

Misael Urbano Soriano

# Tutkimus lämmönluovutuslevyjen merkityksestä puisissa välipohjara- kenteissa

Opinnäytetyö  
Talotekniikan ko


Huhtikuu 2013




**MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU**

Mikkeli University of Applied Sciences

# KUVAILULEHTI

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Opinnäytetyön päivämäärä	
<b>Tekijä(t)</b> Misael Urbano Soriano		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Talotekniikka, LVI	
<b>Nimeke</b> Tutkimus lämmönluovutuslevyjen merkityksestä puisissa välipohjarakenteissa			
<b>Tiivistelmä</b> <p>Tutkimuksen oli tarkoitus mallintaa lattialämmityksessä käytettävien lämmönluovutus/lämmöntasauslevyjen toiminta matemaattisesti keskimääräisen pintalämpötilan ja lämmönluovutustehon avulla. Opinnäytetyössä esitettyjen laskujen tulokset vahvistettiin kuvaamalla tutkimusta varten rakennettujen välipohjamallien pintalämpötiloja. Pintalämpötilat kuvattiin lämpökameralla.</p> <p>Mallinnukseen ja vertailuun käytettiin 20 x 2mm putkelle tarkoitettuja alumiinisia lämmönluovutuslevyjä sekä 16 x 2mm putkelle tarkoitettuja sinkittyjä ja alumiinisia levyjä. Laskut vahvistettiin rakentamalla kaksi puista välipohjamallia. Toisen välipohjamallin lattialämmityspiirissä on käytetty 16 x 2mm putkea ja toisessa 20 x 2mm putkea. Välipohjamallien avulla toteutettiin neljä eri testiä LVI-laboratoriossa. Mittaustulosten perusteella jokaiselle testille on laskettu erikseen keskimääräinen pintalämpötila. Mittauksien aikana suoritettiin kuitenkin vielä yksi ylimääräinen testi 20 x 2mm putkelle tarkoitettussa mallissa ilman lämmönluovutuslevyjä. Ylimääräinen testi kertoo lämmönluovutuslevyjen vaikutuksen keskimääräiseen pintalämpötilaan.</p> <p>Laskujen ja mittausten perusteella lämmönluovutuslevyjen merkitys on oleellinen puisissa välipohjarakenteissa. Lämmönluovutuslevyt tasaavat lattialämmityspotkista saadun lämmönluovutustehon tasaisesti lattiapinnalle. Ilman levyjä toteutettavassa mallissa jouduttaisiin käyttämään suurempaa menoveden lämpötilaa ja lämpimän tuntu olisi myös epätasaista. 20 x 2mm putkella toteutetusta ratkaisusta saadaan suurempi lämmönluovutusteho, mutta 16 x 2 mm putkella toteutetusta järjestelmästä saadaan riittävä lämmönluovutusteho normaaliin omakotitalo kohteeseen. Testien toteutuksen aikana lämpötila jakaantui tasaisesti pinnoille. Mittausten perusteella ei ole väliä, käyttääkö alumiinisia vai sinkittyjä levyjä.</p> <p>Tämä opinnäytetyö antaa tietoa kaikille, jotka ovat kiinnostuneita lämmönluovutuslevyjen toiminnasta lattialämmityksessä. Jos joku tutkii levyjen lämpöteknistä käyttäytymistä lisää, suosittelen käyttävän mallintamiseen 2D-tietokonemallinnusohjelmaa.</p>			
<b>Asiasanat (avainsanat)</b> Lattialämmitys, lämmönluovutuslevyt, lämmönsiirto, lämpökamerakuvaus, puuvälipohja			
<b>Sivumäärä</b> 35+9	<b>Kieli</b> Suomi	<b>URN</b>	
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>			
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b> Aki Valkeapää		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b> Heatco Finland Oy	

## DESCRIPTION

 <p><b>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU</b> Mikkeli University of Applied Sciences</p>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>	
<b>Author(s)</b> Misael Urbano Soriano		<b>Degree programme and option</b> Building services, HVAC	
<b>Name of the bachelor's thesis</b> Research of how metal panels work in under floor heating when used in wooden intermediate floors			
<b>Abstract</b> <p>This bachelor's thesis aimed to model under floor heating with metal panels by calculating heat losses and mean surface temperatures. Calculations were verified by measuring the surface temperatures from simulation models which were built for this thesis. Measurements were made by using a heat camera.</p> <p>Aluminium metal panels for 20 x 2mm and 16 x 2mm pipes and zink metal panels for 16 x 2mm pipes were used for calculations and later to modelling in this thesis. For modelling two wooden intermediate floors were built to confirm the calculations. One of the models was built for 20 x 2mm under floor heating pipes and the other one is built for 16 x 2mm under floor heating pipes. Using the floor models, three different tests were made in HVAC laboratory in Mikkeli university of applied sciences by using a heat camera to measure surface temperatures from the models. With the results of the measurements it was possible to calculate the mean surface temperatures for every test. One extra test was made by using 20 x 2mm pipes without metal panels to show the effect of the heating panels in wooden floors to surface temperatures.</p> <p>The calculations and tests in this thesis confirmed the necessary of the heating panels in wooden floors. The heating panels transport the heat energy from the under floor heating pipes evenly to the floor surface. If the under floor heating circuit in wooden floors is executed without heating panels the rise of the temperature of the circulating water would be necessary to fulfil the needed floor surface temperature. This would lead to uneven surface temperature because the floor temperature above the pipes would be much higher than the temperature between the pipes. The heat loss by using the 20 x 2mm pipes is higher than 16 x 2mm pipes but the heat loss with the smaller pipe is enough to fulfil the heating demands of normal detached houses. During the tests the heat divided evenly to the surfaces. Based on the results the difference between aluminium and sink panels is insignificant.</p> <p>This bachelor thesis gives information about heating panels in under floor heating for those who are interested about the function of the heating panels. If someone wants to do more research for the thermal behaviour of the heating panels I recommend to use computer modelling to study the two dimensional thermal behaviour.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b>  Underfloor heating, heating panels, heat transfer, heat camera, wooden middle floor			
<b>Pages</b> 35+9	<b>Language</b> Finnish		<b>URN</b>
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b>  Aki Valkeapää		<b>Bachelor's thesis assigned by</b>  Heatco Finland Oy	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	LÄMMÖNSIIRTO.....	2
2.1	Lämmön siirtymisen muodot.....	2
2.2	Muut määritelmät.....	3
3	LATTIALÄMMITYS .....	4
3.1	Lattialämmityksen suunnittelu ja asentaminen.....	4
3.2	Lattiarakenteet ja lattialämmitys.....	6
3.3	Lämmönlvovutuslevyt lattialämmityksessä.....	7
4	LATTIALÄMMITYKSEN MATEMAATTINEN MALLINTAMINEN.....	8
5	VÄLIPOHJIEN RAKENTAMINEN JA .....	10
	LÄMPÖKAMERAKUVAAMINEN .....	10
5.1	Välipohjapohjat.....	10
5.2	Lämpökamerakuvaus .....	13
6	MITTAUSSUUNNITELMA .....	14
7	MITTAUSTULOKSET JA LASKUT .....	15
7.1	Matemaattinen mallintaminen .....	15
7.1.1	Lämmönjohtuminen.....	15
7.1.2	Lämmönsiirtovastukset .....	16
7.1.3	Putken sisäpinnan lämmönsiirtymiskertoimen määrittäminen .....	16
7.2	Ylös- ja alaspäin suuntautuva lämmönlvovutusteho sekä pintalämpötilat ..	19
7.3	Lämpökamerakuvaukset koelattioilla.....	19
7.4	Lämpökamerakuvat .....	21
8	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	25
8.1	Virhetarkastelu.....	26
8.2	Johtopäätökset.....	27
9	YHTEENVETO .....	28
	LIITTEET	
	1 Lämmönlvovutustehon laskeminen	
	2 Lämmönlvovutustehon tulokset	

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tutkia lattialämmityksen lämmönluovutusta ja lattian pintalämpötilan tasaisuutta, kun lattialämmityksessä käytetään eri materiaaleista valmistettuja ja eri putkidimensioille tarkoitettuja lämmöntasauslevyjä. Teoreettisen mallinnuksen tulee olla mahdollisimman realistinen, jotta tuloksia voidaan käyttää hyväksi käytännössä. Lämmönluovutustehon matemaattiseen mallintamiseen käytetään rakenteisiin integroitujen lämmönjako- ja lämmityspotkien lämpöhäviöiden laskentamallia sekä EN ISO standardia 12241 (lämmönsiirtokertoimen laskeminen). Opinnäytetyössä rakennetaan ja kuvataan lämpökameralla kaksi puista välipohjamallia, joihin on asennettu lattialämmityspotket lämmönluovutuslevyjen kanssa. Välipohjat rakennetaan eri lähteistä saatujen ohjeiden mukaan, jotta ne tukevat laskuja mahdollisimman paljon. Laskujen ja välipohjien lisäksi työssä on teorial tietoa lämmönsiirrosta, lattialämmityksestä, lämpökamera kuvaamisesta sekä puisista välipohjarakenteista.

Työn tilaajana toimii Heatco Finland Oy. Yritys tarjoaa LVI-suunnittelu- ja energiatodistus palveluja, työmaavalvontaa sekä maahantuontia. Heitä kiinnostaa eri toteutuksilla valmistettujen levyjen vaikutus lattialämmityksen lämmönluovutustehoon ja keskimääräiseen pintalämpötilaan. Markkinoilla on useita eri malleja, jotka poikkeavat toisistaan niin materiaalin kuin putkikoon mukaan. Tulosten perusteella yritys tekee päätöksen uuden tuotteen mahdollisesta maahantuonnista.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsittelen lämmönsiirtoa, lattialämmitystä, puisia välipohjia sekä lämpökameralla kuvaamista. Tämän jälkeen esitellään mittaussuunnitelma ja mittaustulokset sekä laskut ja niiden tulokset.

## 2 LÄMMÖNSIIRTO

Kahden eri lämpöisen aineen kohdatessa lämpöenergiaa siirtyy lämpimästä kylmään aina tasapainotilaan asti. Tätä kutsutaan lämmönsiirroksi, joka voi tapahtua johtumalla, konvektiolla, säteilemällä tai näiden siirtomuotojen yhdistelmällä. Energian siirtymisen määrää kuvataan lämpövirran  $\Phi$  (W/K) suuruudella. Lämpövirran suuruus riippuu aineiden ominaisuuksista, kuten lämmönjohtavuudesta ja lämmön siirtymismuodoista eli konvektiosta, johtumisesta ja säteilystä.

### 2.1 Lämmön siirtymisen muodot

Lämpöenergia siirtyy kolmella eri tavalla tai näiden yhdistelmällä. Ainetta lämmittäessä sen molekyylit alkavat värähdellä, joka aiheuttaa ketjureaktion molekyylitasolla. Molekyylien välityksellä lämpö voi johtua kiinteässä aineessa, nesteessä tai kaasussa. Jokaisella aineella on oma lämmönjohtavuus arvonsa,  $\lambda$  (W/mK). Kiinteissä aineissa lämmönjohtavuus korostuu, koska molekyylien värähtelyn lisäksi lämpö siirtyy myös elektronien välityksellä, mikä kasvattaa lämmönjohtavuutta. Tämän takia metallit johtavat myös hyvin sähköä./1./

Luonnossa on harvinaista saavuttaa lämmönsiirtymistä pelkällä johtumisella, koska se edellyttää aineilta täydellistä liikkumattomuutta. Kaasut ja nesteet ovat suurimman osan ajasta liikkeessä, joten sitä voidaankin pitää lähes mahdottomana. Liikkuvassa nesteessä tai kaasussa lämpö siirtyy konvektion välityksellä nesteestä tai kaasusta aineen pinnalle. Lämmönsiirron suuruuteen vaikuttaa aineen virtausnopeus, lämpötilaerot ja kokemusperäinen lämmönsiirtokerroin  $\alpha$  (W/m<sup>2</sup>K). Virtauksen on oltava nopeaa, jotta saavutetaan turbulenttinen virtaus, eli virtaus jossa nesteosat liikkuvat epämääräisesti, mutta tietyllä keskinopeudella virtaussuuntaan. Hitaammalla virtausnopeudella saavutetaan laminaarinen virtaus, jolloin lämmönsiirto ei ole voimakasta. Konvektio voi olla myös vapaata tai pakotettua. Yleensä putkessa kulkevaan lämmönsiirtonesteeseen tuotetaan virtaus ulkopuolisella lähteellä esimerkiksi pumpulla. Tällaista kutsutaan pakotetuksi konvektioksi, jossa lämmönsiirtokertoimeen vaikuttaa virtausnopeus. Vapaassa virtauksessa konvektio tapahtuu luonnollisesti, esimerkiksi pinnan ja väliaineen lämpötilaeron vaikutuksesta. Vapaassa konvektiossa lämmönsiirtokertoimeen vaikuttaa lämpötilaerot ja virtaavaan/liikkuvan aineen liike. Vapaan ja

pakotetun konvektion lämpövirtaus pienenee, kun siirrytään lähemmäksi virtaavan aineen ja kiinteän aineen rajapintaa. Tällaisessa rajapinnassa lämpö siirtyy johtumalla konvektion sijasta. /2./

Kolmas lämmönsiirtymisen muoto on lämpösäteily, joka eroaa ominaisuuksiltaan johtumisesta ja konvektiosta. Lämpösäteily on energian siirtymistä sähkömagneettisen säteilyn avulla. Säteilyn suuruus riippuu pinnan laadusta ja sen lämpötilasta. Kaikkein eniten lämpöä lähettävä eli emittoiva on musta kappale. Kappaleiden emissiivisyys  $\varepsilon$  kertoo pinnan säteilytehon ja mustan kappaleen säteilytehon välisen suhteen. /3./

## 2.2 Muut määritelmät

Lämmönsiirtomuotojen lisäksi on tässä opinnäytetyössä otettava huomioon myös käsitteet, jatkuvuustila, lämpövirran tiheys, rakenteiden sisä- ja ulkopuoliset pintavastukset, aineiden lämmönsiirtovastukset, rakenteiden lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot, yllilämpötila ja lämmönluvutusteho.

Kun systeemiin tuodaan ja sieltä poistuu sama määrä ainetta ja lämpöenergiaa samassa ajassa, on kyseessä jatkuvuus- eli stationääritila. Jatkuvuustilassa lämpötilat tai massavirta eivät riipu ajasta. Jatkuvuustilaa käytetään lattialämmityksen mallintamisessa ja mitoittamisessa./1./

Lämpövirta kertoo siirtyvän lämpöenergian määrän tiettyä aikana. Lämpövirran tiheys kertoo taas, kuinka paljon lämpötehoa siirtyy pituus- tai pinta-ala yksikköä kohden. Lämpövirran tiheyttä voidaan pitää tässä työssä myös lämmönluvutustehona, koska se kertoo, kuinka paljon lämpöä siirtyy putkimetriä kohden ( $\text{W/m}$ ) tai lattian pinta-alaa kohden ( $\text{W/m}^2$ ).

Jokaisella rakenteen ainekerroksella on oma lämmönvastus  $R$ . Rakenteen materiaali (lämmönjohtavuus) määrää vastuksen suuruuden yhdessä rakenteen paksuuden kanssa. Mitä suurempi lämmönvastus on, sitä parempi eriste eli pienempi lämmönjohtavuus. Lämmönvastus lasketaan jakamalla materiaalin paksuus ( $\text{m}$ ), rakenteen lämmönjohtavuudella ( $\text{W/mK}$ ) /4/. Rakenteen pinnassa vaikuttaa myös lämmönvastus, puhutaankin rakenteen sisä- ja ulkopuolisista pintavastuksista  $R_{\text{se}}$  ja  $R_{\text{si}}$ . Pintavastukset ovat lämmönsiirtokertoimen käänteisarvoja. Kokonaislämmönsiirtymiskerroin saa-

daan laskemalla konvektion ja säteilyn lämmönsiirtokertoimet yhteen. Konvektion lämmönsiirtymiskerroin voidaan määrittää ja siihen vaikuttavat pinnan asento ja huonevirtaukset, mutta säteilyn lämmönsiirtymiskertoimen määrittäminen on usein työlästä ja siihen vaikuttaa huoneen muiden pintojen lämpötila. Useasti käytetään kokemuseräisiä arvoja lämmönsiirtokertoimille, jotka ovat pinnan asennosta ja lämpövirran suunnasta riippuen  $8\text{--}17 \text{ W/m}^2\text{K}$  /5/. Laskettaessa rakenteen kokonaislämmönvastusta on huomioitava rakennekerrosten lämpövastukset ja pintavastukset.

U-arvo kertoo, kuinka paljon rakenneosan läpi kulkee lämpöä jatkuvuustilassa, kun sisä- ja ulkopuolinen lämpötilaero on 1K. Jos rakenteen kummallakin puolella vallitsee sama lämpötila, ei lämpöä siirry. Rakenteen U-arvo on rakenteen kokonaislämmönvastuksen käänteisarvo /6/.

### 3 LATTIALÄMMITYS

Vesikiertoinen lattialämmitys on yksi suosituimmista lämmönjakomuodoista Suomessa patterijärjestelmän ohella. Lattialämmitys on myös syrjäyttämässä patterilämmitystä, koska se tuo miellyttävän tunteen lämpöisestä lattiapinnasta jaloille, eikä se vaikuta sisustamiseen. Lattialämmitys on integroitu lattiarakenteeseen, jolloin ei tarvita näkyviä osia huonetilaan. Tällaisessa lämmönjaossa koko lattiapinta toimii ”patterina”, jolloin ei tarvita niin suuria käyttölämpötiloja verkostolle.

#### 3.1 Lattialämmityksen suunnittelu ja asentaminen

Suunnittelu lähtee rakennuksen lämmitystehontarpeen laskennasta, jonka jälkeen aletaan suunnitella lattialämmitysjärjestelmää. Patteriverkosto mitoitetaan useasti 70/40 tai 60/40 lämpötiloille. Tällöin menovesi on 70–60 °C:sta ja paluuvesi on noin 40 °C mitoitusolosuhteissa. Lattialämmityksessä voidaan käyttää paljon matalampia menoveden lämpötiloja. Meno- ja paluueden lämpötilaero on noin 5 °C. Menoveden lämpötila voi olla esimerkiksi 33–40 °C ja paluuvesi 35–28 °C, jolloin lämmitysverkoston jakeluhäviöt ovat alhaisemmat. Lattialämmitys jaetaan huonepiireihin tilakohtaisesti. Jokaisella piirillä katetaan tietyn huonetilan lämmöntehontarve. Lattialämmitystä suunniteltaessa on otettava huomioon tarvittava lämmitysteho ja lattianpintalämpötila. Pintalämpötila vaihtelee putkienpäällä ja putkien välissä olevilla alueilla, tämän takia

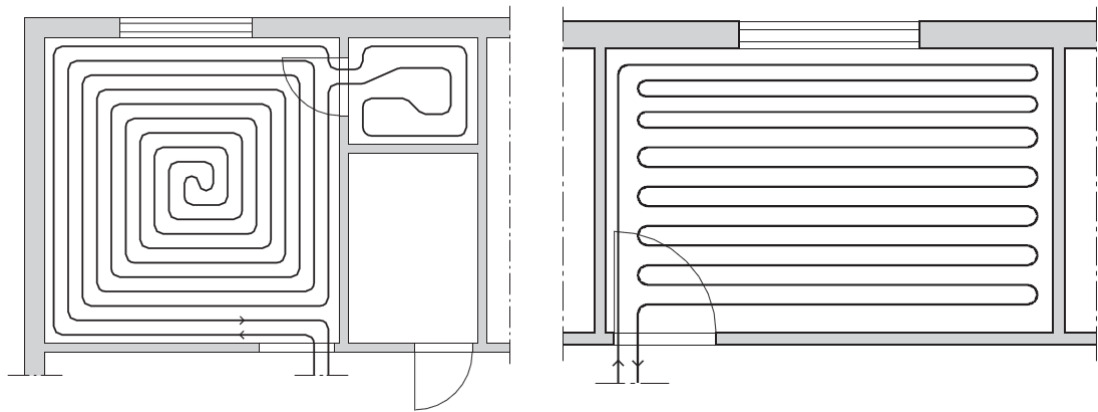


puhutaankin yleensä keskimääräisestä pintalämpötilasta. Keskimääräiseen pintalämpötilaan voidaan vaikuttaa nostamalla tai laskemalla virtaavan veden lämpötilaa, kasvattamalla virtaamaa, muuttamalla lattialämmitysputkien väliä, valitsemalla eri pintamateriaali tai käyttämällä lämmönluovutuslevyjä. Huonepiirien liiallista ylimitoittamista on vältettävä, koska lattian pintalämpötila normaalissa huonetilassa ei saisi ylittää 29 °C, sillä paljain jaloin käveltäessä lattianpinta ei ole enää miellyttävän tuntuinen ja pintamateriaalit, kuten laminaatti, voivat kärsiä. On todettu, että paljain jaloin käveltäessä miellyttävä lattian pintalämpötila huonetilassa on noin 25 °C puulattialla ja hiukan korkeampi laattalattialla. On huomioitava myös, että jalkojen ja pään välinen lämpötila ero ei saisi olla enempää kuin 3 °C:sta, koska se koetaan epämukavana viihtyisyytenä /2./

Lattialämmitys voidaan suunnitella esimerkiksi 12 x 2 mm, 14 x 2 mm, 16 x 2 mm tai 20 x 2 mm putkihalkaisijoilla. Tässä työssä tutkitaan 16 x 2 mm ja 20 x 2 mm putkien vaikutusta lämmönluovutustehoon ja keskimääräiseen lattiapintalämpötilaan. Putkikojen valinta tapahtuu yleensä käyttökohteen mukaan. Yleisin putkikoko on 16 x 2 mm putki, jota käytetään omakoti-, rivitalo- ja kerrostalokohteissa. Poikkeuksena on asennustavasta ja lattianrakenteesta johtuvat rajoitteet, jolloin saatetaan joutua käyttämään pienempää putkikokoa. Putkikoon pienennyksessä on kuitenkin otettava huomioon putkipiirien pituus, sillä mitä pienempi putki on, sitä lyhyemmän piirin sillä voi tehdä. Tavoite kuitenkin on, että jokainen huoneterila saadaan toteutettua yhdellä piirillä, jotta säädettävyys on helppoa. Putkipiirin pituus riippuu jakotukin sijainnista, huonetilan pinta-alasta ja putkien rivivälistä. 20 x 2mm putket ovat yleisiä isoissa tiloissa, joissa voidaan käyttää pitkiä putkipirejä, kuten varastoissa ja halleissa. Siellä piireistä voidaan tehdä pitkiä, koska tilankäyttötarkoitus ei rajoita piirin pituutta ja jäähtymä voi olla suuri./7./

Suunniteltaessa lattialämmitystä on otettava myös huomioon putkien asennusvälit ja asennustapa. Putkisto asennetaan yleisesti 150 mm, 225 mm tai 300 mm asennusvälillä. 150 mm asennusväliä käytetään pesuhuoneteriloissa ja ulkoseinien, sekä ikkunapintojen alla tihennyksenä. Asennusvälit juontuvat raudoitusverkkojen yleisistä kaupallisista silmäkooista. Ikkunapinnoista johtuvien ”kylmien pintojen” alle tarvitaan normaalia tiheämpi putkitus, jotta vältetään vedontunteelta. Normaalisti tihennys toteutetaan noin 4-6 rivillä, jonka jälkeen putkitus väli vaihtuu 300 mm asennusvälille. 225 mm asennusväliä käytetään saunoissa, pukuhuoneissa ja muissa laattalattiatiloissa,

koska laattalattia johtaa hyvin lämpöä ja se vaikuttaa myös viihtyvyystekijöihin, jolloin keskimääräisen pintalämpötilan tunnetta on kompensoitava tiheämmällä putkituksella. 300 mm asennusväliä käytetään normaaleissa huonetiloissa lukuun ottamatta mahdollisia tihennyksiä ikkunoiden alapuolella, koska sillä saavutetaan kokemuksellisesti sopiva keskimääräinen pintalämpötila. Asennusvälin jälkeen on mietittävä putkitustapaa. Putkitustavalla tarkoitetaan spiraaliasennusta tai riviasennusta. Spiraaliasennuksella putken meno- ja paluuvesi kulkevat rinnan spiraalin muotoisesti, jolla saadaan tasattua keskimääräisen pintalämpötilan arvoa. Huonepiiriin ei tule niin sanotusti lämpimämpää ja kylmempää aluetta lenkkien alku- ja loppupäähän. Spiraaliputkitusta käytetään yleisesti, jos sen toteuttamiselle ei ole mitään rakenteellisia esteitä. Toinen tapa asentaa putkipiirit on riviasennus (ks. kuva 1). Riviasennusta käytetään yleisesti puisissa välipohjissa kipsilevyn kanssa tai ilman./8./



**KUVA 1. Spiraali- ja riviputkitus /8/**

### 3.2 Lattiarakenteet ja lattialämmitys

Lattialämmitys voidaan suunnitella ja asentaa uudisrakennukseen tai saneerauskohteeseen. Saneerauskohteissa poistetaan vanha pintamateriaali ja pintavalu. Tämän jälkeen vanha valu uritetaan lattialämmitystä varten, ja tämän päälle tulee uusi pintavalu tai vanhan pintavalun päälle tehdään suoraan uusi pintavalu. On myös mahdollista laittaa vanhan puupalkiston päälle kipsilevyistä uusi pintarakenne, jonka väliin lattialämmitys asennetaan. Uudisrakennuksissa lattialämmitys asennetaan alapohjissa pintavalun sisään. Välipohjissa lattialämmityksen asennustapa riippuu välipohjarakenteesta. Välipohjia, eli kahden huonetilan välisiä pohjia, toteutetaan kevytbetoni, ontelolaatta tai puurakenteisina. Kevytbetoni ja ontelolaatta rakenteissa lattialämmitys asennetaan pintavalun sisään, kuten alapohjissa. Koska puinen välipohjarakenne toteutetaan pal-

kistoilla, vaikuttaa palkisto myös putkien asennusmahdollisuuksiin. Lattialämmitysputkisto voidaan asentaa lämmönluovutuslevyjä käyttäen suoraan puurakenteeseen tai ”asennus levyinä” käytettävien kipsilevyjen avulla. Kipsilevyillä toteutetussa rakenteessa puupalkiston päälle asennetaan kipsilevy, jonka päälle putkisto asennetaan rivityksellä. Putkien kiinnityksen jälkeen asennetaan putkien väliin kipsilevysuikaleet ja lämmöntasausmassa. Putkikerroksen päälle asennetaan vielä kipsilevy, jonka päälle tulevat pintamateriaalit. Kipsilevyillä toteutettu asennustapa sopii 12 x 2mm ja 14 x 2 mm putkelle, koska kipsilevyt ovat yleisesti 13-15mm paksuja./9./

### 3.3 Lämmönluovutuslevyt lattialämmityksessä

Lämmönluovutuslevyjä käytetään lattialämmityksessä, jotta lämpö jakaantuisi tasaisesti koko lattiapinta-alalle. Levyjä käytetään puisissa välipohjarakenteissa. Puu itsessään ei omaa hyvää lämmönjohtavuutta, jonka vuoksi se tarvitsee metallilamellit, jotka tasoittavat lattialämmitysputkistosta saatavan tehon huonepinta-alan alueelle. Lämmönluovutuslevyt vaikuttavat lämmönluovutustehoon sekä viihtyvyys tekijöihin. Lämmönluovutuslevyt parantavat putken lämmönluovutusta ja tasoittavat lattian pintalämpötilaa. Ne vaikuttavat keskimääräiseen pintalämpötilaan ja tätä kautta viihtyvyyteen. Ilman lämmönluovutuslevyjä lämmön tuntu olisi putkien kohdalla viivamaisista ja huomattavasti viileämpää putkien välissä./10./

Markkinoilla on erilaisia lämmönluovutuslevyjä. Levyjä on mahdollista saada eri putkihalkaisijoille sekä eri materiaaleista valmistettuina. Tässä työssä tutkitaan 16x2 mm ja 20x2 mm putkien lämmönluovutuslevyjä, joiden materiaaleina on sinkki tai alumiini (ks. kuva 2).

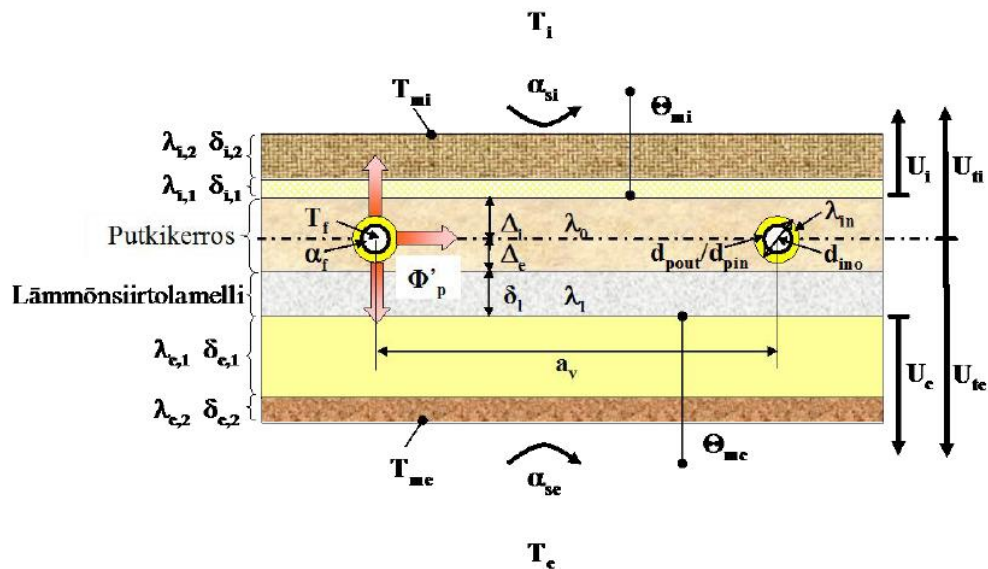


**KUVA 2. Lämmönluovutuslevy**

#### 4 LATTIALÄMMITYKSEN MATEMAATTINEN MALLINTAMINEN

Lattialämmityksen lämpöhäviöiden laskemiseen on käytettävä seuraavia kaavoja (ks. alla olevat kaavat ja liite 1) /11/. Laskuissa on huomioitava lämpövirransuunnat. Tällä matemaattisella mallilla pystytään laskemaan lattiarakenteesta ylös- ja alaspäin suuntautuvat lämpöhäviöt. Laskentamalli ei ota huomioon sivuttaissuunnassa tapahtuvaa lämmönsiirtoa.

Varsinaisessa laskentavaiheessa on eri rakennekerrokset ajateltava tasomaisina levyinä (ks. kuva 3). Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi koolauskerroksessa on puuta ja ilmaa. Tällöin ilman ja puun lämmönjohtavuusarvot on kompensoitava yhdeksi arvoksi prosentuaalisen määrän mukaan.



KUVA 3. Lattiarakenteeseen integroidut lämmityspotket /11/

Keskimääräinen pintalämpötila rakenneosan yläpinnalla lasketaan yhtälöllä /1/

$$T_{mi} = \Theta_{mi} \frac{U_i}{\alpha_{si}} + T_i \quad (1)$$

jossa

$\Theta_{mi}$  on keskimääräinen yläpintalämpötilaero putkikerroksen yläpuolisen rakenteen ja rakenteen yläpuolisen tilan välillä, °C

$U_i$  on putkikerroksen yläpuolisen rakenteen lämmönläpäisykerroin, W/(m<sup>2</sup>K)

$\alpha_{si}$	on yläpinnan lämmönsiirtokerroin, W/(m <sup>2</sup> K)
$T_i$	on rakenteen yläpuolisen tilan lämpötila, °C

Keskimääräinen pintalämpötila rakenneosan alapinnalla lasketaan yhtälöllä /2/

$$T_{me} = \Theta_{me} \frac{U_e}{\alpha_{se}} + T_e \quad (2)$$

jossa

$\Theta_{me}$	on keskimääräinen ylälämpötilaero putkikerroksen alapuolisen rakenteen ja rakenteen alapuolisen tilan välillä, °C
$\alpha_{se}$	on alapinnan lämmönsiirtokerroin, W/(m <sup>2</sup> K)
$T_e$	on rakenteen alapuolisen tilan lämpötila, °C
$U_e$	on putkikerroksen alapuolisen rakenteen lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)

Putken lämmönluovutus putkimetriä kohti lasketaan yhtälöllä /3/

$$\Phi_p = \frac{T_f - \frac{T_i U_{ti} + T_e U_{te}}{U_{ti} + U_{te}}}{\frac{2\lambda_0}{dp \alpha_f} + \frac{\lambda_0}{\lambda_p} \ln\left(\frac{dp_{out}}{dp_{in}}\right) + \frac{\lambda_0}{\lambda_{in}} \ln\left(\frac{d_{ino}}{dp_{out}}\right) + \ln\left(\frac{av}{\pi d_{ino}}\right) - \frac{\pi}{av} Gi + \Sigma} \quad (3)$$

jossa

$T_f$	on lämmönsiirtonesteen lämpötila, °C
$T_i$	on rakenteen yläpuolisen tilan lämpötila, °C
$T_e$	on rakenteen alapuolisen tilan lämpötila, °C
$U_{te}$	on putkitason alapuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)
$U_{ti}$	on putkitason yläpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)
$a_v$	on putkien asennusväli, m
$Gi$	on apusuure
$\lambda_0$	on putkikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus, W/(mK)

$d_{ino}$	on mahd. putkieristysmateriaalin lämmönjohtavuus, $W/(mK)$
$\Sigma$	on apusuure
$\alpha_f$	on lämmönsiirtokerroin virtausputken sisäpinnalla, $W/(m^2K)$
$d_{pin}$	on virtausputken sisähalkaisija, m
$d_{pout}$	on virtausputken ulkohalkaisija, m
$\lambda_p$	on virtausputkimateriaalin lämmönjohtavuus, $W/(mK)$
$\lambda_{in}$	on mahdollisen putkieristysmateriaalin lämmönjohtavuus, $W/(mK)$

## 5 VÄLIPOHJIEN RAKENTAMINEN JA LÄMPÖKAMERAKUVAAMINEN

Mittauksia varten rakennetaan kaksi puista välipohjarakennetta, joihin upotetaan lattialämmityspotket. Pohjien on tarkoitus vastata todellista lattialämmitystä, jossa käytetään lämmönluovutuslevyjä. Tarkoitus on kuvata lämpökameralla kyseiset pohjat, kun niissä kiertää lämmin vesi. Kuvauksien tarkoitus on vahvistaa laskujen tulokset ja varmentaa lämmön tasainen johtuminen koko lattianpinnalle lämmönluovutuslevyjä käyttäen.

### 5.1 Välipohjapohjat

Tarkoitus on rakentaa puiset välipohjat yleisien ohjeiden ja mallien mukaisesti. Tässä työssä käytetään hyväksi lähteen /9/ esimerkkiä puisesta välipohjarakenteesta. Puiset välipohjat rakennetaan, koska opinnäytetyön tilaajan toivomus oli tutkia juuri kyseistä rakenneratkaisua. Välipohjat ovat niin sanottuja liikuteltavia malleja ja niistä tehdään sen kokoisia, että niitä voidaan siirtää paikasta toiseen peräkärryllä. Välipohjien koko on 2,45 m X 1,3 m. Koolausvälillä tarkoitetaan kappaleiden välistä etäisyyttä kappaleiden keskeltä mitattuna.

Rakentaminen tapahtuu 11 mm lastulevyn päälle, jonka päälle tulee 2 X 2”/4” :n lattiavasat päällekkäin 600 mm koolauksella. Lattiavasojen väliin laitetaan 100 mm mineraalivillaa äänen absorption takia sekä lämmönvirtaus alaspäin, eli ”väärään suun-

taan” vähenee /12/. Tämä vähentää myös todellisessa tilanteessa alakertaan kuuluvien askeläänien ja kolauksien voimakkuutta. Lattiavasa koolauksien väliin tulee 45 mm x 45 mm tukipuut 410 mm koolauksella, joiden päälle asennetaan 125 mm X 22 mm erilliset koolauspuut (ks. kuva 4).

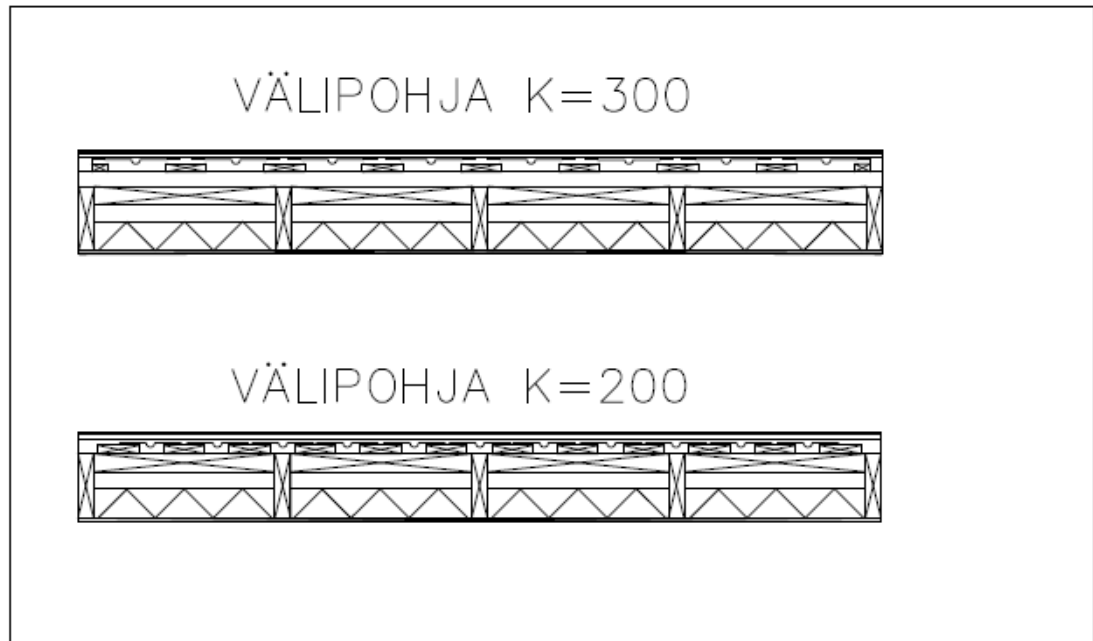


**KUVA 4. Välipohjan rakentaminen**

Koolauspuiden koolausväli riippuu putkitusvälistä. Toiseen pohjaan asennetaan 20 x 2 mm putkitus ja toiseen 16 x 2 mm putkitus. 20 x 2 mm ja 16 x 2 mm putkien lämmönluovutuslevyt ovat erikokoisia, koska 20 x 2 mm putkien levyjen koko on 1150 X 270 X 0,6 mm ja 16 x 2 mm putkien levyjen 750 X 190 X 0,6 mm. Lämmönluovutuslevyt on asennettava mahdollisimman lähelle toisiaan, jotta ei synny kylmiä kohtia. Tämän takia on koolauspuiden koolausväliä tihennettävä 16 x 2 mm putken välipohjassa. Kun lämmönluovutuslevyt on asennettu, koolauksien väliin asennetaan putket lämmönluovutuslevyjen uraan. Putkituksen päälle on mahdollista asentaa kipsilevyä, paksua parkettia tai lastulevyä. Putkituksen päälle tulevan kantavan rakenteen paksuus on oltava vähintään 20 mm, jotta lattiapinta ei painaudu kasaan koolausvälien kohdalta./10./ Tämä asia on otettava huomioon varsinkin silloin, kun on 300 mm koolausväli. Tällöin lautojen väliin syntyy 175 mm leveä kantamaton kohta, johon putket ja lämmönluovutuslevyn ura asennetaan. 200 mm koolauksessa kantamaton väli on 75 mm leveä, jolloin kantavan päällisen rakenteen paksuudella ei ole niin suurta merkitystä. Kantavana pintarakenteena toimii kaksi 13 mm kipsilevyä. Kipsilevyn päälle asennetaan solumuovi, joka toimii hyvänä askeläänieristeenä. Solumuovin päälle tulee lattialaminaatti (ks. kuva 5).

Välipohjiin on tarkoitus tehdä lämmönluovutuslevyjen vaihtomahdollisuus, koska tässä työssä lämpökameralla kuvataan 16 x 2 mm putkien välipohjaa alumiinisilla ja

sinkityillä lämmönluovutuslevyillä. Tätä varten kipsilevy, solumuovi ja laminaatti on kiinnitettävä toisiinsa kiinni.



**KUVA 5. Väli pohjarakenteet**

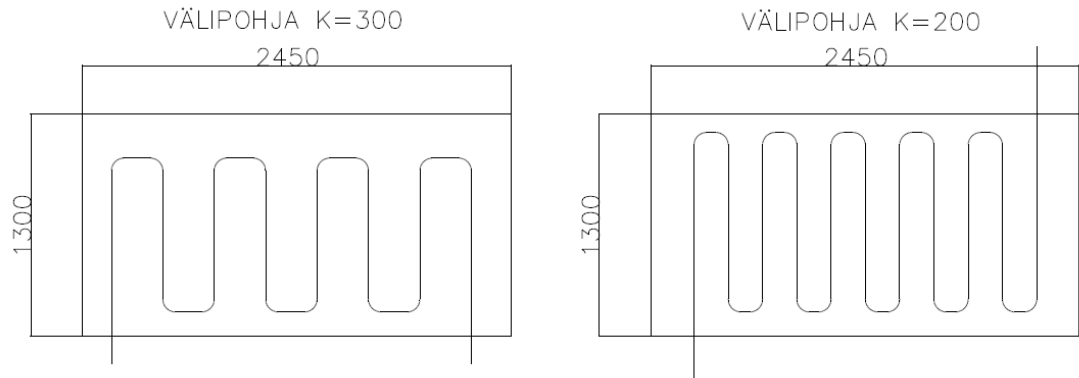
Väli pohjien rakenteet ja paksuudet ylhäältä alaspäin:

1. Laminaatti 7 mm
2. Solumuovi 2 mm
3. Kipsilevy 2 X 13 mm
4. PEX-putki 16x2 mm ja 20x2 mm
5. Lämmönluovutuslevy, sinkki ja alumiini (0.6 mm)
6. Koolauspuut 22 mm
7. Tukipuut 45 mm
8. Ilmaväli 50 mm
9. Mineraalivilla 100 mm
10. Lattiavasta 2 X 98 mm
11. Lastulevy 11 mm

Lämmönluovutuslevyjä käyttäessä putket on asennettava riviasennuksella (ks. kuva 6). Putkia taivuttaessa niiden pienin sallittu taivutussäde on 5 kertaa putken ulkohaikaisija /13/. Tämän takia pohjien putkipäätyihin jää noin 20 cm tila ilman lämmönluovutuslevyjä. Tavoite on peittää lämmönluovutuslevyillä noin 70 – 90 % lattiapinta-



alasta. Tällaiset tekijät on huomioitava lämpökamerakuvauksissa, koska reunalle jää tila, joissa lämpö ei ole jakaantunut tasaisesti.



**KUVA 6. Välipohjien putkitus /4**

## 5.2 Lämpökamerakuvaus

Lämpökamerakuvausta käytetään yleisesti tutkimusmenetelmänä uudisrakennusten laadunvalvontamittauksissa ja vanhojen rakennuksien kuntotutkimuksissa. Virallisen lämpökamerakuvauksen tulee suorittaa henkilö, jolla on lämpökamerakuvauksen perustutkintotodistus tai VTT:n myöntämä lämpökuvaajan sertifikaatti. Lämpökamera on lämpösäteilyn vastaanotin. Se kuvaa infrapunasäteilyn voimakkuutta pintalämpötilan mukaan. Lämpökameralla kuvataan yleensä ulkovaipan mahdollisia lämpövuoto-kohtia eli epätiiveys kohtia rakenteissa tai rakennuksen kylmäsiltoja. Kameraa voidaan kuitenkin käyttää myös esimerkiksi LVIS-laitteiden toiminnan tarkastamiseen sekä esimerkiksi lattialämmitysputkien paikantamiseen rakenteissa. Yleisesti olosuhteista riippumatta on lämpökameran mittaustarkkuus  $\pm 2\text{ °C}/14./$ .

Tässä työssä lämpökameraa käytetään lämmönjohtumisen varmentamiseen. Koska lattialämmityksessä käytetään lämmönluvutuslevyjä, on varmistettava, että lämpö jakaantuu tasaisesti koko ”lattian” pinnalle. Kameran avulla saadaan myös määritettyä ”lattioiden” pintalämpötilat, joista voidaan laskea keskimääräiset pintalämpötilat lattiarakenteen pinnoille. Näitä tuloksia voidaan verrata laskuissa saatuihin tuloksiin. Lämpökamerakuvauksilla on suuri merkitys tässä työssä, koska lämmön tasaisen ja-

kaantumisen varmentaminen on tärkeää viihtyvyystekijöiden kannalta. Kuvauksilla on erityisesti merkitystä verrattaessa sinkittyjä ja alumiinisia lämmönluvutuslevyjä.



**KUVA 7. Lämpökamera Fluke-TI20**

## **6 MITTAUSSUUNNITELMA**

Välipohjat kuljetetaan Mikkelin LVI-laboratorioon mittauksia varten. Kuvaukset suoritetaan 18.3.2013–21.3.2013 välisenä aikana. Lattialämmitykseen tarvittava vesi otetaan käyttövesiverkostosta käyttämällä sekoitusventtiiliä. Säättämällä sekoitusventtiiliä oikeaan arvoon saadaan tuotettua lattialämmitys piiriin oikeanlämpöistä vettä (ks. kuva 8). Vesi johdetaan suoraan viemäriin, eikä sitä kierrätetä piirissä. Jotta kuvaukset olisivat luotettavat, on vettä juoksutettava piirissä aina yhtä testiä varten vähintään 5 tuntia rakenteiden lämpiämisen takia. Tällä juoksutusajalla saadaan rakenteet oikeanlämpöiseksi. Testien ajan välipohjamallien fyysinen sijainti on laboratorion ensimmäisessä kerroksessa. Testejä suoritetaan 3 kappaletta: yksi 20 x 2 mm putkella ja alumiinilevyllä ja kaksi kappaletta 16 x 2 mm putkella, joista toinen alumiinisella levyllä ja toinen koe sinkityllä levyllä. Koska välipohjamalleja on kaksi kappaletta, joudutaan kokeiden välissä vaihtamaan 16 x 2 mm putkien pohjassa lämmönluvutuslevyjä alumiinista sinkiksi. Kuvaukset suoritetaan viidestä eri pisteestä: keskeltä, vasen alareuna, oikea alareuna, vasen yläreuna ja oikea yläreuna. Näiden lisäksi otetaan myös yleiskuva hiukan kauempaa. Kuvien ottamisen jälkeen lasketaan keskimääräiset pintalämpötilat. Testeistä saatuja keskimääräisiä pintalämpötiloja tullaan vertaamaan laskeista saatuihin tuloksiin johtopäätökset ja yhteenveto kappaleessa. Kuvaukset suori-

tetaan FLUKE TI20- lämpökameralla, joka lainataan käyttöön koulun sähkölaboratoriosta.

## 7 MITTAUSTULOKSET JA LASKUT

### 7.1 Matemaattinen mallintaminen

Lattialämmityksen ylös- ja alaspäin suuntautuvan lämmönluovutuksen mallintamiseen käytetään Hanel Junin esittämiä kaavoja /11/. Laskukaavoja varten täytyy etsiä eri rakenteille ominaiset lämmönjohtavuudet, selvittää kokemusperäiset lämmönsiirtymisarvot pinnoille, laskea putken sisäpinnan lämmönsiirtokerroin sekä määrittää juokseva lukuarvo  $s$ , joka on jotain 20:n ja 200:n väliltä. Tähän työhön valittiin lukuarvo 20:n ja 200:n väliltä, joka oli 110.

#### 7.1.1 Lämmönjohtuminen

Tässä työssä käytetään rakennusmääräyskokoelmien /6/ antamia arvoja rakenteiden lämmönjohtavuuksille (ks. taulukko 1).

#### TAULUKKO 1. Lämmönjohtavuudet eri materiaaleille (RakMK, C4)./6/

Materiaali	Lämmönjohtavuus, $\lambda$ (W/mK)
Laminaatti	0,12
Solumuovi	0,36
Kipsilevy	0,21
PEX-putki	0,45
Lämmönluovutuslevy, sinkitty tai alumiininen	110 ja 220
Koolauspuut (kuusi)	0,13
Tukipuut (kuusi)	0,13
Ilmaväli	0,024
Mineraalivilla	0,036
Lattiavasat (kuusi)	0,13
Lastulevy (kuusi)	0,13

Laskuissa välipohjarakennekerroksia tuli ajatella tasomaisina levyinä. Tämän takia joidenkin rakennekerroksien lämmönjohtamisen arvoja jouduttiin tasoittamaan todelliseksi. Esimerkiksi tukipuu rakenteessa on puuta ja ilmaa, joten prosentuaalisen suhteen

takia puulle ja ilmalle joudutaan laskemaan yhteinen lämmönjohtavuus, joka on 0,072 W/mK. Sama tasointa tehdään myös koolauskerrokselle, jolloin lämmönjohtavuudeksi tulee 0,09 W/mK. Suuren heiton arvoihin tekee putkikerrosmateriaalin lämmönjohtavuusarvo, koska välipohjissa ei varsinaisesti ole putkikerrosta. Putkikerrosmateriaalin mallintamiseen on kuitenkin käytetty ilmaa, jonka lämmönjohtavuus on pieni, mikä taas pienentää lämmönluovutustehoa ja pintalämpötiloja.

### 7.1.2 Lämmönsiirtovastukset

Toinen asia, mikä piti selvittää ennen laskuja, oli kokemusperäisten pintojen lämmönsiirtovastusten määrittäminen ja sitä kautta lämmönsiirtokerroin, joka on pinnan lämmönsiirtovastuksen käänteisarvo. Lämmönsiirtovastusten ohjearvot pinnoille löytyivät rakennusmääräyskokoelmista /5/, mutta niitä on muutettu hieman, jotta arvot vastaisivat enemmän todellisuutta. Muutos tapahtui laskemalla ohjearvoa hiukan, joka tapahtui ottamalla enemmän huomioon ilmanliikkeen vaikutusta lämmönvastukseen. Rakennusmääräyskokoelmien arvot olivat yläpuoliselle pinnalle 0,17 (m<sup>2</sup>K)/W ja alapuoliselle pinnalle 0,10 (m<sup>2</sup>K)/W. Mitä nopeammin ilma liikkuu pinnan läheisyydessä, sitä pienempi on sen pintavastus. Jos työssä olisi käytetty suoraan rakennusmääräyskokoelmissa annettuja arvoja, olisi mallin antama keskimääräinen pintalämpötila ollut liian matala. Laskuissa käytettiin yläpuoliselle pinnalle 0,09 (m<sup>2</sup>K)/W ja alapuoliselle pinnalle 0,08 (m<sup>2</sup>K)/W. Putken sisäpinnalle piti myös määrittää lämmönsiirtovastus, mutta siihen on olemassa valmiit laskukaavat. Putken sisäpinnan lämmönsiirtovastuksella ei ole suurta merkitystä laskujen tuloksiin, mutta työssä on laskettu putken sisäpinnan lämmönsiirtokerroin, jotta tulokset olisivat mahdollisimman realistiset. Laskuissa laskettiin putken sisäpinnan lämmönsiirtokerroin turbulenttisella ja laminaarisella virtauksella, jolloin saadaan todistettua putken sisäpinnan lämmönsiirtokerroimen merkitsemättömyys lämmönluovutustehoon sijoittamalla saatu lämmönsiirtokerroin Hanel Junin laskukaavoihin.

### 7.1.3 Putken sisäpinnan lämmönsiirtymiskertoimen määrittäminen

Putken sisäpinnan lämmönsiirtokerroin lasketaan yhtälöllä /4/

$$\alpha = \text{Nud} * \frac{\lambda}{d} \quad (4)$$

jossa

$\alpha$	on putken sisäpinnan lämmönsiirtokerroin, W/(m <sup>2</sup> K)
$\text{Nu}_d$	on Nusseltin luku
$\lambda$	on veden lämmönjohtavuus lämpötilassa 36 °C, (W/mK)
$d$	on putken sisäläpimitta, mm

Reynoldsin luku lasketaan yhtälöllä /5/

$$\text{Re}_d = \frac{v * d}{\vartheta} \quad (5)$$

jossa

$\text{Re}_d$	on Reynoldsin luku
$v$	on keskimääräinen virtaus nopeus, m/s
$d$	on putken sisäläpimitta, m
$\vartheta$	on veden kinemaattinen viskositeetti lämpötilassa 36 °C, m <sup>2</sup> /s

Nusseltin luku lasketaan yhtälöllä /6/

$$\text{Nu}_{d,\text{turb}} = \frac{\frac{\zeta}{8} * \text{Re}_d * \text{Pr}}{1 + 12,7 * \sqrt{\frac{\zeta}{8}} * (\text{Pr}^{2/3} - 1)} \quad (6)$$

jossa

$\zeta$	on vastuskerroin
$\text{Re}_d$	on Reynoldsin luku
$\text{Pr}$	on Prandin luku vedelle lämpötilassa 36 °C

Vastuskerroin lasketaan yhtälöllä /7/

$$\zeta = \frac{1}{(1,82 * \lg \text{Re}_d - 1,64)^2} \quad (7)$$

jossa

$\text{Re}_d$	on Reynoldsin luku
---------------	--------------------

Lämmönsiirtonesteen eli veden lämpötila tässä työssä on 36 °C:sta. Tuolle lämpötilalle määritetään taulukosta /3/ viskositeetti, Prandin luku ja lämmönjohtavuus. Jotta voidaan laskea putken lämmönsiirtokerroin, lämmönsiirtonesteen lämpötilassa 36 °C, on ensin määritettävä Nusseltin luku. Jotta voidaan määrittää Nusseltin luku, on ensin tiedettävä putkiston vastuskerroin sekä Reynoldsin luku, joka kertoo, onko virtaus turbulenttista vai laminaarista. Nusseltin luvusta voidaan laskea putken sisäpinnan lämmönsiirtokerroin. Taulukossa 2 näkyy käytetyt arvot sekä laskujen vastaukset laminaariselle virtaukselle.

## TAULUKKO 2. Laminaarisen putkivirtaukset laskujen arvot ja tulokset

Koko (mm)	d (mm)	t (°C)	$\vartheta$ (m/s)	$\lambda$ (W/mK)	$v$ (m <sup>2</sup> /s)	$Re_d$	Pr	$\xi$	$Nu_d$	$\alpha$ (W/(m <sup>2</sup> K))
16x2	12	36	0,5	0,708	7,13E-07	8,42E+03	4,74	0,027	66,2	3906
20x2	16	36	0,4	0,708	7,13E-07	8,98E+03	4,74	0,030	66,7	2953

Taulukossa 3 näkyy käytetyt arvot ja laskuilla saadut tulokset turbulenttiselle virtaukselle.

## TAULUKKO 3. Turbulenttisen putkivirtaukset laskujen arvot ja tulokset

Koko (mm)	d (mm)	t (°C)	$\vartheta$ (m/s)	$\lambda$ (W/mK)	$v$ (m <sup>2</sup> /s)	$Re_d$	Pr	$\xi$	$Nu_d$	$\alpha$ (W/(m <sup>2</sup> K))
16x2	12	36	0,8	0,708	7,13E-07	1,35E+04	4,74	0,029	96,6	5698
20x2	16	36	0,8	0,708	7,13E-07	1,80E+04	4,74	0,033	122,0	5398

Sijoittamalla laminaarisen virtauksen ja turbulenttisen virtauksen lämmönsiirtokertoimien arvot laskukaavoihin huomataan lämmönsiirtokertoimen vaikutuksen olevan pientä verrattessa laskujen tuloksiin. (ks. taulukko 4)

#### TAULUKKO 4. Sisäpuolisen lämmönsiirtokertoimen merkitys putken lämmönluovutustehoon

Putkikoko (mm)	$\vartheta$ (m/s)	$\alpha$ (W/m <sup>2</sup> K)	$\phi$ (W/m)
16x2	0,8	5700	5,2
20x2	0,8	5400	6,8
16x2	0,5	3905	5,2
20x2	0,4	2955	6,8

#### 7.2 Ylös- ja alaspäin suuntautuva lämmönluovutusteho sekä pintalämpötilat

Määrittelemällä tuntemattomat arvot pystytään sijoittamaan lukuarvot kaavoihin ja laskemaan lämmönluovutustehot ja keskimääräiset pintalämpötilat vaihe vaiheelta. (Ks. liite 2.)

Taulukossa 5 on laskettu ylälämpötilaerot ( $\Theta_{mi}$  ja  $\Theta_{me}$ ), keskimääräiset pintalämpötilat välipohjan ylä- ja alapinnoille ( $T_{mi}$  ja  $T_{me}$ ) sekä putkistosta saatavan lämmönluovutustehon välipohjan yläpuoliseen tilaan ( $\phi_p$ ). Taulukon 5 antamia keskimääräisiä pintalämpötila-arvoja tullaan vertailemaan lämpökamerakuvauksista saataviin tuloksiin.

#### TAULUKKO 5. Lämmönluovutustehon tulokset

Rakenne	$\Theta_{mi}$ (°C)	$\Theta_{me}$ (°C)	$T_{mi}$ (°C)	$T_{me}$ (°C)	$\phi_p$ (W/m)
Al levy + 16x2mm putki	6,8	14,2	23,7	21,3	5,2
Zn levy + 16x2mm putki	6,8	14,2	23,7	21,3	5,2
Al levy + 20x2mm putki	6,0	14,0	23,4	21,3	6,8

#### 7.3 Lämpökamerakuvaukset koelattioilla

Huonelämpötila oli kokeiden aikana 21,6 °C. Veden lämpötila ja virtaama säädettiin sekoitusventtiilillä ja kuristusventtiilillä (ks. kuva 8).



**KUVA 8. Veden lämpötilan ja virtaaman säätö**

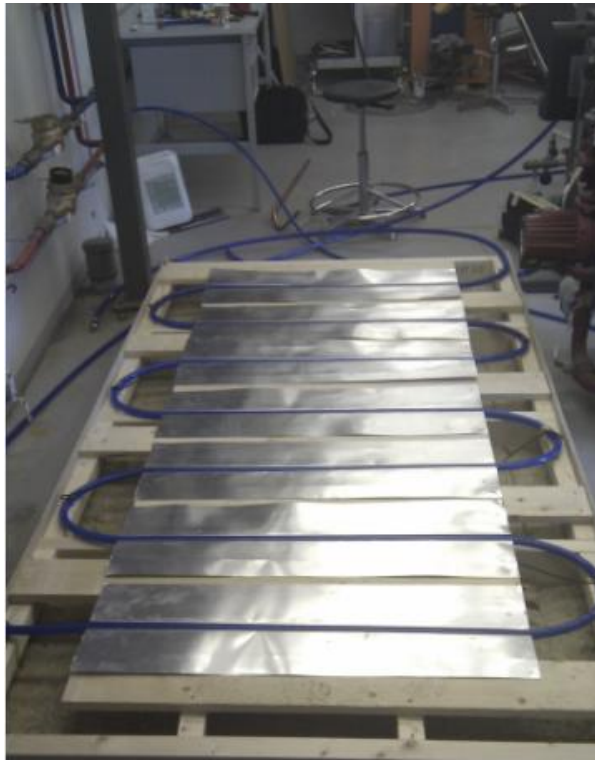
Menoveden lämpötila oli kokeissa 36–36,9 °C. Veden virtausnopeus säädettiin ohjeiden /8/ mukaisesti 0,5 m/s. 20 x 2 mm putkella käytettiin nopeutta 0,4 m/s, koska kokeissa käytetty kuivakaivo olisi muuten tulvinut. Suositusten mukaan /8/ virtausnopeuden tulisi olla 0,3 - 1,0 m/s. Ainut isompi muutos alkuperäiseen suunnitelmaan sattui 16 x 2 mm putkille tarkoitettujen alumiini- ja sinkkilevyjen kanssa. Alkuperäisen tiedon mukaan levyjen olisi pitänyt olla leveämpiä, jolloin ne olisivat peittäneet välipohjasta 70–90 %:a. Levyt olivatkin hiukan kapeampia, jolloin levyjen peittävyys jäi noin 50 % (ks. kuva 9). Tämä vaikutti lopputuloksiin.



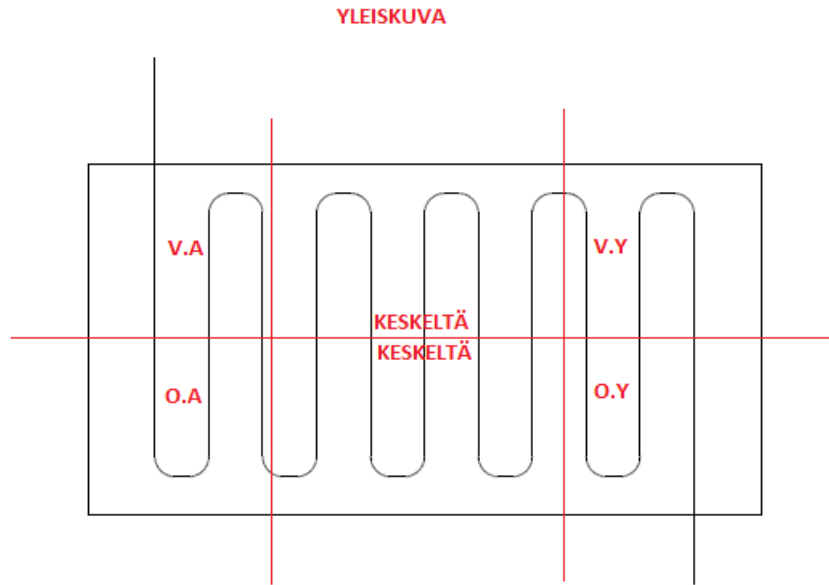


**KUVA 9. Koelattia 16 x 2 mm putkella ja alumiinilevyillä**

Lämmönlvovutuslevyjen peittävyys oli oikeanlainen 20 x 2 mm putkelle tarkoitetulla alumiinisella lämmönlvovutuslevyllä (ks. kuva10).

**KUVA 10. Koelattia 20 x 2 mm putkella ja alumiinilevyillä****7.4 Lämpökamerakuvat**

Koelattiat kuvattiin kuudesta eri kohdasta: yleiskuva, keskeltä, vasen alareuna, oikea alareuna, vasen yläreuna ja oikea yläreuna (ks. kuva 11).



### KUVA11. Esimerkki lämpökamerakuvausten kuvauslohkoista

Taulukossa 6 on lueteltu eri koetilanteiden yksityiskohtaiset tiedot.

### TAULUKKO 6. Suoritettujen kokeiden tiedot

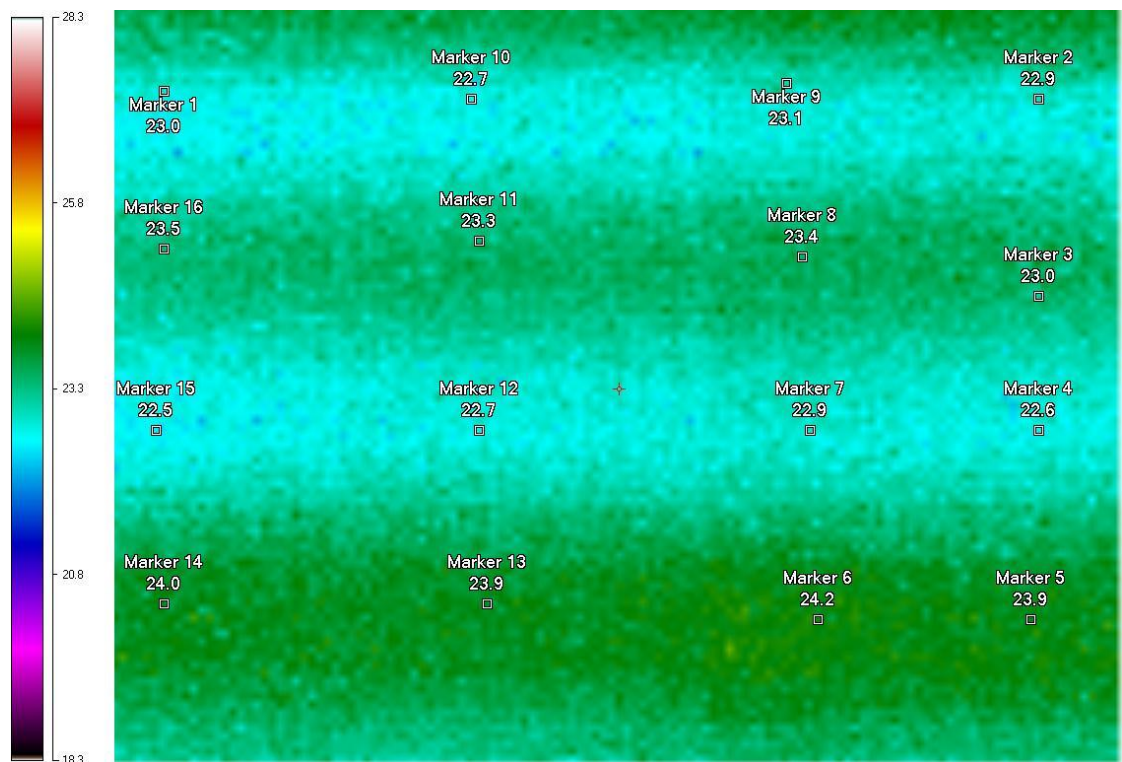
Koe nro	Putkikoko (mm)	Lämmönlvovutuslevy	Virtausnopeus (m/s)	Tilavuusvirta (l/s)
1	16x2	Alumiini	0,5	0,056
2	20x2	Alumiini	0,4	0,08
3	16x2	Sinkki	0,5	0,056
4	20x2	Ei levyä	0,4	0,08

Excel-laskurilla on laskettu jokaiselle kuvalle erikseen keskimääräinen pintalämpötila ja yhteinen keskimääräinen pintalämpötila jokaiselle koepohjalle yhdistämällä kokeen kuvien keskiarvot yhteen. Testien aikana suoritettiin myös yksi ylimääräinen kuvaus 20 x 2 mm putkelle ilman levyä, jotta pystytään todistamaan levyjen vaikutuksen lämmönleviämiseen lattiapinnalle. Kuvassa 12 on kokonaiskuva lattiarakenteesta, jossa pintarakenne on laitettu levyjen päälle.



**KUVA 12. Koetilannekuva lattiarakenteesta**

Kuvassa 13 on esimerkki lämpökamerakuvauksella saaduista kuvista sekä siitä saatavat lämpötilat.



**KUVA 13. Alumiinilevyillä ja 16 x 2 mm putkella toteutettu rakenne lämpökameralla kuvattuna**

Lämpökamerassa käytettiin kuvauksien aikana emissiivisyysarvoa 0,9. Ohjeiden mukaan emissiivisyys on 0,9-0,95 normaaleissa rakennusmateriaaleissa /14/. Taulukossa 7 on esimerkki 16 x 2 mm putkella ja alumiinisilla lämmönluovutuslevyillä toteutetun rakenteen lämpökameralla mitatuista pintalämpötiloista.

**TAULUKKO 7. Esimerkki pintalämpötiloista (Al levy + 16 x 2 mm putki)**

ε	kokonaiskuva (°C)	keskeltä (°C)	v.a (°C)	o.a (°C)	v.y (°C)	o.y (°C)
0,9	23,6	23	22,5	24	22,8	22,8
0,9	22,7	22,9	22,9	23,1	22,7	23
0,9	22,7	24	23,3	23,7	22,5	23,3
0,9	23,3	23,9	23,4	24,8	22,4	22
0,9	23,8	22,8	24	23,2	22,2	22
<u>kesk</u>	<u>23,22</u>	<u>23,32</u>	<u>23,22</u>	<u>23,76</u>	<u>22,52</u>	<u>22,62</u>
						Kok.Kesk (°C)
						23,11
						Kes.Haj (°C)
						0,66

Vertailun vuoksi taulukossa 8 on 16 x 2 mm putkella ja sinkityillä lämmönluovutuslevyillä toteutetun rakenteen lämpökameralla mitatut pintalämpötilat.

**TAULUKKO 8. Esimerkki pintalämpötiloista (Zn levy + 16 x 2 mm putki)**

ε	kokonaiskuva (°C)	keskeltä (°C)	v.a (°C)	o.a (°C)	v.y (°C)	o.y (°C)
0,9	23,3	25,3	24,4	24,3	23,2	23,2
0,9	22,9	24,3	24,5	24,7	23	22,6
0,9	23,6	23,4	25,9	24,1	24,8	24,6
0,9	24,5	23,4	24	25,3	22,7	22,9
0,9	25,4	23,2	23,8	24,8	23,1	22,8
<u>kesk</u>	<u>23,94</u>	<u>23,92</u>	<u>24,52</u>	<u>24,64</u>	<u>23,36</u>	<u>23,22</u>
						Kok.Kesk (°C)
						23,93
						Kes.Haj (°C)
						0,92

Edellä olevien esimerkkien lailla kaikille testeille on laskettu keskimääräiset pintalämpötilat ja keskihajonnat. (ks. taulukko 9)

**TAULUKKO 9. Keskimääräiset pintalämpötilat**

Rakenne	Levy	Keskimääräinen pintalämpötila (°C)	Keskihajonta (°C)
Al levy + 16 x2mm putki	Alumiini	23,1	0,66
Zn levy + 16x2mm putki	Sinkki	23,9	0,92
Al levy + 20x2mm putki	Alumiini	23,6	0,583
20x2mm putki	Ei levyjä	21,1	0,807

## 8 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Laskettua lämmönluovutustehoa on vaikea lähteä mittausten perusteilla tarkentamaan, mutta saatuja keskimääräisiä pintalämpötila voidaan vertailla mittauksien ja laskujen välillä. Laskennalliset keskimääräiset pintalämpötilat sinkityllä ja alumiinisella lämmönluovutuslevyllä (ks. taulukko 5) 16 x 2 mm putkella ovat 23,7 °C. Alumiinilevyllä ja 20 x 2 mm putkella tuo lämpötila on 23,4 °C. Jos vertaa näitä tuloksia mittaustuloksiin, jotka näkyvät taulukossa 10, voidaan sanoa laskujen olevan melko luotettavat. 16 x 2 mm putkella ja alumiinisella levyllä lämpötilojen erotus on vain -0,6 °C ja sinkityllä levyllä se on +0,2 °C. 20 x 2 mm putkella ja alumiinilevyllä tuo erotus on +0,2 °C.

Ylimääräisenä mittauksena oli 20 x 2 mm putkella toteutettu lattialämmityspiiri ilman lämmönluovutuslevyjä. Tuolla mittauksella pyrittiin näyttämään lämmönluovutuslevyjen vaikutus keskimääräiseen pintalämpötilaan. Kuten taulukon 10 tuloksista huomaa, on 20 x 2 mm putkella toteutetuissa piireissä suuret erot keskimääräisissä pintalämpötiloissa. Lämmönluovutuslevyillä toteutetussa piirissä ja ilman levyjä toteutetussa piirissä on +2,5 °C ero lattian keskimääräisessä pintalämpötilassa. Lämmönluovutusteho W/m näyttää pieneltä 16 x 2 mm putkella toteutetuissa järjestelmissä, joissa on  $k=200$ . Kuitenkin tuosta järjestelmästä saa tarvittavan tehon W/m<sup>2</sup>, koska  $k=200$  tulee huonetilaan enemmän putkimetrejä kuin  $k=300$ . Taulukossa 10 näkyy laskujen ja mittauksien keskimääräiset pintalämpötilat, menoveden lämpötila, ilmanlämpötila ja virtausnopeus kohekellä.

Sinkityllä levyllä toteutetussa rakenteessa on suurempi keskimääräinen pintalämpötila kuin samalla putkella toteutetussa alumiinisessa rakenteessa.

Sinkityn levyn testissä on menoveden lämpötila ollut korkeampi, jolloin putkien lämmönluovutusteho on suurempi ja keskimääräinen pintalämpötila on korkeampi (ks. taulukko 10).

**TAULUKKO 10. Mittauksien ja laskujen vertaustulokset**

Rakenne	$t_m$ (°C)	$t_i$ (°C)	$\dot{Q}$ (m/s)	$t_{p,mitattu}$ (°C)	$t_{p,laskettu}$ (°C)
Al levy + 16x2mm putki	36,1	21,6	0,5	23,1	23,7
Zn levy + 16x2mm putki	36,7	21,6	0,5	23,9	23,7
Al levy + 20x2mm putki	36,5	21,6	0,4	23,6	23,4
20x2mm putki	36,9	21,6	0,4	21,1	-

### 8.1 Virhetarkastelu

Laskuihin eniten vaikuttava tekijä oli luultavasti yläpuolisen pinnan lämmönsiirtokerroimen arvo. Tuo arvo valittiin kokemuseräisesti. Laskut eivät myöskään ota huomioon lämmönluovutuslevyn materiaalin tai sen paksuuden vaikutusta lämmönluovutustehoon, eikä keskimääräiseen pintalämpötilaan. Jos laskuissa käytti esimerkiksi lämmönluovutuslevynä puuta, jolla on huono lämmönjohtavuusarvo, se ei vaikuttanut juuri ollenkaan saatuihin tuloksiin. Todellisuudessa lämmönluovutuslevyn materiaali ja sen paksuus vaikuttaa joko vähentävästi tai suurentavasti lämmönluovutustehoon ja keskimääräiseen pintalämpötilaan, kuten ilman lämmönluovutuslevyjä tehty testi osoittaa verrattuna lämmönluovutuslevyllä tehtyyn testiin. Lämmönluovutuslevyjen mallintamiseksi lämmönsiirtoa olisi tutkittava 2D- tapauksena maksullisilla laskentaohjelmilla.

Mittaustuloksiin vaikutti 16 x 2 mm putkelle tarkoitettujen levyjen väärä koko (ks. KUYA9). Levyt olivat kapeammat kuin mitä aluksi oli annettu ymmärtää. Tämä vaikutti lämmönluovutuslevyjen peittävyYTEEN. On tärkeää, että levyt peittäisivät lattiapinnan optimaalisesti (70 % - 90 %). Tämän asian vahvistaa ilman levyjä toteutettu testi. Levyjen kapoisuus vaikutti keskimääräiseen pintalämpötilaan, mutta kaikesta huolimatta testeistä saatiin hyviä tuloksia. Tärkeämpää tutkimuksen kannalta oli selvittää alumiinisen ja sinkityn lämmönluovutuslevyn materiaalin mahdollista vaikutusta keskimääräiseen pintalämpötilaan. Tämän takia oli oleellisempaa, että 16x2 mm putkelle tarkoitettut alumiiniset ja sinkityt lämmönluovutuslevyt olivat samankokoisia.

Virtausnopeus määritettiin kellottamalla kymmenen litran kanisterin täyttyminen. Tuossa määrittämisessä on voinut tapahtua joitain heittoja suuntaan tai toiseen. Pii-reissä kiertävän veden lämpötila säädettiin sekoitusventtiilillä kääntämällä venttiiliin karaa. Veden lämpötila mitattiin käyttämällä Humicor-lämpötilamittaria, jolla pystytään mittaamaan ilman tai nesteen lämpötilaa sekä ilman suhteellista kosteutta. Veden lämpötila vaihteli 36 °C ja 36,9 °C välillä kaikkien testien aikana. Kuvauksissa rakenteiden annettiin lämmitä riittävä kauan, jotta lämpötilat ehtisivät tasoittua.

## 8.2 Johtopäätökset

Tulosten luotettavuus on hyvä, koska mittaustulokset vahvistavat laskujen tuloksia. Voidaankin todeta, että lämmönluovutuslevyjen käyttäminen kyseisessä rakenneratkaisussa on oleellista. Ilman lämmönluovutuslevyjä tehdystä mittauksesta selviää levyjen oleellisuus puisissa rakenteissa. Jos kyseinen lattiarakenneratkaisu toteutettaisiin ilman lämmönluovutuslevyjä, olisi menoveden lämpötilaa nostettava, jotta saavutettaisiin tarvittava keskimääräinen pintalämpötila lattiapinnalle. Tämä taas kasvattaisi epämukavuuden tunnetta. Levyt tasoittavat keskimääräistä pintalämpötilaa johtamalla lämpöä tasaisesti koko lattiapinnalle. Jos levyjä ei käytetä, olisi lämmöntuntu viiva- maista. Lämmönluovutuslevyt mahdollistavat alhaisemman menoveden lämpötilan käytön.

Mittauksien ja laskujen tulosten pieni ero selittyy laskentatavasta. Laskuissa ei oteta huomioon lämmönsiirtonesteen meno- ja paluupuolen lämpötilaeroa eikä virtausnopeutta. Virtausnopeus on valittu testien ajaksi keskimääräisen suositellun virtausnopeuden mukaan /8/. Keskimääräisten virtausnopeuksien käyttäminen ja niistä saadut tulokset ovat lähinnä todellisuutta, ja tämän vuoksi niitä käytettiin työssä. Mitä lämpötilaan tulee, tässä kyseisessä kokeessa meno- ja paluuv veden lämpötilaerolla ei ole suurta merkitystä, koska kokeiden aikana ei kiertävä vesi kerinnyt jäähtyä kuin 1 °C. Laskuissa ei myöskään otettu huomioon lämmönluovutuslevyjen vaikutusta keskimääräiseen pintalämpötilaan. Mittauksien tuloksista huomaa (ks. taulukko 10) lämmönluovutuslevyjen oleellisuuden puisissa välipohjarakenteissa.

Laskujen mukaan 16 x 2 mm putkella toteutetuissa järjestelmissä olisi kuulunut olla suurempi keskimääräinen pintalämpötila kuin 20 x 2 mm putkella toteutetussa järjestelmässä. Tässä on huomioitava laskentatapa, jossa jouduttiin käyttämään ”ylimääräis-

tä” putkikerrosta, koska rakenteita tuli ajatella tasomaisina. Laskentamallin takia on 20 x 2 mm putken rakenteessa jouduttu käyttämään paksumpaa putkikerrosta, joka taas lisää rakenteen eristävyttä. 16 x 2 mm putkella toteutetussa järjestelmässä keskimääräinen pintalämpötila olisi voinut olla suurempi mittaustulosten perusteella, mutta lämmönluovutuslevyt olivat oletettua pienemmät. Jos levyt olisivat olleet oikean kokoisia, olisi keskimääräinen pintalämpötila hiukan noussut. Tietysti on kuitenkin pidettävä mielessä, että 20 x 2 mm putkessa virtaa enemmän vettä, joten sieltä saadaan suurempi lämmönluovutusteho putkimetriä kohden kuin 16 x 2 mm putkella. Kuitenkin tässä työssä 20 x 2 mm putkella käytettiin 300 mm väliä ja 16 x 2 mm putkella käytettiin 200 mm väliä, jolloin 16 x 2 mm putkella saadaan korkeampi lämmönluovutusteho  $W/m^2$  sekä korkeampi keskimääräinen pintalämpötila tiheimmän asennuksen johdosta./8/

Opinnäytetyön kannalta yksi tärkeimmistä asioista oli selvittää alumiinisen ja sinkityn levyn erot viihtyvyyden kannalta. Laskujen perusteella tuota eroa ei voinut tutkia. Vaikka sinkillä onkin puolet pienempi lämmönjohtumisen arvo, se on kuitenkin niin iso, että se ei vaikuta suuresti keskimääräiseen pintalämpötilaan verrattaessa vastaavaan alumiinilla toteutettuun ratkaisuun. Kuitenkin kokeiden perusteella sinkityllä levyllä päästiin korkeampaan keskimääräiseen pintalämpötilaan, mutta tuo ero johtuu erosta menoveden lämpötilassa. Kokeiden aikana (ks. taulukko 10) ja mahdollisesti asennuksesta johtuvista syistä, sinkityillä levyillä toteutetussa rakenteessa on levyillä saattanut olla parempi kontakti pintamateriaaleihin, jolloin lämpö on siirtynyt paremmin lämmönluovutuslevyiltä ylärakenteisiin. Kuitenkin jos vertaa menovedenlämpötilan ja keskimääräisen pintalämpötilan eroa sinkityllä, joka on 12,8 °C ja alumiinisella levyllä 13,0 °C (ks. taulukko 10), huomataan, että alumiinisella levyllä saadaan suhteessa 0,2 °C suurempi keskimääräinen pintalämpötila. Ero ei kuitenkaan ole merkittävä.

## 9 YHTEENVETO

Tulokset olivat luotettavia ja saatiin mielenkiintoisia tuloksia. Tietysti työssä olisi voinut saada mahdollisesti tarkempia tuloksia, jos testeissä olisi ollut mahdollisuus mitata meno- ja paluuv veden lämpötilaa jatkuvasti sekä piirissä olisi ollut integroitu virtausmittari. Vaikka työssä olisi ollut mahdollisuus tarkempiin mittauksiin, eivät ne



olisi muuttaneet suuremmin saatuja tuloksia. Tulosten perusteella 16 x 2 mm putken järjestelmä lämmönluovutuslevyillä puurakenteisessa välipohjassa toimii mainiosti. 16 x 2 mm putkelle tarkoitettujen levyjen käytössä on kuitenkin otettava huomioon putkiin pituus ja asennusvälit. Kyseisellä putkella ei voida toteuttaa isojen huonetilojen lämmitystä yhdellä piirillä, koska lämmönluovutuslevyjä käyttäessä ovat putket asennettava tiheämmin lämmönluovutuslevyjen koon takia. 16 x 2 mm putkella toteutettujen piirien maksimipituus on noin 90 metriä ja 20 x 2 mm putkella 120 metriä, mikä taas riippuu jäähtymästä ja käyttötarkoituksesta./7./ Piirien pituus vaikuttaa piiriin tasapainotukseen, jolloin liian pitkät tai liian lyhyet piirit vaikeuttavat tasapainotusta. Se, käytetäänkö alumiinisia vai sinkittyjä levyjä, on käyttäjästä kiinni. Mittausten perusteella tuolla materiaalilla ei ole merkitystä saatuun keskimääräiseen pintalämpötilaan, eikä se vaadi esimerkiksi menoveden lämpötilan nostoa. Sinkki materiaalina on myös halvempaa kuin alumiini, joten se toisi myös säästöä.

Tulevaisuudessa, jos joku tekee samaa tutkimusta kuin minä, suosittelen käyttämään mallintamisessa mahdollisuuksien mukaan tietokonemallinnusta. Minulla tätä mahdollisuutta ei ollut, koska resurssit eivät siihen riittäneet. Kyseiset mallintamisohjelmat ovat sen verran kalliita, ettei sellaisen investoimiseen opinnäytetyötäni varten ollut järkeä. Mallintamisohjelmilla voidaan tutkia mm. tarkemmin lämmönluovutuslevyn materiaalin vaikutusta lämmönluovutustehoon.

## LÄHTEET

1. Rafnet-ryhmä. Rakennus fysiikka rakennus insinööreille: Lämpö. 2004. WWW-dokumentti.  
<http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/lampoosio27092004.pdf>. Päivitetty 27.9.2004. Luettu 2.2.2013
2. Wagner, Walter. Lämmönsiirto. Painatuskeskus Oy. 1994.
3. Seppänen, Olli. Rakennusten lämmitys. Gummerus kirjapaino Oy. 2001.
4. Paroc Oy. Energiatehokkuus: Rakennuksen vaippa.2013. WWW-dokumentti.  
<http://www.paroc.fi/knowhow/energiatehokkuus/rakennusten-suunnittelu/rakennuksen-vaippa>. Päivitetty 22.4.2013. Luettu 3.2.2013
5. Ympäristöministeriö. Rakennusmääräyskokoelma: D5. 2012. WWW- dokumentti.  
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=135289&lan=fi>. Päivitetty 14.3.2012. Luettu 3.2.2013
6. Ympäristöministeriö. Rakennusmääräyskokoelma: C4. 2003. WWW- dokumentti.  
[http://www.finlex.fi/data/normit/29517-C3\\_2007.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/29517-C3_2007.pdf). Päivitetty 19.6.2007. Luettu 3.2.2013
7. Enerline. Enerline lattialämmitys suunnitteluohje. 2011.
8. LVI-Ohjekortti. LVI-1310261: Vesikiertoinen lattialämmitys. 1996
- 9.Uponor. Lattialämmityksen asennus- ja käyttöohje.2010.WWW-dokumentti.  
<http://www.uponor.fi/~media/Files/Uponor/Finland/Underfloor%20heating/Installation%20manuals/Lattialmmityksenasjakytttohje5031112010.pdf>. Päivitetty 11.2010. Luettu 5.2.2013
10. Rehva. Low temperature heating and high temperature cooling. Forssan kirjapaino Oy. 2009.

11. Ympäristöministeriö. Uudistumassa olevat rakennusmääräykset: Lämmitysjärjestelmät ja lämminkäyttövesi-laskentaopas.2012. WWW-dokumentti. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=135656&lan=fi>. Päivitetty 15.9.2011. Luettu 22.11.2012
- 12.Ympäristöministeriö.Ääneneristys rakennuksessa.Tammer-Paino Oy.2003.
- 13.Wehofloor. Lattialämmitysjärjestelmän asennus-, käyttö- ja mitoitusohjeet. 2009. WWW-dokumentti. [http://www.wehofloor.fi/Fi/Esitteet\\_ja\\_ohjeet](http://www.wehofloor.fi/Fi/Esitteet_ja_ohjeet). Luettu 5.2.2013
14. LVI-Ohjekortti. LVI-10-10393: Rakennuksen lämpökuvaus. 2005.

## LÄMMÖNLUOVUTUSTEHON LASKEMINEN

Putkikerroksen yläpuolisen rakenteen lämmönläpäisykerroin lasketaan yhtälöllä /1/

$$U_i = \left[ R_{si} + \left( \frac{\delta_{i,1}}{\lambda_{i,1}} + \frac{\delta_{i,2}}{\lambda_{i,2}} \dots \right) \right]^{-1} \quad (1)$$

jossa

$R_{si}$  on yläpuolisen pinnan lämmönsiirtovastus=  $1/\alpha_{si}$ ,  
(m<sup>2</sup>K)/W

$\delta_{i,1,2..n}$  on yläpuolisen ainekerroksen paksuus, m

$\lambda_{i,1,1..n}$  on yläpuolisen ainekerroksen lämmönjohtavuus, W/(m,K)

Putkikerroksen alapuolisen rakenteen lämmönläpäisykerroin lasketaan yhtälöllä /2/

$$U_e = \left[ R_{se} + \left( \frac{\delta_{e,1}}{\lambda_{e,1}} + \frac{\delta_{e,2}}{\lambda_{e,2}} \dots \right) \right]^{-1} \quad (2)$$

jossa

$R_{se}$  on alapuolisen pinnan lämmönsiirtovastus=  $1/\alpha_{se}$ ,  
(m<sup>2</sup>K)/W

$\delta_{e,1,2..n}$  on alapuolisen ainekerroksen paksuus, m

$\lambda_{e,1,2..n}$  on alapuolisen ainekerroksen lämmönjohtavuus, W/(mK)

Putkitason yläpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin lasketaan yhtälöllä /3/

$$U_{ti} = \left[ \frac{1}{\alpha_{ti}} + \frac{\Delta i}{\lambda_{0j}} \right]^{-1} \quad (3)$$

jossa

**Lämmönlvovutustehon laskeminen**

$\Delta_i$  on putkikerroksen putkitason yläpuolisen rakennekerroksen paksuus,

$\lambda_0$  on putkikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus, W/(mK)

Putkitason alapuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin lasketaan yhtälöllä /4/

$$U_{te} = \left[ \frac{1}{U_e} + \frac{\Delta_e}{\lambda_0} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} \right]^{-1} \quad (4)$$

jossa

$\Delta_e$  on putkikerroksen putkitason alapuolisen rakennekerroksen paksuus, m

$\lambda_0$  on putkikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus, W/(mK)

$\delta_1$  on lämmönsiirtolamellikerroksen paksuus, m

$\lambda_1$  on lämmönsiirtolamellikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus, W/(mK)

Yläpuolisen osan apuparametri lasketaan yhtälöllä /5/

$$G_i = \frac{-2\lambda_0}{U_{te} + U_{ti}} \quad (5)$$

jossa

$\lambda_0$  on putkikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus, W/(mK)

$U_{te}$  on putkitason alapuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin, W/(m<sup>2</sup>K)

$U_{ti}$  on putkitason yläpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin, W/(m<sup>2</sup>K)

Alapuolisen osan apuparametri lasketaan yhtälöllä /6/

**Lämmönlvovutustehon laskeminen**

$$G_e = \frac{U_{te} - U_{ti}}{U_{te} + U_{ti}} \quad (6)$$

jossa

$U_{te}$	on putkitason alapuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)
$U_{ti}$	on putkitason yläpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)

Apusuure lasketaan yhtälöllä /7/

$$h_i = \frac{U_i \cdot a_v}{\lambda_0} \quad (7)$$

jossa

$U_i$	on putkikerroksen yläpuolisen rakenteen lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)
$a_v$	on putkien asennusväli, m
$\lambda_0$	on putkikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus, W/(mK)

Apusuure lasketaan yhtälöllä /8/

$$h_e = \frac{U_e \cdot a_v}{\lambda_0} \quad (8)$$

jossa

$a_v$	on putkien asennusväli, m
$\lambda_0$	on putkikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus, W/(mK)
$U_e$	on putkikerroksen alapuolisen rakenteen lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)

Apusuure lasketaan yhtälöllä /9/

$$N_1 = 1 - \frac{h_e + 2\pi s}{h_e - 2\pi s} e^{\frac{4\pi s}{a_v} \cdot \delta 1} \quad (9)$$

**Lämmönlvovutustehon laskeminen**

jossa

he	on apusuure
s	on juokseva lukuarvo
e	on neperin luku, 2,14
δl	on lämmönsiirtolamellikerroksen paksuus, m

Apusuure lasketaan yhtälöllä /10/

$$N_2 = 1 - \frac{he - 2\pi s}{he + 2\pi s} e^{-\frac{4\pi s}{av} * \delta l} \quad (10)$$

jossa

he	on apusuure
s	on juokseva lukuarvo
e	on neperin luku, 2,14
δl	on lämmönsiirtolamellikerroksen paksuus, m

Apusuure lasketaan yhtälöllä /11/

$$g_i(s) = \frac{\left( \lambda_0 + \frac{\lambda_1}{N_1} - \frac{\lambda_1}{N_2} \right) * \left( e^{-\frac{4\pi s}{av}} - R \right)}{\lambda_0(1+R) + \left( \frac{\lambda_1}{N_1} - \frac{\lambda_1}{N_2} \right)(1-R)} \quad (11)$$

jossa

N1	on apusuure
N2	on apusuure
R	on apusuure (13)
s	on juokseva lukuarvo
e	on neperin luku, 2,14

**Lämmönlvovutustehon laskeminen**

$\lambda_0$	on putkikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus, W/(mK)
$a_v$	on putkien asennusväli, m
$\lambda_1$	on lämmönsiirtolamellikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus, W/(mK)

Apusuure lasketaan yhtälöllä /12/

$$g_e(s) = -\frac{hi-2\pi s}{hi+2\pi s} e^{-\frac{4\pi s}{av} \delta l} * (1 + gi(s)) \quad (12)$$

jossa

$h_i$	on apusuure
$g_i(s)$	on apusuure
$s$	on juokseva lukuarvo
$e$	on neperin luku, 2,14
$\delta l$	on lämmönsiirtolamellikerroksen paksuus, m
$a_v$	on putkien asennusväli, m

Apusuure lasketaan yhtälöllä /13/

$$R = \frac{hi-2\pi s}{hi+2\pi s} e^{-\frac{4\pi s}{av} (\Delta e + \Delta i)} \quad (13)$$

jossa

$h_i$	on apusuure
$s$	on juokseva lukuarvo
$e$	on neperin luku, 2,14
$a_v$	on putkien asennusväli, m
$\Delta_i$	on putkikerroksen putkitason yläpuolisen rakennekerroksen paksuus, m



**Lämmönlvovutustehon laskeminen**

$\Delta_e$  on putkikerroksen putkitason alapuolisen rakennekerroksen paksuus, m

Apusuure lasketaan yhtälöllä /14/

$$\Sigma = \sum_{s=1}^{\infty} \left( \frac{ge(s) + gi(s)}{s} \right) \quad (14)$$

jossa

$gi(s)$  on apusuure  
 $ge(s)$  on apusuure  
 $s$  on juokseva lukuarvo

Apusuure lasketaan yhtälöllä /15/

$$B = \frac{T_{ino} - \frac{T_i U_{ti} + T_e U_{te}}{U_{ti} + U_{te}}}{\ln\left(\frac{av}{\pi d_{ino}}\right) - \frac{\pi}{av} G_i + \Sigma} \quad (15)$$

jossa

$T_{ino}$  on putken pintalämpötila, °C  
 $T_i$  on rakenteen yläpuolisen tilan lämpötila, °C  
 $T_e$  on rakenteen alapuolisen tilan lämpötila, °C  
 $U_{te}$  on putkitason alapuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin, W/(m<sup>2</sup>K)  
 $U_{ti}$  on putkitason yläpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin, W/(m<sup>2</sup>K)  
 $a_v$  on putkien asennusväli, m  
 $d_{ino}$  on mahd. putkieristysmateriaalin lämmönjohtavuus, W/(mK)  
 $G_i$  on apusuure

## Lämmönlvovutustehon laskeminen

$\Sigma$  on apusuure

Keskimääräinen yllämpötilaero putkikerroksen sisäpuolisen lämpötilan ja huonelämpötilan välillä lasketaan yhtälöllä

$$\Theta_{mi} = \frac{B\pi\lambda_0}{avU_i} (1 - Ge) + (Te - Ti) \frac{\frac{1}{U_i}}{\frac{1}{U_{te}} + \frac{1}{U_{ti}}} \quad (16)$$

jossa

B	on apusuure
$T_i$	on rakenteen yläpuolisen tilan lämpötila, °C
$T_e$	on rakenteen alapuolisen tilan lämpötila, °C
$U_{te}$	on putkitason alapuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)
$U_{ti}$	on putkitason yläpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)
$a_v$	on putkien asennusväli, m
Ge	on apusuure
$\lambda_0$	on putkikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus, W/(mK)
$U_i$	on putkikerroksen yläpuolisen rakenteen lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)

Keskimääräinen yllämpötilaero putkikerroksen ulkopuolisen lämpötilan ja ulkolämpötilan välillä lasketaan yhtälöllä

$$\Theta_{me} = \frac{B\pi\lambda_0}{avU_i} (1 + Ge) - (Te - Ti) \frac{\frac{1}{U_e}}{\frac{1}{U_{te}} + \frac{1}{U_{ti}}} \quad (17)$$

jossa

B	on apusuure
$T_i$	on rakenteen yläpuolisen tilan lämpötila, °C

**Lämmönlvovutustehon laskeminen**

$T_e$	on rakenteen alapuolisen tilan lämpötila, °C
$U_{te}$	on putkitason alapuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin, $W/(m^2K)$
$U_{ti}$	on putkitason yläpuolisen rakenneosan lämmönläpäisykerroin, $W/(m^2K)$
$a_v$	on putkien asennusväli, m
$G_e$	on apusuure
$\lambda_0$	on putkikerrosmateriaalin lämmönjohtavuus, $W/(mK)$
$U_e$	on putkikerroksen alapuolisen rakenteen lämmönläpäisykerroin, $W/(m^2K)$
$U_i$	on putkikerroksen yläpuolisen rakenteen lämmönläpäisykerroin, $W/(m^2K)$

## LÄMMÖNLUOVUTUSTEHON TULOKSET

TAULUKKO 1.

Rakenne	$U_i$ (W/(m <sup>2</sup> ,K))	$U_e$ (W/(m <sup>2</sup> ,K))	$U_{ti}$ (W/(m <sup>2</sup> ,K))	$U_{te}$ (W/(m <sup>2</sup> ,K))
Al levy + 16x2mm putki	3,60	0,17	1,64	0,16
Zn levy + 16x2mm putki	3,60	0,17	1,64	0,16
Al levy + 20x2mm putki	3,60	0,17	1,44	0,16

Taulukossa 2 on laskettu lopullisiin arvoihin vaadittavia apusuureita.

TAULUKKO 2.

Rakenne	$G_i$	$G_e$	$h_i$	$h_e$	$N_1$	$N_2$
Al levy + 16x2mm putki	-0,027	-0,82	30,01	1,42	2,06E+18	1,9E-18
Zn levy + 16x2mm putki	-0,027	-0,82	30,01	1,42	2,06E+18	1,9E-18
Al levy + 20x2mm putki	-0,030	-0,80	45,01	2,12	2,04E+12	2E-12

Taulukossa 3 on myös laskettua tarvittavia apusuureita.

TAULUKKO 3.

Rakenne	R	B	$g_i(s)$	$g_e(s)$	$\Sigma$
Al levy + 16x2mm putki	-8,52E-49	35,78	-1E-24	8,84E-25	-7,3E-28
Zn levy + 16x2mm putki	-8,52E-49	35,78	-1E-24	8,84E-25	-7,3E-28
Al levy + 20x2mm putki	-8,25E-41	47,74	-1E-20	8,51E-21	-1,08E-23