

Tuomas Väisänen

**POLYURETAANIN LÄMMÖNJOHTAVUUDEN MÄÄ-
RITTÄMINEN JA LÄMMINVESIVARA AJIEN LÄMPÖ-
HÄVIÖT**

**Opinnäytetyö
KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Helmikuu 2011**



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Tekniikan ja liiketalouden yksikkö	Aika 17.12.2010	Tekijä/tekijät Tuomas Väisänen
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka		
Työn nimi POLYURETAANIN LÄMMÖNJOHTAVUUDEN MÄÄRITTÄMINEN JA LÄMMIN- VESIVARA AJIEN LÄMPÖHÄVIÖT		
Työn ohjaaja TkT Martti Härkönen	Sivumäärä 24	
Työelämäohjaaja Anselmi Kinnunen		
<p>Akvaterm Oy Kokkolasta on yritys, joka on keskittynyt pääosin lämminvesivaraajien valmistamiseen. Yritys halusi, että selvitetäisiin sen lämminvesivaraajiensa eristämässä käytettävien polyuretaanien lämmönjohtavuudet. Polyuretaaneista saatujen lämmönjohtavuusarvojen avulla tuli laskea lämpöhäviöt kahdelle lämminvesivaraajakoolle eri eristepaksuuksilla. Valupolyuretaani 50 mm:n eristepaksuudella ja ruiskupolyuretaani 100 mm:n eristepaksuudella, sekä mineraalivilla 150 mm:n eristepaksuudella olivat laskelmis- sa käytetyt polyuretaanit ja eristepaksuudet.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä etsittiin myös eri mahdollisuuksia polyuretaanin lämmönjohtavuuden määrittämiseksi. Määrittämiseen käytettiin lämpövirtalevyä, jonka hankintakustannukset olivat liian korkeat, joten muutamien tarjouspyyntöjen jälkeen lämmönjohtavuustestit teetettiin VTT:llä Espoossa. Lämmönjohtavuustestien tulosten avulla lasketut lämpöhäviöt ja lämpöhäviöt vuorokaudessa ovat taulukoituina tässä opinnäytetyössä.</p> <p>Tästä opinnäytetyöstä on tehty kaksi versiota testitulosten ja käytettyjen polyuretaanien salattavuuden vuoksi.</p>		

Asiasanat

lämminvesivaraaja, lämpöhäviö, lämpövirtalevy, polyuretaani, VTT

ABSTRACT

CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	Date February 2011	Author Tuomas Väisänen
Degree programme Mechanical and Production Engineering		
Name of thesis DETERMINATION OF THE THERMAL CONDUCTIVITY OF POLYURETHANES AND HEAT LOSSES OF THE WATER HEATERS		
Instructor Martti Härkönen		Pages 24
Supervisor Anselmi Kinnunen		
<p>A company called Akvaterm Oy in Kokkola mainly concentrates on production of water heaters. The purpose of this thesis was to investigate the thermal conductivity of the polyurethane products which the company is using for insulation of water heaters.</p> <p>With help of the solved thermal conductivity values, the heat losses for two sizes of water heaters and with different thicknesses of insulation were calculated. The thicknesses of insulation and the polyurethanes which were used in the calculations were the molded polyurethane with a thickness of 50 mm, the sprayed polyurethane with 100 mm and the mineral wool with 150 mm.</p> <p>Different ways for determining the thermal conductivity were also searched in this thesis. A heat flow meter is used for determining the thermal conductivity, but because of the high price this device was not purchased, and the determinations were made in the VTT laboratory in Espoo.</p> <p>The heat losses and the heat losses per day calculated with help of the results of the thermal conductivity can be seen in tabular form in this thesis. Because of the classified test results and the polyurethanes used in this study there are two different versions of the thesis.</p>		

<p>Key words Heat flow meter, heat loss, polyurethane, VTT, water heater</p>

KÄSITELUETTELO

ε	Emissiokerroin
β	Lämpölaajenemiskerroin
λ	Lämmönjohtavuus
h	Lämmönsiirtokerroin
Φ'	Lämpövirta pituusyksikköä kohti
Φ	Lämpövirta
R	Lämpövastus
g	Maan vetovoiman kiihtyvyys $9,81 \frac{m}{s^2}$
s	Seinämän paksuus
σ	Säteilyvakio (Stefan-Boltzmannin vakio)
ν	Viskositeetti (aineominaisuus)

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 OPINNÄYTETYÖN TOIMEKSIANTAJA	2
3 LÄMMINVESIVARAAJA	3
4 POLYURETAANI	5
4.1 Isosyanaatti	6
4.2 Polyoli	6
4.3 Solurakenne	7
4.3.1 Avosoluinen rakenne	7
4.3.2 Umpisoluinen rakenne	7
4.4 Ponneaineet	7
5 LÄMMÖNERISTYS	9
6 TYÖN SUORITUS	10
6.1 Lähtötilanne	10
6.2 Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT	11
6.3 Standardit	11
6.4 Testimenetelmät	12
6.5 Testatut polyuretaanit	13
6.6 Lämpöhäviö	14
6.7 Laskukaavat	14
6.8 Laskelmat	17
7 YHTEENVETO	22
LÄHTEET	23

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Akvaterm Oy Kokkolasta. Akvaterm Oy valmistaa lämminvesivaraajia, ja työ koski näiden varaajien eristämisen käytettävien eri polyuretaanilaatujen lämmönjohtavuusarvojen määrittämistä sekä erilaisten lämmönjohtavuuden testausmenetelmien etsimistä. Saaduista lämmönjohtavuusarvoista eli lambda-arvoista saadaan laskettua lämminvesivaraajalle lämpöhäviöt ja tietenkin niistä nähdään polyuretaanien laatu eristävyydeltään. Yrityksen käytössä polyuretaanien toimittajana on Purfin Oy. Alkuperäiset polyuretaanien lämmönjohtavuusarvot oli saatu toimittajalta, mutta Akvaterm halusi vielä niin sanotusti puolueettoman tuloksen näistä arvoista.

Lämminvesivaraajat eristetään polyuretaanilla ruiskuttamalla tai valamalla. Sain testattavakseni sekä ruisku- että valupolyuretaanikappaleita, joilla lämmönjohtavuuden määrittäminen oli mahdollista suorittaa. Aluksi selvitettiin lämmönjohtavuudenmittauslaitteistojen hankintahintoja, jotka osoittautuivat huomattavan korkeiksi käyttötärpeisiin nähden, joten testien suorittaminen jonkin muun yrityksen laitteistolla jäi ainoaksi vaihtoehdoksi. Lopulta lämmönjohtavuuden mittauksien mahdollisiksi suorituspaikoiksi löytyi vain kaksi. Valtion Teknillisellä Tutkimuskeskuksella (VTT) ja Tampereen Teknillisellä Yliopistolla (TTY) oli tarvittavat laitteistot testien suorittamiseksi. Myös kahdella isolla lämmöneristevalmistajalla Suomessa oli laitteistot joilla testit olisi voinut tehdä, mutta niille ilmeni esteeksi testattavat polyuretaanit, jotka olivat kilpailevan yrityksen tuotteita. Siispä testit suoritettiin VTT:llä, joka tarjouspyyntöjen jälkeen osoittautui huomattavasti edullisemmaksi kuin Tampereen teknillinen yliopisto. Testit tehtiin VTT:llä Espoossa kesäkuussa 2010.

VTT:llä tehtyjen testien jälkeen ja niistä saatujen lambda-arvojen avulla, laskettiin lämpöhäviöt kahdelle eri varaajakoolle, kahdella eri polyuretaanieristepaksuudella ja lisäksi mineraalivillalla.

2 OPINNÄYTETYÖN TOIMEKSIANTAJA

Akvaterm Oy on neljän omistajan osakeyhtiö, ja on perustettu vuonna 1993 Kokkolassa. Akvaterm Oy on erikoistunut lämminvesivaraajiin ja muihin lvi-alan säiliöihin. Lämminvesivaraajia yritys on valmistanut jo 30 vuotta aina 80-luvun alkupuolelta saakka. Ainoa toimipiste sijaitsee Kokkolassa, kun taas jälleenmyyjät, kuten tukkuliikkeet ja urakoitsijat, toimivat ympäri Suomen. (K. Pahkala, henkilökohtainen tiedonanto 18.8.2010.)

Yritys on aloittanut toimintansa lämminvesivaraajien valmistajana, mutta on myöhemmin laajentanut tuotteitaan myös erikois- ja lvi-alan säiliöihin. Nykyään tyypillisimpiä tuotteita ovat lämminvesivaraajat ja jäähdytysvesisäiliöt, joiden valmistamisessa Akvaterm toimii johtavana yrityksenä Suomessa. Ulkomaanvienti on 32 % ja Britteinsaaret ovat isoin vientikohde, Pohjoismaat toiseksi isoin, ja kasvavia kohteita ovat Espanja, Ranska ja Saksa. Yritys on kasvanut kovasti viime vuotta lukuun ottamatta. (K. Pahkala, henkilökohtainen tiedonanto 18.8.2010.)

Standardituotteiden lisäksi yritys tekee varaajia myös asiakkaan antamien mittojen mukaan. Toimintaa ja tuotevalikoimaa on muutettu joustavammaksi ja asiakaslähtöisemmäksi. Vaikka Akvaterm onkin metallialan yritys, pyrkii se olemaan energian kanssa tekemisissä, ja yrityksen valikoimasta löytyykin aurinkoenergian käyttöön suunnitellut aurinkovaraajat. (K. Pahkala, henkilökohtainen tiedonanto 18.8.2010.)

Yhtiö nojaa vankasti omiin tuotteisiinsa, mutta toimii myös parin tuotteen suomalaisena maahantuojana: Laddomat-latauspumput ja Perfecta-kiertovesipumput. (Akvaterm Oy 2010a.)

3 LÄMMINVESIVARAAJA

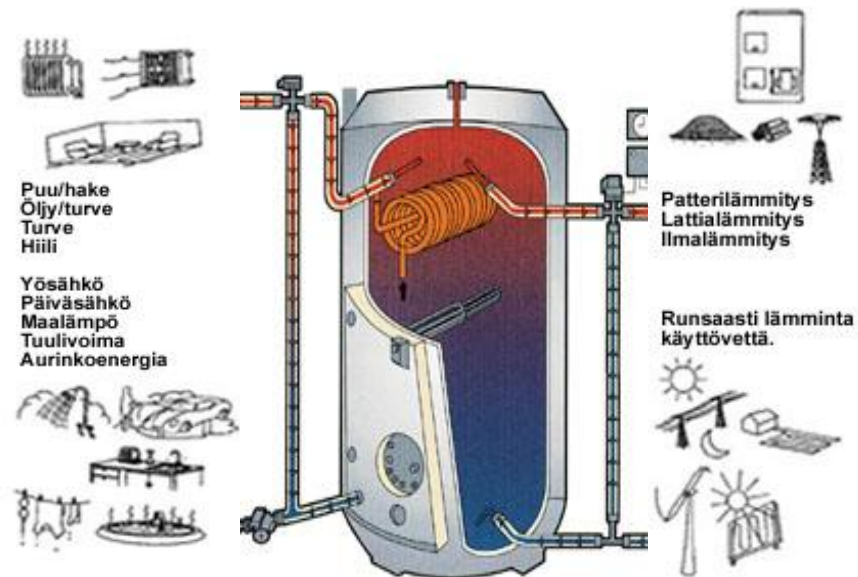
Lämminvesivaraajiin varastoidaan lämpöä joko kustannussyistä tai jos lämmöntuoton teho tai esimerkiksi käyttöveden tarve vaihtelevat. Vesikiertoisissa lämmitysjärjestelmissä lämpöä varastoidaan lämmityslaitteella varaajan veteen. Varaaja edesauttaa tasaisen ja miellyttävän huonelämmön saamisessa. Varaaja myös tuottaa siinä olevan käyttövesikierukan avulla paljon lämmintä käyttövettä. (Kaukora Oy 2010, 18; Gebwell Oy 2010.) Veden korkean lämmönvarauskyvyn ansiosta varaajan liittäminen lämmitysjärjestelmään nostaa merkittävästi hyötysuhdetta, laskee energiakustannuksia ja pienentää ympäristövaikutuksia. (Akvaterm Oy 2010b.)

Lämminvesivaraajan tehtävänä on lämmön varaaminen veteen, joka johdetaan huoneti-
loihin lattialämmitysputkistojen tai vesipattereiden välityksellä. Energialähde varaajan
lämmittämiseksi voi olla sähkö, öljy, puu, pelletti tai aurinko. Kuviossa 1 on esitetty
yleisimpiä energialähteitä, joita varaajan lämmittämiseen käytetään. Varaaja tasaa ener-
gialähteen tuotto- ja kulutushuippuja. Varaaja soveltuu parhaiden käytettäväksi vesiki-
ertoisen lämmitysjärjestelmän kanssa, mutta sitä voidaan käyttää myös ilmalämmityksen
yhteydessä. (Suorakanava Oy 2010a.) Varaajassa pyritään pitämään lämpökerrostune-
isuutta sijoittamalla lämmönsiirtimet ja putkiyhteet siten, etteivät alaosassa oleva kylmä
vesi ja yläosassa oleva lämmin vesi sekoittuisi. Pystymallinen varaaja on yleensä toimi-
vampi ratkaisu kuin makaava varaaja. On myös tärkeää, että varaajassa on riittävästi
yhteitä. (Motiva Oy 2010.)

Omakotitalojen lämmöntarve voidaan tyydyttää varaajan avulla vuorokaudeksi esimer-
kiksi yhdellä pilkekattilan lämmityksellä, koska nykyaikaiset pilkekattilat saavuttavat
hyvän hyötysuhteen ja pienet päästöt jo osakuormalla. Vain kylmimpinä talvipäivinä
tarvitaan kaksi lämmityskertaa. Varastoitaessa pilkekattilasta saatavaa energiaa varaa-
jaan on tehokasta kattilaa käytettäessä huomioitava, että polttoaineesta saatava energia
todella mahtuu varaajaan. Kesäajan käyttöveden lämmitystä varten varaajan yhteyteen
voidaan asentaa esimerkiksi aurinkopaneeli. (Harju 2004, 20, 156.)

Varaava sähkölämmitys voi olla täysin varaava tai osittain varaava. Täysin varaavassa
sähkölämmityksessä varaajan vesi lämmitetään vain yösähkön aikana, mikä on edullista

yösähkön edullisemman hinnan vuoksi. Tällöin tarvitaan suuri varaaja ja tehokas sähkövastus, jotta lämpö ja lämmin käyttövesi riittävät päiväksi. Varaajalämmitys asennetaan miltei aina osittain varaavaksi, ja pienempi varaajan koko riittää. Noin 90 % vuotuisesta lämmitysenergiasta tuotetaan yösaikalla. Päiväsähköä käytetään lähinnä pakaspäivinä. (Harju 2004, 154.)



KUVIO 1. Energia lämminvesivaraajaan saadaan useasta eri lähteestä, puusta, pelletistä ym. (Suorakanava Oy 2010b.)

4 POLYURETAANI

Polyuretaanin keksi saksalainen Otto Bayer (1902–1982) vuonna 1937. Polyuretaanin keksimisen jälkeen kesti muutamia vuosia ennen kuin materiaalia voitiin hyödyntää käytännössä. Kehitettävänä oli aivan uusia käsittelymenetelmiä, ja saatiin ensimmäisiä käyttökokeuksia analysointia varten. (BaySystems 2010.) 1960-luvulla polyuretaanin käyttö lisääntyi voimakkaasti ja sitä alettiin käyttää uusissa ja erilaisissa käyttökohteissa. (Vink Finland Oy 2010.) 1970-luvulta lähtien polyuretaanin käyttö rakennusteollisuudessa lämmöneristeenä on kasvanut huomasti energiatehokkuusvaatimusten kiristymisen takia. (SPU Systems Oy 2010.)

Polyuretaani on yhteinen nimitys laajalle polymeerien ryhmälle, joka sisältää erilaisia aineseoksia ja ominaisuuksia. Polyuretaani voi olla kovaa, pehmeää, tiivistä tai huokoista ja sitä voidaan käyttää muotokappaleina, kalvoina, pinnoitteina tai kerroksina. Polyuretaani on solumuovi. Yleisin käyttökohde on pehmeäsolumuovi huonekaluissa ja patjoissa. Puolikovaa integraalisolumuovia käytetään auton sisustuksessa, rakennuksissa seinä- ja kattoelementtien eristämässä ja teknisessä eristämässä, kuten jääkaapeissa. (Finn-Valve Oy 2008.)

Polyuretaania valmistetaan polyadditiolla, jossa sekoitetaan di- tai tri-isosyanaattia ja polyolia. Näin molekyyliketju pidentyy ja verkottuu. Polyuretaanista käytetään lyhennettä (PUR). (Vink Finland Oy 2010.) Polyuretaanin kaupalliset sovellukset alkoivat 1950-luvulla, ja sen laajempi käyttö alkoi 1970-luvulla. Polyuretaania muodostuu isosyanaatin ja polyolin reaktiosta. Polyuretaanireaktiossa vapautuu lämpöä, eli se on eksotermisen reaktio. Isosyanaatin ja polyolin reagoissa keskenään syntyy polyuretaanipolymeeri. (Purfin Oy 2010.)

Ponneaine määrää polyuretaanin tiheyden, joka vaihtelee välillä $8\text{--}1100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Akvaterm Oy käyttää lämminvesivaraajien eristämässä avo- ja umpisoluista polyuretaanirakennetta. Avosoluinen on pehmeää ja joustavaa toisin kuin umpisoluinen, joka on kovaa. Polyuretaanien ominaisuudet määräytyvät solun koosta, seinämän paksuudesta, sidosten

pituudesta ja määrästä sekä ponneaineesta ja lisäaineiden määrästä. (Vink Finland Oy 2010; Purfin Oy 2010.)

Polyuretaani on hajuton ja mauton. Lujuusarvot riippuvat polyuretaanin tiheydestä niin, että tiheyden kasvaessa lujuusarvot kasvavat lähes lineaarisesti. Eristeen puristuslujuus on $0,1-0,25 \frac{N}{mm^2}$ ja vetolujuus $0,15-0,25 \frac{N}{mm^2}$ tiheyden mukaan. (Siikanen 2009, 268.)

4.1 Isosyanaatti

Isosyanaattia käytetään polyuretaanin valmistukseen. Käytetyimpiä isosyanaatteja ovat di-isosyanaatti MDI (difenyylimetaanidi-isosyanaatti) ja TDI (tolueenidi-isosyanaatti). (Finn-Valve oy 2008.) Isosyanaatti MDI on yleisin isosyanaatti, noin 50 % tapauksista, ja sitä käytetään pääasiassa suljettusoluisten polyuretaanien valmistukseen. Isosyanaatti TDI:tä saadaan tislamalla isosyanaatti MDI:stä. TDI:tä käytetään pääasiassa pehmeiden vaahtomuovien valmistuksessa, 40 % tapauksista. (Purfin Oy 2010.)

4.2 Polyoli

Käytetyimpiä pitkäketjuisia polyoleja ovat polyesteripolyoli ja polyeetteripolyoli. Polyesteripolyoleja käytetään pääasiassa pehmeiden tuotteiden valmistukseen, kuten kengänpohjiin, integraaleihin ja elastomeereihin. Niitä käytetään myös maaleihin ja pinnoitteisiin. Polyeetteripolyoleja käytetään polyuretaaneihin, eristevaahtoihin, koviin integraalivaahtoihin sekä jalkineteollisuuteen. (Purfin Oy 2010.)

Polyoliseos sisältää useita peruspolyoleja, ponneaineita, aktivaattoreita, stabilaattoreita ja muita lisäaineita. Polyuretaanivaahdon tiheys määräytyy solun sisällä olevasta kaasusta. Korkea ponneaineen määrä tuottaa kevyen polyuretaanivaahdon. (Purfin Oy 2010.)

4.3 Solurakenne

Polyuretaanit ovat solurakenteeltaan joko avosoluisia tai umpisoluisia. Solutusaineena käytetään helposti kaasuuntuvaa nestettä kuten vettä. Solun rakenne voi olla pyöreä, jolloin solu on vahva ja sillä on parhaat ominaisuudet. Soikea solu on vahva pituus-suunnassa, mutta kutistuu enemmän sivusuunnassa. Pitkä solu, joka on liikkunut myös kuituajan jälkeen, on heikko ja kutistuu paljon. (Purfin Oy 2010.)

4.3.1 Avosoluinen rakenne

Avosoluisen polyuretaanin tiheydet vaihtelevat välillä $8\text{--}40 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, ja sen eristävyys on samaa luokkaa kuin polystyreenillä (styrox) tai lasi- ja vuorivilloilla. Avosoluinen rakenne on mekaanisesti heikko, ja se imee vettä kuten styrox ja muut avosoluiset solumuovit. Ponneaine poistuu solun sisältä välittömästi paisunnan jälkeen ja korvautuu ilmalla. (Purfin Oy 2010.)

4.3.2 Umpisoluisen rakenne

Umpisoluiset polyuretaanivaahdot ovat mekaanisesti vahvoja ja eivätkä ime vettä. Ponneaineen poistuminen umpisoluisesta polyuretaanirakenteesta alkaa heti paisunnan jälkeen, mutta poistuminen on hidasta. (Purfin Oy 2010.) Polyuretaanin hyvä lämmöneristävyys perustuu sen umpisolurakenteeseen sekä solujen sisältämän kaasuseoksen ilmaa parempiin eristävyysominaisuuksiin. Polyuretaanin vesihöyrynläpäisevyys on pieni verrattuna yleisesti käytössä oleviin lämmöneristeisiin. (Siikanen 2009, 268.)

4.4 Ponneaineet

Polyuretaanin eristävyys vaikuttaa solun sisällä oleva kaasu. Ponneaineena käytetään Suomessa pentaania, HCF-yhdisteitä tai hiilidioksidia. Raaka-aineiden sekoittami-

sen jälkeen alkaa kemiallinen reaktio, jossa vapautuu lämpöä. Lämmön vaikutuksesta ponneaine kaasuuntuu ja seoksen tilavuus laajenee. (Siikanen 2009, 268.) Kemiallinen ponneaine on vesi. Vesi ja MDI muodostavat reaktiossa hiilidioksidia. Fyysisiä ponneaineita ovat pentaani ja HFC-yhdisteet. Kaasu muodostuu nesteestä kiehumalla, koska ponneaineena pentaani on matalan kiehumispisteen omaava aine. Hiilidioksidi poistuu solusta heti paisunnan jälkeen. Diffuusiiovapaassa rakenteessa hiilidioksidi on korvautunut ilmalla kuudessa kuukaudessa. (Purfin Oy 2010.) Diffuusiossa aineet pyrkivät siirtymään väkevämmästä pitoisuudesta laimeampaan tasoittaen mahdolliset pitoisuuserot. (Solunetti 2006.)

5 LÄMMÖNERISTYS

Lämmöneristykseen päätarkoituksena on estää lämpövirran kulku seinämän läpi, jolloin erä eristemateriaalin tärkeimmistä ominaisuuksista on alhainen lämmönjohtavuusarvo. (Paroc Oy 2010a.) Polyuretaani on lämmöneristävydeltään lähes kaksi kertaa parempaa verrattuna muihin yleisesti käytössä oleviin eristemateriaaleihin. (Tee itse 4/2004, 43.) Yleisesti usein jo valmistusteknisistä syistä, PUR-eristeissä käytetään erilaisia pinnoitteita, jotka parantavat lämmöneristyskykyä ja estävät kosteuden pääsyn eristeeseen. (Siikanen 2009, 268.)

Polyuretaanin hyvä lämmöneristävyys perustuu sen umpisolurakenteeseen sekä valmistusprosessin yhteydessä solujen sisään jäävään eristävään kaasuun, jonka lämmönjohtavuus on vain noin yksi kolmasosa ilman lämmönjohtavuudesta. (Rakennuspolyuretaaniteollisuus 2010.) Polyuretaanin normaalin lämmönjohtavuus on noin $0,024-0,037 \frac{W}{m \cdot K}$ tuotteen mukaan. Lämmönkestävyys jatkuvana lämpönä on 100–110 °C. (Siikanen 2009, 268.)

Lämminvesivaraajassa lämmöneristykseen täytyy olla käytettävästä energialähteestä huolimatta huolella tehty, jotta kokonaiskulutus ei kasvaisi. Varaajissa käytetään lämmöneristeinä polyuretaania. Polyuretaanilla saadaan aikaan saumaton eriste, jonka ansiosta lämpöhäviöt ovat vieläkin pienemmät. (Suorakanava Oy 2010c.)

6 TYÖN SUORITUS

6.1 Lähtötilanne

Akvaterm Oy halusi tietää käyttämilleen polyuretaanilaaduille puolueettomat lämmönjohtavuus- eli lambda-arvot ja saatujen arvojen avulla lasketut lämminvesivaraajan lämpöhäviöt eri eristepaksuuksilla. Yrityksellä oli käytössä polyuretaanin toimittajan antamat lämmönjohtavuusarvot, joissa saattoi olla pientä epätarkkuutta toimittajan omaksi hyväksi. Tehtävänä oli suorittaa testattavien polyuretaanikappaleiden lämmönjohtavuusarvojen määrittäminen.

Aluksi selvitettiin, kuinka paljon lämmönjohtavuuden mittalaitteet maksaisivat. Akvaterm Oy mahdollisesti investoisi sellaisen itselleen, jos hinta ei olisi kovin korkea. VTT:n mukaan kelvollisen lämmönjohtavuuden mittalaitteet maksaisivat noin 50 000 euroa, joka oli liian kallis investointi laitteen käyttötarpeisiin nähden. Päädyttiin tekemään testit VTT:n omalla laitteistolla, joka oli investointia huomattavasti edullisempi vaihtoehto.

Otettiin myös yhteyttä tunnettuihin lämmöneristevalmistajiin Parociin ja Isoveriin ja tiedusteltiin, että löytyisikö näiltä laitteistot lämmönjohtavuuden määrittämisen mittauksiin ja mahdollisesti huokeammalla hinnalla kuin VTT:llä. Isover ilmoitti heti, että sen lämmönjohtavuuden mittalaitteistoa ei voi käyttää, koska testattavat polyuretaanit ovat kilpailevan yrityksen tuotteita. Parocin kanssa ei enää neuvoteltu, koska oletettiin sen noudattavan samanlaista periaatetta Isoverin kanssa.

Tampereen teknillisellä yliopistolla oli myös tarvittavat laitteistot mittauksia varten, ja sieltäkin kysyttiin tarjouspyyntö. Tarjoushinta silloisesta neljästä koekappaleesta tutkimusraporteineen oli kuitenkin aivan liian korkea. Tässä vaiheessa kyse oli siis neljästä koekappaleesta, jotka vähenivät yhdellä varsinaisissa testeissä. Tarvittiin vain yksi mitaustulos kustakin koekappaleesta. Tampereen teknillinen yliopiston suosittelemassa testissä piti olla vähintään kolme rinnakkaista koekappaletta ja neljä koesarjaa. Tällä koesarjalla olisi saatu lämmönjohtavuusarvo kymmenen asteen keskilämpötilassa.

VTT:n tarjous oli huomattavasti parempi, ja testit saatiin tehtyä vieläpä kolmessa eri keskilämpötilassa.

6.2 Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT

VTT on Pohjois-Euroopan suurin soveltavaa tutkimusta tekevä organisaatio, joka tuottaa monipuolisia teknologia- ja tutkimuspalveluja sekä kotimaisille että kansainvälisille asiakkailleen, yrityksille ja julkiselle sektorille (VTT 2009). VTT Expert Services Oy on osa VTT Groupia. VTT Expert Services vastaa VTT Groupin maksullisista asiantuntijapalveluista. Yhtiö tarjoaa erilaisia asiantuntijaselvityksiä ja arvioita, testaus- ja analyysipalveluja, tuotehyväksyntä- ja sertifiointipalveluja sekä tarkastus- ja kalibrointipalveluja. (VTT Expert Services Oy 2010.)

6.3 Standardit

Polyuretaanin lämmönjohtavuuden määrittäminen tehdään siihen tarkoitukseen soveltuvalla laitteella. Lämmönjohtavuus määritetään standardin SFS-EN 12667 mukaisesti lämpövirtalaitteella Heat Flow Meter (HFM) tai kuumalevyllä Guarded Hot Plate (GHP). Standardi SFS-EN 12667 sisältää ”Rakennusmateriaalien ja tuotteiden lämpötekniset ominaisuudet. Lämmönvastuksen määrittäminen kuumalevy- ja lämpövirtalaitteella. Tuotteet, joilla on korkea tai suhteellisen korkea lämmönvastus”. (SFS-EN 12667:2001.)

Polyuretaanien lämmönjohtavuuksista olisi saatu standardien mukaiset CE-hyväksytyt tuotestandardilla SFS-EN 13165, mutta tulosten ei tarvinnut olla viralliset. Kyseinen standardi olisi vaatinut 180 vuorokauden materiaalin vanhentamisen, ja tähän ei Akva-term Oy:llä ollut aikaa. SFS-EN 13165 sisältää, ”Lämmöneristetuotteet rakentamiseen. Tehdasvalmisteiset jäykät polyuretaanituotteet (PUR)”. (SFS-EN 13165:2010.)

6.4 Testimenetelmät

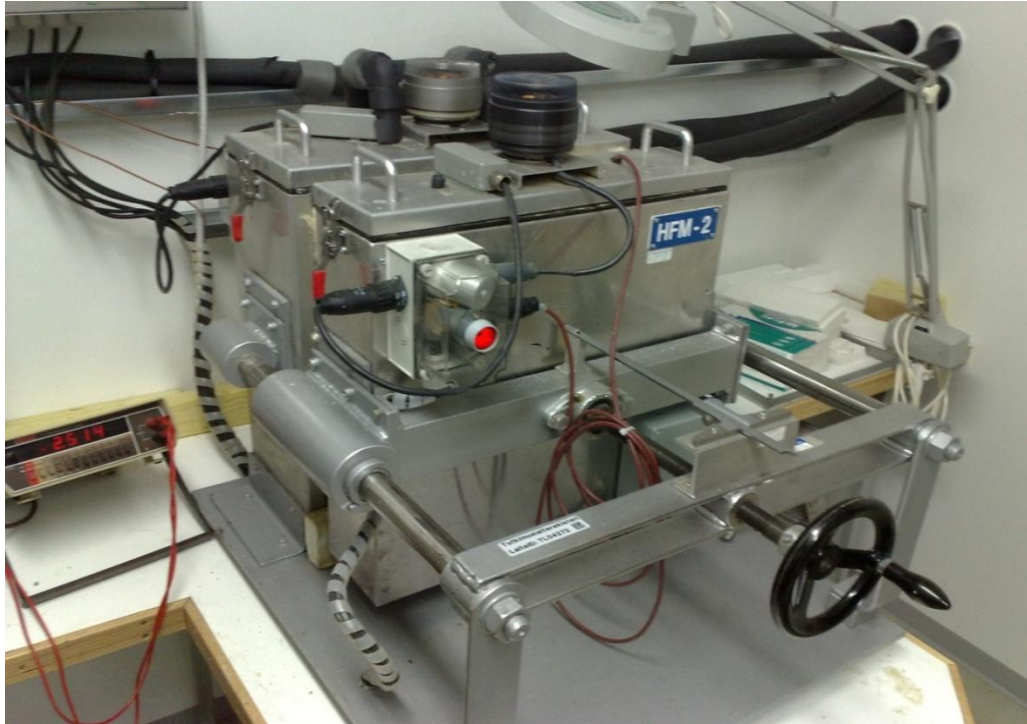
VTT:n testauspaikalle Espooseen toimitettiin 15.6.2010 kolme eri polyuretaanituotetta. Testattavien polyuretaanituotteiden piti olla kooltaan 500 mm kertaa 500 mm ja paksuudeltaan 60 mm. Alkuperäisistä testikappaleista leikattiin noin 40 mm x 400 mm x 400 mm:n suuruiset koekappaleet, jotka olivat sopivimman kokoiset lämpövirtalevyllä (HFM), jolla lämmönjohtavuuden mittaukset tehtiin. Yhdestä polyuretaanituotteesta ei saatu tarvittavan kokoista testikappaletta, joten siitä tehtiin 54 mm paksu ja halkaisijaltaan 280 mm oleva kappale. Sen ympärille leikattiin villasta lisäpalat, jotta siitä saatiin 400 mm x 400 mm:n koekappale. Kone tekee mittauksen eristeen keskikohdalla, joten villa koekappaleen ympärillä ei vaikuttanut testitulokseen. Koekappaleet merkittiin numeroilla 1–3. Koekappaleiden pintojen täytyi olla tasaisia, jotta kosketuspinta lämpövirtalevyllä oli hyvä ja saatiin mahdollisimman tarkka tulos. Epätasainen koekappaleen pinta aiheuttaa epätarkkuutta mittaustuloksissa, koska silloin lämpövirtalevyn ja koekappaleen väliin jäävä ilmamäärä on suuri ja se vääristää lopputulosta.

Koekappaleet säilytettiin noin +23 °C:n huonelämpötilassa mittausten välillä. Lämmönjohtavuuden mittaukset suoritettiin noin +10 °C:n, +20 °C:n, ja +30 °C:n keskilämpötiloissa. Lämmönjohtavuuden mittauksissa koekappaleet olivat pystysuorassa asennossa ja lämpövirran suunta oli vaakasuora.

Lämpövirtalevyllaite oli standardin ISO 8301 (1991): ”Determination of steady-state thermal resistance and related properties – Heat flow meter apparatus” mukainen. Laitteistot oli kalibroitu referenssimateriaalilla ”Certified Reference Material IRMM-440 nr. 19 (2001)”. (Tutkimusselostus VTT, 2010.)

Lämpövirtalevyllaite oli kuvion 2 mukainen. Laitteessa oli kaksi säiliötä, joissa oli nestettä. Säiliöiden lämpötilat asetettiin haluttuun lämpötilaan, jotta säiliöiden lämpötilaeroksi saatiin haluttu keskilämpötila. Esimerkiksi +10 °C:n keskilämpötilan saavuttamiseksi ensimmäisen säiliön nesteen lämpötilaksi asetettiin 0 °C ja toisen säiliön +20 °C. Säiliöiden välille aiheutuu lämpötilagradientti, joka aiheuttaa lämpövirran ja jonka suuruus mitataan lämpövirtalevyllä. Kuviossa 2 olevassa laitteessa lämpövirtalevy oli vain

toisessa pinnassa. Koekappale asetettiin lämpövirtalevyjen väliin ja laite mittasi polyuretaanin lämmönjohtavuuden kolmessa eri keskilämpötilassa. Yhden keskilämpötilan mittaamiseen kului aikaa noin tunti. Tuona aikana laite teki 10 mittauskierrosta, joista laski keskiarvon, ja näin saatiin tulos halutussa keskilämpötilassa. Saatuja lämmönjohtumisarvoja tarvitaan varaajan lämpöhäviöiden laskemisessa.



KUVIO 2. Lämpövirtalevyalaite, jolla lämmönjohtavuus määritettiin

Liitteenä olevaan VTT:n tekemässä tutkimusselostuksessa oli tehty todennäköisyyslaskentaan perustuva korrelaatio eli regressiosuora, jonka avulla pystyttiin lakemaan lämmönjohtavuuden arvo lämpöhäviölaskuja ajatellen tarvittavassa 50 °C:n keskilämpötilassa. Liite on nähtävillä salaamattomassa opinnäyteyön versiossa.

6.5 Testatut polyuretaanit

Työssä testattiin kolmen polyuretaanikappaleen lämmönjohtavuudet: valupolyuretaanin, ruiskupolyuretaanin ja noin puoli vuotta vanhentuneen ruiskupolyuretaanin. Tuotenimiltään polyuretaanit olivat: valupolyuretaani, Voracor CD 827 polyol ja Voracor CE 142

isosyanaatti, ruiskupolyuretaanit, Edulan C-1967.0. Yksityiskohtaisempia tietoja ei julkaista tässä opinnäytetyön versiossa. Mainittakoon, että teräksen lämmönjohtavuus on noin $45 \frac{W}{m \cdot K}$. Salaamattomassa versiossa on liitteenä VTT:n tekemä tuoteselostus mittauksista.

6.6 Lämpöhäviö

Lämmönjohtavuuden mittaustuloksia apuna käyttäen voidaan laskea lämpöhäviöt lämminvesivaraajille. Lämpöhäviö [W] saadaan laskemalla ensin varaajan seinämä- ja päätyrakenteiden kokonaislämmönsiirtovastukset (R_{kok}). Tuntemalla lisäksi kokonaislämpötilaero (ΔT_{kok}) varaajassa olevan veden ja ympäröivän huoneilman välillä saadaan lämpöhäviö jakamalla jälkimmäinen edellisellä. Lämpöhäviö voidaan antaa myös yksikössä $[\frac{kWh}{d}]$. (Härkönen 2009.)

6.7 Laskukaavat

Lämpö voi siirtyä johtamalla, konvektiolla tai säteilemällä. Edellytyksenä lämmönsiirrolle on aina lämpötilaero. Lämmönsiirto tapahtuu korkeammasta lämpötilasta alhaisempaan. (Fagerholm 1986, 255.) Yleensä nesteillä ja kaasuilla johtumista ei oteta huomioon, sillä konvektio on määräävin. Lämmönsiirto putken seinämän läpi saadaan laskettua vastusmenetelmää käyttäen kaavalla (Härkönen 2009.)

$$\Phi' = \frac{(T_s - T_u)}{\sum R} \quad (1)$$

jossa Φ' = lämpövirta pituusyksikköä kohti, $[\frac{W}{m}]$

$\sum R$ = kokonaisvastus, $[\frac{m \cdot K}{W}]$

T_s = sisäpuolen lämpötila, $[C^\circ]$

T_u = ulkopuolen lämpötila, $[C^\circ]$

Vastusmenetelmä on erityisen kätevä kerrosrakenteilla, joten sitä voidaan soveltaa varaajan lämpöhäviöiden laskemisessa. Johtumisvastuksina toimivat varaajan seinämä, polyuretaanieriste ja varaajan ulkoverhoilupelti. Lisäksi on otettava huomioon varaajan sekä sisä-, että ulkopuoliset lämmönsiirtokerroimet mukaan lukien säteily ulkopinnasta ympäristöön. Nämä kaikki siis vastustavat varaajasta lähtevää lämpövirtaa. Tämän takia polyuretaani on oiva lämmöneriste pienen lämmönjohtavuutensa ansiosta. Kokonaisvastus saadaan laskemalla vastukset yhteen kaavalla, joka toimii vain putkella. (Härkönen 2009.)

$$\sum R = \frac{1}{2\pi r_1 h_s} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi \lambda_{1,2}} + \dots + \frac{1}{2\pi r_4 h_u} \quad (2)$$

jossa h_s = sisäinen/sisäpuolen lämmönsiirtokerroin, $[\frac{W}{m^2 \cdot K}]$
 h_u = ulkoinen/ulkopuolen lämmönsiirtokerroin, $[\frac{W}{m^2 \cdot K}]$. Saadaan $h_{\text{konvektio}} + h_{\text{säteily}}$ summasta
 λ = lämmönjohtavuus, $[\frac{W}{m \cdot K}]$
 r_1 = varaajan seinämän sisäsäde, [m]
 r_2 = varaajan seinämän ulkosäde ja eristeen sisäsäde, [m]
 r_3 = eristeen ulkosäde ja verhoilupellin sisäsäde
 r_4 = verhoilupellin ulkosäde ja siten koko varaajan ulkosäde

Varaajan päädyt lasketaan samalla lämpövirtakaavalla, mutta eri vastusten laskumenetelmä poikkeaa putken laskutavasta:

$$\sum R = \frac{1}{h_{s \cdot A}} + \frac{s_{12}}{\lambda_{12 \cdot A}} + \dots + \frac{1}{h_{u \cdot A}} \quad (3)$$

jossa A = ala, $[m^2]$
 h = lämmönsiirtokerroin, $[\frac{W}{m^2 \cdot K}]$
 s = seinämän paksuus, [m]
 λ = lämmönjohtavuus, $[\frac{W}{m \cdot K}]$

Lämmönsiirto seinämän läpi:

$$\Phi = \frac{(T_s - T_u)}{\Sigma R}, \quad (4)$$

jossa $\Phi =$ lämpövirta, [W]

Luonnollisen konvektion lämmönsiirtokerroimia eikä myöskään säteilyn lämmönsiirtokerroimia löydy taulukoista, joten ne pitää laskea erikseen. Luonnollisen konvektion laskemiseksi käytetään kaavoja:

$$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot L^3 (T_p - T_u)}{\nu^2} \quad (5)$$

jossa $\beta = \frac{1}{T_k}$, $T_k = \frac{1}{2} \cdot (T_p + T_u)$

$g =$ maan vetovoiman kiihtyvyys $9,81 \frac{m}{s^2}$

$\nu =$ kinemaattinen viskositeetti, (aineominaisuus)

Tämän lisäksi tarvitaan ilman Prandtlin luku, joka löytyy taulukoituna eri lämpötiloilla. Laskettu Gr ja taulukosta otettu Pr kerrotaan keskenään:

Jos $GrPr \geq 10^9$, on kyseessä turbulenttinen virtaus, tai jos $GrPr < 10^9$, on kyseessä laminaarinen virtaus. Luonnollisen konvektion lämmönsiirtokerroin saadaan kaavoilla:

$$Nu = h_{\text{konvektio}} \cdot \frac{\lambda}{H} = 0.13 (GrPr)^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

josta ratkaistaan lämmönsiirtokerroin ($H =$ varaajan korkeus)

$$h_{\text{konvektio}} = Nu \cdot \frac{\lambda}{H} \quad (7)$$

Säteilylämmönsiirto on sähkömagneettista aaltoliikettä, eikä se vaadi mitään väliainetta, joten sitä voi tapahtua myös tyhjiössä. Säteilyssä tärkeitä termejä ovat pinnan emissiviteetti ε ja säteilyvakio $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$. Emissiviteetti riippuu materiaalin pinnas-

ta. Karkean pinnan emissiviteetti on suurempi kuin sileän. Emissiviteetti on aina väliltä 0–1. Säteilyn lämmönsiirtokerroin voidaan laskea seuraavaa kaavaa apuna käyttäen. (Härkönen 2009.)

$$\Phi = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A(T_p^4 - T_u^4) = h_{\text{säteily}} \cdot A(T_p - T_u) \quad (8)$$

josta

$$h_{\text{säteily}} = \frac{\Phi}{A \cdot (T_p - T_u)} \quad (9)$$

Lasketut $h_{\text{konvektio}}$ ja $h_{\text{säteily}}$ lasketaan yhteen ja saadaan tarvittava h_u -arvo kokonaisvas-
tuksia laskettaessa.

6.8 Laskelmat

Lämpöhäviöt laskettiin kahdelle varaajakoolle: 1000 litraa ja 3000 litraa. Lämpöhäviöt laskettiin myös kahdella eri polyuretaanipaksuudella ja myös vuorivillalla. Laskut ja tulokset ovat salattuja, eikä niitä esitetä. Vuorivillalla laskettaessa käytettiin Parocin valmistamaa vuorivillaa Paroc Pro slab 40, jonka lämmönjohtavuudeksi valmistaja ilmoittaa $0,039 \frac{W}{m \cdot K}$ 50 °C:n keskilämpötilassa (Paroc Oy 2010b).

Laskuissa käytettiin varaajan sisätilan keskilämpötilana arvoa 80 °C ja ulkopuolen lämpötilana 20 °C. Akvaterm Oy:n tiloissa toimintakunnossa olevan varaajan ulkopinnan lämpötilaksi mitattiin, ympäristön keskilämpötilan ollessa noin 17,55 °C noin 19,76 °C. Näin varaajan pinnan ja huoneen lämpötilaeroksi saatiin noin 2,21 °C. Laskettaessa lämpövirtoja voidaan yleisemminkin olettaa, että varaajan pinnan keskilämpötila on noin 2,21 °C korkeampi kuin huoneen lämpötila.

1000 litran kokoisen varaajan vaipan korkeus on 1500 mm ja sisähalkaisija 844 mm. 3000 litran kokoisen varaajan vaipan korkeus on sama kuin pienemmän varaajan, mutta sisähalkaisija on 1394 mm. Varaajat tehdään 3 mm paksusta teräksestä.

Lasketaan ensin säiliön ulkopuolen lämmönsiirtokertoimet $h_{\text{konvektio}}$ ja $h_{\text{säteily}}$. Aineominaisuudet kuivalle ilmalle lämpötilassa 20 °C:

$$\text{Pr} = 0,713$$

$$v = 15,11 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\lambda = 0,0257 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \text{ (ilman lämmönjohtavuus)}$$

Lasketaan ensin keskilämpötila:

$$T_k = \frac{1}{\frac{1}{T_k}}$$

$$\text{josta} \quad T_k = \frac{1}{2} \cdot (22,21 + 20) = 21,10 \text{ °C} = 294,25 \text{ K}$$

Sijoitetaan kaavaan:

$$\text{Gr} = \frac{\frac{1}{294,25} \cdot 9,81 \cdot 1,5^3 (22,21 - 20)}{(15,11 \cdot 10^{-6})^2} = 1,08915 \cdot 10^9$$

Saadaan $\text{GrPr} = 1,08915 \cdot 10^9 \cdot 0,713 = 7,76564 \cdot 10^8$. Koska GrPr on lähes 10^9 , niin käytetään turbulenttisen lämmönsiirron kaavaa (6):

$$\text{Nu} = 0,13 \cdot (7,76564 \cdot 10^8)^{\frac{1}{3}} = 119,49$$

josta saadaan

$$h_{\text{konvektio}} = 119,82 \cdot \frac{0,0257}{1,5} = 2,047 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Säteilyn lämmönsiirtokertoimen laskemiseen tarvitaan varaajan verhoilupellin emissiviteetti, jonka tässä tapauksessa arvioidaan olevan noin 0,80, sillä pellin pinta ei ole tasainen, vaan mattapintainen.

Mustan heijastamattoman pinnan emissiviteettikerroin on 1. Varaajan ulkoasun valkoinen väri ei vaikuta lämpösäteilyyn, koska alhaisessa lämpötilassa säteily ei ole näkyvällä alueella. (Fagerholm 1994, 278.)

$$\Phi = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A(T_p^4 - T_u^4)$$

jossa emissiviteetti on 0,80 ja Stefan-Boltzmannin vakio on $5,67032 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$. Sijoitetaan kaavaan:

$$\Phi = 0,80 \cdot 5,67032 \cdot 10^{-8} \cdot 3,97(295,36^4 - 293,15^4) = 40,56 \text{ W}$$

josta saadaan:

$$h_{\text{säteily}} = \frac{40,56}{3,97 \cdot (22,21 - 20)} = 4,62 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Ulkopinnan kokonaislämmönsiirtokertoimeksi tulee siis $h_u = 2,047 + 4,62 = 6,66 \frac{W}{m^2 \cdot K}$.

Olkoon tämä sama myös päädyissä.

Kokonaisvastuksen laskukaavaan tarvitaan vielä sisäpuolen lämmönsiirtokerroin h_s . Tätä arvoa ei kuitenkaan tarvitse laskea, koska varaajan veden ja seinämän lämpötilan voidaan olettaa olevan sama mistä seuraa, että lämmönsiirtokerroin varaajan sisällä on niin suuri, että sillä ei ole lämpöhäviöiden kannalta merkitystä. (Härkönen 2009.) Laskelmissa on käytetty arvoa $h_s = 2000$. Saadut lämmönsiirtokertoimet voidaan liittää kokonaisvastuksen laskukaavaan ja päästään laskemaan lämpöhäviötä.

Laskuissa on käytetty VTT:llä mitattuja polyuretaanin lämmönjohtavuuden arvoja, Lämmönjohtavuus tarvitussa 50 °C:n keskilämpötilassa saadaan, kun käytetään VTT:n tekemää korrelaatiota, joka löytyy liitteen kuvasta 1 (SALATTU). Otetaan kokonaisvastuksen kaava ja sijoitetaan arvot.

Teräksen lämmönjohtavuutena käytetään arvoa $45 \frac{W}{m \cdot K}$.

$$\Sigma R = \frac{1}{2\pi r_1 h_s} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi \lambda_{1,2}} + \dots + \frac{1}{2\pi r_4 h_u}$$

$$\Sigma R = \text{SALATTU} \frac{m \cdot K}{W}$$

Lämpövirta metriä kohti on:

$$\Phi' = \frac{(T_s - T_u)}{\Sigma R} = \text{SALATTU} \frac{W}{m}$$

Päätyjen lämpövirta. Lasketaan ensin vastukset:

$$R_{\text{kok}} = \text{SALATTU} \frac{K}{W}$$

Lämpövirta on:

$$\Phi = \frac{(T_s - T_u)}{\Sigma R} = \text{SALATTU} W$$

Kokonaislämpövirta saadaan kertomalla vaipan lämpövirta varaajan vaipan korkeudella ja lopuksi tulokseen summataan päätyjen lämpövirrat.

Kokonaislämpövirta on:

SALATTU W

Varaajasta ympäristöön siirtyvä lämpöhäviö on siis noin SALATTU W ja vuorokaudessa:

$$\text{SALATTTU} \frac{kWh}{d}$$

1000 litran kokoisella lämminvesivaraajalla, joka on eristetty 50 mm paksulla valupolyuretaanilla ja joka sijaitsee 20 celsiusasteisessa tilassa varaajan veden keskilämpötilan

ollessa 80 °C sen vuorokautinen lämpöhäviö on SALATTU $\frac{kWh}{d}$. Saadut tulokset ovat vain likimääräisiä, koska polyuretaanien lämmönjohtavuuden määrittämisessä tehtiin vain yhdet testikierrokset jokaiselle testattavalle kappaleelle, joten virhemarginaali on hieman suurempi ja varaajan päädyt on laskettu tasoseinämälle, vaikka päädyt ovatkin kuperat. Tietenkin teräksen ja polyuretaanin laadut voivat vaihdella suuntaan tai toiseen, mikä myös aiheuttaa virhettä lopullisessa tuloksessa. Myöskään korrelaation avulla saatava lämmönjohtavuuden arvo ei ole tarkka.

Muille eristepaksuuksille ja säiliön tilavuuksille lasketut lämpöhäviöt ovat nähtävissä taulukossa 1 (SALATTU). Tulokset on saatu samoja kaavoja ja menetelmiä käyttäen kuin edellä esitettyssä esimerkkilaskussa.

TAULUKKO 1 (SALATTU). Taulukossa on esitetty kahden eri varaajakoon lämpöhäviöt, eri eristeillä ja eri paksuuksilla. Tulokset ovat salatut.

	LÄMPÖHÄVIÖT			
	<i>Varaaja 1000 litraa</i>		<i>Varaaja 3000 litraa</i>	
Tuote, paksuus ja lämmönjohtavuus keskilämpötilassa.	[W]	$[\frac{kWh}{d}]$	[W]	$[\frac{kWh}{d}]$
Valupolyuretaani Voracor, 50 mm, $\lambda_{SALATTU}[\frac{W}{m \cdot K}]$	SALATTU	SALATTU	SALATTU	SALATTU
Ruiskupolyuretaani Edulan, 100 mm $\lambda_{SALATTU}[\frac{W}{m \cdot K}]$	SALATTU	SALATTU	SALATTU	SALATTU
Vuorivilla Paroc Pro Slab 40, 150 mm $\lambda_{SALATTU}[\frac{W}{m \cdot K}]$	SALATTU	SALATTU	SALATTU	SALATTU

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia eri mahdollisuuksia polyuretaanin lämmönjohtavuuden määrittämiseksi. Muutamien tiedustelujen jälkeen selvisi, että lämmönjohtavuuden määrittämiseen tarvitaan erittäin kallis laitteisto, joka on juuri kyseiseen tehtävään tarkoitettu. Laitteiston korkean hinnan takia Akvaterm Oy ei investoinut laitteeseen ja lämmönjohtavuuden määrittäminen oli tehtävä VTT:n omalla laitteistolla Espoossa. VTT:llä tehtyjen testien hinnat olivat melko edulliset, joten testien teettäminen siellä osoittautui parhaimmaksi vaihtoehdoksi.

VTT:n henkilökunta oli erittäin myönteistä auttamaan, ja siispä saimmekin lämmönjohtavuuden määrittämisen yhden keskilämpötilan sijasta kolmella eri keskilämpötilalla samaan hintaan. Normaalisti testit olisi tehty kymmenen asteen keskilämpötilassa, mutta nyt ne tehtiin 10 °C:n, 20 °C:n ja 30 °C:n keskilämpötiloissa. Tietenkään tulokset eivät ole virallisia, koska standardin EN-SFS 13165 mukaisia testimenetelmiä ei käytetty.

VTT:ltä saatujen tulosten avulla oli mahdollista laskea lämpövirrat lämminvesivaraajan seinämärakenteen läpi. Lämpövirrasta saatiin laskettua lämpöhäviö vuorokaudessa. Miineraalivillan lämmönjohtavuus on suoraan Parocin Internet-sivuilta, ja sen takia lasketut lämpöhäviöt on huomioitava varauksella.

Mielestäni opinnäytetyössäni päästiin sille asetettuihin tavoitteisiin, jotka olivat eri polyuretaanilaatujen lämmönjohtavuuden määrittäminen ja niiden avulla lämpöhäviöiden laskeminen parille tyypillisimmälle lämminvesivaraajien koolle. Myös opinnäytetyön alussa tehty selvitys lämmönjohtavuuden mittaamiseen soveltuvasta paikasta osoitti, että tällaisia paikkoja ei ole paljon, eivätkä niin sanotut kilpailevat eristeytykset ole innostuneita suorittamaan mittauksia laitteistoillaan.

LÄHTEET

Akvaterm Oy 2010a. Yritysinfo. Www-dokumentti. Saatavissa: www.akvaterm.fi. Luettu 15.9.2010.

Akvaterm Oy 2010b. Lämpöinfo. Www-dokumentti. Saatavissa: www.akvaterm.fi. Luettu 12.9.2010.

BaySystems Oy 2010. Polyuretaanit. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.bayer-baysystems.com/bms/baysystems.nsf/id/05_NorthernEurope_FI_Polyurethane. Luettu 27.9.2010.

Fagerholm, Nils-Erik. 1986. Termodynamiikka. Tekijä ja Otatieto Oy. Tammer-Paino Oy Tampere 1994.

Finn Valve Oy 2008. PU-tietoa. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.finn-valve.com/>. Luettu. 6.10.2010.

Gebwell Oy 2010. Energiavaraajat. Www-dokumentti Saatavissa: www.gebwell.fi. Luettu 20.9.2010.

Harju, Pentti. 2004. 2 painos. Lämmitystekniikan oppikirja. Kouvola: Penan Tieto-Opus Ky.

Härkönen, Martti. 2009. Koulutusmateriaali. Lämmönsiirto- ja virtaustekniikka. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu Tekniikan ja liiketalouden yksikkö, Kokkola.

ISO 8301:1991. Thermal insulation -- Determination of steady-state thermal resistance and related properties -- Heat flow meter apparatus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Kaukora Oy 2010, 18. Jäsپی-Lämmityslaitteet esite.

Motiva Oy 2010. Julkaisut. Auringosta lämpöä ja sähköä. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/2220/AurinkoEnergia_www.pdf. Luettu 25.9.2010.

Pahkala, Kimmo. Toimitusjohtaja, Akvaterm Oy. Henkilökohtainen tiedonanto. 18.8.2010. Kokkola.

Paroc Oy 2010a. Talotekniikan eristysratkaisut. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.paroc.com/spps/Finland/TI_attachments/FI_3-2_0_TI_fi.pdf. Luettu 18.10.2010.

Paroc Oy 2010b. Tekniset eristeet. Tuotteet. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.paroc.fi/channels/fi/technical+insulation/products/default2.asp>. Luettu 20.11.2010.

Purfin Oy 2010, koulutusmateriaali. PUR-koulutus Akvaterm.pdf.

Rakennuspolyuretaaniteollisuus 2010. Usein kysyttyä. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.polyuretaani.com/fin/usein_kysyttya/. Luettu 22.12.2010.

Siikanen, Unto. 2009. 7 painos. Rakennusaineoppi. Helsinki: Rakennustieto Oy.

SPU Systems Oy 2010. SPU-eristeet energiatehokkuutta betonirakenteissa. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.spu.fi/files/spu/pdf/BET1002_44-48.pdf. Luettu 2.12.2010.

Solunetti 2006. Solubiologia. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/diffuusio/2/>. Luettu 15.10.2010.

Suorakanava Oy 2010a. Verkkolehti. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.rakentaja.fi/index.asp?s=/suorakanava/verkkolehti/05/4605akvaterm.htm>. Luettu 25.9.2010.

Suorakanava Oy 2010b. Verkkolehti Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.rakentaja.fi/index.asp?s=/suorakanava/verkkolehti/03/2303akvaterm.htm>. Luettu 1.11.2010.

Suorakanava Oy 2010c. Verkkolehti. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.rakentaja.fi/index.asp?s=/kuluttaja/Akvaterm/RR2004/akvaterm1.htm>. Luettu 17.11.2010.

Tee itse. 4/2004, 43. Opas Lämmöneristeet. Aikakausilehti, Tee Itse.

Tutkimusselostus nro VTT-S-05408-10. LIITE 1.

Vink Finland Oy 2010. Tuotteet. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.vink.fi/TUOTTEET/Tuoteluettelo/PUR.aspx>. Luettu 6.10.2010.

VTT 2009. VTT. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/vtt/index.jsp>. Luettu 19.10.2010.

VTT Expert Services Oy 2010. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.vttexpertservices.fi/>. Luettu 19.10.2010.

SFS-EN 12667. Rakennusmateriaalien ja -tuotteiden lämpötekniset ominaisuudet. Lämmönvastuksen määrittäminen kuumalevy- ja lämpövirtalevyllä. Tuotteet, joilla on korkea tai suhteellisen korkea lämmönvastus. 2001. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 13165. Lämmöneristetuotteet rakentamiseen. Tehdasvalmisteiset jäykät polyuretaanituotteet (PUR). Tuotestandardi. 2010. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.