

Comfortaspecten stralingsverwarming

Comfortparameters, producteigenschappen,
bepalingsmethoden, aanbevelingen

ing. Harry Bruggema

Deze presentatie is mede gebaseerd op in opdracht van RVO
verricht onderzoek

Overzicht

- ❑ Aanleiding en doel
- ❑ Afgifte stralingsverwarming
- ❑ Comfortparameters
- ❑ Vergelijkende rekenstudie
- ❑ Producteigenschappen
- ❑ Klimaatkameronderzoek

Aanleiding en doel

Aanleiding:

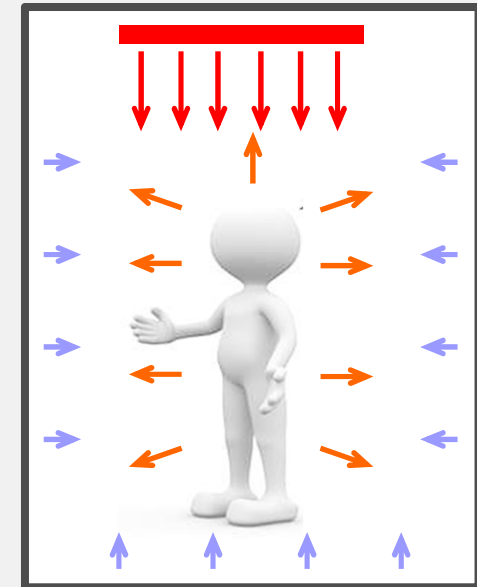
- ❑ RVO-onderzoek (2017) naar alternatieven voor aardgasgebruik. Mogelijke deeloplossing elektrische stralingspanelen.
- ❑ Veel 'commerciële' informatie beschikbaar, onderbouwing is vaak nog beperkt.

Doel:

- ❑ Vastlegging en uitbreiding kennis
- ❑ Voor RVO: door berekeningen inzicht geven in de comfortaspecten in een ruimte bij stralingspanelen, radiator- en vloerverwarming.
- ❑ Voor leverancier: vastleggen producteigenschappen
- !! Energetische aspecten en regelgeving vielen buiten de scope van ons onderzoek

Netto stralingsuitwisseling

- ❑ Objecten met een temperatuur boven het absolute nulpunt zenden warmtestraling uit
- ❑ Het gaat bij een stralingspaneel om de netto stralings-uitwisseling met de omgeving
- ❑ Dit geldt zowel m.b.t. thermisch comfort als bij verwarmingscapaciteit
- ❑ De temperatuur van het object dat wordt aangestraald is daarom als referentie belangrijk.
- ❑ De gemeten absolute straling is in dit onderzoek omgerekend naar de stralingsuitwisseling, of relatieve straling, met objecten met de volgende temperaturen:
 - 20°C: representatief voor de ruimte-omwandingen.
 - 25°C: representatief voor de kledingtemperatuur;
 - 30°C: benadering huidtemperatuur.



Convectieve warmteafgifte

- De convectieve afgifte is ook relevant:

$$q_c = h_c * \Delta\theta \text{ [W/m}^2\text{]}$$

- de overdracht coëfficiënt h_c is afhankelijk van de richting van de warmtestroom en het temperatuurverschil:

- horizontaal vlak, warmtestroom opwaarts
= vloerverwarming en plafondkoeling
 $h_c = 2 * \Delta\theta^{0,31} \text{ [W/m}^2\text{K]}$
- horizontaal vlak, warmtestroom neerwaarts
= plafondverwarming en vloerkoeling
 $h_c = 0,54 * \Delta\theta^{0,31} \text{ [W/m}^2\text{K]}$
- verticaal vlak $h_c = 1,6 * \Delta\theta^{0,3} \text{ [W/m}^2\text{K]}$

- Dus: h_c bij wandpaneel 3 x groter dan bij plafondpaneel
- Dit is van invloed op het stralingsaandeel

Enkele relevante comfortbegrippen

❑ Luchttemperatuur θ_a [°C]

❑ Gemiddelde stralingstemperatuur θ_r [°C]

Kan worden afgeleid uit de zwarteboltemperatuur, de luchttemperatuur en de lichtsnelheid

❑ Operatieve temperatuur θ_o [°C]

Is afhankelijk van de luchttemperatuur, de lichtsnelheid en de stralingstemperatuur. Is een goede indicatie voor de temperatuurbeleving

❑ Vlakstralingstemperatuur θ_{pr} [°C]

Beschrijft straling in één richting

❑ Straling(temperatuur) asymmetrie $\Delta\theta_{pr}$ [°C]

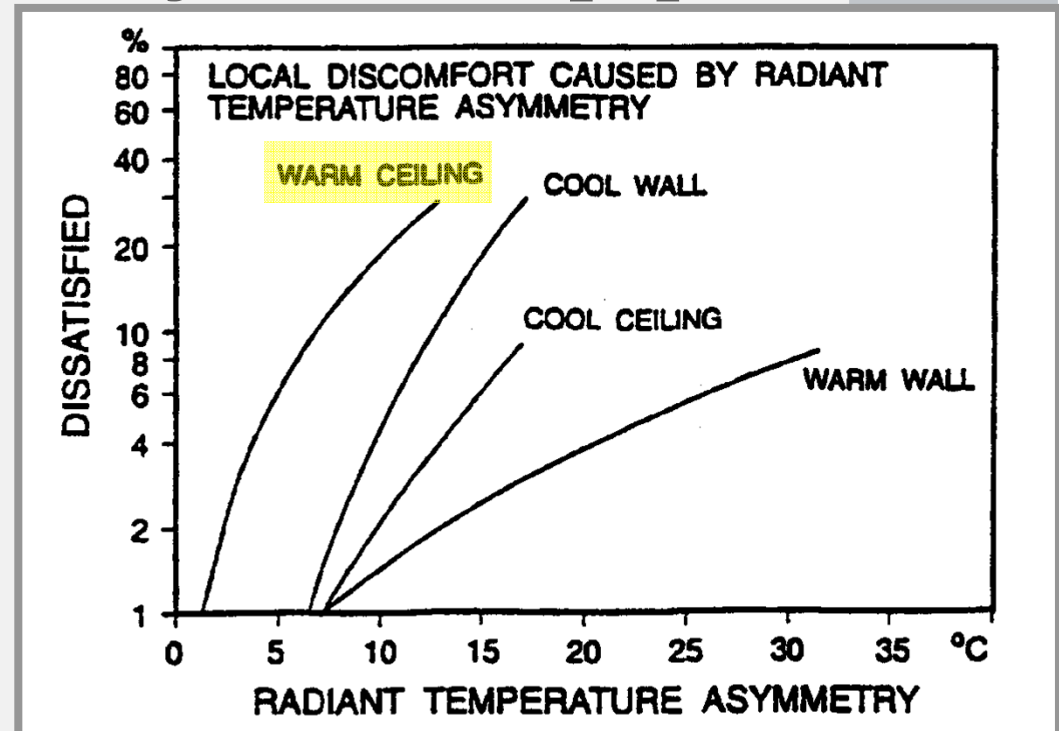
Verskil in vlakstralingstemperatuur tussen de twee tegenovergestelde zijden van een vlakje (op 0,6 m hoogte). Met onderscheid t.o.v. van:

- een horizontaal vlak: invloed plafond ↔ vloer
- een verticaal vlak: gevel ↔ binnenwanden

Comforteisen NEN-EN-ISO 7730

Stralingstemperatuurasymmetrie [K]

- Asymmetrie t.g.v. een warm **plafondpaneel** is meest kritisch
- De eisen mogen ook voor stralingspanelen worden toegepast.
- Ze gelden echter niet voor een hoogte van 1,7 m.
De norm lijkt te zijn ontwikkeld voor staande personen met de meethoogte op 1 m



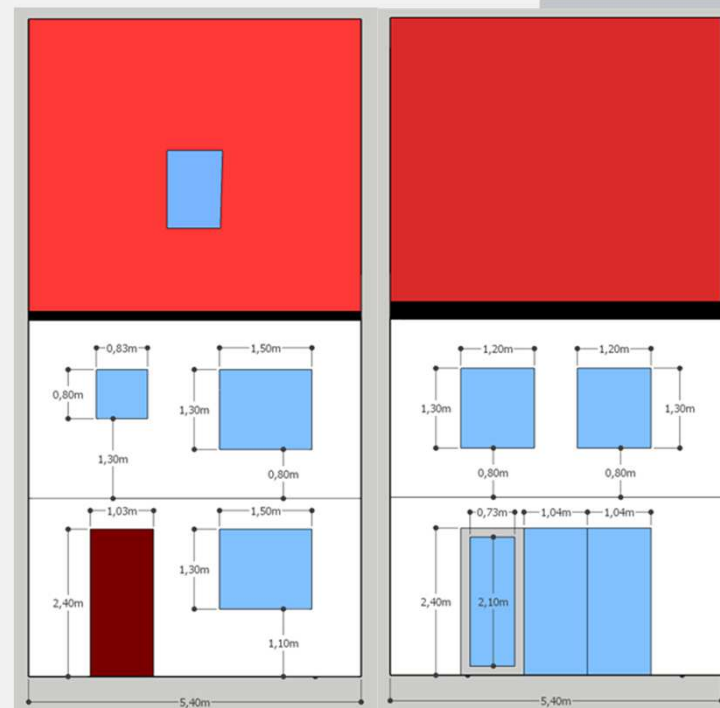
Categorie	% on-tevreden	Warm plafond	Koele wand	Koel plafond	Warme wand
A	5	< 5	< 10	< 14	< 23
B	5	< 5	< 10	< 14	< 23
C	10	< 7	< 13	< 18	< 35

Rekenstudie voor RVO

- ❑ model BENG (bijna energie neutraal) tussenwoning S
- ❑ rekenmodel:
 - raster van 0,6 x 0,6 m op 4 voor comfortonderzoek relevante hoogten (0,1; 0,6; 1,1 en 1,7 m)
 - op de rasterpunten zijn zichtfactoren naar de vlakken in de ruimteomwandingen bepaald
 - met de zichtfactoren is de invloed van de oppervlaktetemperatuur van deze vlakken en verwarmingslichamen op de stralingstemperatuur bij de rasterpunten berekend
 - ook stralingsasymmetrie kan worden beoordeeld. Door het toevoegen van een luchttemperatuur is de operationele temperatuur getoetst.

Rekenmodel en warmtevraag

- ❑ BENG referentie tussenwoning S
- ❑ Constructies:
 - ramen: $U = 0,9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
 - spouwmuur en vloer: $R_c = 5,0 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$
 - vloer: $R_c = 5,0 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$
 - lijnvormige koudebruggen
 - adiabatische binnenwanden
- ❑ Balansventilatie met HR-wtw
112 m³/h
- ❑ Infiltratie: $q_{v,10,\text{kar}} = 0,3$
- ❑ Warmteverliesberekening volgens ISSO 51
- ❑ Operatieve temperatuur: 22 °C
- ❑ Buitentemperatuur: -10 °C



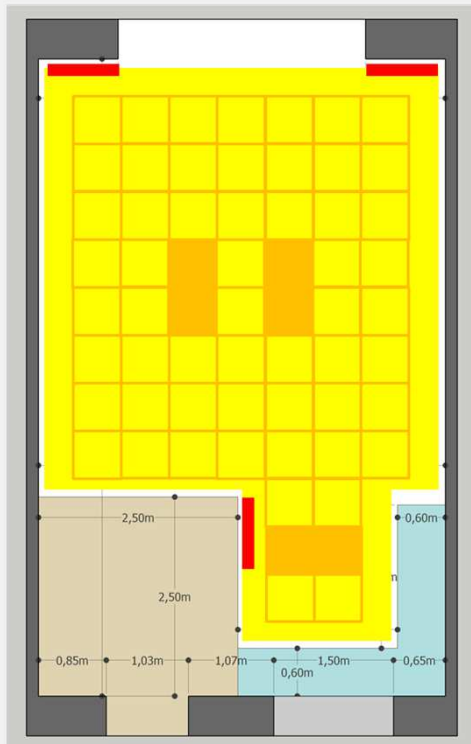
Transmissie	623 W
Ventilatie	276 W
Infiltratie	38 W
Bedrijfsonderbreking	346 W
Totaal benodigd	1283 W

Dimensionering verwarmingsinstallatie

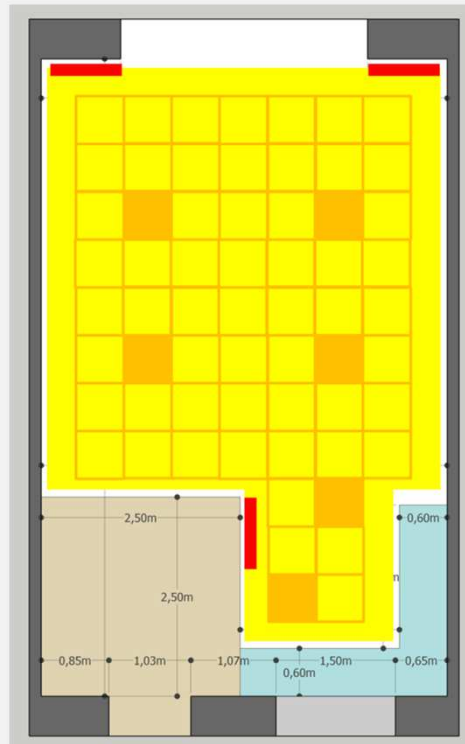
Systeem/ Grootheid	Eenheid	Plafond paneel	Vloer	Wand radiator
$T_{\text{oppervlak}}$	[°C]	95	27	50
T_{ruimte}	[°C]	22	22	22
h_r	[W/m²K]	6,7	4,8	5,4
h_c	[W/m²K]	2,0	3,3	4,3
Δt	[°C]	73	5	28
q_r	[W/m²]	489	24	152
q_c	[W/m²]	149	16	817
q	[W/m²]	638	41	989
aandeel straling	[%]	77	59	16
aandeel convectie	[%]	23	41	84
A benodigd	[m²]	2,01	31,56	1,32

Rekenmodel bepaling stralingstemperatuur

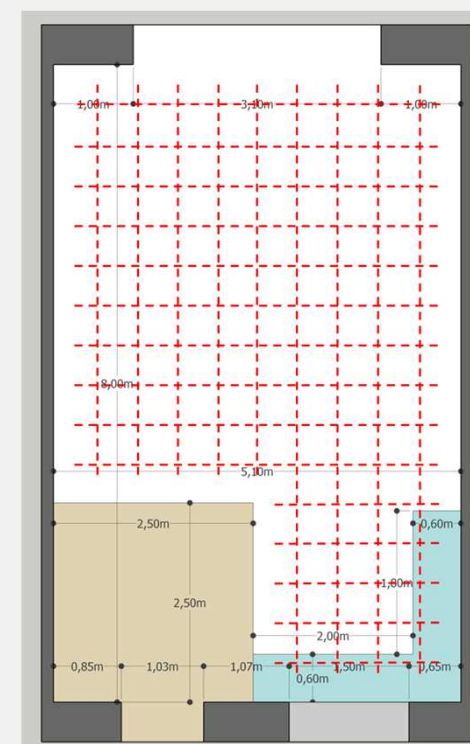
panelen geconcentreerd



panelen gespreid



rekengrid 0,5 x 0,5 m



-   stralingspaneel en mogelijke posities
-  vloerverwarming
-  radiator

--- rekengrid 0,5 x 0,5 m

Berekende varianten

Systeem	T _{lucht} [°C]	T _{vloer} [°C]
Stralingspanelen	22	
Stralingspanelen	20	19
Stralingspanelen	20	20
Stralingspanelen gespreid	20	20
Radiatoren	22	
Radiatoren	Gradiënt 21-23 °C tussen 0,1 en 1,7 m	
Vloerverwarming	22	

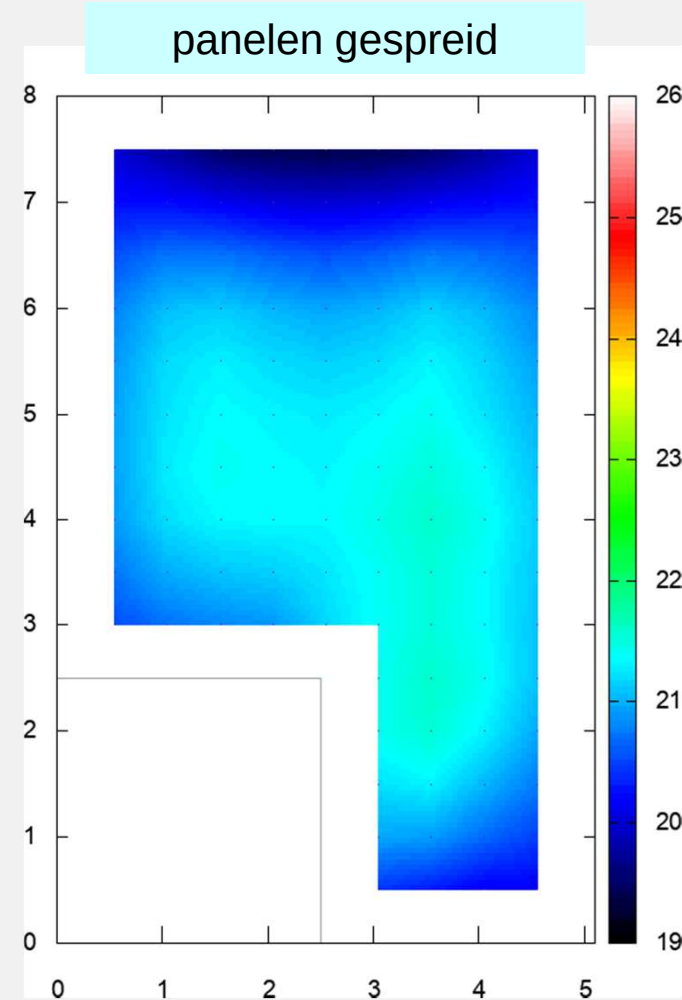
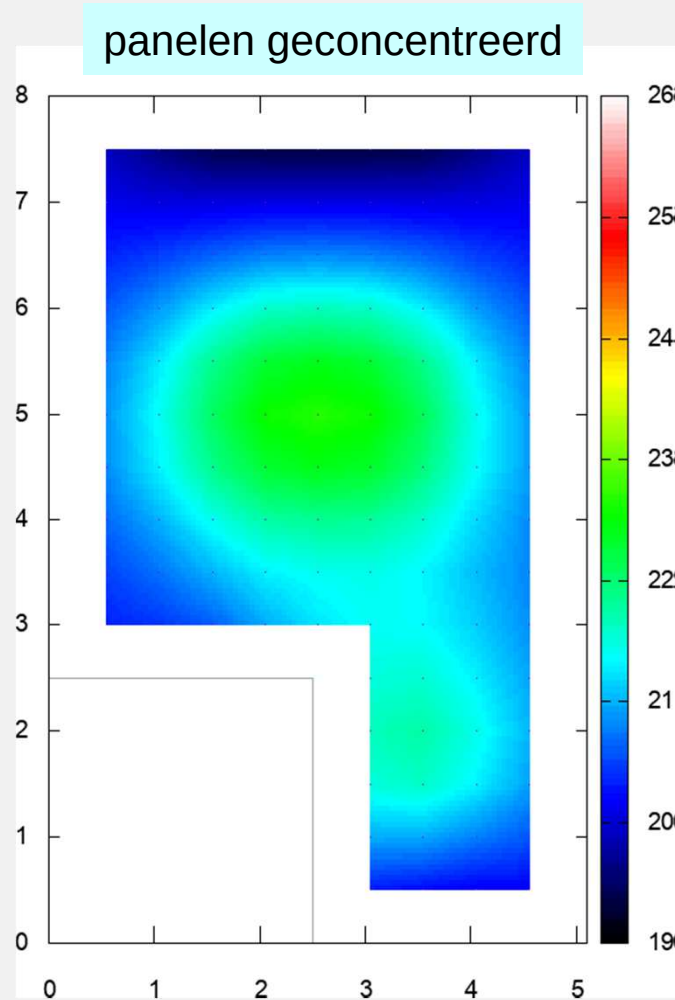
Berekeningsresultaten (1)

In het onderzoek gepresenteerde resultaten

- ❑ Luchttemperatuur, indien relevant
- ❑ Stralingstemperatuur;
- ❑ Operatieve temperatuur (gemiddelde van lucht- en stralingstemperatuur);
- ❑ Stralingstemperatuurasymmetrie:
 - onder/boven, dus ten opzichte van een horizontaal vlak
 - voor/achter, dus ten opzichte van een verticaal vlak (gevelinvloed)
 - links/rechts, ook ten opzichte van een verticaal vlak

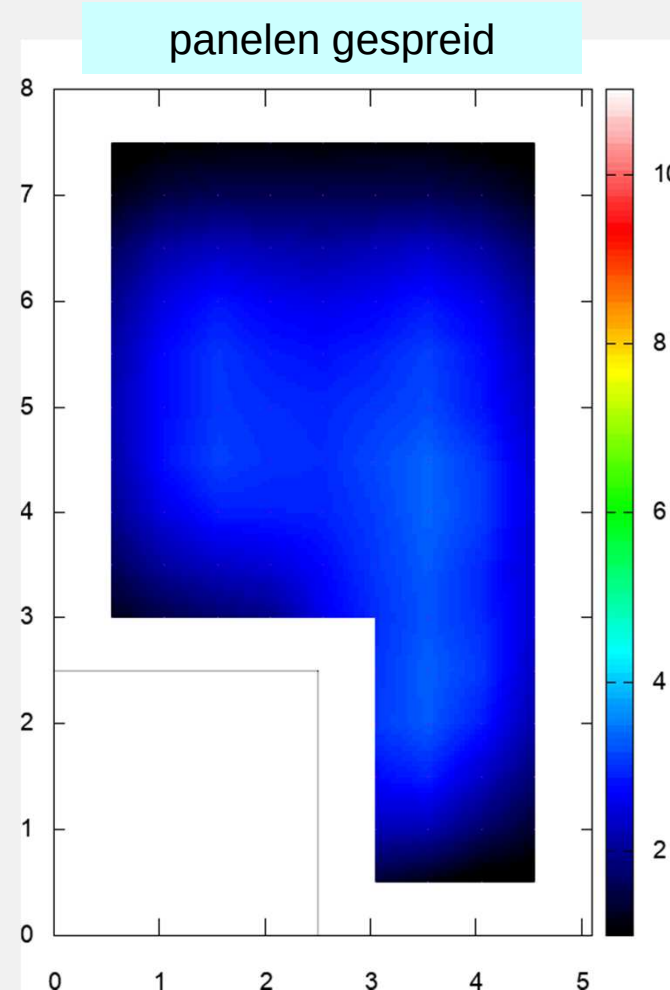
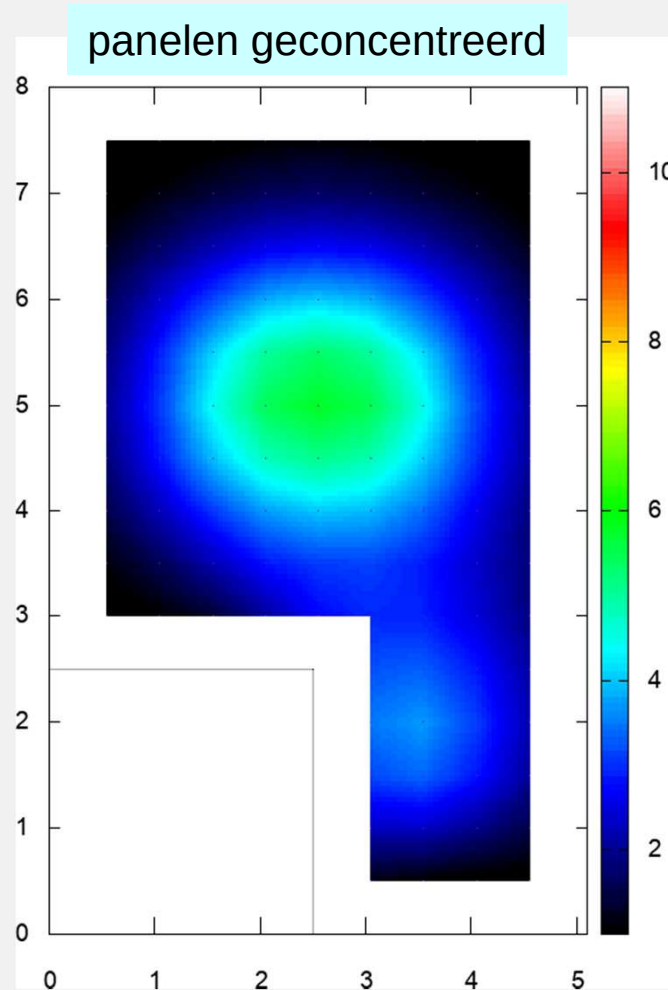
Berekeningsresultaten (2)

stralingstemperatuur op 1,1 m



Berekeningsresultaten (3)

stralingstemperatuurasymmetrie op 1,1 m



Berekeningsresultaten (4)

stralingstemperatuur t.g.v. panelen

Spreading in stralingstemperatuur [°C]

	Panelen gecentreerd		Panelen gespreid	
Hoogte	waarden	$\Delta_{\text{horizontaal}}$	waarden	$\Delta_{\text{horizontaal}}$
1,7 m	19,3 – 25,3	6,0	19,3 – 22,9	3,6
1,1 m	19,3 – 22,7	3,4	19,4 – 21,6	2,2
0,6 m	19,5 – 21,7	2,2	19,4 – 21,1	1,5
0,1 m	19,8 – 21,2	1,4	19,7 – 20,9	1,2
$\Delta_{\text{vertikaal}}$	5,5		3,2	

Conclusies

- ❑ Gangbare comforteisen m.b.t. stralingstemperatuur en stralingsasymmetrie zijn toepasbaar bij stralingspanelen
- ❑ De configuratie (verdeling) van de panelen is belangrijk:
 - bij geconcentreerde panelen wordt het criterium voor stralingsasymmetrie al snel overschreden
 - bij een gespreide verdeling van de panelen wordt een beter resultaat bereikt
- ❑ Er is sprake van een wezenlijke verticale gradiënt m.b.t. stralingstemperatuur, operationele temperatuur en stralingstemperatuurasymmetrie
- ❑ Dit beperkt het toelaatbaar te installeren vermogen (40 W/m² in de rekenstudie)
- ❑ De luchttemperatuur kan hierdoor maar beperkt worden verlaagd, omdat anders niet meer aan de gewenste operationele temperatuur wordt voldaan

Aanbevelingen

Aanvullend onderzoek

- ❑ De toelaatbare stralingstemperatuur en stralingsasymmetrie op 1,7 m hoogte
- ❑ Het toelaatbaar te installeren vermogen. Dit is relevant voor niet-BENG woningen
- ❑ Toelaatbaar verschil luchttemperatuur - stralingstemperatuur
- ❑ De dimensioneringsmethode. Hierbij ook aandacht voor het eventueel verlagen van de luchttemperatuur
- ❑ De invloed van bijvoorbeeld koudeval op de luchttemperatuurverdeling en de operationele temperatuur

Bepaling producteigenschappen

Proefkamer. Links: plafondpaneel; rechts: wandpaneel

PEUTZ



Relevante producteigenschappen

- ❑ Beschrijving paneelopbouw en plaatsing: horizontaal (plafond) of verticaal (wand)
- ❑ Opgenomen elektrisch vermogen en inschakelstroom
- ❑ Oppervlaktetemperatuurverdeling frontplaat
- ❑ Emissiecoëfficiënt en stralingsafgifte frontplaat
- ❑ Stralingseffectiviteit (verhouding stralingsafgifte en opgenomen vermogen)
- ❑ Snelheid van opwarming en afkoeling frontplaat
- ❑ De oppervlaktetemperatuur achterplaat en paneelomranding.

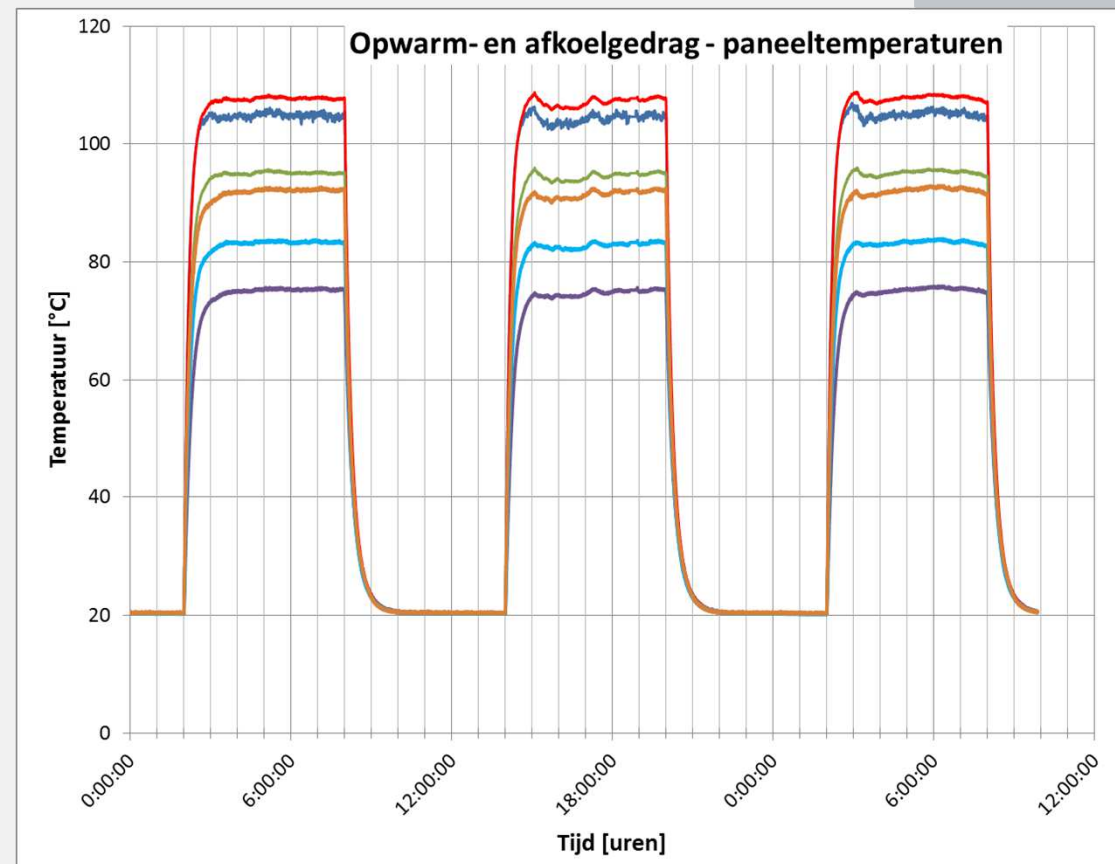
Voor het bepalen van de eigenschappen van een elektrisch stralingspaneel zijn (nog) geen specifieke normen beschikbaar. Er is zo mogelijk gebruik gemaakt van normen voor vergelijkende producten en prEN 416:2017 en prIEC 60675:2018

Verrichte metingen

- ❑ De metingen zijn verricht in een klimaatkamer met geconditioneerde ruimtevlakken conform NEN-EN 14240
- ❑ Paneel 600 x 900 mm gemonteerd aan plafond (midden) of zijwand (midden, hart paneel 1,5 m hoogte)
- ❑ Registratie van:
 - vermogen en stroom via gestabiliseerde voeding
 - paneel temperaturen voorzijde (7 punten), achterzijde (2 punten), onder- en bovenzijde houten montagepaneel (2 punten)
 - ruimtetemperatuur: luchttemperatuur en zwarteboltemperatuur (55 mm) op 1,1 m hoogte (2 meetpunten)
 - temperatuur ruimte-omhulling (6 meetpunten)
 - straling: pyrgeometer; meetbereik 1,0 – 50 μm , openingshoek 180°
 - stralingasymmetrie: specifieke dubbele vlakstralingssensor

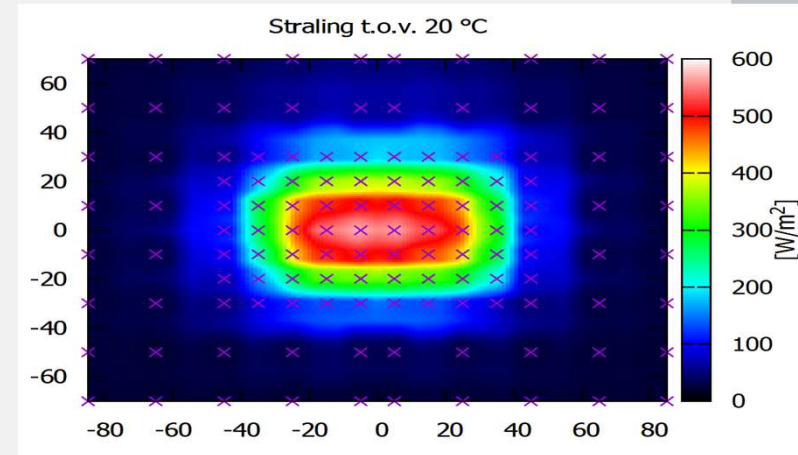
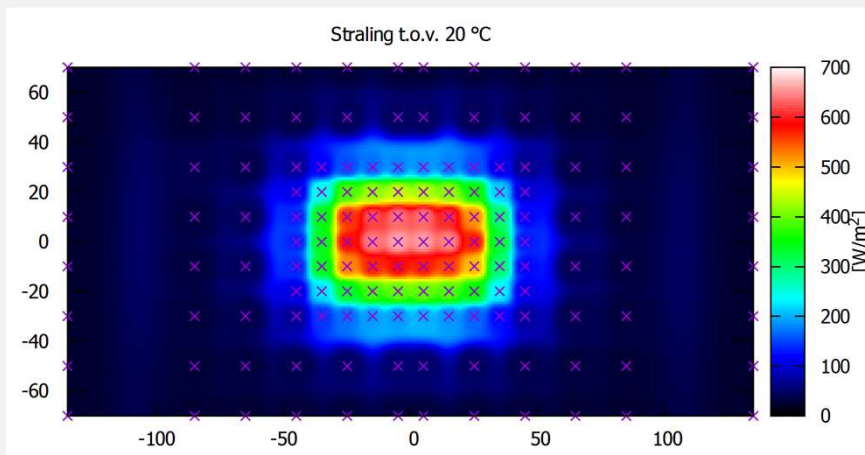
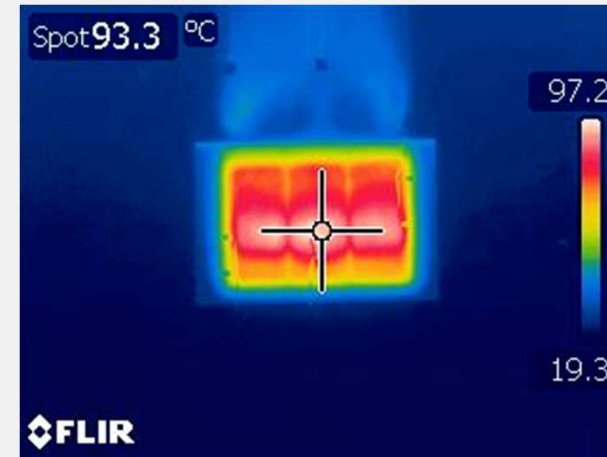
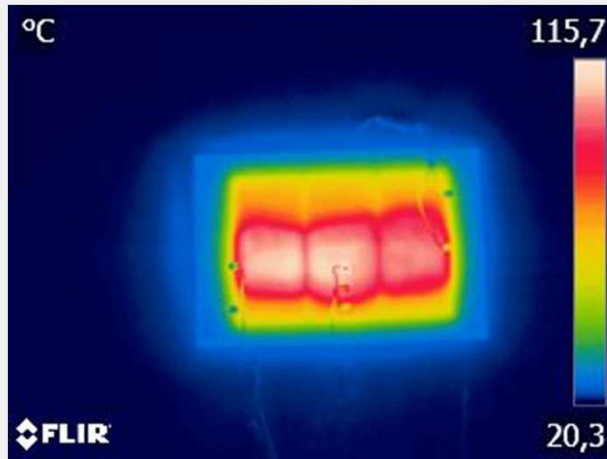
Resultaten: opwarm en afkoelgedrag

- ❑ Na inschakeling duurt het ca. een uur voordat de maximale temperatuur is bereikt stabiel is.
- ❑ De tijd waarin conform IEC 60675 90 % van de temperatuurtoename is bereikt bedraagt ca. 0,5 uur bereikt.
- ❑ Na uitschakelen is de oppervlaktetemperatuur na ca. 2 uur weer gelijk aan de startsituatie.



Temperatuur en straling op 0,1 m

PEUTZ



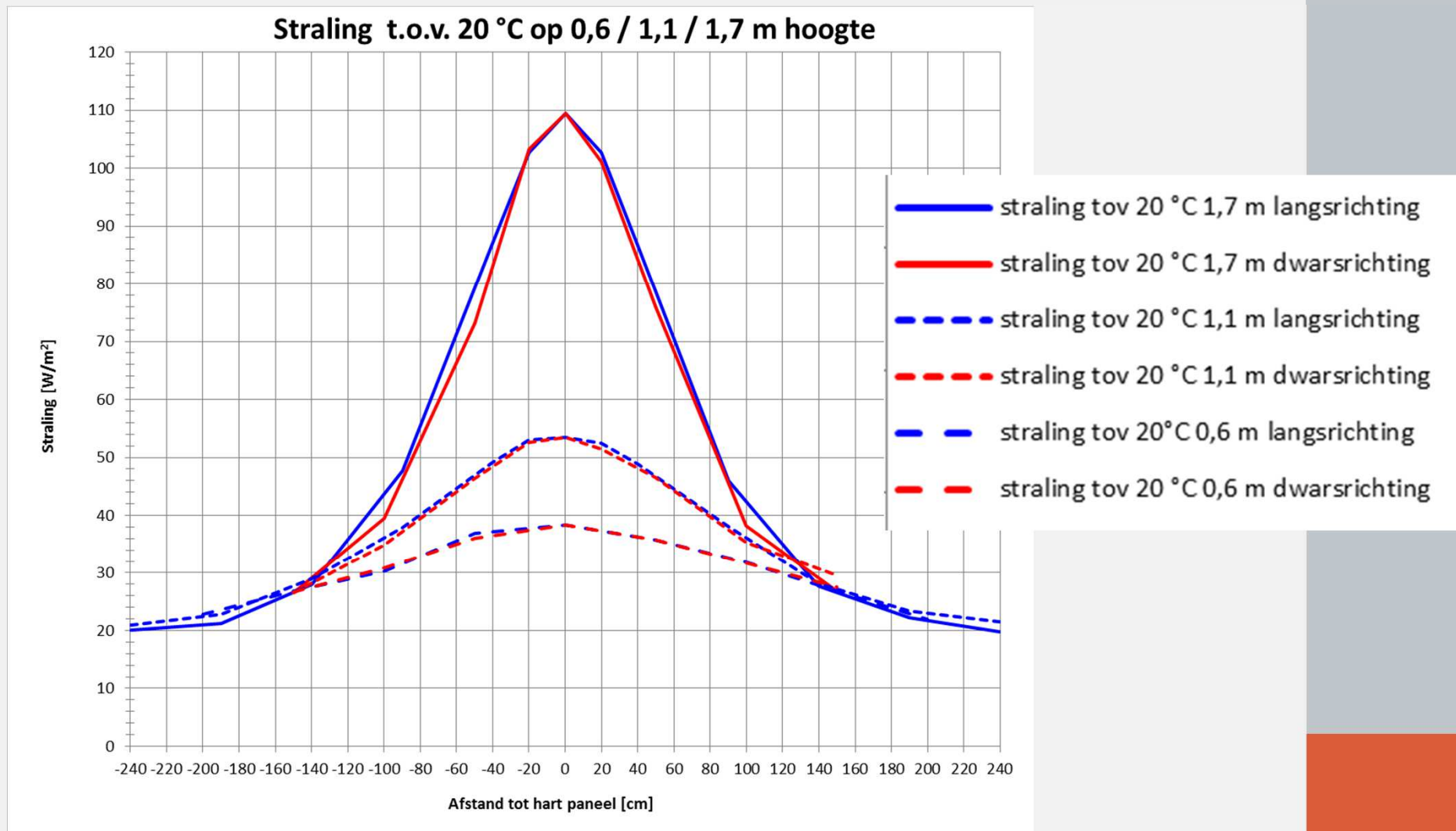
L: Plafondpaneel: straling varieert van 120 -130 W/m² op de hoekpunten tot ruim 640 W/m² bij het hart. Gemiddeld 377 W/m².

R: Wandpaneel: straling varieert van 90 – 100 W/m² op de hoekpunten tot ruim 540 W/m² bij het hart. Gemiddeld 322 W/m².

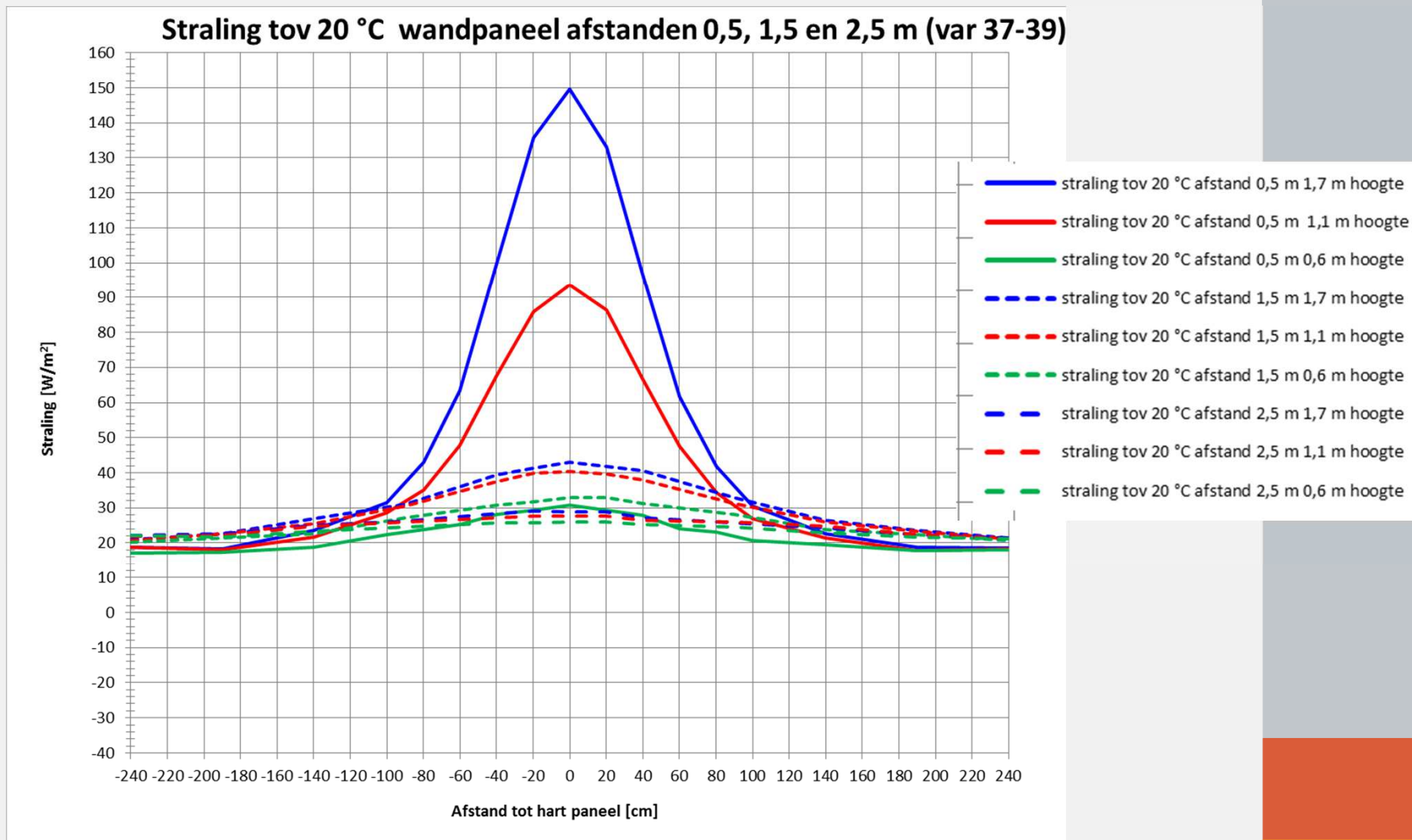
Eigenschappen stralingspaneel

Omschrijving	Eenheid	Plafondpaneel	Wandpaneel
Materiaaleigenschappen			
– Emissiefactor ε	[-]	0,99	
Elektrische eigenschappen			
– Opgenomen elektrisch vermogen	[W]	295	300
– Netspanning	[V]	230	230
– Inschakelstroom ≥ 110 % van de eindwaarde		nee	-
Temperatuurgedrag			
– Maximale oppervlaktetemperatuur bij 20 °C	[°C]	108	-
– Aanwarmtijd 90 % eindwaarde	[u]	0,5	-
– Uitkoeltijd	[h]	2	-
Stralingseffectiviteit			
– Elektrisch vermogen	[W]	295	301
– Afgegeven straling t.o.v. 20 °C	[W]	201	171
– Aandeel straling t.o.v. 20 °C	[%]	68	57
– Gemiddelde straling t.o.v. 20 °C	[W/m²]	377	322

Straling t.o.v. 20 °C plafondpaneel

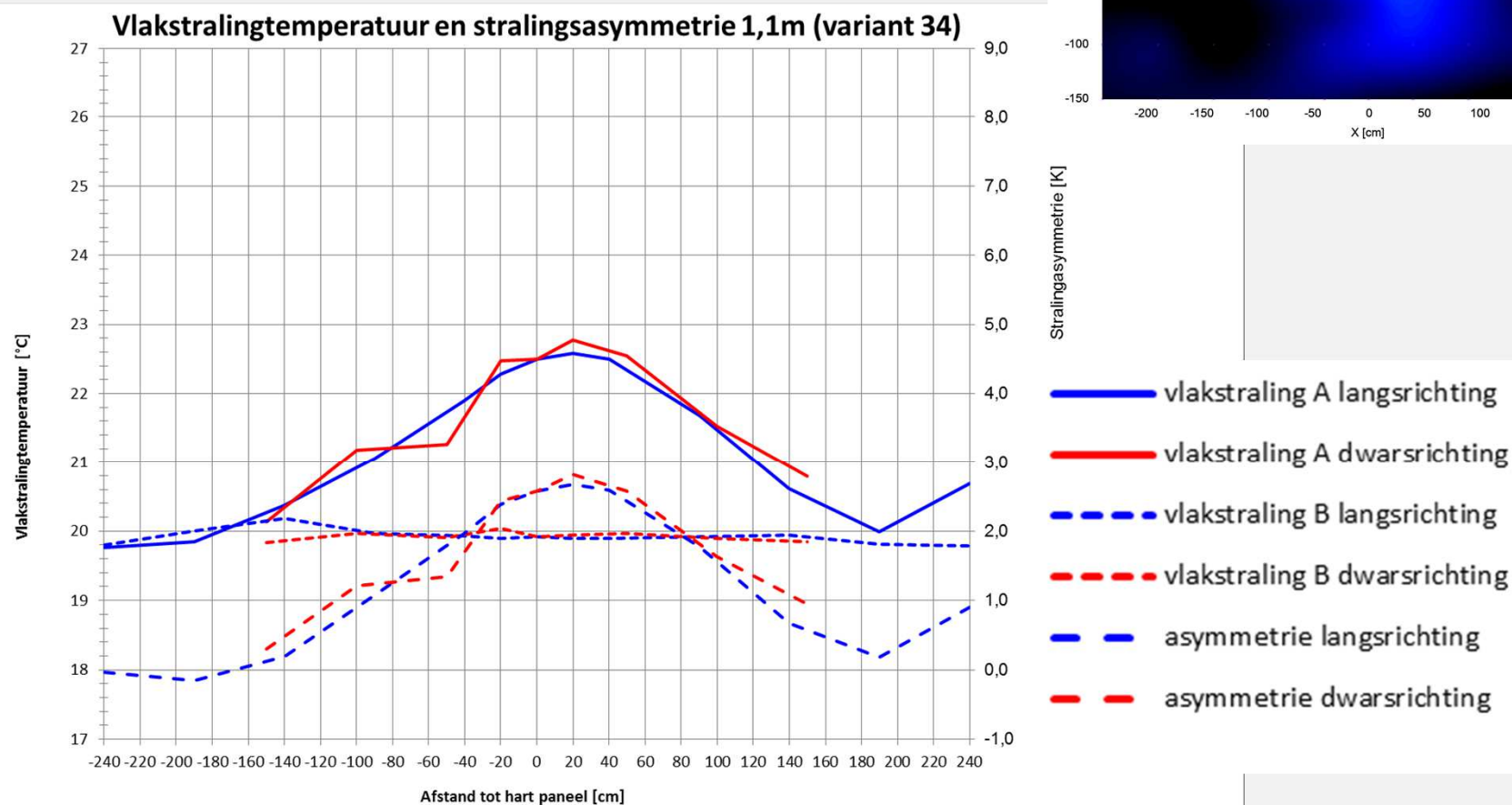
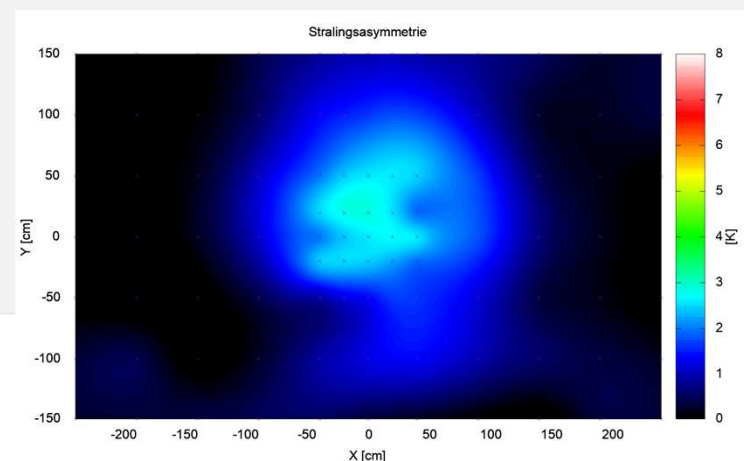


Straling t.o.v. 20 °C wandpaneel



Stralingasymmetrie plafondpaneel 1,1 m

PEUTZ



Enkele conclusies

Paneeleigenschappen:

- ❑ Van het opgenomen elektrische vermogen van 300 W wordt bij het plafondpaneel ca 70 % in straling omgezet met een gemiddelde intensiteit op 0,1 m afstand van 377 W/m².
- ❑ Bij het wandpaneel is dit ca 60 % met een gemiddelde intensiteit van 322 W/m² op 0,1 m afstand.
- ❑ De maximale fronttemperatuur bedraagt ca. 108 °C. Aan de achterzijde varieert dit bij het plafondpaneel van 38 °C (hoek) tot 52 °C (midden). Bij het wandpaneel van 26 °C - 38 °C.

Comfortaspecten:

- ❑ De invloed van straling en stralingstemperatuur is bij een plafondpaneel 1,5 – 2 m vanuit het hart van het paneel. Bij een wandpaneel is deze afstand globaal vergelijkbaar, maar er is verschil tussen de meethoogten.
- ❑ In de gemeten situaties is de toename van de stralingstemperatuur maximaal 2 K bij het plafondpaneel en 2,5 K bij het wandpaneel. Het geïnstalleerde vermogen bedroeg (slechts) ca 16 W/m²

Bedankt voor je aandacht