivillan lämmönjohtavuutena on käytetty arvoa  $0,033 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ . Ulkoseinien korjattu lämmönläpäisykerroin kohdan (2.4.1) mukaan laskettuna on  $0,33 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ .

Nykyisten rakennusmääräysten mukaan ulkoseinän lämmönläpäisykerroin tulisi olla  $0,17 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . [41]. Ulkoseinien lämmönläpäisykerroin paranee nykytasoon tehtäessä noin 94 %. Seinien läpi

johtuva lämmitysenergia putoaa siten liki kaksinkertaisesti vanhaan verrattuna, mikä on merkittävä muutos lämmitysenergian tarpeessa. Uusia seinärakenteita suunniteltaessa tulee ottaa huomioon ikkunoiden määrä ja sijoittelu seinille. Ikkunat ja mahdolliset ovet huonontavat seinien lämmöneristyskykyä, sillä ikkunoiden ja ovien tavanomainen lämmönläpäisykerroin on  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Uusissa ovissa ja ikkunoissa lämmönläpäisyarvo voi olla hieman alempi. Myös seinärakenteen kylmäsilat ja epätiiviydet huonontavat rakenteen lämmöneristyskykyä.

Vanhoissa ulkoseinärakenteissa ei ole havaittu kosteus- tai mikrobivaurioita. Rakenne on riittävän harva ja ilmatiivis, jotta vaurioita ei ole päässyt syntymään. Rakenteen purueristekerros toimii todennäköisesti rakenteessa kosteutta tasaavana osana puun hygroskooppisten ominaisuuksien johdosta. Rakenne uusitaan lämmöneristävyyden takia. Uutta rakennetta suunniteltaessa voidaan seinän vahvuutena käyttää joko samaa tai liki samaa arvoa, sillä tiedetään, että rakenne toimii kosteusteknisesti oikealla tavalla. Uusi rakenne tulee olla sisältä tiivis ja ulospäin mentäessä harveneva, jotta rakenteisiin kulkeutunut vesihöyry pääsee kuivumaan ulkoilmaan päin.

Kuva 7. Vanha ulkoseinä ja sokkelirakenne

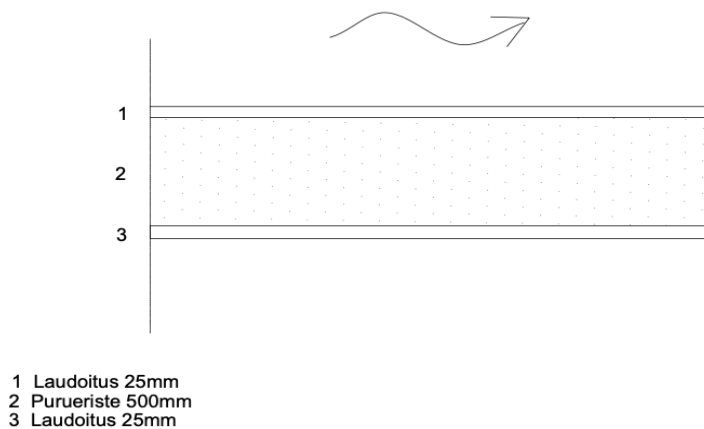


### 5.1.3 Yläpohja

Yläpohja on rakennuksen välipohja. Välipohja rajoittuu kylmään ullakkotilaan. Yläpohjan rakenne sisätiloista ullakkotilaan päin: Haltex-levy 13 mm, pahvi, laudoitus 25 mm, puru 500 mm, laudoitus 25 mm. Yläpohjan kantava materiaali on puu. Yläpohjarakenne on esitetty kuvassa 8. Yläpohjan lämmönläpäisykerroin kohdan (2.4.1) mukaan laskettuna on  $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Yläpohjarakenteessa ei ole havaittu kosteus- tai mikrobivaurioita. Yläpohja muutetaan korjauksen yhteydessä rakennuksen kattorakenteisiin, jolloin rakennuksen ullakkotilat saadaan asumiskäyttöön. Entisen yläpohjan eli rakennuksen välipohjan eristeet voidaan jättää kerrosten väliseksi äänieristeeksi, tällöin tulee varmistaa riittävällä rakenneavauksilla, että muualla yläpohjarakenteissa ei ole kosteus- tai mikrobivaurioita. Kahden lämpimän kerroksen välissä olevassa välipohjassa ei saa olla vesihöyryn estäviä rakenteita, jotta rakenne pääsee kuivumaan vesihöyrystä molempiin suuntiin. Uusilla eristeillä toteutettaessa rakenteessa riittää ohuempi eristekerros äänieristykseen varmistamiseksi. [42].

Kuva 8. Vanha yläpohjarakenne



## 5.2 Lämmitysenergian tarve

Rakenteiden ominaislämpöhäviöt saadaan rakenteiden pinta-alojen perusteella. Rakenteen ominaislämpöhäviö saadaan rakenteen lämmönläpäisykertoimen ja rakenteen pinta-alan tulona. Vanhojen rakenteiden ominaislämpöhäviöt on laskettu taulukossa 17. Taulukossa 18 on laskettu vanhojen rakenteiden liitoksista aiheutuneet lämpöhäviöt.

Taulukko 17 Vanhojen rakenteiden ominaislämpöhäviöt

Rakennusosa	lämmönläpäisykerroin (W/m <sup>2</sup> K)	pinta-ala (m <sup>2</sup> )	ominaislämpöhäviö(W/K)
AP	0,1	104	10,4
US	0,33	109	35,97
YP	0,14	104	14,56
		<b>Yhteensä</b>	<b>60,93</b>

Taulukko 18. Vanhojen rakenteiden liitoksista aiheutuvat lämpöhäviöt

Liitos	lisäkonduktanssi $\psi$ (W/mK)	määrä (m)	lämpöhäviö (W/K)
US/AP	0,1	42	4,2
US/YP	0,05	42	2,1
US/US	0,04	10,4	0,416
ikkunat	0,04	42	1,68
ovet	0,04	6	0,24
		<b>Yhteensä</b>	<b>8,636</b>

Rakennuksen ikkunoista ja ovista aiheutuva lämpöhäviö lasketaan lämmönläpäisykertoimen ja ikkuna- ja ovi pinta-alojen tulona. Ikkunan lämmönläpäisykertoimen arvona käytetään 1 W/m<sup>2</sup>K. Oven lämmönläpäisykertoimen arvona käytetään 1 W/m<sup>2</sup>K. Ikkunoiden ominaislämpöhäviö on 1 W/m<sup>2</sup>K \* 15,4m<sup>2</sup>= 15,4W/K. Oven ominaislämpöhäviö on 1 W/m<sup>2</sup>K\*1,89m<sup>2</sup>=1,89W/K

Rakennuksen ilmapuodoista aiheutuva lämpöhäviö on laskettu kohdan 2.2.1 kaavan 6 mukaisesti. Vanhojen rakenteiden ilmapuodoista aiheutuva lämpöhäviö on 16,8 W/K. Painovoimaisesta il-

manvaihdosta aiheutuva lämpöhäviö on laskettu kohdan 2.2.1 kaavan 7 mukaisesti. Ulkoilmavirtana on käytetty arvoa  $0,4 \text{ dm}^3 / (\text{s m}^2)$ . [43]. Painovoimaisesta ilmanvaihdosta johtuva lämpöhäviö on  $49 \text{ W/K}$ .

Rakennuksen lämpöhäviöt vanhoilla rakenteilla ovat yhteensä  $135 \text{ W/K}$ . Vanhoilla rakenteilla lämmitysenergian tarve kuukauden keskilämpötilaan mukaan laskettuna on esitetty taulukossa 19. Tiedot ovat peräisin ilmatieteenlaitoksen tilastoista [45]. Vuosittainen lämmitysenergian tarve keskilämpötilojen mukaan laskettuna on noin  $19 \text{ 000 kWh}$ . Mitoitustilanteessa lämmitysenergian tarve on  $7 \text{ kW}$ .

Taulukko 19. Vanhojen rakenteiden lämpöhäviöt yhteensä

Kajaani								
kuukausi	keskilämpötila(°C)	sisälämpötila(°C)	lämpötilaero(K)	lämpöhäviö(w/k)	tunteja kuukaudessa(h)	lämpöhäviö (wh)	lämpöhäviö(kWh)	
tammikuu	-9,5	21	30,5	135,5	744	22692	22,692	
helmikuu	-9,7	21	30,7	135,5	672	2795419,2	2795,4192	
maaliskuu	-5	21	26	135,5	744	2621112	2621,112	
huhtikuu	1,2	21	19,8	135,5	720	1931688	1931,688	
toukokuu	7,8	21	13,2	135,5	744	1330718,4	1330,7184	
kesäkuu	13,4	21	7,6	135,5	720	741456	741,456	
heinäkuu	16,2	21	4,8	135,5	744	483897,6	483,8976	
elokuu	14	21	7	135,5	720	682920	682,92	
syyskuu	8,9	21	12,1	135,5	744	1219825,2	1219,8252	
lokakuu	2,8	21	18,2	135,5	720	1775592	1775,592	
marraskuu	-2,4	21	23,4	135,5	744	2359000,8	2359,0008	
joulukuu	-6,4	21	27,4	135,5	720	2673144	2673,144	
						yhteensä	18637,4652	

Vanhat rakenteet ovat aikakauden rakennusmääräysten mukaiset lämmöneristävyydeltään. Rakenteiden kokonaislämmön kulutuksen perusteella voidaan arvioida uusia rakenteita ja niiden toimivuutta verraten niitä vanhoihin rakenteisiin. Uusien rakenteiden suunnittelussa pyritään hyödyntämään vanhoja rakenteita niiltä osin kuin mahdollista. Rakenteiden suunnittelussa pyritään käyttämään olemassa olevia rakenneratkaisuja, jotka on todettu toimiviksi pitkällä aikavälillä ja toimivien ratkaisujen pohjalta suunnitellaan kyseiseen kohteeseen sopivat rakenneratkaisut. Kyseinen kohde pyritään lämmöneristävyydessä saamaan matalaenergiatasoon. Matalaenergiatalon energiantarve lämmityksen osalta vuodessa on  $90 \text{ kWh/brm}^2$ . Kyseisessä kohteessa tämä tarkoittaa maksimissaan n.  $18 \text{ 000 kWh}$  vuosittaista energiankulutusta lämmitykseen rakennuksen yläkerran ollessa asumiskäytössä. [44.] [46.]

## 6 Uudet rakenteet

Uusien rakenteiden suunnittelussa on käytetty mallina toimiviksi todettuja rakenteita. Rakenteet on pyritty suunnittelemaan niin, että ne ovat kosteusteknisesti toimivia ja ne täyttävät nykyisten rakennemääräysten mukaiset lämmönläpäisyarvot. Nykyisten määräysten mukaiset rakenteiden lämmönläpäisyarvot ovat: ulkoseinä  $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ , alapohja  $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ , yläpohja  $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Näillä arvoilla toteutettuna rakennukselle tulee suorittaa tasauslaskelma. [43]. Tasauslaskelma on esitetty liitteessä 1 ja 2. Rakenteiden suunnittelussa on myös pyritty hyödyntämään vanhoja kantavia rakenteita.

### 6.1 Alapohja

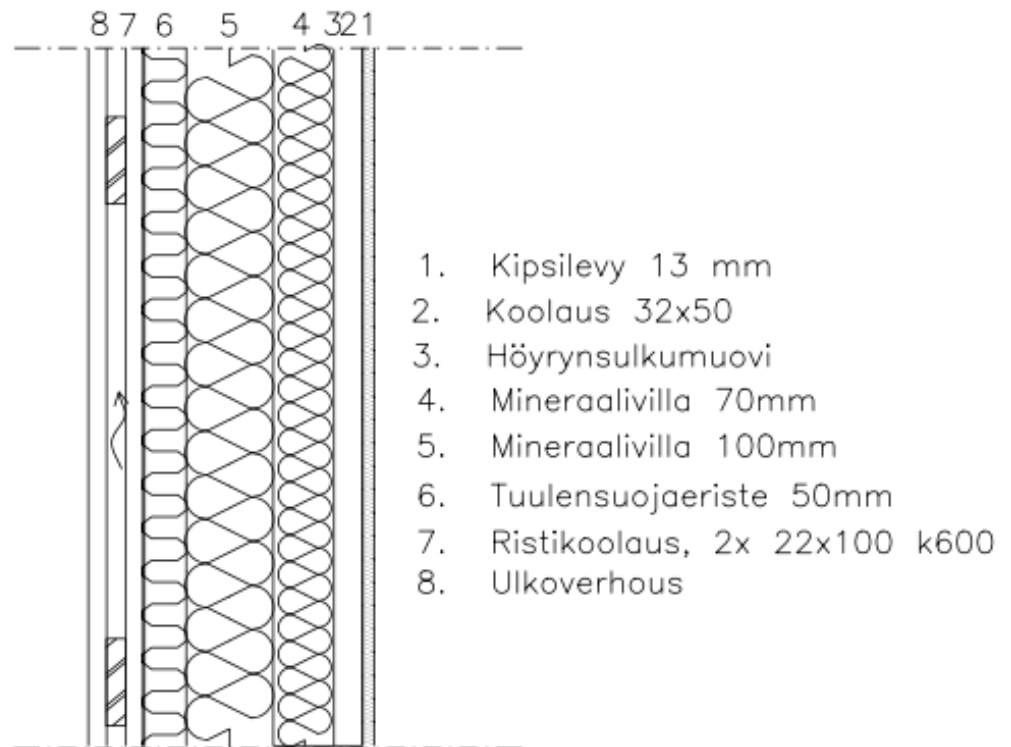
Suunniteltu alapohjarakenne on esitetty kuvassa 9. Alapohjarakenteen korjattu lämmönläpäisykerroin on laskettu kohdan (2.4.2) mukaisesti. Alapohjan eristeiden lämmönjohtavuutena on käytetty arvo  $0,033 \text{ W/(K}\cdot\text{m)}$  [47]. Alapohjan korjattu lämmönläpäisykerroin on  $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Alapohjarakenteen ryömintätilassa vallitsee ulkoilman olosuhteet, jolloin ryömintätilassa olevia eristeitä ei oteta huomioon alapohjan lämmönläpäisykertoimessa.

Alapohjarakenteen lämmöneristeet on suunniteltu toteutettavan kovalla lämmöneristeellä [48]. Kovan lämmöneristeen etuna muihin eristeisiin on eristeen toiminta myös kosteissa olosuhteissa. Tuulettuva alapohjarakenne on kosteudelle altis ja mahdollinen kosteus tiivistyy eristeen ulkopintaan vedeksi. Kovan lämmöneristeen toinen hyöty on myös se, että eriste toimii samalla höyrynsulkuna, jolloin erillistä höyrynsulkukerrosta ei tarvita.

Ryömintätilan sokkelirakenne ja maanpinta on suunniteltu eristettävän. Eristyksellä estetään vesihöyryn nouseminen maasta ja vesihöyryn tiivistyminen kylmiin sokkeli- ja maapintoihin. Seinärunkojen ja lattiapalkkien alajuoksut tulisi tehdä kyllästetystä puutavarasta, sillä kyseiset kohdat ovat alttiita kosteusrasitukselle sokkelirakenteesta ja alapohjasta kulkeutuvan vesihöyryn takia. Alapohjan sokkelirakenne routaeristetään ulkopuolelta ja salaojitetaan anturan alapinnan alapuolelle. Ryömintätilan tuuletus tulee olla riittävä, jotta ulkoilman ja ryömintätilan lämpötila pysyisi samana, sillä lämpötilaerot aiheuttavat kosteuden tiivistymistä kylmempään päin. Suositeltavat tuuletusaukkojen määrä minimissään on 1 promille ryömintätilan pinta-alasta [13].



Kuva 10. Uusi ulkoseinärakenne



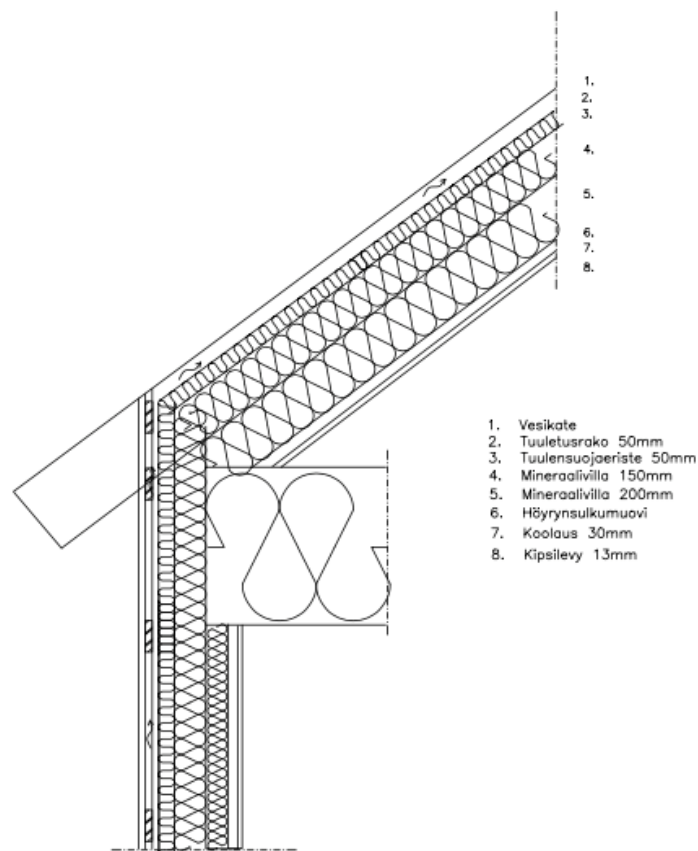
Ulkoseinärakenne on sisältä ulospäin harveneva, jolla varmistetaan seinärakenteen oikea kosteustekninen toiminta. Ulkoseinärakenteen ulkoverhouksen ja tuulensuojaeristeen välissä on tuuletusrako, jolla varmistetaan rakenteen kuivuminen ulkoilmaan. Sähköjohdot ja talotekniikka on suunniteltu asennettavan sisäpuolen koolausvälissä, millä vältetään turhien reikien tekemistä ulkoseinän höyrinsulkumuoviin. Eristeet asennetaan siten, että eristekerrosten saumakohtat ovat ristikkäin, jotta vältetään kylmäsillalta seinärakenteen läpi.

### 6.3 Yläpohja

Rakennuksen yläkerros otetaan asuinkäyttöön ja muutetaan lämpimäksi tilaksi. Yläpohjarakenne on suunniteltu vesikatetta vasten. Yläpohjarakenteen tuulensuojana on suunniteltu käytettävän tuulensuojaeristettä. Yläpohjan eristys on suunniteltu toteutettavan mineraali tai puhallusvillalla.

Yläpohjan eristepaksuus tulee olla minimissään 400 mm:n paksuinen mineraalivillalla tehtässä. Yläpohjan korjattu lämmönläpäisykerroin on laskettu kohdan (2.4.1) mukaisesti. Yläpohjan korjattu lämmönläpäisykerroin on  $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Suunniteltu yläpohjarakenne on esitetty kuvassa 11.

Kuva 11. Uusi yläpohjarakenne



Yläpohjarakenne on sisältä ulospäin harveneva, millä varmistetaan rakenteen oikea kosteustekninen toiminta. Vesikaton ja tuulensuojaeristeen välissä tulee olla riittävä tuuletusrako. Vesikatteen alapintaan tulisi asentaa nukkapintainen aluskate, millä torjutaan vesihöyryn tiivistyminen vesikatteen sisäpintaan ja ohjataan mahdollinen tiivistyvä kosteus hallitusti ulkoilmaan. [51].

## 6.4 Uusien rakenteiden kosteustekninen toiminta

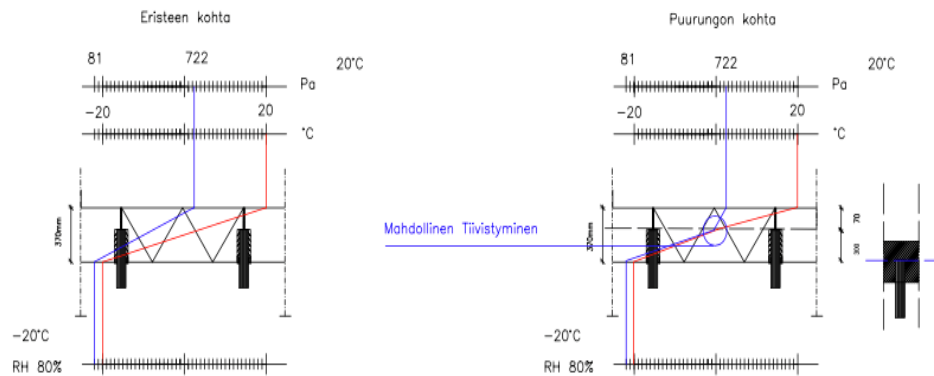
Rakenteiden lämpötilajakauma on laskettu kaavan 24 mukaisesti. Rakenteiden kosteuden osapaine jakauma rakenteissa on laskettu kaavan 25 mukaisesti. Rakenteiden kosteusteknistä toimintaa on tarkasteltu tilanteessa, jossa ulkoilman lämpötila on  $-20^{\circ}\text{C}$  ja sisäilman lämpötila on  $20^{\circ}\text{C}$ . Ulkoilman suhteellisenä kosteutena on käytetty arvoa 80 %. Sisäilman kosteuslisänä on käytetty arvoa  $5 \text{ g}/\text{m}^3$ . Kosteusteknistä toimintaa on tarkasteltu talvikuukausien arvoilla. Talvikuukaudet ovat haasteellisimpia rakenteiden toiminnalle, koska silloin on suuret lämpötilaerot ja kylmä ilma sitoo huonosti kosteutta itseensä.

### 6.4.1 Alapohja

Kuvassa 12 on esitetty suunniteltu alapohjarakenne. Alapohjarakenteen toimintaa on tarkasteltu eristeen ja puurungon kohdalta. Puurungon kohdalla on havaittavissa suurempaa kosteusrasitusta johtuen lämmöneristeen ponttirakenteesta.

Alapohjarakenne toimii tarkasteltavassa olosuhteessa kosteusteknisesti oikein, sillä kosteuden tiivistymistä rakennekerroksessa ei tapahdu. Rakenteen kuivuminen on mahdollinen alapohjaan päin ja alapohjasta ilmavirtausten mukana ulkoilmaan. Ponttirakenteiden kohdalla kosteuden tiivistymistä voi tapahtua johtuen suhteellisen pienestä eristekerroksesta puurungon kohdalla. Lämmöneristykyky eristeellä pontin kohdalla on huonompi, mikä aiheuttaa sen, että lämmin ja kostea ilma pääsee kylmemmälle puurungon kohdalle ja mahdollisesti tiivistyy kyseiseen kohtaan. Ponttien kohdat eivät todennäköisesti aiheuta ongelmia rakenteessa, sillä kuivuminen on mahdollista puun hygroskooppisten ominaisuuksien ansiosta, ja puurakenteen kuivuminen alapohjaan päin on mahdollista, mistä ilmavirtaukset kuljettavat kosteuden ulkoilmaan. Kosteusrasitusta puurunkojen kohdalla voidaan pienentää tiivistämällä ponttirakenteet huolellisesti siihen soveltuvalla tuotteella.

Kuva 12. Alapohjarakenteen kastepiste eristeen ja puurungon kohdalla

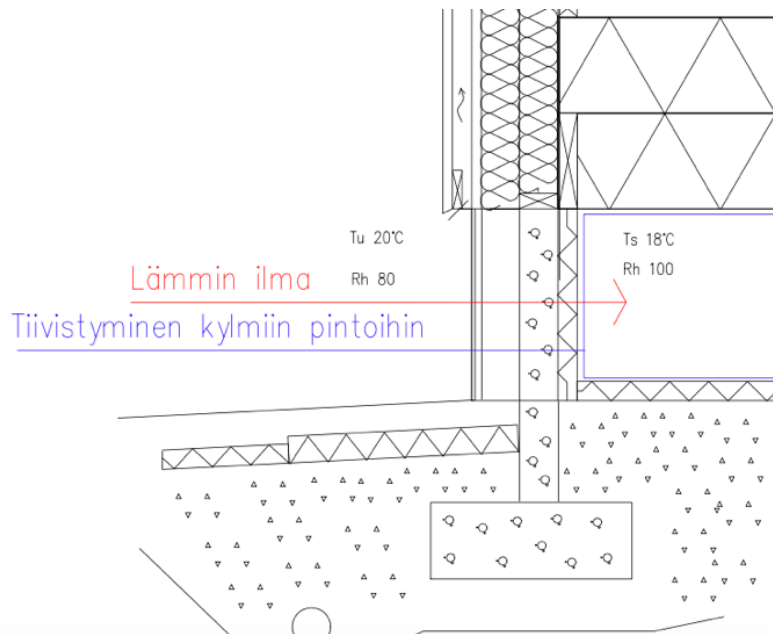


#### 6.4.2 Ryömintätila

Kuvassa 13 on esitetty tilanne, missä ulkoilman lämpötila on 20°C ja ulkoilman suhteellinen kosteus on 80 %. Ryömintätilan lämpötila on 18°C. Lämmin ilma kulkeutuu alapohjaan tuuletusaukojen kautta. kahden asteen ero lämpötilassa aiheuttaa ryömintätilan suhteellisen kosteuden nousemisen 100 %:iin. Suhteellisen kosteuden ollessa 100 % ilmassa oleva vesihöyry tiivistyy rakenteisiin. Etenkin kosteudelle herkät materiaalit, kuten esimerkiksi puu, voivat vaurioitua kyseisessä tilanteessa, koska olosuhteet mikrobivaurioille ovat suotuisat.

Alapohjan ryömintätilan tuuletus tulee olla riittävää, jotta ilma ryömintätilan sisällä ja ulkona olisi samanlämpöistä. Ryömintätilaan kondensoituu helposti kosteutta, jos ryömintätilan pinnat ovat vallitsevaa ilmaa viileämmät. Suunnitellussa rakenteessa alapohjan maanpinta ja -sokkelirakenteet on eristetty 5 mm:n eristelevyllä. Eristemäisellä pyritään siihen, että kylmä sokkelipinta ja kylmä maanpinta eivät aiheuttaisi tilannetta, jossa ryömintätila on eri lämpötilassa kuin vallitseva ulkoilma. Maanpintaa vasten oleva eriste vähentää maasta nousevaa kosteusrasitusta ryömintätilassa. Maanpinnan eriste voidaan myös päällystää kevytsoraeristeellä, jolloin kosteuden tiivistyminen eristeen pinnalle estyy ja ylimääräinen kosteus imeytyy kevytsoraeristeeseen ja kuivuu hallitusti eristeestä ulkoilmaan ilmavirtausten mukana.

Kuva 13. Ryömintätilan suhteellinen kosteus



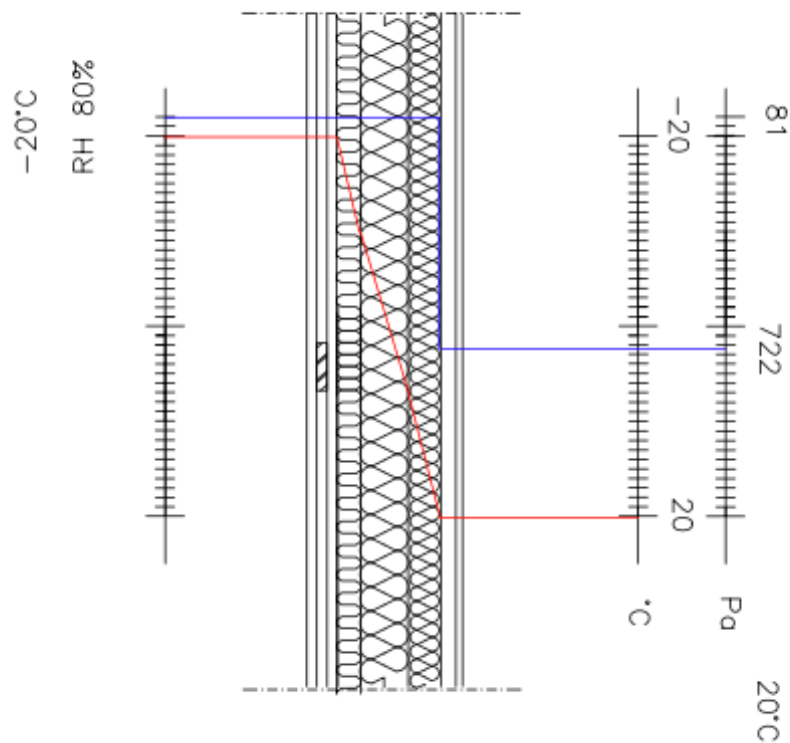
#### 6.4.3 Ulkoseinät

Kuvassa 14 on tarkasteltu ulkoseinän kosteusteknistä toimivuutta. Kosteuden tiivistymistä ei tapahdu kyseisissä olosuhteissa. Seinärakenteen kosteustekninen toiminta perustuu sisäpuolen höyrynsulkumuoviin. Höyrynsulkumuovi toimii rakenteen vesihöyryn virtausta vastustavana kerroksena.

Kosteusteknisesti seinärakenne toimii oikein, sillä tiivistymistä ei tapahdu rakenteiden sisässä. Rakenteiden läpi tuleva kosteus pääsee tuulettumaan tuulensuojalevyn pinnasta tuuletusrakoa pitkin ulkoilmaan. Tuuletusraon ylä- ja alapään tulee olla avoimia ilmankierron varmistamiseksi. Seinärakenteen höyrynsulku tulee tehdä huolellisesti, sillä kosteuden tiivistymisen riski seinärakenteen keskellä kasvaa, mikäli höyrynsulussa on epätiivelyskohtia. Höyrynsulku tulee limittää valmistajan ohjeen mukaan. Saumat teipataan soveltuvalla teipillä. Ikkuna- ja oviaukoissa käännetään höyrynsulkumuovi karmien taakse, minkä jälkeen liimataan kiinni polyuretaanivaahdolla ja teipataan saumat teipillä. Seinärakenteessa pyritään mahdollisimman vähäisiin läpivienteihin ja

talotekniikka pyritään asentamaan kipsilevyn ja sisimmän koolauksen väliin. Höyrynsulkuun tulleet läpiviennit tiivistetään huolellisesti. Vuotokohdat höyrynsulussa aiheuttavat suuria kosteusrasituksia rakenteessa ja ne voivat aiheuttaa kosteuden tiivistymistä rakenteen sisässä.

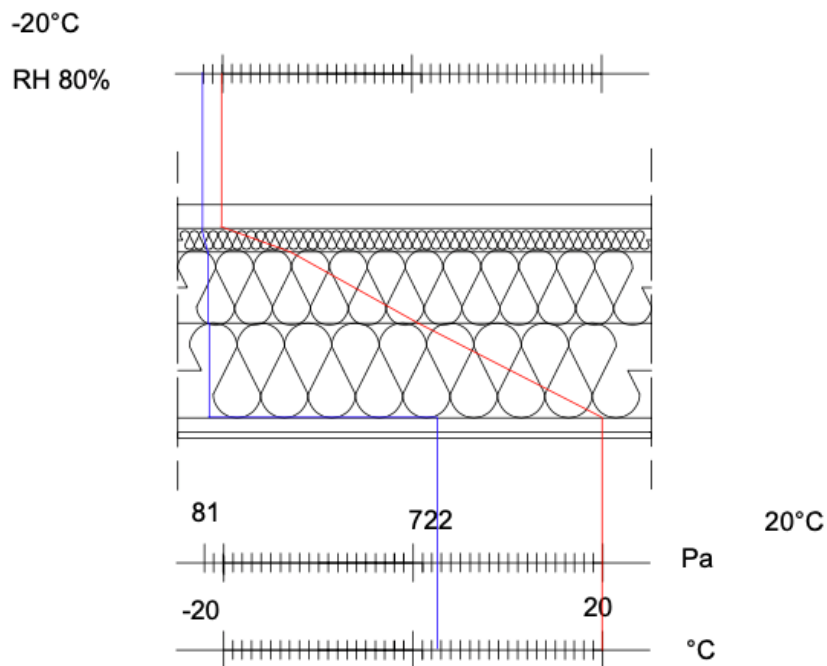
Kuva 14. Ulkoseinän kastepiste



#### 6.4.4 Yläpohja

Kuvassa 15. on tarkasteltu yläpohjan kosteusteknistä toimivuutta. Kuvasta voidaan nähdä, että kosteuden tiivistymistä ei tapahdu rakenteissa kyseisissä olosuhteissa. Mahdollisen veden tiivistyminen tapahtuu tuulensuojalevyn ulkopinnassa.

Kuva 15. Yläpohjan kastepiste



Rakenne toimii kosteusteknisesti oikein, sillä rakenteen sisällä ei tapahdu vesihöyryn tiivistymistä kyseisissä olosuhteissa. Vesihöyry pääsee kulkeutumaan tuulensuojalevyn pinnasta ulkoilmaan tuuletusraon kautta. Vesikaateen alle tulisi asentaa aluskate, jossa on nukkapinta tuuletusrakoon päin. Näin varmistetaan se, että vesihöyry ei kondensoidu tuulensuojalevyn päälle vetenä. Tuuletusrako tulee olla riittävä ja tuuletusrako tulee olla avoin räystäältä harjalle. Harjalla tuuletus tapahtuu talon päätyjen kautta. Tarvittaessa tuuletusta lisätään vesikatolle asennettavien tuuletusputkien kautta. Höyrynsulkumuovi limitetään valmistajan ohjeen mukaisesti ja saumat teipataan siihen soveltuvalla teipillä. Kipsilevyn alle asennetaan koolaus esimerkiksi 25 mm x 100 mm laudasta. Talotekniikka kuljetetaan mielellään koolausvälissä höyrynsulkumuovia rikkomatta. Läpiviennit teipataan huolellisesti. Vuotokohdat höyrynsulkumuovissa aiheuttavat suuren kosteusraituksen rakenteessa, jolloin vesihöyry voi kondensoitua rakenteen sisälle. Kondensoitunut vesi voi valua höyrynsulun ulkopuolen pintaa pitkin muihin rakenteisiin. Yläpohjarakenteen höyrynsulku liitetään ulkosinien höyrynsulkuun.

## 6.5 Lämmitysenergian tarve uusilla rakenteilla

Alla olevassa taulukossa 20. on esitetty uusien rakenteiden ominaislämpöhäviöt. Rakenteiden energiatehokkuus on parantunut vanhoihin rakenteisiin verrattuna noin 40 %. Rakenteet on toteutettu kosteusteknisesti toimiviksi, joten arvoja voidaan käyttää lämmitysenergian määrän laskeamiseen.

Taulukko 20. Uusien rakenteiden lämmönläpäisykertoimet

rakennusosa	lämmönläpäisykerroin (W/m <sup>2</sup> K)	pinta-ala (m <sup>2</sup> )	ominaislämpöhäviö(W/K)
AP	0,09	104	9,36
US	0,17	109	18,53
YP	0,09	120	10,8
		<b>Yhteensä</b>	<b>38,69</b>

Taulukossa 21 on esitetty rakennuksen lämmitysenergian tarve uusilla toteutettavilla rakenteilla laskettuna. Rakennuksen ikkunoiden, ovien ja kylmäsiltojen arvot ovat samat, kuin vanhoissa rakenteissa. Rakennuksen ilmapuotolukuna on käytetty arvoa  $1 \text{ m}^3 / (\text{hm}^2)$ , jolloin kaavan 6 mukaan laskettuna vuotoilmasta aiheutunut lämpöhäviö on 4,56 w/k. Pienemmän ilmapuotoluvun käyttäminen vaatii mitattuja arvoja valmiista rakenteista [7]. Mittaus suoritetaan valmiisiin rakenteisiin. Tiiviillä rakenteilla ilmanvuotoluku todennäköisesti pienenee. Ilmavuodoista aiheutuva lämpöhäviö on huomattavan suuri, joten ilmapuotoluvun pieneneminen vaikuttaa oleellisesti rakennuksen energiatehokkuuteen ja näin vähentää lämmitysenergian tarvetta. Ilmanvaihdosta aiheutuva lämpöhäviö on laskettu kaavan 8 mukaan. Ilmanvaihtokoneen vuosihyötysuhteen ollessa 80 %, ilmanvaihdosta aiheutuva lämpöhäviö on 19,9 w/k.

Taulukossa 23 on esitetty lämmitysenergian tarve kuukausittain keskilämpötilojen mukaan laskettuna. [45]. Keskimääräisten lämpötilojen mukaan laskettuna vuotuinen energiankulutus on noin 14 000 kWh. Mitoitustilanteessa lämmitysenergian tarve on noin 4,6 kW.

Taulukko 21. Lämmitysenergian tarve kuukausittain uusilla rakenteilla

Kajaani							
kuukausi	keskilämpötila(°C)	sisälämpötila(°C)	lämpötilaero(K)	lämpöhäviö(w/k)	tunteja kuukaudessa(h)	lämpöhäviö (wh)	lämpöhäviö(kWh)
tammikuu	-9,5	21	30,5	89,07	744	2021176,44	2021,17644
helmikuu	-9,7	21	30,7	89,07	672	1837549,728	1837,549728
maaliskuu	-5	21	26	89,07	744	1722970,08	1722,97008
huhtikuu	1,2	21	19,8	89,07	720	1269781,92	1269,78192
toukokuu	7,8	21	13,2	89,07	744	874738,656	874,738656
kesäkuu	13,4	21	7,6	89,07	720	487391,04	487,39104
heinäkuu	16,2	21	4,8	89,07	744	318086,784	318,086784
elokuu	14	21	7	89,07	720	448912,8	448,9128
syyskuu	8,9	21	12,1	89,07	744	801843,768	801,843768
lokakuu	2,8	21	18,2	89,07	720	1167173,28	1167,17328
marraskuu	-2,4	21	23,4	89,07	744	1550673,072	1550,673072
joulukuu	-6,4	21	27,4	89,07	720	1757172,96	1757,17296
						<b>yhteensä</b>	<b>14257,47053</b>

Rakennuksen lämmitysenergian tarpeen suhteen talo täyttää matalaenergiatalon määritelmän. Kyseisessä kohteessa matalaenergiatasoon päästään 18 000 kWh:n energiankulutuksella vuodessa. Passiivitalon tasoon päästään kyseisessä kohteessa 6400 kWh:n energiankulutuksella vuodessa. Passiivitalon energiakulutuksen suurin arvo Pohjois-Suomessa on 30 kWh/brm<sup>2</sup>. [46]. Kyseinen rakennus sijoittuu siten matalaenergiatalon ja passiivitalon välille. Energiankulutusta voidaan todennäköisesti pienentää eri laiteratkaisuilla. Laskennoissa ei ole otettu huomioon tilojen käytöstä syntyvää lämmitysenergiaa. Laskennoissa ei ole huomioitu auringon lämmittävää vaikutusta ikkunoiden kautta, mikä todennäköisesti vähentää lämmitysenergian tarvetta kuukausina, jolloin auringon säteily on voimakkaimmillaan.

## 7 Talotekniikka

Tässä luvussa on tarkasteltu kyseiseen kohteeseen tulevia talotekniikkajärjestelmiä. Kohteen tilojen lämmittäminen on suunniteltu järjestettävän lattialämmityksen tai patterilämmityksen avulla. Lämpö tiloihin tuotetaan lämpöpumpun avulla. Lämpöpumpuista on vertailtu ilmavesilämpöpumppua sekä maalämpöpumppua. Käyttöveden tarvitsema lämmitysenergia pyritään tuottamaan aurinkokeräinten avulla. Lämpöpumpun kuluttama sähköenergia pyritään korvaamaan aurinkosähköjärjestelmän avulla. Lämpöpumppujen mitoituksessa ja sähköenergiatarpeen arvioinnissa on käytetty mallina ympäristöministeriön lämpöpumppujen energialaskentaopasta. Aurinkokeräinten ja aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa ja energiatuotannon arvioinnissa on käytetty mallina ympäristöministeriön aurinko opasta.

### 7.1 Lattialämmitys

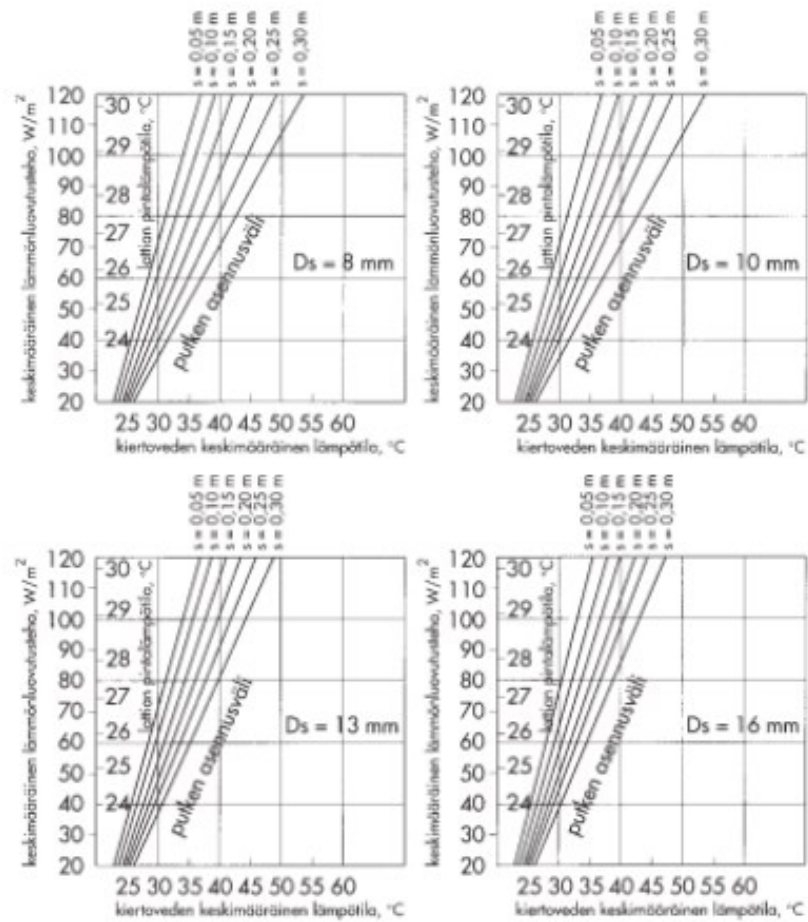
Lattialämmityksen teho voidaan määrittää kuvan 16 avulla. Lattialämmityksen teho määräytyy kiertävän veden, putken asennusvälin ja putkikoon mukaan. Putkikoko on tässä tapauksessa putken sisähalkaisija. Tiloja lämmittäessä pyritään mahdollisimman alhaiseen kiertoveden lämpötilaan, jotta vältytään hukkalämmitykseltä. Ilma-vesilämpöpumppujen ja maalämpöpumppujen hyötysuhde on parhaimmillaan alhaisilla veden lämpötiloilla. Käytännössä suurempia putkia on hankala taivuttaa tiheälle välille, joten suuria lämmitysputkia ei kannata suosia pienemissä kohteissa.

Lämmitysputkiston asennussyvyys ja lattiamateriaali vaikuttaa lattialämmityksen tehon määrään. Hyvin lämpöä eristävät materiaalit, kuten puu, heikentävät lattialämmityksen lämmitystehoa. Kuvassa 17 on esitetty korjauskertoimet, jotka muodostuvat lattialämmitysputkiston asennussyvyyksistä. Kuvassa 18 on esitetty lattiamateriaaleista johtuvat korjauskertoimet.

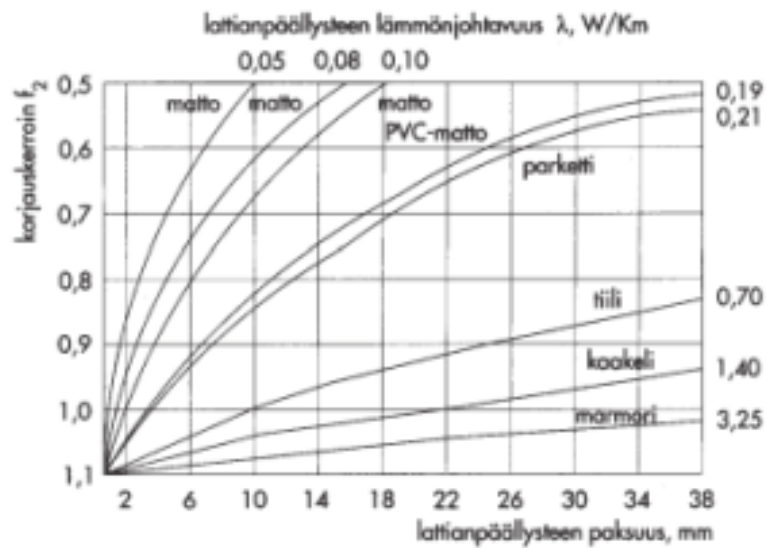
Korjattu lämmöntarve saadaan, kun kerrotaan korjauskertoimet keskenään ja sen jälkeen jaetaan mitoitusilanteen lämmitysenergian tarpeella. Tilojen pintamateriaaliksi tulee parketti. Putket asennetaan 20 mm:n syvyyteen lattian pinnasta. Tilojen korjatuksi lämmöntarpeeksi mitoitusilanteessa saadaan  $27 \text{ w/m}^2$ . Valitaan putken sisähalkaisijan kooksi 13 mm. Putkien asennusvälinä käytetään 150 mm. Kuvasta 16 nähdään, että kyseisessä tilanteessa kiertoveden keskimääräinen lämpötila on noin  $25^\circ\text{C}$ .

Lattialämmityksen avulla tilojen lämmittäminen pystytään toteuttamaan suhteellisen matalilla kiertoveden lämpötiloilla. Kiertoveden lämpötilaan vaikuttaa kierto- ja putkiväleillä ja käytettävät virtaukset. Lähtevän veden lämpötilan määrää kierto- ja putkiväleillä, sillä pitemmissä väleissä lämpötila voi laskea liian alhaiseksi tilojen lämmittämisen kannalta.

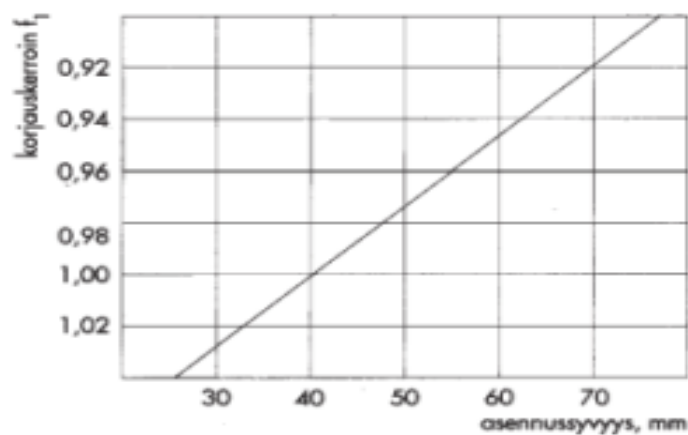
Kuva 16. Lattialämmityksen teho eri putkikoilla, putkiväleillä ja kiertoveden lämpötiloilla. [34, s. 4]



Kuva 17. Lattiapäällysteen korjauskerroin. [34, s. 5]



Kuva 18. Asennussyvyyden korjauskerroin. [34, s. 5]



## 7.2 Lämmityspatteri

Patterilämmityksessä patterien koko sekä meno- ja paluuveden lämpötila vaikuttavat järjestelmän tehoon. Järjestelmä pyritään mitoittamaan niin, että lämpöpumppulämmityksessä menoveden lämpötila on 60 °C ja paluuveden lämpötila on 40 °C. Suositusarvot on esitetty taulukossa 22. Patterivalmistajat, kuten esimerkiksi Purmo antavat, pattereille myös tehoarvoja alhaisemmilla

veden lämpötiloilla. Tässä mitoituksessa käytetään Purmon arvoja. Taulukossa 23 on esitetty Purmon patereita eri meno- ja paluuedenlämpötiloilla valmistajan laskentaohjelmalla. [39]. Tilojen tehontarpeena on käytetty arvoa. 4,6 kW ja se on jaettu 10 lämmityspatterille.

Taulukko 22. Vesikiertoisen patterilämmityksen suositusarvoja. [40, s. 2]

Lämmönlähde	Lämmönjakotapa	Meno/paluueden lämpötila °C
Öljylämmitys	kaksiputkijärjestelmä	70/40
	yksiputkijärjestelmä	60/50
Kaukolämmitys	kaksiputkijärjestelmä	70/40**
	yksiputkijärjestelmä	60/50
Varaava lämmitys	kaksiputkijärjestelmä	60/40
	yksiputkijärjestelmä	60/50
Lämpöpumppulämmitys	kaksiputkijärjestelmä	60/40
	yksiputkijärjestelmä	60/50

\*) matalalämpöjärjestelmissä

\*\*\*) lämpötilat ovat enimmäislämpötiloja.

Taulukko 23. Eri lämmityspatteri kokoja Purmon tehonlaskentaohjelmalla. [39].

Valmistaja	malli	tyyppi	leveys (mm)	korkeus (mm)	syvyys (mm)	teho/patteri (kW)	menovesi( °C)	paluuvesi (°C)
Purmo	Compact	C22	1600	600	102	400	35	30
Purmo	Compact	C11	1600	600	60	400	40	35
Purmo	Compact	C11	1400	450	60	400	45	40
Purmo	Compact	C11	1200	400	60	400	55	45

Tilojen lämmittäminen on mahdollista toteuttaa patterilämmityksellä myös matalilla kiertoveden lämpötiloilla. Matalammat kiertoveden lämpötilat vaativat aina patterikokojen kasvattamista. Matalat lämpötilat pattereissa aiheuttavat ongelmia lämmönsiirtymisessä tiloihin, sillä konvektiovirtaus patterin pinnalla pienenee patterin pinnan viiletyksessä. Konvektiovirtausta pattereista voidaan tehostaa esimerkiksi vaihtamalla patterit enemmän konvektiovirtausta tuottaviksi, jolloin lämpövirran siirtyminen huoneilmaan on tehokkaampaa. [52].

### 7.3 Aurinkokeräin ja lämmin käyttövesi

Kyseisessä kohteessa aurinkokeräimen lämpö käytetään lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Järjestelmään sijoitetaan lämminvesivaraaja. Varaajan suositeltava tilavuus on 2–3-kertainen päivittäisen veden kulutuksen verran. Varaajan kooksi suositellaan vähintään 90 % ja enintään 120 % mitoitusarvosta. [23.]

Veden kulutuksen oletetaan olevan kohteessa 200 l päivässä, jolloin varaajan koko tulisi olla 400–600 litraa. Valitaan kyseiseen kohteeseen varaajan kooksi 400 litraa. Kyseisessä tilanteessa vettä lämmitetään 5°C:n lämpötilasta 55°C:n lämpötilaan. Kiertoveden lämpöhäviötä ei oteta laskennassa huomioon. Keräinpiirin hyötysuhde oletetaan olevan 80 %. Lämmitintyyppinä käytetään tyhjiöputkikeräintä, jonka hyötysuhde on 70 %. Keräimet ovat suunnattu etelään 45°:een kulmassa.

Taulukossa 24 on laskettu referenssilämpötilat. Referenssilämpötilat on laskettu kohdan (3.3.1) mukaan. Kuukausittaiset lämpötilat ovat Jyväskylän lämpötiloja. [25].

Taulukko 24. Kuukausittaiset referenssilämpötilat

Referenssilämpötilat	Qc	Qref	DT
tammikuu	-8	88,66	96,66
helmikuu	-7,1	87,472	94,572
maaliskuu	-3,53	82,7596	86,2896
huhtikuu	2,42	74,9056	72,4856
toukokuu	8,84	66,4312	57,5912
kesäkuu	13,39	60,4252	47,0352
heinäkuu	15,76	57,2968	41,5368
elokuu	13,76	59,9368	46,1768
syyskuu	9,18	65,9824	56,8024
lokakuu	4,07	72,7276	68,6576
marraskuu	-1,76	80,4232	82,1832
joulukuu	-5,92	85,9144	91,8344

Taulukossa 25 on laskettu auringon säteilyteho kuukausittain keräinten suunta ja kulma huomioiden. Etelään päin suunnattuna ja pystyasennossa keräin tuottaa parhaimman tehon. Auringon korjattu säteilyteho on laskettu kohdan (3.3.1) mukaan.

Taulukko 25. Auringon korjattu säteilyteho

Jyväskylä	Auringon säteilyteho (kWh/m <sup>2</sup> /kk)	korjauskertoin	säteily kallistetulle pinalle (kWh/m <sup>2</sup> /kk)	Päiviä/kk (d)	tunteja/kk (h)	keskimääräinen säteilyteho/kk (w/m <sup>2</sup> )
tammikuu	5	1,75	8,75	31	744	11,76075269
helmikuu	20	2,27	45,4	28	672	67,55952381
maaliskuu	52	1,75	91	31	744	122,311828
huhtikuu	103	1,3	133,9	30	720	185,9722222
toukokuu	171	1,07	182,97	31	744	245,9274194
kesäkuu	159	0,99	157,41	30	720	218,625
heinäkuu	158	1,01	159,58	31	744	214,4892473
elokuu	114	1,11	126,54	30	720	175,75
syyskuu	71	1,33	94,43	31	744	126,922043
lokakuu	25	1,62	40,5	30	720	56,25
marraskuu	7	1	7	31	744	9,408602151
joulukuu	3	1,26	3,78	30	720	5,25

Taulukossa 26 on esitetty lämpimän käyttöveden tarvittava energia kuukausittain. Päivien perusteella on laskettu lämpimän käyttöveden energian tarve kuukausittain. Jakeluhäviöllinen energiantarve on saatu kertoimella 1,12, jolla on kerrottu lämmön tarve kuukausittain. [25]. Lämpimän käyttöveden energian tarpeeksi vuodessa 400 l varaajalla ja 200 litran päiväkulutuksella saadaan 4700 kWh. Lämpimän käyttöveden energiantarve on laskettu kohdan (3.3.1) mukaan.

Taulukko 26. Lämpimän käyttöveden energiantarve

Lämmin käyttövesi	päiviä/kk	LKV lämmön tarve	LKV+jakeluhäviö
	d	kWh/kk	kWh/kk
tammikuu	31	360,8055556	<b>405,3995006</b>
helmikuu	28	325,8888889	<b>366,1672909</b>
maaliskuu	31	360,8055556	<b>405,3995006</b>
huhtikuu	30	349,1666667	<b>392,3220974</b>
toukokuu	31	360,8055556	<b>405,3995006</b>
kesäkuu	30	349,1666667	<b>392,3220974</b>
heinäkuu	31	360,8055556	<b>405,3995006</b>
elokuu	30	349,1666667	<b>392,3220974</b>
syyskuu	31	360,8055556	<b>405,3995006</b>
lokakuu	30	349,1666667	<b>392,3220974</b>
marraskuu	31	360,8055556	<b>405,3995006</b>
joulukuu	30	349,1666667	<b>392,3220974</b>
		<b>Yhteensä</b>	<b>4760,174782</b>

Taulukossa 27 on esitetty pinta-alaltaan  $8 \text{ m}^2$ -suuruisen aurinkokeräimen lämmön tuotto lämpimään käyttöveeseen. Aurinkokeräin pystyy tuottamaan 2600 kWh lämmitysenergiaa vuodessa. Aurinkokeräimen tuottama osuus lämpimästä käyttövedestä on siten 44 % vuosikulutuksesta. Loput energiasta tuotetaan joko sähköllä tai lämpöpumppujen avulla. Aurinkokeräimen lämmön tuotto on laskettu kohdan (3.3.1) mukaan.

Taulukko 27. Aurinkokeräimen tuottama lämpöenergia

Keräimen tuottama lämmitysenergia (kWh/kk)			
	X	Y	Q (kWh/kk)
tammikuu	2,179092992	0,10387778	<b>-11,68491163</b>
helmikuu	4,582012046	0,596724845	<b>99,34792989</b>
maaliskuu	4,180729884	1,080328908	<b>248,3229171</b>
huhtikuu	3,511926282	1,642614383	<b>360,3127284</b>
toukokuu	2,790292815	2,172173411	<b>458,9826084</b>
kesäkuu	2,278854766	1,931022629	<b>427,4298798</b>
heinäkuu	2,012457365	1,894493266	<b>443,0096899</b>
elokuu	2,237265299	1,552325796	<b>373,0883633</b>
syyskuu	2,752075467	1,121048998	<b>288,1152009</b>
lokakuu	3,326459737	0,49683258	<b>100,8655217</b>
marraskuu	3,981774863	0,083102224	<b>-59,3685872</b>
joulukuu	4,449375365	0,046371041	<b>-80,9689162</b>
		<b>Yhteensä</b>	<b>2647,452424</b>

## 7.4 Lämmitysmuodot

Kohteessa tilojen lämmitysenergia halutaan tuottaa mahdollisimman helppohoitaisella tavalla. Kohde on suunniteltu toteutettavan joko ilmavesilämpöpumpulla tai maalämpöpumpulla. Ilmavesilämpöpumpun etu maalämpöön on alhaisempi hankintahinta. Maalämpöpumpun etuna on toimintakyky kovemmillakin pakkasilla hyvällä hyötysuhteella, koska maaperän lämpötila pysyy tasaisena koko vuoden. Lämpöpumppujen sähkönkulutus on laskettu kohdan (3.2.1) mukaan.

### 7.4.1 Ilmavesilämpöpumppu

Valitaan kyseiseen kohteeseen esimerkkinä Jäspi Tehovatti Air Nordic 8. Kyseisen Lämpöpumpun tehon on 8 kW ja alin toimintalämpötila  $-25^{\circ}\text{C}$ . [55]. Tilojen lämmittämiseen uusilla rakenteilla kuluu energiaa noin 15000 kWh vuodessa. Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen menee energiaa 4700 kWh vuodessa. Mitoitustilanteen lämpötila on  $-31^{\circ}\text{C}$  ja menoveden lämpötila on  $40^{\circ}\text{C}$ . Lämpimän käyttöveden lämpötila on  $60^{\circ}\text{C}$ . Lämpöpumpun teho  $0^{\circ}\text{C}$  lämpötilassa ja menoveden lämpötilan ollessa  $35^{\circ}\text{C}$  on 6200W. Lähtöarvot on eitetty taulukossa 28.

Taulukko 28. Laskennan lähtöarvot

<b>Ilmavesilämpöpumppu (Jäspi Tehovatti Air Nordic 8)</b>	
<b>Qlämmitys, tilat</b>	15000
<b>Qlämmitys, LKV</b>	4700
<b>Menoveden lämpötila <math>^{\circ}\text{C}</math></b>	40
<b>Ulkoilman lämpötila <math>^{\circ}\text{C}</math></b>	-31
<b><math>\phi_{lpn}</math> [Tulko / Tmeno (0/35)<math>^{\circ}\text{C}</math>] W</b>	6200
<b><math>\phi_{tila}</math> [ - 31 <math>^{\circ}\text{C}</math>]</b>	3500

Laskentamenetelmänä käytetään ympäristöministeriön lämpöpumppujen energialaskentaoppaan yksinkertaistettua menetelmää. Menetelmää voidaan käyttää lämpöpumppujen energialaskennassa. Menetelmän avulla pystytään arvioimaan lämpöpumpun sähköenergian kulutusta vuo-

sitasolla. Tarkempia laskentoja tehtäessä tarvitaan laajempaa laskentatapaa. Laajempi laskentatapa on rajattu tässä työssä pois, sillä laajempi laskentatapa vaatii tarkempia talotekniikka suunnitelmia lähtötiedoiksi. [20.]

Mitoitus tehdään säävyöhykkeelle 3 ja se vastaa Jyväskylän säävyöhykettä. [20]. Taulukossa 29 on esitetty lämpöpumpun teho suhteessa tilojen lämmityksen tarpeeseen sekä tilojen lämmityksen ja lämpimän käyttöveden suhde. Arvojen perusteella valitaan taulukosta 10 vastaava lämpöpumpun kattama osuus vuotuisesta lämmitysenergiatarpeesta.

Taulukko 29. Lämpöpumpun lämpöteho suhteessa tiloihin ja tilojen lämmitys suhteessa lämpimään käyttövedeen

$\phi_{lpn}/\phi_{tila}$	1,77142857
$Q_{lämmitys,tilat}/Q_{lämmitys,LKV}$	2,34042553

Taulukosta 10 saadaan suhteelliseksi lämpöenergiaksi 0,9. Suhteellisen lämpöenergian perusteella lasketaan kaavojen 30 ja 31 mukaisesti lämpöpumpun lisälämmityksen energiamäärä vuodessa. Lisälämmitys lasketaan lämpimälle käyttövedelle ja tilojen lämmittämiseksi. Lämpöpumpun lämmitysenergia lasketaan lämpimälle käyttövedelle ja tilojen lämmitykselle kaavoilla 32 ja 33. Tilojen lämmitysenergian ja taulukon 11 spf-lukujen avulla saadaan kaavalla 34 lämpöpumpun sähköenergian tarve vuodessa. Taulukossa 32 on esitetty laskennan väliarvoja sekä sähköenergian tarve tiloille ja lämpimälle käyttövedelle.

Taulukko 30. Sähköenergian tarve tiloille ja lämpimälle käyttövedelle

$Q_{lp}/Q_{lämmitys,tilat,LKV}$ $t_m = 40^\circ C$	0,9
$Q_{lisälämmitys, tilat kWh}$	1500
$Q_{lisälämmitys, LKV}$	470
$Q_{LP, lämmitys, tila}$	13500
$Q_{LP, lämmitys, LKV}$	4230
$W_{LP tilat}$	5400
$W_{LP lämmin käyttövesi}$	2643,75
<b><math>W_{LP lämmitys}</math></b>	<b>8043,75</b>

Vuositasolla lämpöpumppu pystyy tuottamaan lämpöä noin 1,8-kertaisesti kuluttamaansa sähköenergiayksikköä kohden. Lämpimän käyttöveden osuus sähkönkulutuksesta on 2600 kWh vuodessa. Lämpimän käyttöveden sähkönkulutus on riippuvainen veden kulutuksesta ja vallitsevista olosuhteista.

Koska ilma-vesilämpöpumpun lämpöteho heikkenee kylmimmissä lämpötiloissa huomattavasti, joudutaan kylmimmillä keleillä tilojen lämmitysenergia tuottamaan sähköllä tai muulla lämmitysmodolla. Lämpimän käyttöveden lämmitys voidaan toteuttaa esimerkiksi sähkövastuksella varustetulla puskurivaraajalla. Puskurivaraaja toimii myös samalla aurinkokeräinten varaajana, jolloin sähkön osuutta lämpimän käyttöveden tuotannossa voidaan vähentää.

Kohdan 7.3 mukaan laskettuna aurinkokeräinjärjestelmän tuottama energia pystyy korvaamaan lämpöpumpun tarvitseman lisälämmitysenergian lämpimän käyttöveden osalta kokonaisuudessaan. Huomioitavaa on, että aurinkokeräinten tuottama energia on vähäistä talvikuukausina ja lämmöntuotanto painottuu kevät- ja kesäkauteen.

#### 7.4.2 Maalämpöpumppu

Valitaan esimerkkinä kyseiseen kohteeseen Oilon Cube 6 – maalämpöpumppu. Maalämmön keuruupiirin keskilämpötila oletetaan olevan  $-3^{\circ}\text{C}$  vuositasolla. Lähtöarvot on esitetty taulukossa 31. [56.] [20.]

Taulukko 31. Laskennan lähtöarvot

<b>Maalämpöpumppu (Oilon Cube 6)</b>	
<b>Q<sub>lämmitys, tilat</sub></b>	15000
<b>Q<sub>lämmitys, LKV</sub></b>	4700
<b>Menoveden lämpötila °C</b>	40
<b>Ulkoilman lämpötila °C</b>	-31
<b>φ<sub>lpn</sub> [Tulko / T<sub>meno</sub> (0/35)°C] W</b>	5400
<b>φ<sub>tila</sub> [ - 31 °C]</b>	3500

Mitoitus tehdään säävyöhykkeelle 3 ja se vastaa Jyväskylän säävyöhykettä [20]. Taulukossa 32 on esitetty lämpöpumpun teho suhteessa tilojen lämmityksen tarpeeseen sekä tilojen lämmityksen ja lämpimän käyttöveden suhde. Arvojen perusteella valitaan taulukosta 9 vastaava lämpöpumpun kattama osuus vuotuisesta lämmitysenergiatarpeesta

Taulukko 32. Lämpöpumpun lämpöteho suhteessa tiloihin ja tilojen lämmitys suhteessa lämpimään käyttövedeen

$\phi_{lpn}/\phi_{tila}$	1,54285714
$Q_{lämmitys,tilat}/Q_{lämmitys,LKV}$	3,19148936

Taulukosta 9 saadaan suhteelliseksi lämpöenergiaksi 0,9. Suhteellisen lämpöenergian perusteella lasketaan kaavoilla 30 ja 31 lämpöpumpun lisälämmityksen energiamäärä vuodessa. Lisälämmitys lasketaan lämpimälle käyttövedelle ja tilojen lämmittämiseksi. Lämpöpumpun lämmitysenergia lasketaan lämpimälle käyttövedelle ja tilojen lämmitykselle kaavoilla 33 ja 34. Tilojen lämmitysenergian ja taulukon 10 spf-lukujen avulla saadaan kaavalla 35 lämpöpumpun sähköenergian tarve vuodessa. Taulukossa 33 on esitetty laskennan väliarvoja sekä sähköenergian tarve tiloille ja lämpimälle käyttövedelle.

Taulukko 33. Sähköenergian tarve tiloille ja lämpimälle käyttövedelle

$Q_{lp}/Q_{lämmitys,tilat,LKV}$ $t_m = 40^\circ\text{C}$	1
$Q_{lisälämmitys, tilat kWh}$	0
$Q_{lisälämmitys, LKV}$	0
$Q_{LP, lämmitys, tila}$	15000
$Q_{LP, lämmitys, LKV}$	4700
$W_{LP tilat}$	5000
$W_{LP lämmin käyttövesi}$	1516,12903
<b><math>W_{LP lämmitys}</math></b>	<b>6516,12903</b>

Vuositasolla lämpöpumppu pystyy tuottamaan lämpöenergiaa noin 2,3-kertaisesti kuluttamaansa sähköenergiayksikköä kohden. Lämpimän käyttöveden osuus sähkönkulutuksesta on 1500 kWh vuodessa. Lämpimän käyttöveden sähkönkulutus on riippuvainen veden kulutuksesta ja vallitsevista olosuhteista. Maalämpöpumpun lämpökerroin on parempi verrattuna ilmavesilämpöpumppuun, koska maaperän lämpötila pysyy läpi vuoden suhteellisen tasaisena ja ilmaa lämpimämpänä, jolloin lisälämmityksen tarve vähenee. Lämpimän käyttöveden sähkön osuus voidaan korvata vuositasolla kokonaisuudessaan aurinkokeräimillä.

### 7.5 Aurinkosähköjärjestelmä

Lasketaan esimerkkinä kyseiseen kohteeseen aurinkokennojen tuottama sähköenergia vuodessa. Auringon säteilyn arvoina käytetään Jyväskylän arvoja. Aurinkopaneelijärjestelmän suurin sähköteho referenssitilanteessa on 12kW. Aurinkokennot sijoitetaan talon katolle ja pitemmät lappeet ovat itä-länsi- suunnassa. Aurinkokennot asennetaan 17°:n kulmaan. Taulukossa 34 on esitetty lähtötiedot. Aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotto on laskettu kohdan (3.4.1) mukaan.

Taulukko 34. Laskennan lähtötiedot

Sijainti	Kajaani->Jyväskylän arvot
Asennuskulma(°)	17
Kennoala (m <sup>2</sup> )	66
Sähköteho referenssitilanteessa (I <sub>ref</sub> =1 kW/m <sup>2</sup> , referenssilämpötilassa 25 oC) [kW]	12
Auringon säteilyn kokonaisenergiamäärä vuodessa (kWh/m <sup>2</sup> a)	890

Taulukossa 35 on esitetty asentokorjattu auringon säteilyenergia. Katon kallistuskulman ja paneelien suuntausten perusteella saadaan kaavalla 44 laskettua korjauskerroin, joka kyseisessä tilanteessa on 0,8.

Taulukko 35. Auringon asentokorjattu säteilyenergia

<b>Asentokorjattu Auringon säteilyn kokonaisenergiämäärä Vuodessa (kWh/m<sup>2</sup>a)</b>	712
<b>Käyttötilanteen toimivuuskerroin</b>	0,75
<b>Aurinkokennojen tuottama sähköenergia vuodessa (kWh,a)</b>	6408

Taulukossa 36 on laskettu sähkön tuotto kaavan 43 mukaan kyseisillä paneeleilla kuukausitasolla. Taulukosta nähdään, että sähkön tuotto on parhaimmillaan huhti-elokuun välisellä ajanjaksolla. Talvikuukausina sähkön tuotto on heikkoa, koska auringon säteilyenergiaa on vähän. Vuositasolla kyseisillä aurinkokennoilla pystytään korvaamaan lämpöpumppujen tarvitsema sähköenergia tilojen lämmityksessä kokonaisuudessaan.

Huomattavaa on se, että laskennoissa on käytetty Jyväskylän auringon säteilyarvoja. Kajaanin ollessa enemmän pohjoisessa voi auringon tuottama säteilyenergia jäädä hieman vähäisemmäksi verrattuna Jyväskylän arvoihin. Lisäksi talvella paneelien ollessa lumen peitossa ei paneeleista saada tehoa ollenkaan, jolloin sähköenergian osuus näiltä ajanjaksoilta jää vähäiseksi.

Taulukko 36. Aurinkopaneelien kuukausittainen sähköenergian tuotanto

Kuukausi	Vaakatason säteilysumma kWh/kk	Suhteellinen osuus vuoden säteilysummasta	Tuotto kWh/kk
tammikuu	5,4	0,043685393	38,88
helmikuu	20,1	0,162606742	144,72
maaliskuu	51,9	0,419865169	373,68
huhtikuu	102,9	0,832449438	740,88
toukokuu	171,4	1,386606742	1234,08
kesäkuu	159,1	1,287101124	1145,52
heinäkuu	158,2	1,279820225	1139,04
elokuu	113,9	0,921438202	820,08
syyskuu	71,1	0,575191011	511,92
lokakuu	25,3	0,204674157	182,16
marraskuu	7,3	0,05905618	52,56
joulukuu	3,2	0,02588764	23,04
<b>yhteensä</b>	<b>890</b>		<b>6408</b>

## 7.6 Kooste talotekniikkajärjestelmistä

Taulukossa 37 on esitetty valittujen lämpöpumppujen sähkönkulutus tiloille ja lämpimälle käyttövedelle vuositasolla. Maalämpöpumppu pystyy tuottamaan tarvittavan lämmitysenergian pienemällä energiamäärällä kuin ilma-vesilämpöpumppu. Tosin maalämpöpumpun tuottama veden lämpötila on alhaisempi kuin ilma-vesilämpöpumpun, mutta veden lämpötila riittää sekä patterilämmitykselle että lattialämmitykselle. Ilma-vesilämpöpumpun etu maalämpöön on alhaisempi hankintahinta.

Taulukko 37. Maalämpöpumpun ja ilmavesilämpöpumpun sähkönkulutus tiloille ja lämpimälle käyttövedelle sekä kiertoveden lämpötila.

lämpöpumppu	sähkönkulutus tilat (kWh)	sähkönkulutus lämmin käyttövesi (kWh)	Veden lämpötila	Lämpökerroin, vuosi
Ilma-vesi	5400	2600	40°C	1,8
maalämpö	5000	1500	35°C	2,3

Taulukossa 38 on esitetty Kokoluokaltaan 8 m<sup>2</sup>-kokoisen aurinkokeräimen arvoja, joka pystyy tuottamaan tarvittavan lämpöenergian määrän lämpimän käyttöveden osalta vuositasolla kummallekin lämpöpumpulle. Aurinkokennon lämpöenergia pystyy korvaamaan lämpöpumppujen sähköenergiankulutuksen lämpimän käyttöveden osalta. Aurinkokennon kokoa on tarkasteltu

teoreettisesti, ja todellisuudessa tarvittava kennoala voi olla hieman suurempi johtuen talvikauden vähäisestä auringon säteilymäärästä.

Taulukko 38. Aurinkokeräimen lämmöntuotto.

Aurinkokeräin	Koko (m <sup>2</sup> )	Lämmöntuotto vuodessa (kWh)
Tyhjiöputkikeräin	8	2600

Taulukossa 39 on esitetty kokoluokaltaan 66 m<sup>2</sup> -suuruisen aurinkokennon sähköntuotto vuositasolla. Aurinkokenno pystyy tuottamaan kyseisessä kokoluokassa lämpöpumppujen tarvitseman sähköenergian tilojen lämmitykseen. Kuten aurinkokeräinten aurinkokennojen tehoon vaikuttaa oleellisesti kennoihin kohdistuva auringon säteilyenergian määrä. Todellisuudessa kennojen kokoluokka voi olla teoreettisesti laskettua kokoluokkaa suurempi.

Taulukko 39. Aurinkokennon sähköntuotto.

Aurinkokenno	Koko (m <sup>2</sup> )	Sähkön tuotto vuodessa (kWh)
	66	6400

Kyseiset järjestelmät yhdessä pystyvät tuottamaan tarvittavan lämmitysenergiamäärän kohteessa. Lopullinen laitteistojen valinta vaatii yksityiskohtaista suunnittelua, jotta vältetään kyseisessä kohteessa toimimattomien järjestelmien hankinnalta.

## 8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli laskea ja suunnitella alustavasti Kajaanissa sijaitsevaan pientaloon energiataloutta parantava korjauskokonaisuus, joka parantaa talon käyttömukavuutta ja vähentää ostoenergian tarvetta. Omat tavoitteeni työn osalle olivat tiedon ja taidon kehittäminen rakennuksen energiatehokkuudesta ja talotekniikkajärjestelmistä.

Pientalon vuotuinen energiankulutus pystytään korvaamaan kokonaisuudessaan yhdistämällä lämpöpumppu ja aurinkoenergiatekniikkaa. Vesi-ilmalämpöpumpun ja maalämpöpumpun vuotuinen sähköenergiankulutus voidaan korvata aurinkokennoilla ja lämpimän käyttöveden osuus voidaan korvata aurinkokeräinten avulla.

Työn haasteeksi muodostui aihealueen laajuus ja monimuotoisuus. Aiheeseen on olemassa paljon teoriaa ja teorian tiivistäminen yhteen työhön ilman, että tärkeät seikat eivät jää pois, oli hieman hankalaa. Luotettavien tietojen löytäminen on haasteellista, sillä esimerkiksi talotekniikkatuotevalmistajat voivat antaa tuotteilleen liian optimistisia arvoja mainostustarkoituksessa.

Työn teoreettista osuutta voidaan pitää luotettavana, sillä siinä on käytetty niiltä osin kuin mahdollista olemassa olevia virallisia lähteitä. Työn teoreettiset lähteet painottuvat suurimmalta osin rakennusalaalla laajalti hyväksytyihin lähteisiin.

Talotekniikkaan tarvitaan jatkosuunnitelmia, kun on tiedossa lopulliset ratkaisut ja suunnitelmat kohteessa. Tarkempien talotekniikkasuunnitelmien pohjalta voidaan valita kyseiseen kohteeseen sopivimmat ratkaisut ja välttää hankinnoilta, jotka ovat joko turhia tai toimimattomia kyseisessä kohteessa.

Työlle asetetut tavoitteet onnistuttiin saavuttamaan ja saadun tiedon perusteella kohteessa voidaan valmistella mahdollisia jatkosuunnitelmia työn pohjalta. Työn tekeminen mahdollisti samalla uusien asioiden ymmärtämistä aihealueesta ja sen pohjalta osaamista on helpompi kartoittaa lisää.

## Lähteet

- 1 Ympäristöministeriö. Ohje rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskennasta. [internet]. 2017 [viitattu 12.12.2022]. Saatavilla: <https://ym.fi/documents/1410903/0/Ohje+-+Rakennuksen+energiankulutuksen+ja+l%C3%A4mmitystehontarpeen+laskenta+20-12-2017.pdf/3efb5c34-e921-592e-3d54-aaf9ecc1b62e/Ohje+-+Rakennuksen+energiankulutuksen+ja+l%C3%A4mmitystehontarpeen+laskenta+20-12-2017.pdf?t=1647934666563>
- 2 Motiva. Rakentaminen ja rakennukset. [internet]. 2022 [viitattu 13.12.2022]. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kestavat\\_julkiset\\_hankinnat/tietopankki/rakentaminen\\_ja\\_rakennukset](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/rakentaminen_ja_rakennukset)
- 3 Tilastokeskus. Asumisen energiankulutus. [internet]. 2022 [viitattu 10.12.2022]. Saatavilla: <https://www.stat.fi/julkaisu/ckfwmfrsg03h3015636dbwcpq>
- 4 Tilastokeskus. Asumisen energiankulutus. [internet]. 2021 [viitattu 10.12.2022]. Saatavilla: [https://www.stat.fi/til/asen/2020/asen\\_2020\\_2021-12-16\\_fi.pdf](https://www.stat.fi/til/asen/2020/asen_2020_2021-12-16_fi.pdf)
- 5 Ympäristöministeriö. Asetus rakennuksen energiatehokkuudesta. [internet]. 2011 [viitattu 10.11.2022]. Saatavilla: <https://www.ym.fi/download/none/%7BFD99E48D-F28B-452E-8175-29EA77ABD4CA%7D/133872>
- 6 Motiva. Ilma-vesilämpöpumppu. [internet]. 2022 [viitattu 14.12.2022]. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilma-vesilampopumppu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilma-vesilampopumppu)
- 7 Ympäristöministeriö. Tasauslaskentaopas 2018. [internet]. 2018 [viitattu 10.11.2022]. Saatavilla: <https://www.ym.fi/download/none/%7BB1EC8754-0BC6-413B-B158-886FA7770FCF%7D/136449>
- 8 Ympäristöministeriö. C4 (2012) Lämmöneristys. [internet]. 2012 [viitattu 10.11.2022]. Saatavilla: <https://www.ym.fi/download/none/%7BE3549160-2ED6-4807-8556-230BDC60275B%7D/30749>

- 9 Ympäristöministeriö. Rakennusten kosteustekninen toimivuus. [internet]. 2020 [viitattu 1.1.2023]. Saatavilla: <https://www.ymparisto.fi/download/name/%7BF3A686EA-E374-4983-A396-CC15D6830B7B%7D/156354>
- 10 Sisäilmayhdistys. Ilman ominaisuudet. [internet]. 2008 [viitattu 11.10.2022]. Saatavilla: <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilman-ominaisuudet>
- 11 Ilmatieteenlaitos. Kosteus-ilmanpainen ja lumitilastot. [internet]. 2020 [viitattu 12.11.2022]. Saatavilla: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/1991-2020-kosteus-ilmanpaine-ja-lumitilastot>
- 12 Wikipedia. Kosteus. [internet]. 2022 [viitattu 13.11.2022]. Saatavilla: <https://fi.wikipedia.org/wiki/Kosteus>
- 13 RIL 102 2012. Rakennuksen veden- ja kosteudeneristysohje. Rakennusinsinöörien liitto. 2012.
- 14 RIL 107-2000. Rakennuksen veden- ja kosteudeneristysohje. Rakennusinsinöörien liitto. 2000
- 15 Ympäristöministeriö. Suomen rakentamismääräyskokoelma C2. Kosteus. [internet] 1998 [viitattu 10.11.2022]. Saatavilla: <https://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/c2.pdf>
- 16 Matti Tiainen. Rakennusfysiikka luennot. Lämpö. 2019. Kajaanin ammattikorkeakoulu
- 17 Matti Tiainen. Rakennusfysiikan luennot. Kosteus. 2019. Kajaanin ammattikorkeakoulu
- 18 Motiva. Ilmavesi-lämpöpumppu. [internet] 2022 [viitattu 12.12.2022]. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilma-vesilampopumppu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/ilma-vesilampopumppu)
- 19 Tero Suutari. Nilan. Cop vs scop hyötysuhteiden erot. [internet] 2022 [viitattu 11.12.2022]. Saatavilla: <https://www.nilan.fi/energiansaasto/cop-vs-scop-hyotysuhteiden-erot/>

- 20 Ympäristöministeriö. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. [internet] 2012 [viitattu 12.12.2022]. Saatavilla: [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Lampopumppujen-energiälaskentaopas-3.10.2012-10A732A6\\_EA2F\\_45F9\\_869C\\_6F909138CB26-30757.pdf/1d053cd5-1865-e174-6424-841fac831c48/Lampopumppujen-energiälaskentaopas-3.10.2012-10A732A6\\_EA2F\\_45F9\\_869C\\_6F909138CB26-30757.pdf?t=1603260214849](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Lampopumppujen-energiälaskentaopas-3.10.2012-10A732A6_EA2F_45F9_869C_6F909138CB26-30757.pdf/1d053cd5-1865-e174-6424-841fac831c48/Lampopumppujen-energiälaskentaopas-3.10.2012-10A732A6_EA2F_45F9_869C_6F909138CB26-30757.pdf?t=1603260214849)
- 21 Motiva. Maalämpöpumppu. [internet] 2022 [viitattu 10.12.2022]. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopumput/lampopumpputeknologiat/maalampopumppu)
- 22 LVI 11-10332. Lämpöpumput. LVI- kortisto. Rakennustieto. 2002.
- 23 RT 103077. Aurinkolämpöjärjestelmä. RT-kortisto. Rakennustieto 2019.
- 24 Motiva. Aurinkokeräinten hyötysuhteet. [internet] 2022 [viitattu 10.11.2022] Saatavilla: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/aurinkokerainten\\_hyotysuhteet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/aurinkokerainten_hyotysuhteet)
- 25 Ympäristöministeriö. Aurinko-opas. [internet] 2018 [viitattu 10.10.2022] Saatavilla: [https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Aurinko-Laskentaopas-2012\\_ver23082011-F4F73E83\\_56AF\\_4112\\_AD7B\\_0E1F1804D38B-30750.pdf/c6be6102-7bf6-17ae-17b0-d54c2cd99d83/Aurinko-Laskentaopas-2012\\_ver23082011-F4F73E83\\_56AF\\_4112\\_AD7B\\_0E1F1804D38B-30750.pdf?t=1603260207096](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Aurinko-Laskentaopas-2012_ver23082011-F4F73E83_56AF_4112_AD7B_0E1F1804D38B-30750.pdf/c6be6102-7bf6-17ae-17b0-d54c2cd99d83/Aurinko-Laskentaopas-2012_ver23082011-F4F73E83_56AF_4112_AD7B_0E1F1804D38B-30750.pdf?t=1603260207096)
- 26 Motiva. Auringosta sähköä. [internet] 2022 [viitattu 1.12.2022] Saatavilla : [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringosta\\_sahkoa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa)
- 27 Lumme- energia. Half cut aurinkopaneeli. [internet] [viitattu 10.11.2022] Saatavilla: <https://energiaa.lumme-energia.fi/energiaa/half-cut-aurinkopaneeli-tuottaa-%C3%A4hk%C3%B6%C3%A4-my%C3%B6s-osittain-varjostettuna>
- 28 Aurinkovirta.fi. Invertteri. [internet] 2022 [viitattu 10.11.2022]. Saatavilla: <https://aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/>

- 29 greencycle. Erilaiset akkutyypit. [internet] [viitattu 10.10.2022]. Saatavilla: <https://www.greencycle.fi/page/23/erilaiset-akkutyypit>
- 30 Motiva. Aurinkosäteilyn määrä Suomessa. [internet] 2022 [viitattu 1.12.2022]. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringonsateilyn\\_maara\\_suomessa3](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa3)
- 31 Talotekniikkainfo. Matalarakennejärjestelmä lattialämmitykseen. [internet] [viitattu 12.12.2022]. Saatavilla: <https://talotekniikkainfo.fi/ratkaisut-etusivu/matalarakennejarjestelma-lattialammitukseen>
- 32 Uponor. Lattialämmitys ja- viilennys. [internet] [viitattu 10.11.2022] Saatavilla: <https://www.uponor.com/fi-fi/tuotejarjestelmat/lattialammitys-viilennys>
- 33 Cleverheating. Vesikiertoinen lattialämmitys -edut ja haitat. [internet] 2014 [viitattu 10.11.2022]. Saatavilla: <https://www.cleverheating.fi/vesikiertoinen-lattialammitys-edut-ja-haitat/>.
- 34 LVI 13-10261. Vesikiertoinen lattialämmitys. Rakennustieto. 1996.
- 35 Theseus. Jari Leppiniemi. Opinnäytetyö. Lattialämmityksen suunnitteluohjeistus. [internet] 2012 [viitattu 12.11.2022]. Saatavilla: [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/51582/insinorityo%20lattialammituksen%20suunnitteluohjeistus%20LOPULLINEN%2001\\_12\\_2012.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/51582/insinorityo%20lattialammituksen%20suunnitteluohjeistus%20LOPULLINEN%2001_12_2012.pdf?sequence=1)
- 36 Mikko Iivonen. Purmo. Patterilämmityksen parhaat puolet. [internet] [viitattu 1.12.2022] Saatavilla: <https://www.purmo.com/fi-fi/the-indoors/insights/patterilammituksen-parhaat-puolet>
- 37 Jaspi. 5 vastausta ilma-vesilämpöpumpusta. [internet] 2018 [viitattu 2.12.2022] Saatavilla: <https://jaspi.fi/2018/02/05/blogi-5-vastausta-ilma-vesilampopumpusta/>.
- 38 Lämmönhuolto. korrosio lämmitysverkossa. [internet] [viitattu 20.10.2022]. Saatavilla: <http://www.lammonhuolto.fi/korrosio.html>.
- 39 Purmo. Tehonlaskentaohjelma. [internet] [viitattu 12.12.2022] Saatavilla: <https://www.purmo.com/fi-fi/tyokalut/teholaskentaohjelma>.

- 40 LVI 12-10343. Vesikiertoinen patterilämmitys. Rakennustieto 2002.
- 41 Ympäristöministeriö. Rakennuksen lämmöneristys. [internet] 2010 [viitattu 20.12.2022]. Saatavilla: <https://www.ymparisto.fi/download/no-name/%7B7BF051A7-6436-4724-A1FD-7688A56FB09B%7D/102966>
- 42 Rakentaja.fi. Ääneneristyksen parantamisella suuri vaikutus asuinviihtyvyyteen. [internet] 2022 [viitattu 1.12.2022]. Saatavilla: [https://www.rakentaja.fi/artikkelit/10907/valiseina\\_eristaminen\\_isover\\_saint\\_gobain.htm](https://www.rakentaja.fi/artikkelit/10907/valiseina_eristaminen_isover_saint_gobain.htm)
- 43 1010/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017 [viitattu 12.12.2022]. Saatavilla: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171010>
- 44 Ympäristöministeriö. Tyypillisiä olemassa olevien vanhojen rakennusten suunnitteluarvoja. [internet] 2018 [viitattu 10.11.2022]. Saatavilla: [https://ym.fi/rakentamismaaraykset\\_Tyypillisia\\_olemassa\\_olevien\\_vanhojen\\_rakennusten\\_alkuperaisia\\_suunnitteluarvoja](https://ym.fi/rakentamismaaraykset_Tyypillisia_olemassa_olevien_vanhojen_rakennusten_alkuperaisia_suunnitteluarvoja)
- 45 Ilmatieteenlaitos. Lämpötila- ja sadetilastoja vuodesta 1961. [internet] [viitattu 12.12.2022]. Saatavilla: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961>
- 46 Motiva. Matalaenergiatalon määritelmä. [internet] 2021 [viitattu 12.12.2022]. Saatavilla: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/millainen\\_on\\_energiatehokas\\_pientalo/matalaenergiatalon\\_maaritelmia](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/millainen_on_energiatehokas_pientalo/matalaenergiatalon_maaritelmia).
- 47 Finfoam. Finfoam lämmöneristeet. [internet] 2011 [viitattu 10.11.2022] Saatavilla: [https://www.taloon.com/media/attachments/finnfoam\\_rt\\_kortti.pdf](https://www.taloon.com/media/attachments/finnfoam_rt_kortti.pdf)
- 48 Joonas Kinnunen, haastattelu 1.11.2022
- 49 Isover. Isover premium 33. [internet][viitattu 20.12.2022] Saatavilla: <https://www.isover.fi/tuotteet/isover-premium-33-0#dokumentit>
- 50 Isover. Isover façade. [internet][viitattu 20.12.2022] Saatavilla: <https://www.isover.fi/tuotteet/isover-facade#dokumentit>
- 51 Hartman. Leku aluskate. [internet][viitattu 20.12.2022]. Saatavilla: <https://www.hartman.fi/fi/mwdownloads/download/link/id/2557>

- 52 Purmo. Radiaattorin ja konvektorin ero. [internet][viitattu 12.12.2022]. Saatavilla: <https://www.purmo.com/fi-fi/the-indoors/vesikiertoinen-lammitys/konvektor-vs-radiator>
- 53 [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/aurinkolampo-jarjestelman\\_kaytto/aurinkolammon\\_varastointi/varastointi\\_vesivaraajaan](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampo-jarjestelman_kaytto/aurinkolammon_varastointi/varastointi_vesivaraajaan)
- 54 Jaspi. Tehowatti Air Nordic. Ilma-vesilämpöpumppu. [internet] [viitattu 25.12.2022]. Saatavilla: [https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2017/01/Jaspi\\_Tw-Air-Nordic\\_tuotekortti\\_0122.pdf](https://jaspi.fi/wp-content/uploads/2017/01/Jaspi_Tw-Air-Nordic_tuotekortti_0122.pdf)
- 55 Taloon. com. Esite. Oilon Cube 6. [internet] [viitattu 26.12.2022]. Saatavilla: [https://www.taloon.com/media/attachments/oilon/cube/CUBE-EasyAce\\_FI.pdf](https://www.taloon.com/media/attachments/oilon/cube/CUBE-EasyAce_FI.pdf)

## Liitteet

Liite 1 Uusien rakenteiden tasauslaskelma ympäristöministeriön tasauslaskentaohjelma osa 1

Liite 2 Uusien rakenteiden tasauslaskelma ympäristöministeriön tasauslaskentaohjelma osa 2

Tulos: Suunnitteluratkaisu

## TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

## Rakennuksen laajuustiedot

Rakennusilavuus	405 rak-m <sup>3</sup>
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	208 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	208 m <sup>2</sup>
Lämmitetty nettoala, puoliämpimät tilat	m <sup>2</sup>
Rakennusluokka (1 - 9)	1
	1
Rakennuksen kerros määrä	2 kerrosta

## Laskentatuloksia

Julkisivupinta-ala on 126 m<sup>2</sup>  
 Ikkunapinta-ala on 7 % maanpäällisestä kerrostasosalasta  
 Ikkunapinta-ala on 12 % julkisivun pinta-alasta  
 Lämpöhäviö on 65 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m <sup>2</sup>		U-arvot, W/(m <sup>2</sup> K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
<b>RAKENNUSOSAT</b>						
Lämpimät tilat						
Ulkoseinä	93	109	0,17	0,17	15,8	18,5
Massiiviseinä <sup>2)</sup>			0,40		-	-
Yläpohja	120	120	0,09	0,09	10,8	10,8
Alapohja (ulkolmaan rajoittuva)		104	0,09	0,09	9,4	9,4
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,16		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	31,2	15,0	1,00	1,00	31,2	15,0
Uiko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>	2,0		1,00	1,00	2,0	2,0
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattolokuvut			1,00		-	-
<b>Lämpimät tilat yhteensä</b>	<b>350</b>	<b>350</b>			<b>69,1</b>	<b>55,7</b>
Puoliämpimät tilat tai määräraikaiset rakennukset						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiiviseinä <sup>2)</sup>			0,60		-	-
Yläpohja			0,14		-	-
Alapohja (ulkolmaan rajoittuva)			0,14		-	-
Alapohja (ryömintätilaan rajoittuva)			0,26		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-	-
Ikkunat			1,40		-	-
Uiko-ovet ja tuuletusluukut <sup>2)</sup>			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattolokuvut			1,40		-	-
<b>Puoliämpimät tilat yhteensä</b>	<b>-</b>	<b>-</b>			<b>-</b>	<b>-</b>
<b>VAIPAN ILMAVUODOT</b>	Ilmanvuotoluku, m <sup>3</sup> /(h m <sup>2</sup> ) [q <sub>0</sub> ]		Vuotoilmavirta, m <sup>3</sup> /s [q <sub>v</sub> , v= q <sub>0</sub> / 24 · A/3600]		Ominaislämpöhäviö, WK [H <sub>vuotoilma</sub> = 1200 · q <sub>v</sub> ]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0	1,0	0,0081	0,0041	9,7	4,9
Puoliämpimät tilat	2,0				-	-
<b>ILMANVAIHTO</b>	Poistoilmavirta, m <sup>3</sup> /s [q <sub>v,p</sub> ]		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η <sub>v</sub> ]		Ominaislämpöhäviö, WK [H <sub>v</sub> = 1200 · q <sub>v,p</sub> · (1-η <sub>v</sub> )]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat		0,083	55	80	44,9	20,0
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
Puoliämpimät tilat				55	-	-
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta				0	-	-
<b>Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus</b>					Ominaislämpöhäviö, WK [H = H <sub>ohi</sub> + H <sub>vuotoilma</sub> + H <sub>v</sub> ]	
					Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					124	81
Puoliämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					-	-

Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden tarkistuslista			
<b>Pinta-alat</b>			
Vertailukunapinta-ala on 15 % yhteenlasketuista maanpäällisistä kerrostasoloista, mutta kuitenkin enintään 50 % julkisivujen pinta-alasta		<input checked="" type="checkbox"/> kyllä	<input type="checkbox"/> ei
		<input checked="" type="checkbox"/> v	<input type="checkbox"/>
Rakennusosien yhteenlaskettu pinta-ala sama molemmissa ratkaisuissa			
- lämpimissä floissa		<input checked="" type="checkbox"/> v	<input type="checkbox"/>
- puoliämpimissä floissa		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Rakennusvaipan ilmanpitävyys</b>			
Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun $q_{10}$ suunnitteluarvo on enintään erimmäisarvon suuruinen		<input checked="" type="checkbox"/> kyllä	<input type="checkbox"/> ei
- lämpimissä floissa		<input checked="" type="checkbox"/> v	<input type="checkbox"/>
- puoliämpimissä floissa		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			Enimmäisarvo
			Summiteluarvo
			4
			1,00
			4
<b>Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus</b>			
Suunnitteluratkaisun ominaislämpöhäviö on enintään vertailuratkaisun suuruinen		<input checked="" type="checkbox"/> kyllä	<input type="checkbox"/> ei
- lämpimissä floissa		<input checked="" type="checkbox"/> v	<input type="checkbox"/>
- puoliämpimissä floissa		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			Vertailuarvo
			Suunnitteluarvo
			124 W/K
			81 W/K
<b>Tarkistuslistan yhteenveto</b>			
Suunnitteluratkaisu täyttää lämpöhäviövaatimukset		<input checked="" type="checkbox"/> kyllä	<input type="checkbox"/> ei
		<input checked="" type="checkbox"/> v	<input type="checkbox"/>
<b>Lisätietoja</b>			
<b>Rakennuksen ilmanpitävyys</b>			
Rakennuksen suunnitteluratkaisun lämpöhäviön laskennassa käytetään rakennusvaipan ilmanvuotoluvun $q_{10}$ suunnitteluarvoa.			
Rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku $q_{10}$ saa olla enintään $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ , mutta ilmanvuotoluku voi ylittää tämän arvon, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä.			
Jos ilmanpitävyyttä ei tulla osoittamaan mittamalla tai teollisen talonrakennuksen laadunvarmistusmenettelyllä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään arvoa $4,0 \text{ m}^3/(\text{h m}^2)$ .			
<b>Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde</b>			
Ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään käyttäen lämmöntalteenotolaitteen ominaisuuksia ja ilmanvaihtokoneen suunniteltuja ilmavirtoja sekä asetuksen liitteessä 1 säädetyn säävytykseen 1 säädittejä. Kahden tai useamman ilmanvaihtokoneen poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde määritetään suunniteltujen ilmavirtojen ja käyntiaikojen painotettuna vuosihyötysuhteena. Rakennuksen suunnitteluratkaisun ilmanvaihdon lämpöhäviö lasketaan näin määritettyä poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhdella ja asetuksen 26 § mukaisia ilmavirtojen arvoja ja käyntiaikoja.			
<b>Huomautus</b>			
Tässä lomakkeessa esitetyt lämpöhäviövaatimukset koskevat rakennuksia, joiden kerrosala on $50 \text{ m}^2$ tai enemmän.			