

Metingen van de thermische geleidbaarheid van CelluPanel

Gebruikmakend van de *hot plate* methode

Ir. T.J.H. (Twan) Rovers PDEng

Ing. J.A.N. (Jeroen) van 't Ende

Lectoraat Sustainable Building Technology

Saxion Hogeschool

Datum: 24-01-2021

Status: Concept

Kader: TFF CelluPanel

Inhoud

Nomenclatuur	2
1 Inleiding.....	3
2 Beschrijving van de meetmethode	4
2.1 Apparatuur	4
2.1.1 Hot plate apparaat	5
2.1.2 Box ter afscherming van het specimen.....	6
2.1.3 Box ter verwarming van de lucht om het specimen	6
2.2 Meetprocedure	6
2.3 Berekening van de warmteweerstand en thermische geleidbaarheid.....	7
3 Controlemetingen	8
4 Metingen aan CelluPanel	10
4.1 Metingen met de hot plate apparatuur.....	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.2 Metingen met de FTT	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5 Conclusie	11
Referenties.....	12
Bijlage A: Grafieken van controlemetingen	13

Nomenclatuur

Δ	Verschil	
λ	Thermische geleidbaarheid	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$
HF	Heat flow	W m^{-2}
R	Thermische weerstand	$\text{m}^2 \text{K W}^{-1}$
T	Temperatuur	$^{\circ}\text{C}$
U	Thermische doorgang	$\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$

Subscripts

high	Warme zijde
low	Koude zijde
mean	Gemiddelde

1 Inleiding

De sleuteleigenschap van een thermisch isolatiemateriaal is het vermogen warmtestroom te beperken. Dit wordt uitgedrukt in de thermische geleidbaarheid (λ , $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$).

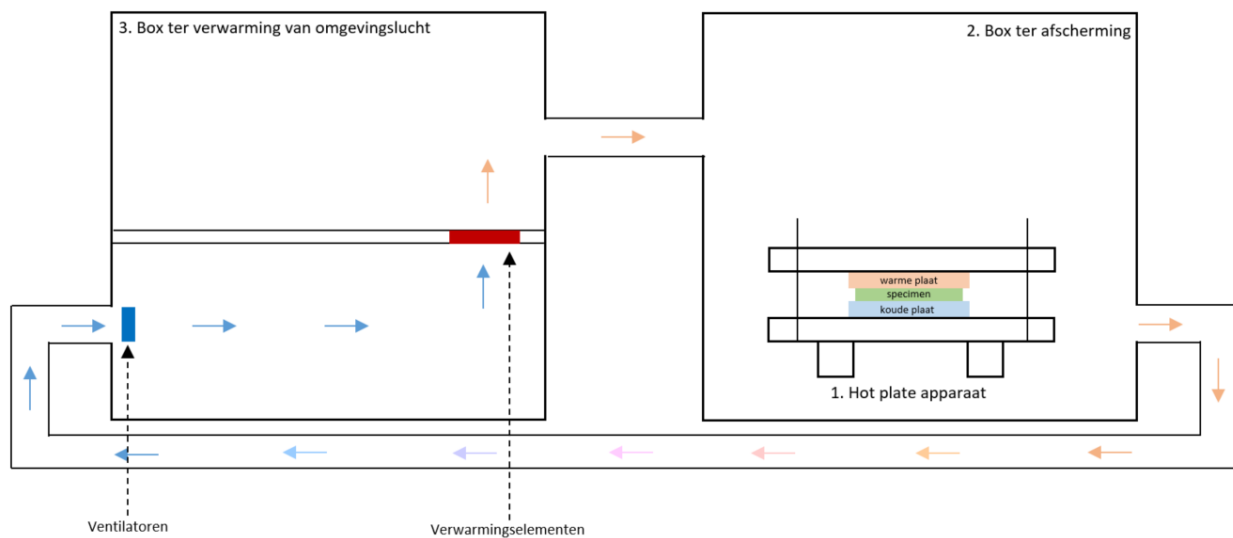
2 Beschrijving van de meetmethode

In deze sectie wordt de toegepaste meetmethodiek beschreven. Sectie 2.1 omvat een beschrijving van de gebruikte apparatuur. In Sectie 2.2 wordt de meetprocedure beschreven.

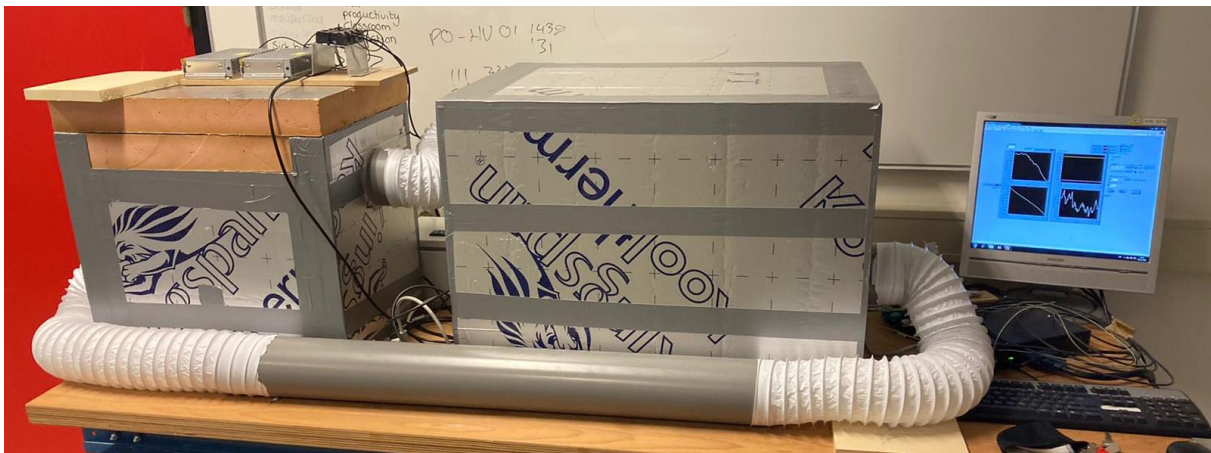
2.1 Apparatuur

De gebruikte meetopstelling (zie Figuren 1 en 2) bestaat uit drie hoofdonderdelen:

1. Het hot plate apparaat;
2. Een geïsoleerde box ter afscherming van het specimen voor convectie en radiatie;
3. Een geïsoleerde box ter verwarming van de lucht om het specimen heen.



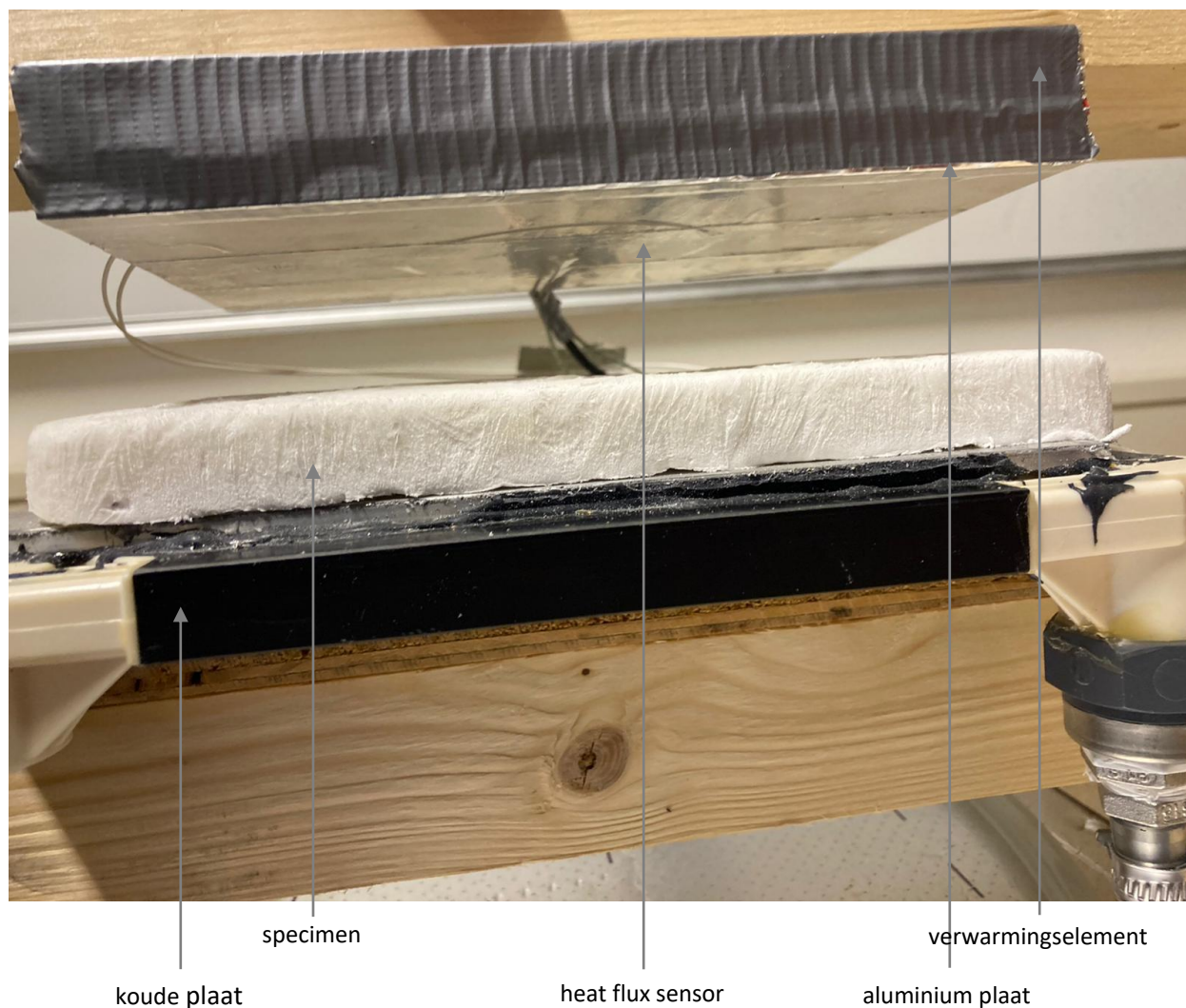
Figuur 1: Meetopstelling (schematisch)



Figuur 2: Meetopstelling (foto)

2.1.1 Hot plate apparaat

Met het hot plate apparaat wordt een temperatuurgradiënt over het specimen gerealiseerd. Er wordt gebruik gemaakt van een 'koude' plaat, die met behulp van water wordt gekoeld tot de ruimtetemperatuur (circa 22 °C). De warme plaat bestaat uit een elektrisch verwarmingselement, waaronder een plaat aluminium is bevestigd. In deze aluminium plaat is een holte uitgefreesd voor een heat flux sensor (Hukseflux HFP01). Om de temperatuur van het verwarmingselement, de warme en koude zijden van het specimen te monitoren, wordt gebruik gemaakt van drie type K thermokoppels. Zie Figuur 3.



Figuur 3: Hot plate apparaat

2.1.2 Box ter afscherming van het specimen

Er is niet alleen sprake van een warmtestroom in het specimen in verticale richting (tussen de warme en koude plaat), maar ook naar de randen van het specimen. Om deze zogenaamde randeffecten te minimaliseren, wordt de lucht rondom het specimen op de gemiddelde specimen temperatuur (T_{mean}) gebracht conform sectie 2.1.3 van de ISO 8302 (ISO, 1991).

2.1.3 Box ter verwarming van de lucht om het specimen

Het plaatsen van verwarmingselementen en ventilatoren direct in de box waarin het hot plate apparaat staat zou ongewenste stralings- en convectie effecten hebben op de randen van het specimen. Derhalve is ervoor gekozen deze verwarmingselementen en ventilatoren in een tweede box te plaatsen, van waaruit de geconditioneerde lucht om het specimen gebracht wordt.

Ter aansturing van de verwarmingselementen wordt gebruik gemaakt van een thermostaatregeling. De temperatuur waarop gestuurd wordt, wordt gemeten met een thermistor die is geplaatst in de box ter afscherming van het specimen.

2.2 Meetprocedure

De volgende stappen worden doorlopen bij het uitvoeren van de metingen met de bovengenoemde apparatuur:

1. Allereerst wordt dikte van het specimen gemeten. Daartoe worden met een digitale schuifmaat ten minste vier metingen uitgevoerd aan alle vier de zijden van het specimen. De dikte van het specimen wordt vastgesteld als het gemiddelde van deze metingen. Wanneer het verschil tussen de hoogste en laagste meting meer dan 1 mm bedraagt, dan wordt het specimen ongeschikt bevonden voor heat flow metingen met bovengenoemde apparatuur.
2. Het specimen wordt aangebracht tussen de warme en koude plaat.
3. De box ter afscherming van het specimen wordt geplaatst en de ventilatiebuizen worden aangesloten.
4. De temperatuur van het koelwater (T_{low}) wordt afgelezen. De temperatuur van het verwarmingselement in het hot plate apparaat (T_{high}) wordt ingesteld zodat deze 15 tot 20 K hoger ligt dan de temperatuur van het koelwater.
5. De temperatuur van de lucht om het specimen heen wordt ingesteld op de gemiddelde specimen temperatuur (T_{mean}):

$$T_{\text{mean}} = T_{\text{low}} + \frac{T_{\text{high}} - T_{\text{low}}}{2}$$

6. De circulatie van het koelwater, de verwarming van de lucht om het specimen heen en het verwarmingselement van het hot plate apparaat worden aangezet. Daarmee starten ook de metingen van de heat flow en de temperatuurmetingen.
7. De metingen worden uitgevoerd gedurende ten minste 6000 seconden, of tot wanneer stabiele condities worden bereikt gedurende 300 seconden.

2.3 Berekening van de warmteweerstand en thermische geleidbaarheid

Na het afronden van de metingen worden de gemonitorde gegevens geëxporteerd voor analyse:

1. In een grafiek worden de temperaturen van de warme en koude zijde van het specimen (T_{high} en T_{low}) uitgezet op de linkeras. Op de rechteras worden de heat flow metingen (HF) uitgezet.
2. Er wordt een meetperiode geselecteerd waarin de drie voor genoemde metingen stabiel zijn, de zogenaamde analysperiode.
3. Voor de analyseperiode wordt de gemiddelde temperatuur van de koude zijde ($T_{\text{low, mean}}$), de warme zijde ($T_{\text{high, mean}}$) en de gemiddelde heat flow (HF_{mean}) berekend.
4. De thermische weerstand (R) van het specimen wordt berekend als:

$$R [m^2 K W^{-1}] = \frac{\Delta T_{\text{mean}}}{HF_{\text{mean}}} = \frac{T_{\text{high, mean}} - T_{\text{low, mean}} [K]}{HF_{\text{mean}} [W m^{-2}]}$$

5. De thermische geleidbaarheid (λ) van het specimen wordt berekend als:

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

3 Controlemetingen

Ter controle van de hiervoor beschreven meetapparatuur en –methodiek, zijn er controlemetingen uitgevoerd op zes specimens van drie verschillende isolatiematerialen. In Tabel 1 zijn de karakteristieken van de vier metingen opgenomen. Voor grafieken van de meetwaarden wordt verwezen naar Bijlage A.

Tabel 1: Karakteristieken van de vier controlemetingen

	Meting (s)	Analyse (s)	T _{low, mean} (°C)	T _{high, mean} (°C)	ΔT _{mean} (°C)	T _{mean} (°C)	HF _{mean} (W m ⁻²)	λ (W m ⁻¹ K ⁻¹)
PIR 20 mm	7 752	4 000	22,05	40,93	18,89	31,49	20,91	0,0216
PIR 30 mm	12 307	8 000	24,84	40,93	16,08	32,89	12,02	0,0220
EPS 20 mm	3 277	300	25,40	40,87	15,48	33,14	26,14	0,0338
EPS 30 mm	7 020	3 000	22,32	40,99	18,67	31,65	21,20	0,0340
HD-EPS 20 mm	7 008	5 000	23,25	36,81	13,56	30,03	24,19	0,0357
HD-EPS 30 mm	7 670	5 000	21,41	35,91	14,51	28,66	18,75	0,0388

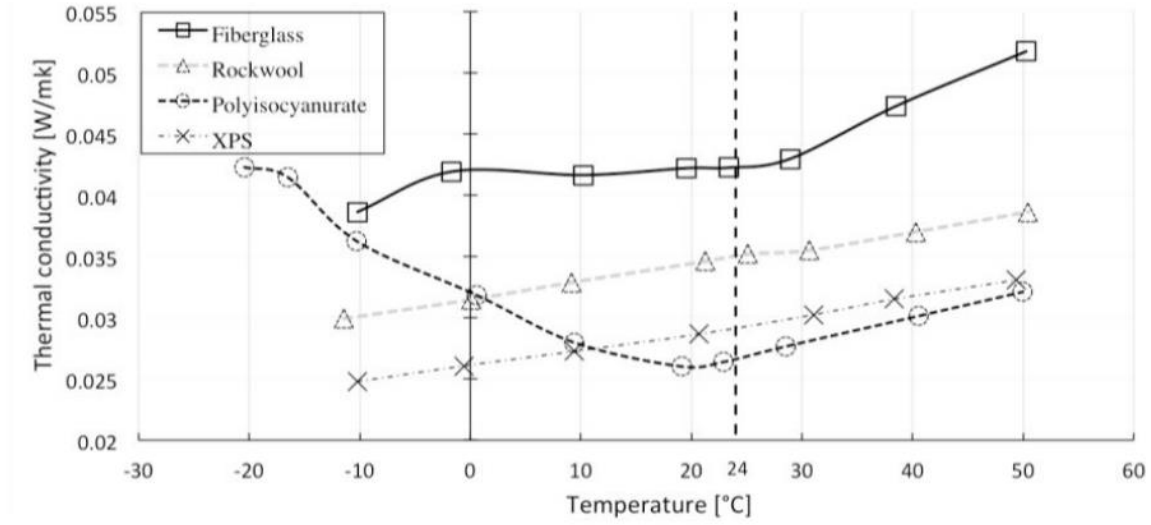
De resultaten van de metingen worden vergeleken met de door de fabrikant opgegeven thermische geleidbaarheid in Tabel 2.

Tabel 2: Vergelijking van meetwaarden

Materiala	Opgegeven λ (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Gemeten λ (W m ⁻¹ K ⁻¹)	Vershil (%)
PIR 20 mm	0,0216	0,0216	0%
PIR 30 mm	0,0216	0,0220	+1,9%
EPS 20 mm	0,038	0,0338	-11,1%
EPS 30 mm	0,038	0,0340	-10,5%
HD-EPS 20 mm	0,0403	0,0357	-11,4%
HD-EPS 30 mm	0,0403	0,0388	-3,7%

De gemeten thermische geleidbaarheid van de PIR materialen ligt dicht bij de door de fabrikant gemeten waarde. In dit verband moet wel worden opgemerkt dat de thermische geleidbaarheid kan verschillen bij verschillende temperaturen, zie Figuur 4. De thermische geleidbaarheid van de PIR is door de fabrikant gemeten bij T_{mean} = 10 °C. Afgaande op Figuur 4 zou de thermische geleidbaarheid gemeten bij 31 – 33 °C niet veel moeten afwijken van die gemeten bij 10 °C, maar het is niet zeker dat dit ook voor dit specifieke materiaal geldt.

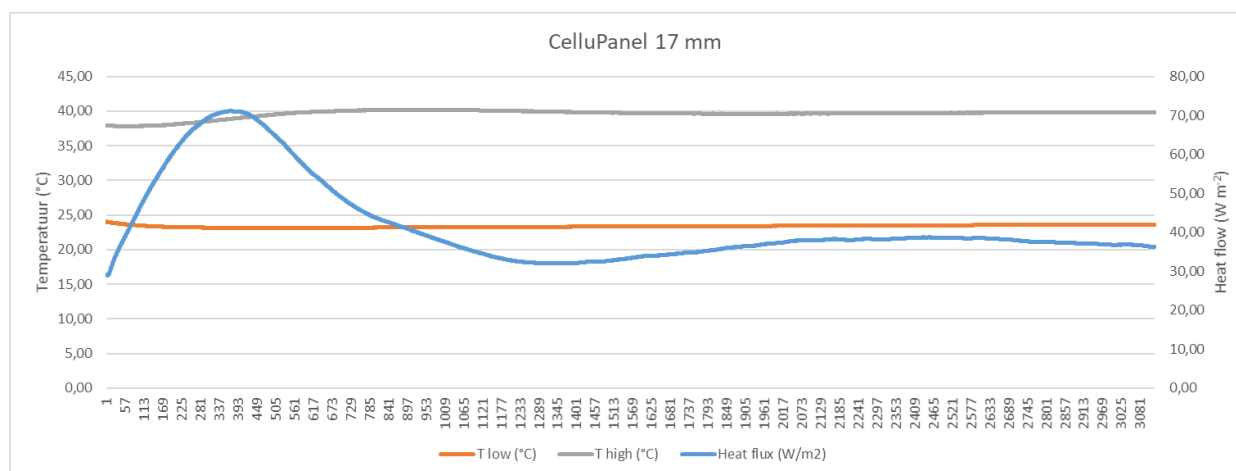
De gemeten thermische geleidbaarheid van de EPS specimens is 10 – 11% lager dan door de fabrikant opgegeven. Voor de HD-EPS is de gemeten waarde 4 – 11% lager dan door de fabrikant opgegeven. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat de opgegeven waarde de zogenaamde gedeclareerde waarde (λ_D of λ_{90/90}) is. De berekening hiervan is uiteengezet in Bijlage J van de NTA 8800 (NEN, 2020). Het is mogelijk dat individuele specimens van het materiaal beter of slechter presteren dan de opgegeven λ_D, maar de kans dat ze beter presteren (lagere λ) is groter (90%).



Figuur 4: Thermische geleidbaarheid van verschillende materialen bij verschillende temperaturen (afkomstig uit: Berardi & Naldi, 2017, pp. 239)

4 Metingen aan CelluPanel

Gebruikmakend van de apparatuur zoals beschreven in Sectie 2.1 is de thermische geleidbaarheid van CelluPanel gemeten. De metingen van de thermische geleidbaarheid van CelluPanel zijn gevisualiseerd in Figuur 5, en samengevat in Tabel 3. De thermische geleidbaarheid van CelluPanel wordt vastgesteld op $0,0388 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Daarmee presteert CelluPanel vergelijkbaar met conventionele isolatiematerialen, zoals glaswol, steenwol, XPS en EPS ($0,030 - 0,040 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$).



Figuur 5: Temperatuur- en heat flow metingen aan CelluPanel (17 mm)

Tabel 3: Samenvatting metingen CelluPanel 17 mm

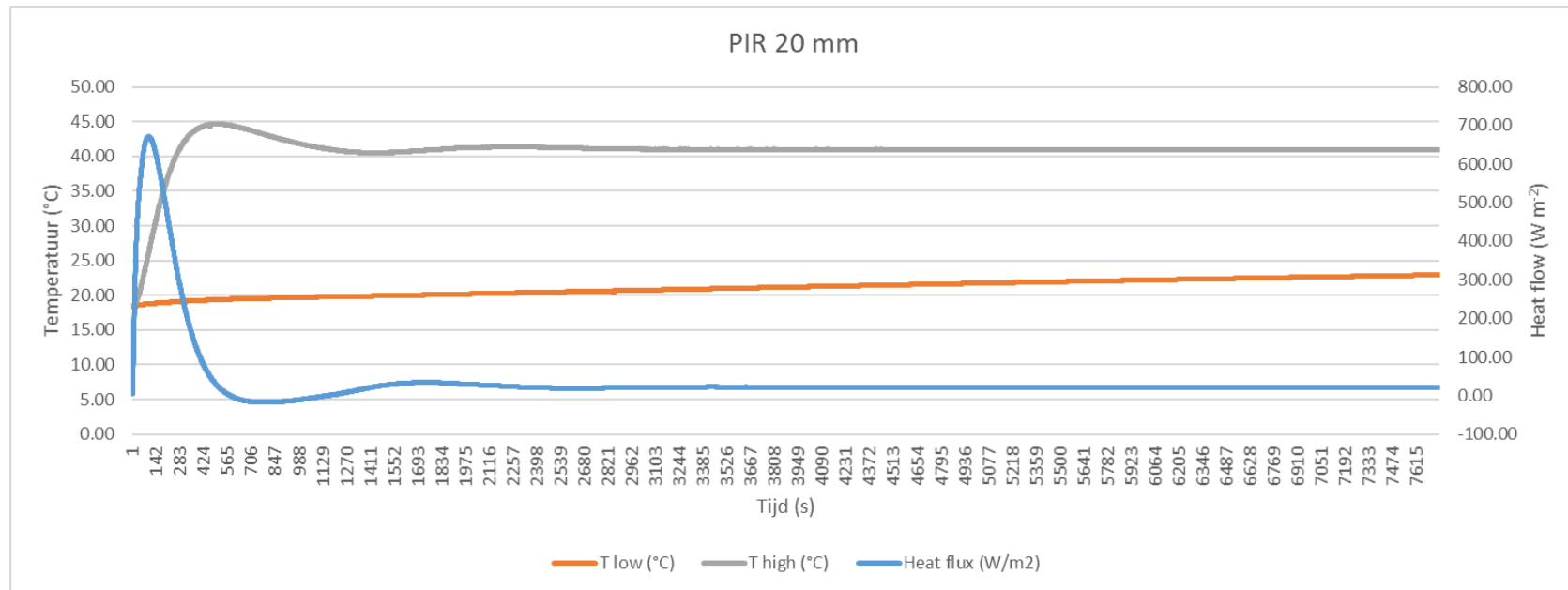
	Meting (s)	Analyse (s)	T _{low, mean} (°C)	T _{high, mean} (°C)	ΔT _{mean} (°C)	T _{mean} (°C)	HF _{mean} (W m ⁻²)	λ (W m ⁻¹ K ⁻¹)
CelluPanel 17 mm	3 126	300	23,61	39,78	16,17	31,69	36,93	0,0388

5 Conclusie

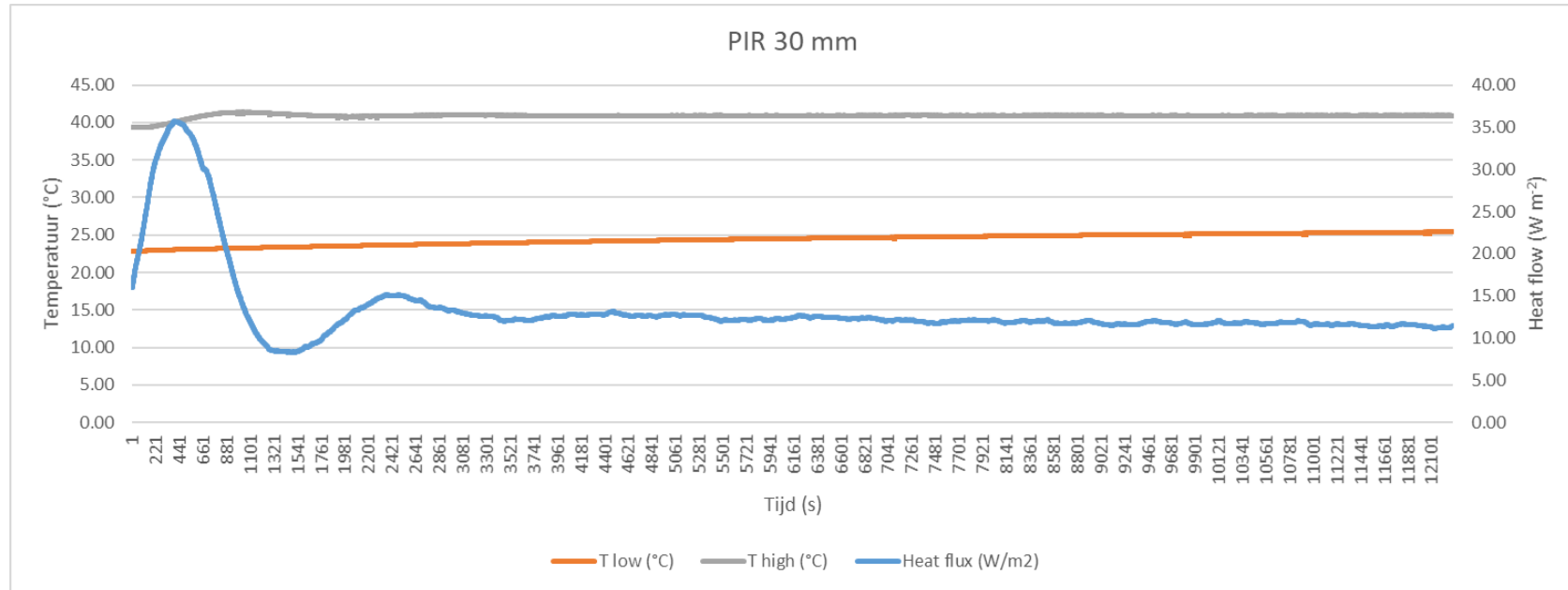
Referenties

- Berardi, U., & Naldi, M. (2017). The impact of the temperature dependent thermal conductivity of insulating materials on the effective building envelope performance. *Energy and Buildings*, 144, 262–275. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.052>
- ISO. (1991). *ISO 8302:1991 Thermal insulation - Determination of steady-state thermal resistance and related properties - Guarded hot plate apparatus*.
- NEN. (2020). *NTA 8800 Energieprestatie van gebouwen - Bepalingsmethode*.

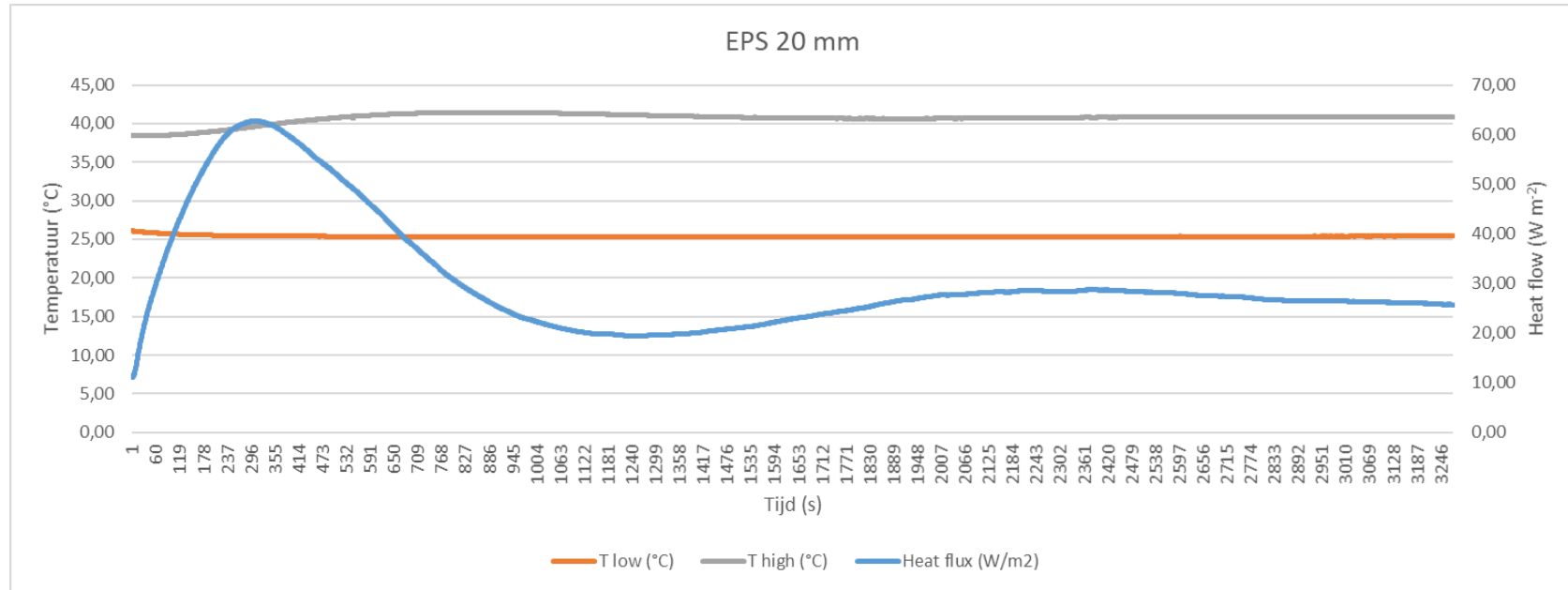
Bijlage A: Grafieken van controlemetingen



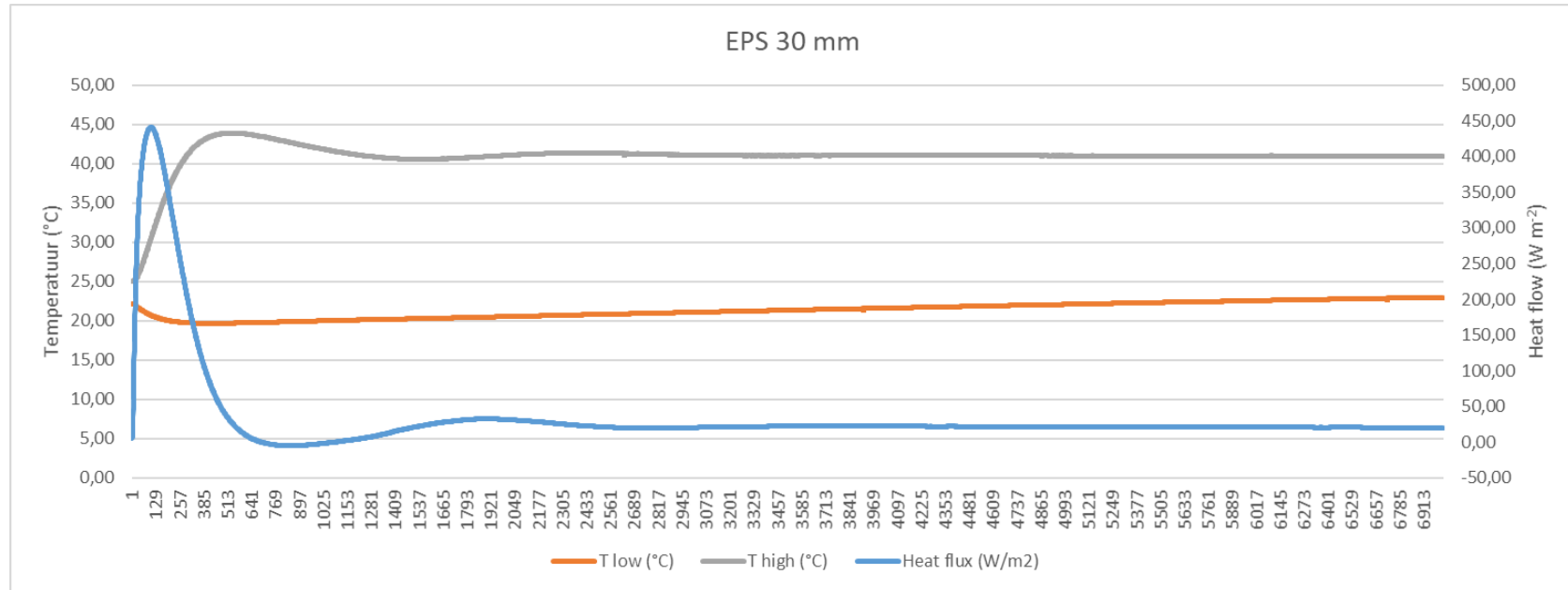
Figuur A.1: Controlemeting PIR 20 mm



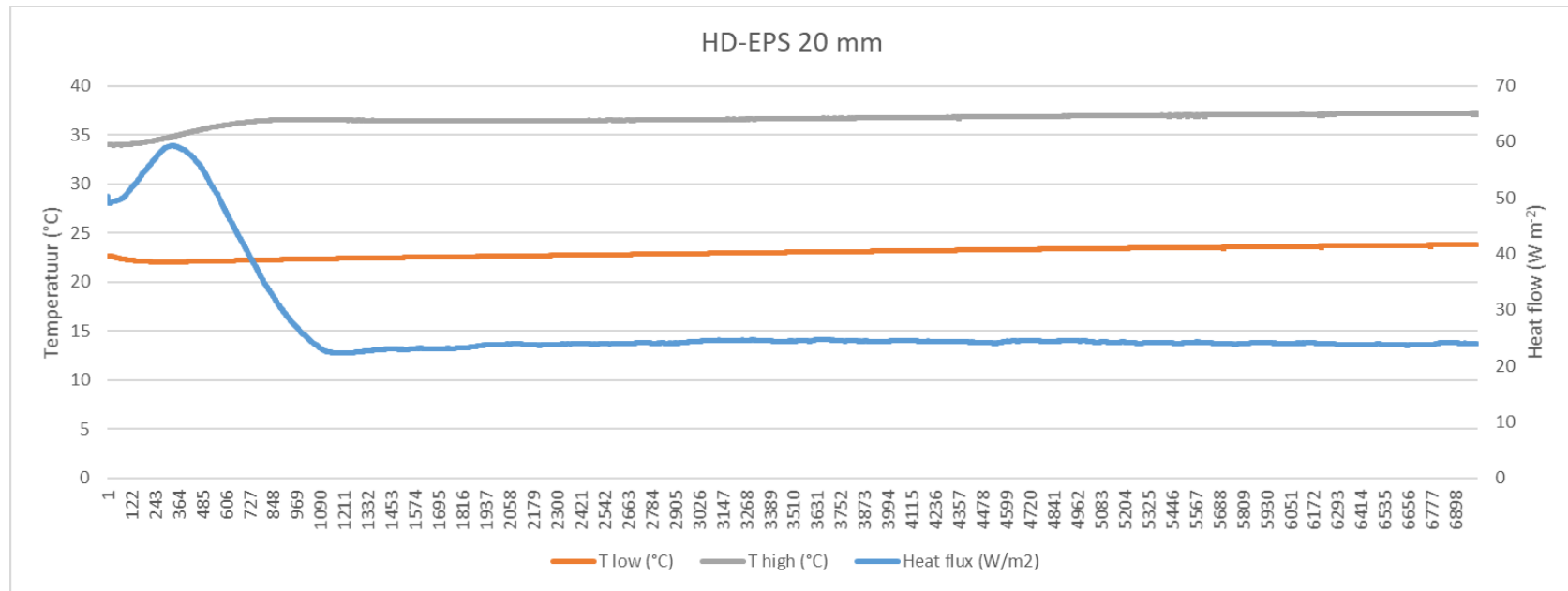
Figuur A.2: Controlemeting PIR 30 mm



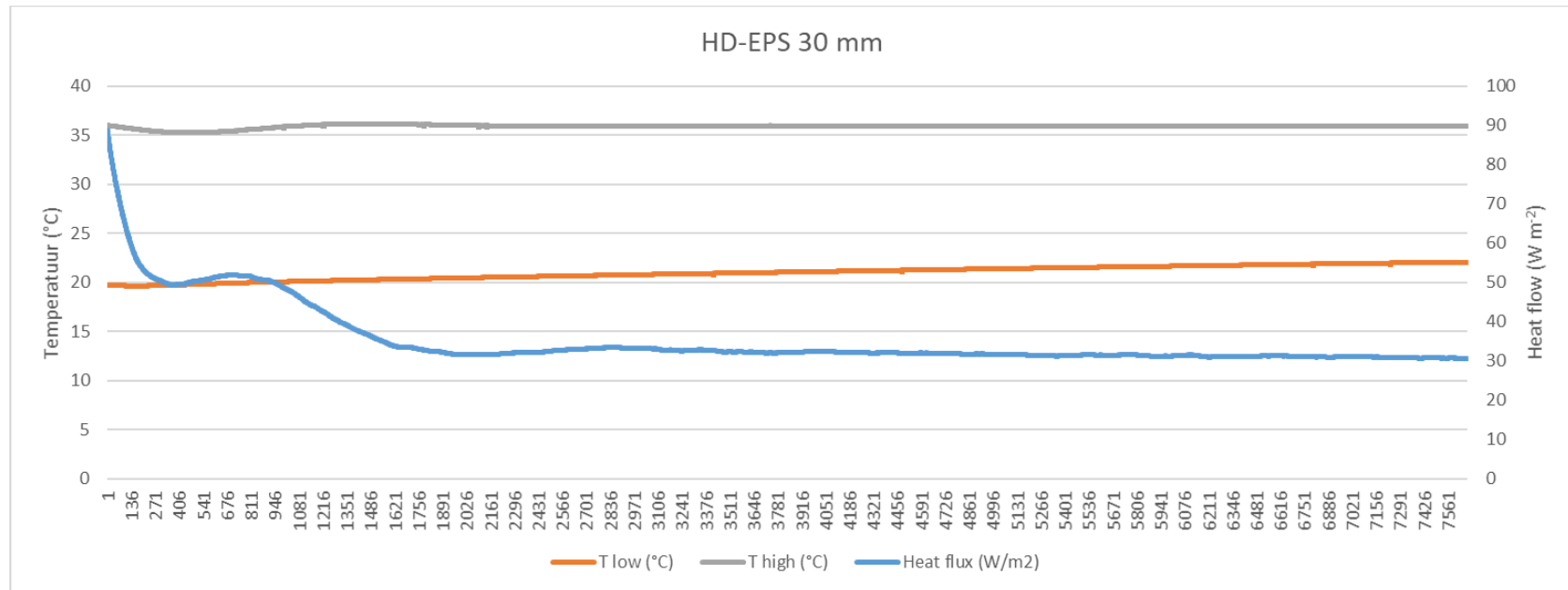
Figuur A.3: Controlemeting EPS 20 mm



Figuur A.4: Controlemeting EPS 30 mm



Figuur A.5: Controlemeting HD-EPS 20 mm



Figuur A.6: Controlemeting HD-EPS 30 mm