

Sustainable Building 2:

Assignment 1: Heat and Moisture Measurements

Opdracht 1: Warmte en Vocht Metingen

Dhr. Ing. T.J.H. de Veen
Dhr. Ing. S.H.M. van Dijck

Eindhoven University of Technology

Master: Architecture, Building & Planning.

Building Technology

1. Warmtestroom Metingen (Heat Flow Measurements)

1.1 Inleiding

In de huidige bouwwereld wordt steeds meer aandacht geschonken aan nieuwe duurzame ontwikkelingen. Deze ontwikkelingen bevatten onder andere het beperken van het energieverbruik. Het gebruik van energie is in gebouwen grotendeels bepaald door de warmte isolerende eigenschappen van bouwconstructies, die het binnenklimaat van het buitenklimaat scheiden.

In deze laboratoriumproef wordt een meting gedaan waarbij de 'steady state' zo exact mogelijk wordt benaderd. Hiervoor is een proef opstelling gerealiseerd waarmee de warmtestroom van een 'sample' met een dikte van 10 mm wordt gemeten.

1.2 Proefopstelling en Meetinstrumenten

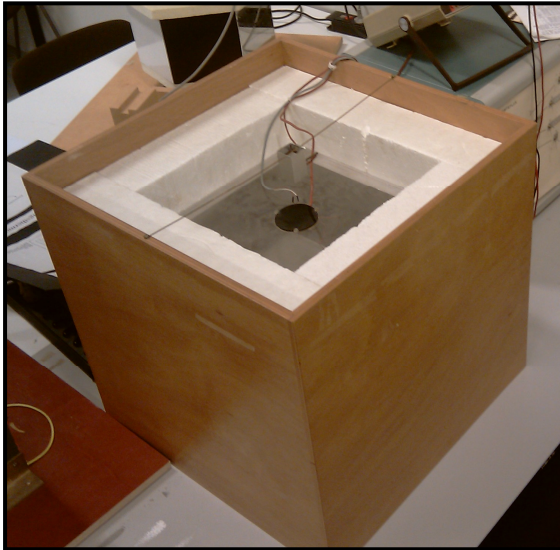
De laboratoriumproef voor de warmtestroom metingen is als volgt opgebouwd. De meetopstelling bestaat uit een rechthoekige container, waarvan de bodem en de opstaande wanden worden gevormd door aluminium platen, die aan elkaar zijn gelast.

De bovenkant is open gelaten en geeft ruimte voor een object waarop de metingen zullen worden uitgevoerd. De aluminium container is thermisch geïsoleerd door een 10 cm dikke laag geëxpandeerd polystyreenschuim (Tempex). Het geheel wordt omsloten door een behuizing van multiplex.

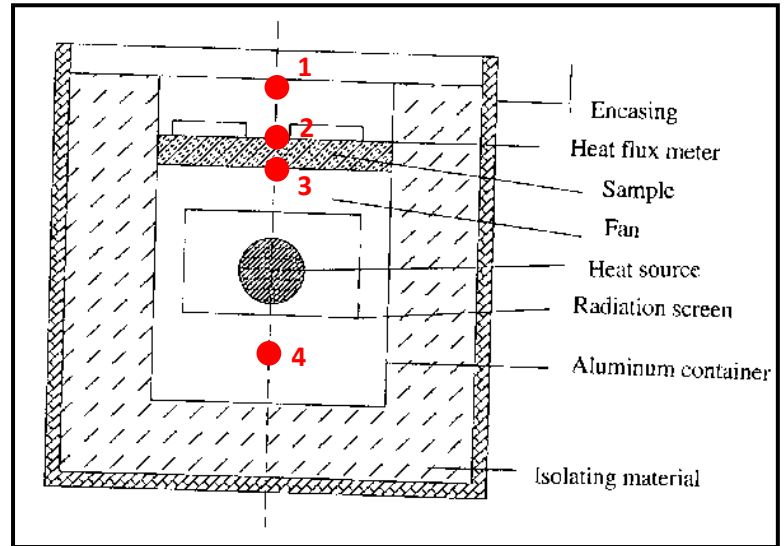
In de container is er een warmtebron in de vorm van een gloeilamp. Deze lamp is aangesloten op een wisselspanning, waarvan de omvang kan worden bepaald. Rond deze bol, is een stralingsschild geplaatst. De bijgeleverde voedingsadapter kan worden gemeten met een **wattmeter**. Om verzekerd te zijn van een homogene temperatuur van de lucht distributie in de aluminium container, en dus van een beter gedefinieerde temperatuur van de lucht, is een geforceerde luchtcirculatie geleverd door een ventilator.

De binnentemperatuur, θ_i (**figuur 1: punt 4**), wordt gemeten met een koper-constantaan thermokoppel, die wordt geplaatst in een klein stralingsschild. De warmte capaciteit van de warme aansluiting van het koppeling wordt vergroot met een kleine hoeveelheid lood. De buitentemperatuur, θ_e (**figuur 1: punt 1**), is eveneens gemeten.

De oppervlaktetemperaturen θ_{bu} (**figuur 1: punt 2**) en θ_{bi} (**figuur 1: punt 3**) van het monster zijn eveneens gemeten met koper-constantaan thermokoppels. De temperaturen die worden gemeten, zijn direct af te lezen uit twee digitale temperatuur meters. De instelling van de koude aansluiting temperatuur en het gebruik van de tabel van de kalibratie worden hierbij buiten beschouwing gelaten.



Afbeelding 1: Proefopstelling



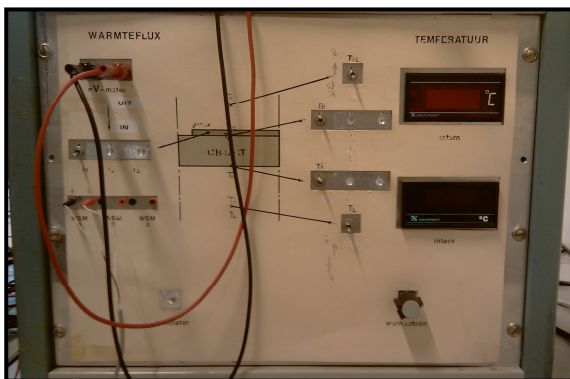
Figuur 1: Proefopstelling Doorsnede

De waarden worden met behulp van de volgende meetinstrumenten afgelezen:

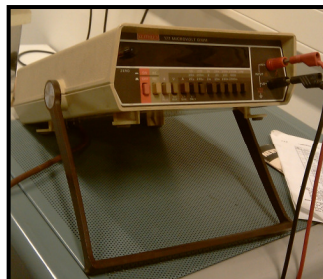
- **Thermokoppels**, meet de temperatuurwaarde op 4 verschillende plaatsen in de proef. Namelijk de binnentemperatuur, de oppervlakte temperatuur aan binnen- en buitenzijde en de buitentemperatuur.
- **Warmtedoorstroom meter**, oftewel warmtestroomdichtheid wordt gemeten. De doorstroming in Δe van een vlakke plaat kan worden gemeten met een mV-meter (**Voltage**) en worden uitgedrukt in temperatuur. Hierbij wordt de formule: $\Delta e = f(\Delta T)$; dus $\Delta e = f(\Delta q)$ gebruikt.
- **Wattmeter**, meet de watt-waarde van de voedingsadapter.

Afgelezen van	Merk	Type	Onnauwkeurigheid
Thermokoppel	Newport	267B	$\pm 0,33 \text{ }^{\circ}\text{C}$
mV-meter (Voltage)	Keithley	177 DMM	$\pm 0,04 \text{ \% Rdg} + 1\text{D}$
Watt meter	Waldsee Electronic	4 60000 601	$\pm 1\text{D}$

Tabel 1. Data van gebruikte meetinstrumenten



Thermocouples



Voltage WSM



Wattmeter

1.3 Waarnemingen

De waarnemingen zijn verricht in twee rondes, met een interval van 5 minuten.

Waarneming A geeft de eerste waarneming weer, Waarneming B geeft de waarneming weer die plaats vond 5 minuten nadat waarneming A was uitgevoerd.

Hiervan is een gemiddelde opgesteld en de daarbij behorende onnauwkeurigheid toegevoegd.
(Zie Tabel 2)

Fysische Eigenschappen	Waarneming A	Waarneming B	Aver. & Inacc.
$\Theta_{\text{Internal, air}} [^{\circ}\text{C}]$	65,5	65,3	$65,4 \pm 0,33^{\circ}\text{C}$
$\Theta_{\text{Internal, surface}} [^{\circ}\text{C}]$	57,0	57,1	$57,0 \pm 0,33^{\circ}\text{C}$
$e [\text{mV}]$	11,0	11,6	$11,3 \pm 0,04 \% \text{Rdg} + 1\text{D}$
$\Theta_{\text{External, surface}} [^{\circ}\text{C}]$	41,2	41,6	$41,4 \pm 0,33^{\circ}\text{C}$
$\Theta_{\text{External, air}} [^{\circ}\text{C}]$	24,9	24,9	$24,9 \pm 0,33^{\circ}\text{C}$
Watt meter [Watt]	39	38	$39 \pm 1\text{D}$

Tabel 2. Warmtestroom Metingen

De opbouw van de proef bevat de volgende data:

Aluminium Container	Afmetingen & Onnauwkeurigheid	Onnauwkeurigheid (%)
Hoogte	$30.0 \pm 0.1 \text{ cm}$	$\pm 0.33\%$
Breedte	$35.0 \pm 0.1 \text{ cm}$	$\pm 0.29\%$
Lengte	$35.0 \pm 0.1 \text{ cm}$	$\pm 0.29\%$
Tempex		
Dikte	$10.0 \pm 0.1 \text{ cm}$	$\pm 1.00\%$
Thermische Geleidbaarheid	$0.0350 \pm 0.0005 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$\pm 14.28\%$
Enclosing		
Dikte	$15.0 \pm 0.1 \text{ mm}$	$\pm 0.66\%$
Thermische Geleidbaarheid	$0.175 \pm 0.0005 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	$\pm 2.86\%$
Warmtebron		
Maximaal vermogen	40 W en 220 V afwisselende voltage	
Warmtestraling dichtheid meters		
Warmte weerstand	$0.0155 \pm 0.0005 \text{ K m}^2 \text{ W}^{-1}$	$\pm 3.23\%$
Ijkwaarde wsm	$C = 17.9 \text{ W m}^{-2} \text{ mV}^{-1}$	$\pm 5\%$

1.4 Berekeningen

Grootheid:

- T en θ : *Temperatuur*
- ΔT : *Temperatuur verschil*
- ϕ : *Warmtestroom*
- q: *Warmtestroomdichtheid*
- R: *Warmteweerstand*
- A: *Oppervlakte*
- d: *Dikte materiaal*
- R_α : *Warmteoverdrachts-weerstand*
- h: *Warmteoverdrachts-coëfficiënt*
- α : *Relatie tussen R_α en h*
- R_λ : *Warmtestromings-weerstand*
- λ : *Warmtegeleidings-coëfficiënt*
- e: *Voltage*
- Δe : *Voltage verschil*
- C: *Gevoeligheid Heat Flux Meter*

Betekenis:

Eenheid:

- K en $^{\circ}\text{C}$
- K en $^{\circ}\text{C}$
- J s^{-1} of W
- W m^{-2}
- $\text{K m}^2 \text{W}^{-1}$
- m^2
- m
- $\text{K m}^2 \text{W}^{-1}$
- $\text{W (m}^2 * \text{K)}$
-
- $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$
- $\text{W m}^{-2} \text{m K}^{-1}$ of $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$
- mV
- mV
- $\text{W m}^{-2} / \text{mV}$ of $\text{W m}^{-2} \text{mV}^{-1}$

Formules:

- $\phi = A q$
- $\Delta T = R q$
- $R_\alpha = 1/h$
- $R_\lambda = d/\lambda$
- $\Delta e = f(\Delta T)$; dus $\Delta e = f(\Delta T)$
- $q = e C$

Vragen:*Toelichting:**Voor de berekening zijn de waarden uit hoofdstuk 1.3 "Waarnemingen" gebruikt.**Alle onnauwkeurigheden in de berekeningen zijn doorgerekend om een zo reëel mogelijke uitkomst te verkrijgen.***1. Bereken de warmtestroomdichtheid (q) die kan worden afgeleid uit de gegevens van de Warmtestroom meter.**

Formule	Waarde	Onnauwkeurigheid	Eenheid
$q[\text{W m}^{-2}] = e[\text{mV}] * C[\text{W m}^{-2} \text{mV}^{-1}]$			
$q =$	$(11,3 \pm 0,1045) * (17,9 \pm 0,895)$		
$q =$	202,27	$\pm$	11,98 W m^{-2}

2. Bereken met het resultaat van de warmtestroommeter, de warmtestroom door de sample

Formule	Waarde	Onnauwkeurigheid	Eenheid
$\Delta T[^\circ\text{C}] = R[\text{W m}^{-2} \text{mV}^{-1}] * q[\text{W m}^{-2}]$			
$(T_{\text{int; surface}} - T_{\text{ext; surface}}) =$	$R * q$		
$(57 \pm 0,33) - (41,4 \pm 0,33) =$	$R * (202,27 \pm 11,98)$		
$15,6 \pm 0,66 =$	$R * (202,27 \pm 11,98)$		
$R =$	$(15,6 \pm 0,66) / (202,27 \pm 11,98)$		
$R =$	0,0771	$\pm$	0,0078 $\text{W m}^{-2} \text{mV}^{-1}$

3. Bereken de warmteweerstand van de sample en de warmtegeleidingcoëfficiënt voor een sample met een dikte van 10,0mm.Warmteweerstand sample:

Formule	Waarde	Onnauwkeurigheid	Eenheid
$R_{\text{sample}}[^\circ\text{C m}^2/\text{W}] = (\Delta T[^\circ\text{C}] / q[\text{J/s m}^2])$			$^\circ\text{C m}^2/\text{W}$
$R_{\text{sample}} =$	$(T_{\text{int; sample}} - T_{\text{ext; sample}}) / q$		
$R_{\text{sample}} =$	$(32,1 \pm 0,66) / (202,27 \pm 11,98)$		
$R_{\text{sample}} =$	0,1587	$\pm$	0,0127 $^\circ\text{C m}^2/\text{W}$

Warmtegeleidingcoëfficiënt sample:

Formule	Waarde	Onnauwkeurigheid	Eenheid
$R_{\lambda}[(\text{m}^2 \text{K})/\text{W}] = d_{\text{sample}}[\text{m}] / \lambda_{\text{sample}} [\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}]$			
$0,0771 \pm 0,0038 =$	$0,01 / \lambda_{\text{sample}}$		
$0,01 / (0,0771 \pm 0,0038) =$	λ_{sample}		
$\lambda_{\text{sample}} =$	0,1297	$\pm$	0,0064 $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$

4. Bereken de warmteovergangsweerstand R_{internal} en R_{external}

Warmteovergangsweerstand R_i :

Formule	Waarde	Onnauwkeurigheid	Eenheid
$R_{\text{int}} [\text{K m}^2 \text{ W}^{-1}] = \Delta T [^\circ\text{C}] / q [\text{W m}^{-2}]$			
$R_{\text{int}} = (T_{\text{int;air}} - T_{\text{int;surf}}) / q$			
$R_{\text{int}} =$	$(8,4 \pm 0,66) / (202,27 \pm 11,98)$		
$R_{\text{int}} =$	0,0415	$\pm$	0,0057 $\text{K m}^2 \text{ W}^{-1}$

Warmteovergangsweerstand R_e :

Formule	Waarde	Onnauwkeurigheid	Eenheid
$R_{\text{ext}} [\text{K m}^2 \text{ W}^{-1}] = \Delta T [^\circ\text{C}] / q [\text{W m}^{-2}]$			
$R_{\text{ext}} = (T_{\text{ext;air}} - T_{\text{ext;surf}}) / q$			
$R_{\text{ext}} =$	$(16,5 \pm 0,66) / (202,27 \pm 10,19)$		
$R_{\text{ext}} =$	0,0816	$\pm$	0,0081 $\text{K m}^2 \text{ W}^{-1}$

5. Bereken de warmtestroom-dichtheid (q) die kan worden afgeleid uit de gegevens van de Warmtestroom meter.

Om het totale warmteverlies te kunnen berekenen mochten twee aannames worden gedaan: namelijk

- De warmte weerstand van de heat flow meter en de sample is over het hele oppervlakte van de sample hetzelfde
- De warmtestroomdichtheid door de wanden en de bodem van de container is overal hetzelfde.

	λ -Waarde	Afwijking	Eenheid	d(m)	Eenheid	afwijking
$\lambda_{\text{Sample}} =$	0,1297	$\pm$	0,0064 $\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	0,01	m	$\pm$ 0
$\lambda_{\text{Tempex}} =$	0,035	$\pm$	0,0005 $\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	0,1	m	$\pm$ 0,001
$\lambda_{\text{Enclosing}} =$	0,175	$\pm$	0,005 $\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	0,015	m	$\pm$ 0,0001

$$R [\text{K m}^2 \text{ W}^{-1}] = d [\text{m}] / \lambda [\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}]$$

$$R_{\text{Sample}} = 0,0771 \pm 0,0038 \text{ K m}^2 \text{ W}^{-1}$$

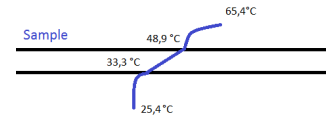
$$R_{\text{Tempex}} = 2,8571 \pm 0,0085 \text{ K m}^2 \text{ W}^{-1}$$

$$R_{\text{Enclosing}} = 0,0857 \pm 0,4111 \text{ K m}^2 \text{ W}^{-1}$$

Omdat het warmteverlies door de sample en de wanden verschillend is, zijn de berekeningen opgesplitst.

Sample

Formule	R-Waarde		Onnauwkeurigheid	eenheid
$R_{\text{internal air}}$	0,0415	±	0,0057	$\text{K m}^2 \text{W}^{-1}$
R_{sample}	0,0771	±	0,0038	$\text{K m}^2 \text{W}^{-1}$
$R_{\text{external air}}$	0,0816	±	0,0081	$\text{K m}^2 \text{W}^{-1}$
R_{Totaal}	0,2002	±	0,0176	$\text{K m}^2 \text{W}^{-1}$



Temperatuurverloop Sample

$$\phi_{\text{sample}} = A_{\text{sample}} [\text{m}^2] * \Delta T [^{\circ}\text{C}] / R_{\text{sample}} [\text{K m}^2 \text{W}^{-1}].$$

$$\phi_{\text{sample}} = A_{\text{sample}} * (T_{\text{int;air}} - T_{\text{ext;air}}) / R_{\text{sample}}$$

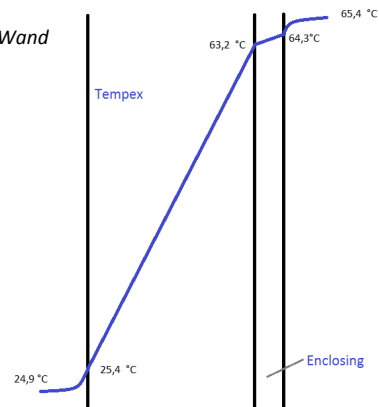
$$\phi_{\text{sample}} = (0,1225 \pm 0,0007) * (40,5 \pm 0,66) / (0,2002 \pm 0,0165)$$

$$\phi_{\text{sample}} = 24,78 \text{ W of J/s} \pm 2,73$$

Wanden container

Formule	R-Waarde		Onnauwkeurigheid	eenheid
$R_{\text{internal air}}$	0,0415	±	0,0057	$\text{K m}^2 \text{W}^{-1}$
R_{tempex}	2,8571	±	0,0085	$\text{K m}^2 \text{W}^{-1}$
$R_{\text{enclosing}}$	0,0857	±	0,4111	$\text{K m}^2 \text{W}^{-1}$
$R_{\text{external air}}$	0,0816	±	0,0081	$\text{K m}^2 \text{W}^{-1}$
R_{Totaal}	3,0660	±	0,4334	$\text{K m}^2 \text{W}^{-1}$

Temperatuurverloop Wand



$$\phi_{\text{box}} [\text{W}] = A_{\text{box}} [\text{m}^2] * \Delta T [^{\circ}\text{C}] / R_{\text{box}} [\text{K m}^2 \text{W}^{-1}].$$

$$\phi_{\text{box}} = A_{\text{box}} * (T_{\text{int;air}} - T_{\text{ext;air}}) / R_{\text{box}}$$

$$\phi_{\text{box}} = (1,5312 \pm 0,0120) * (40,5 \pm 0,66) / (3,0660 \pm 0,4323)$$

$$\phi_{\text{box}} = A * \Delta T / R. \quad 20,23 \text{ W of J/s} \pm 3,35$$

Het totale warmte verlies (ϕ_{totaal}) is $\phi_{\text{sample}} + \phi_{\text{box}}$

$$\phi_{\text{totaal}} = (\phi_{\text{sample}} + \phi_{\text{box}}) \pm \text{onnauwkeurigheid}$$

$$\phi_{\text{totaal}} = (24,78 + 20,23) \pm (2,73 + 3,35)$$

$$\phi_{\text{totaal}} = 45,01 \pm 6,07 \text{ W}$$

1.5 Conclusie:

Uit de gegevens was op te maken dat de warmtebron een vermogen van 40 Watt had. Echter bleek uit de waarnemingen van de proef dat deze 39 ± 1 Watt genereert. Deze 39 ± 1 zal uiteindelijk ook de container verlaten.

Uit de berekeningen is gebleken dat het totale warmteverlies door de container $45,01 \pm 6,07$ Watt is. Dit warmteverlies bevindt zich binnen de marges van de waarnemingen van de proef. Er kan dus worden aangenomen dat de berekening klopt.

2. Temperatuurmetingen op een spouwmuur constructie

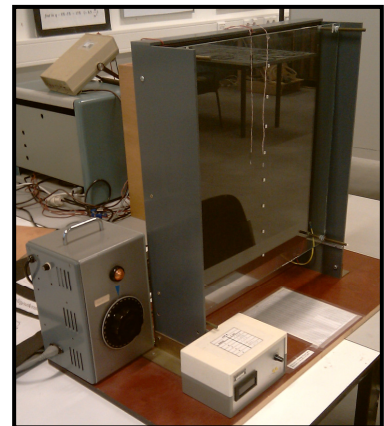
2.1 Inleiding

Indien er geen verbinding aanwezig is in een spouwconstructie tussen beide spouwmuren, dan is de warmte overdacht bijna geheel door convectie en straling. De warmtegeleiding via de lucht is vrijwel te verwaarlozen. Als er een verbinding wordt gemaakt tussen beide spouwmuren kan de warmte overdracht ook plaats vinden via geleiding (conductie).

De grootte van deze geleiding kan worden bepaald door de warmte geleidbaarheid van het aansluitende materiaal, het oppervlak waardoor de geleiding kan plaatsvinden en de breedte van de spouw te nemen. Als de warmte-overdracht door geleiding groot is in vergelijking met de overdracht door straling en convectie spreekt men van een koudebrug.

2.2 Proefopstelling

De proefopstelling is een model van een spouwconstructie, waarbij de spouwmuren bestaan uit een elektrisch opgewarmde plaat en een glasplaat. Op beide platen zijn thermische meetweerstand van het type Pt100 toegepast. De verbindingen zijn zo toegepast dat er nauwelijks koude bruggen zijn.



2.3 Doelstelling van de proef

- Meten van de oppervlakte temperaturen met de Pt100 temperatuur meetweerstand en met een infrarood temperatuur meter.
- Aantonen dat glas niet transparant is voor infrarood temperatuursmeters.

2.4 Meetinstrumenten

- Twee Pt100 temperatuur meetweerstand, waarin geïntegreerd zijn: Een constante stroombron, een digitale voltmeter, de aansluitingen voor de Pt100 meetweerstand en een schakelaar om de verschillende Pt100 elementen te verbinden met de volt meter.
- Een infrarood temperatuurmeter van het merk Horiba type no. IT330.

2.5 Waarnemingen en berekeningen

Pt100 Oppervlakte Temperatuur metingen:

Waarnemingen:

- Voltage verschil van Pt100 verwarmde plaat, E_{vp} [mV]: **113,0 mV**
- Stroom door de Pt100 verwarmde plaat, I_{vp} [mA] **1,012 mA**
- Voltage verschil van Pt100 perspex plaat, E_{kp} [mV] **123,4 mV**
- Stroom door de Pt100 perspex plaat, I_{kp} [mA] **1,042 mA**

Berekening:

- Weerstand Pt100 verwarmde plaat, R_{vp} [Ω] ($R=U/I$) **111,66 Ω** **$R=U/I$**
- Weerstand Pt100 perspex plaat, R_{kp} [Ω] ($R=U/I$) **118,43 Ω** **$R=U/I$**

Zoek op in tabel:

- Oppervlakte temperatuur verwarmde plaat, T_{vp} [$^{\circ}\text{C}$] **47,49 $^{\circ}\text{C}$** $118,24 \rightarrow 47,00^{\circ}\text{C}$
 $118,63 \rightarrow 48,00^{\circ}\text{C}$
 $(1/0,39) * 118,43 = 0,49$
- Oppervlakte temperatuur perspex plaat, T_{kp} [$^{\circ}\text{C}$] **30,00 $^{\circ}\text{C}$** $111,67 \rightarrow 30,00^{\circ}\text{C}$

Infrarood Oppervlakte Temperatuur metingen:

- Meetpunt A [$^{\circ}\text{C}$] **30,9 $^{\circ}\text{C}$**
- Meetpunt B [$^{\circ}\text{C}$] **31,1 $^{\circ}\text{C}$**
- Meetpunt C [$^{\circ}\text{C}$] **30,7 $^{\circ}\text{C}$**
- Meetpunt D [$^{\circ}\text{C}$] **30,3 $^{\circ}\text{C}$** Temp. Glasplaat m.b.v. Pt100
- Meetpunt E [$^{\circ}\text{C}$] **29,8 $^{\circ}\text{C}$**
- Meetpunt F [$^{\circ}\text{C}$] **29,4 $^{\circ}\text{C}$**
- Meetpunt G [$^{\circ}\text{C}$] **28,7 $^{\circ}\text{C}$**
- Meetpunt H [$^{\circ}\text{C}$] **28,1 $^{\circ}\text{C}$**

2.6 Conclusie

De oppervlakte temperaturen zijn gemeten met behulp van de infrarood en de Pt100 temperatuur meetweerstand. Deze zijn weergegeven in bovenstaande uitwerkingen.

Uit deze gegevens kan worden afgelezen dat de temperatuur op de perspex plaat bij beide metingen ongeveer 30,00 $^{\circ}\text{C}$ is. Dit betekent dat de infraroodmeter de warmte van de buitenzijde van een object meet en dus niet door een glasplaat heen kan meten.

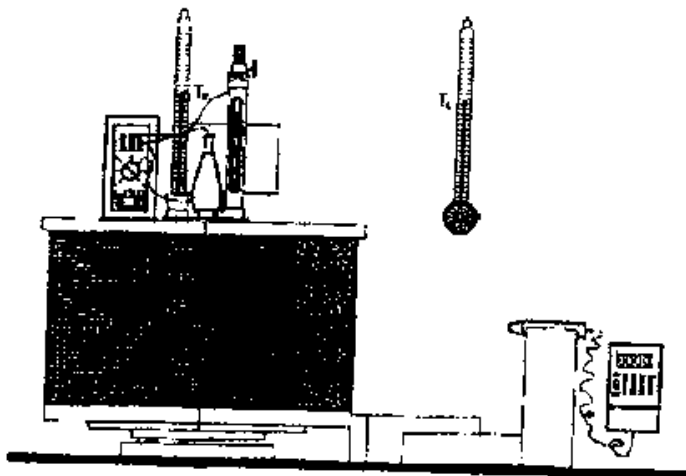
2. Meten van emissiefactoren

3.1 Inleiding

De emissiefactor bepaalt de hoeveelheid van de overgedragen (warmte) straling van een oppervlak bij een bepaalde temperatuur en bepaalde golflengte.

3.2 Proefopstelling

In deze test worden de emissiefactoren van verschillende oppervlakken gemeten bij een stralingstemperatuur van ongeveer 50 °C. Dit wordt uitgevoerd middels onderstaande proefopstelling.



De opstelling bevat zes verschillende oppervlakken die gemonteerd zijn op een draaibare grondplaat. De temperatuur wordt homogeen verdeeld door middel van een roer, zodat mag worden aangenomen dat de oppervlakte temperatuur overal gelijk verdeeld is.

Bij de meting van de stralingstemperatuur, dient de emissiefactor van de set-up te worden ingesteld, en de temperatuur m.b.v. de infrarood temperatuurmeter worden gemeten.

3.3 Doelstelling van de proef

- Meet de temperatuur van het oppervlak van de witte stip m.b.v. de infrarood temperatuurmeter.
- Bepaal de emissiefactoren van de oppervlakken door instelling van de emissiefactoren op de infrarood temperatuurmeter, zodat de temperatuur van het oppervlak overeenkomt met de 'witte stip'.

3.4 Metingen

Oppervlakte temperatuur 'witte stip' [°C]

49,0 °C

De beginwaarde van de meting is op het grijze metalen oppervlak waarop een stip is met een emissiefactor gelijk aan 0,92.

Emissiefactoren:

• Metalen (Grijze) oppervlak	0,32
• Reflecterend oppervlak	0,10
• Rood oppervlak	0,95
• Groen oppervlak	0,95
• Zwart oppervlak	0,92
• Wit oppervlak	0,96

3.5 Conclusie

Het reflecterende oppervlak heeft een zeer lage emissiefactor en straalt zodoende minder warmte uit. Het metalen grijze oppervlak heeft een hogere emissie en straalt meer warmte uit dan het reflecterende oppervlak, maar minder dan de gekleurde oppervlakken.

De emissiefactoren van de gekleurde oppervlakken hebben emissiefactoren die dicht bij elkaar liggen. De emissiefactoren liggen dicht bij de emissiefactor van de 'witte stip'. De oppervlakte temperatuur van deze oppervlakken is zodoende ongeveer gelijk aan 49,0 °C.

Emissiefactoren bepalen de hoeveelheid van de verzonden (warmte) straling van een oppervlak. Een lage emissiefactor betekent dat de hoeveelheid overgedragen (warmte) straling laag is. En de oppervlakte temperatuur dus lager is.

3. Bepaling van de luchtvochtigheid

4.1 Inleiding

Deze test is bedoeld om op verschillende manieren met drie verschillende instrumenten de hoeveelheid waterdamp in de lucht vast te stellen.

Voor het meten van de luchtvochtigheid zijn er verschillende methoden. Tevens zijn er verschillende eenheden voor het uitdrukken van de luchtvochtigheid.

4.2 Eenheden

Absolute luchtvochtigheid

De massa waterdamp die zich in een bepaalde hoeveelheid lucht bevindt, uitgedrukt in gram per kg droge lucht [g/kg].

Relatieve vochtigheid

Dit is de verhouding tussen dampdruk van een waterdamp/ lucht mengsel en de druk bij verzadiging bij de heersende temperatuur van het mengsel in procent [%].

Het dauwpunt

Als een hoeveelheid lucht, met een bepaalde hoeveelheid waterdamp, wordt afgekoeld, bij een bepaalde temperatuur, zal er een bepaalde hoeveelheid waterdamp condenseren, omdat er geen grotere hoeveelheid waterdamp in de lucht op een zodanige temperatuur aanwezig kan zijn. Deze temperatuur is de dauwpunt-temperatuur. De relatieve vochtigheid is dan 100 %.

4.3 Proefopstellingen

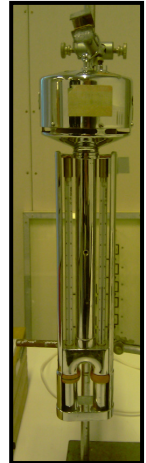
Psychrometer

Onderdelen:

- Psychrometer
- Gedestileerd water
- Psychrometrische tabel
- Statief

Werkwijze:

- Maak de sok van de 'Natte bol' thermometer nat met gedestileerd water.
- Draai de veer aan van het veermotertje.
- Hang de psychrometer aan het statief.
- Lees na enkele minuten de waarden op beide thermometers.
- Bepaal met behulp van de psychrometrische tabel het dauwpunt, de relatieve vochtigheid en de absolute vochtigheid.



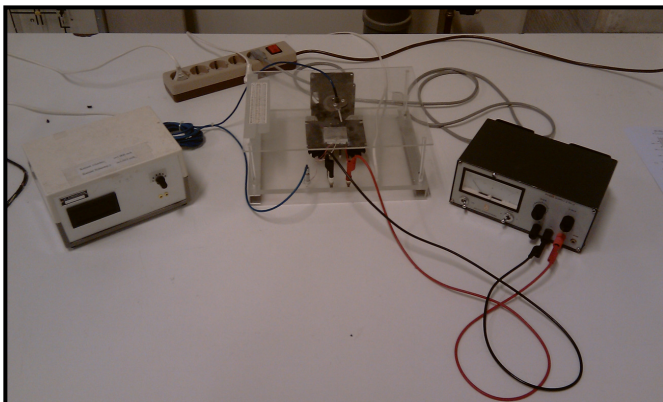
Spiegel dauw punt meter

Onderdelen:

- Spiegel gemonteerd op een Peltier-element met een Pt100 temperatuursensor.
- Pt100 luchttemperatuur sensor.
- Meetbox waarin is opgenomen: de huidige bronnen, spanning meter, aansluitingen voor de Pt100 sensoren, spiegel en een schakelaar om de verschillende Pt100 te verbinden met de spanningsmeter.
- Regelbare voeding voor het Peltier element.

Werkwijze:

- Verbindt de luchttemperatuurmeters met de spanningsmeters en lees de waarde af van het voltage.
- Verbindt de Pt100 sensor, bevestigd aan het Peltier element, met de spanningsmeter.
- Verhoog de stroom door het Peltier element geleidelijk en houdt een oog nauwkeurig gericht op de spiegel. Zodra de spiegel condensatie vertoont, stop dan met het verhogen van de stroom en lees de spanning over de Pt100 weerstand en schrijf deze op.
- Bepaal met behulp van 'de wet van Ohm' de weerstand over beide Pt100 sensoren en zoek in de tabel naar overeenkomstige temperaturen. (Zie tabel)
- Bepaal met behulp van de psychrometrische tabel de absolute vochtigheid en de relatieve vochtigheid in de omringende lucht.



4.4 Metingen luchtvochtigheid

Psychrometer

Observaties:

- Natte bol temperature [°C] 11,6 °C
- Droge bol temperature [°C] 21,2 °C

Zoek op in de psychrometrische tabel

- Relative humidity [%] 28 %
- Dauwpunt temperatuur [°C] 3 °C
- Absolute luchtvochtigheid [g kg⁻¹] 4,5 g/kg

Dauw punt meter

(Een aanname van de dauwpunttemperatuur is gedaan naar aanleiding van een defect apparaat)

Observaties:

- Voltage verschil, E_1 , over Pt100 lucht [mV] 109,9 mV
- Stroom, I_1 , door deze Pt100 [mA] 1,006 mA
- Voltage verschil, E_{dp} , over Pt100 spiegel [mV] $U=R*I \quad 101,95*1,011=$ 103,07 mV
- Stroom, I_{dp} , door deze Pt100 [mA] 1,011 mA

Berekeningen:

- Weerstand, R_1 , Pt100 lucht [Ω] $R=U/I \quad 109,9/1,006=$ 109,24 Ω
- Weerstand, R_{dp} , Pt100 spiegel [Ω] $R=U/I \quad 103,07/1,011=$ 101,95 Ω

Zoek op in tabel:

- Lucht temperatuur, T_1 , [°C] 23,8 °C
- Dauw punt temperatuur, T_{dp} , [°C] 5 °C

Zoek op in Psychrometrische tabel:

- Relatieve vochtigheid [%] 31%
- Absolute vochtigheid [g kg⁻¹] 5,5 g/kg

Capacitieve meter:

Observaties:

- Relatieve vochtigheid [%] 29,4%

Opzoeken in tabel:

$$5 \text{ °C} = 101,95 \text{ } \Omega$$

$$23 \text{ °C} = 108,93 \text{ } \Omega$$

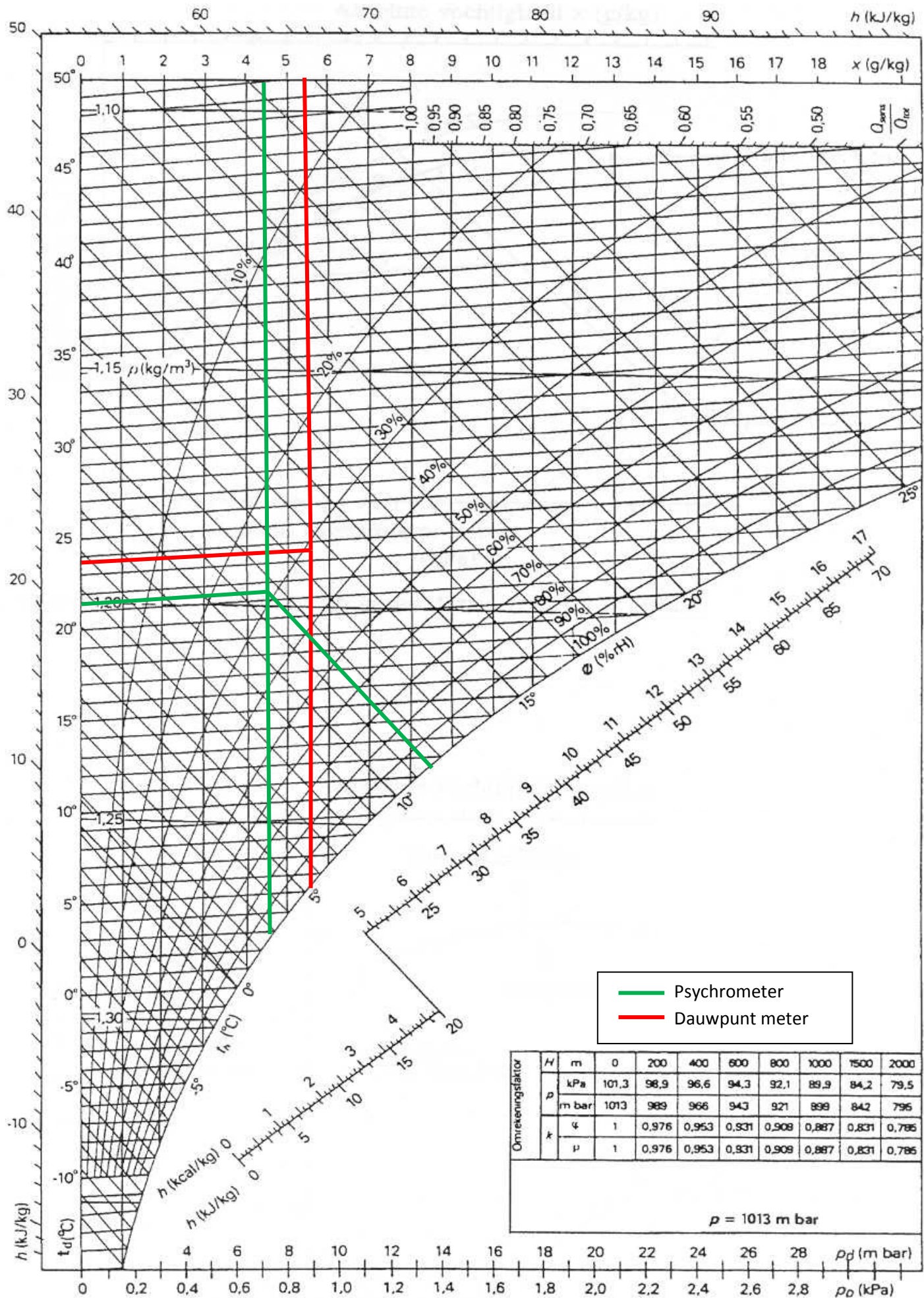
$$23,8 \text{ °C} = 109,24 \text{ } \Omega \quad (1 \text{ °C} / 0,41 \text{ } \Omega) * 0,31 \text{ } \Omega = 0,8 \text{ °C} \quad \rightarrow \quad 23,0 + 0,8 = 23,8 \text{ °C}$$

$$24 \text{ °C} = 109,34 \text{ } \Omega$$

$$13,0 \text{ °C} = 105,07 \text{ } \Omega$$

$$13,2 \text{ °C} = 105,15 \text{ } \Omega \quad (1 \text{ °C} / 0,39 \text{ } \Omega) * 0,08 \text{ } \Omega = 0,2 \text{ °C} \quad \rightarrow \quad 13,0 + 0,2 = 13,2 \text{ °C}$$

$$14,0 \text{ °C} = 105,46 \text{ } \Omega$$



4.5 Conclusie

Door middel van metingen met verschillende meet-instrumenten kan de relatieve en absolute vochtigheid in lucht worden bepaald.

Uit deze gegevens en waarden van de psychrometrische tabel blijkt dat de waarden redelijk overeenstemmen. Enige onnauwkeurigheid kan afkomstig zijn uit de meetonnauwkeurigheid, apparaatonnauwkeurigheid en het defecte apparaat waardoor eventueel een foutieve aanname is gedaan.

Geconcludeerd kan worden dat de relatieve vochtigheid ongeveer 30% is geweest ten tijden van de meting. Dit komt voort uit de 3 verschillende metingen met waarden van 28%, 31% en 29,4%.

De absolute luchtvochtigheid bedraagt ongeveer 5 tot 5,5 g/kg.

De dauwpunttemperatuur bevindt zich tussen de 3,75 °C en 5 °C.