

warmteverlies

achter

radiatoren**

Bibliotheek Hoofdkantoor TNO
's-Gravenhage

20 JAN. 1978

door Ing. M. DUBBELD *

Inleiding

Steeds wanneer centrale verwarming wordt toegepast doet men er goed aan zich te realiseren dat de opstelling van de radiatoren het energieverbruik van een installatie belangrijk kan beïnvloeden.

Wanneer men in de winter een vertrek verwarmt, doet men dit om een zekere koude tegen te gaan. Ergens functioneert een warmtebron, elders verdwijnt warmte naar de koudere buitenomgeving. Gebruikt men als warmtebron een radiator, plaatst men deze onder het raam. De radiator geeft zijn warmte af aan de ruimte door convectie en straling zoals in de figuur 1 is te zien.

De stralingswarmte van de achterzijde van de radiator is in dit geval direct op de koude bron, de borstwering, gericht. Een deel van de stralingswarmte zal dan ook direct door de borstwering naar buiten worden afgevoerd. Hoe groot dit deel is hangt af van de uitvoering van de borstwering. Dit betekent warmteverlies waarvan de grootte wordt bepaald door de aard van de borstwering.

Met behulp van berekeningen is nagegaan hoe groot dit warmteverlies is voor een:

1. normale opstelling van de radiator voor de borstwering;
2. opstelling met stralingsreflecterend materiaal op de borstwering;

3. opstelling met een warmteschild tussen de radiator en de borstwering.

Tot slot is dieper ingegaan op de beïnvloeding van de radiatorafmetingen en de ketelcapaciteit. De condities waarbij deze berekeningen werden verricht zijn in figuur 2 weergegeven.

De temperaturen komen overeen met de gemiddelden die men in de winter kan verwachten.

De borstweringconstructies met $k = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ voor enkel glas en $k = 1,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ volgens NEN 1068 „voldoende”.

Op dit moment is de eis voor nieuwbouw reeds $k = 0,77 \text{ W/m}^2\text{K}$. De voor de berekening gebruikte formules en constanten zijn in de bijlage opgenomen.

Het warmtetransport evenwijdig aan de borstwering is bij de berekeningen buiten beschouwing gelaten.

Warmteverlies door de borstwering

De warmteweerstand van de borstwering bepaalt het warmteverlies door de borstwering.

De hoeveelheid stralingswarmte die de borstwering ontvangt neemt toe met het temperatuurverschil tussen de borstwering en de radiator.

Bij een borstwering met een grote warmteweerstand (figuur 3) zal de borstwering warmer zijn dan de lucht in de ruimte. Hierdoor zal een deel van de stralingswarmte die de borstwering heeft ontvangen door convectie aan de lucht worden afgestaan. Het resterende deel van de

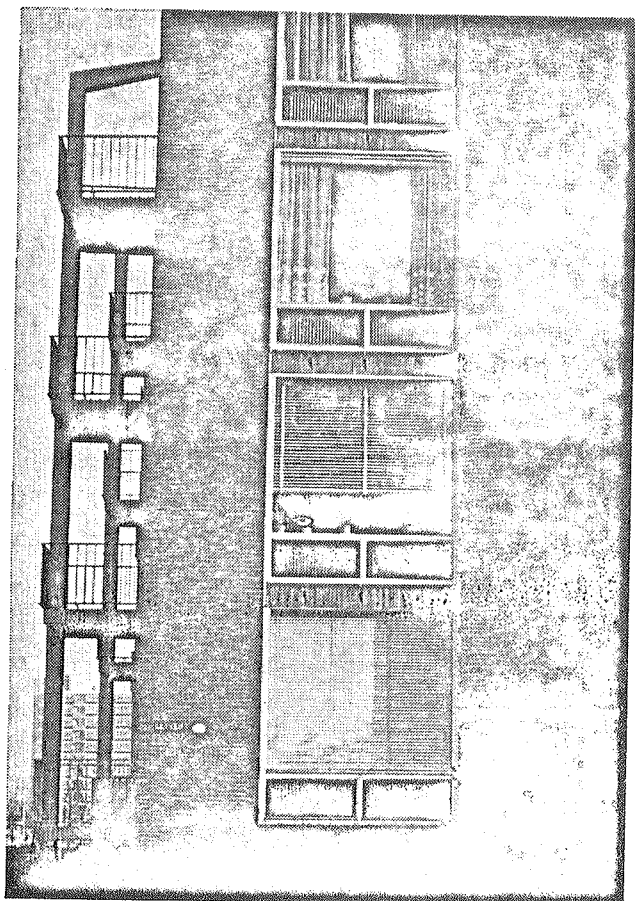
* Afd. Geluid, Licht, Binnenklimaat van het IG-TNO te Delft

** Publikationr. 586 van het IG-TNO

Mit: Voordrachtenbundel

„Vakantieleergang Warmtetechniek 1976”

Mitgave CTI-TNO, Apeldoorn



Conclusie

Voor de verschillende borstweringsconstructies blijkt het warmteverlies achter de radiator te variëren van 44 tot 254 W/m² onder de gekozen condities.

Uitgaande van een 1 plaats radiator 2 × 0,5 m² met een afgifte van 1427 W bij 60 K overtemperatuur is het verlies in procenten van de radiatorafgifte berekend.

$$Q_{35} = 1427 \cdot \left(\frac{35}{60} \right)^{1,3} = 1427 \cdot 0,5 = 713 \text{ W}$$

$$\text{geïsoleerde spouwmuur (k = 1,16)} \frac{44}{713} \cdot 100 = 6\%$$

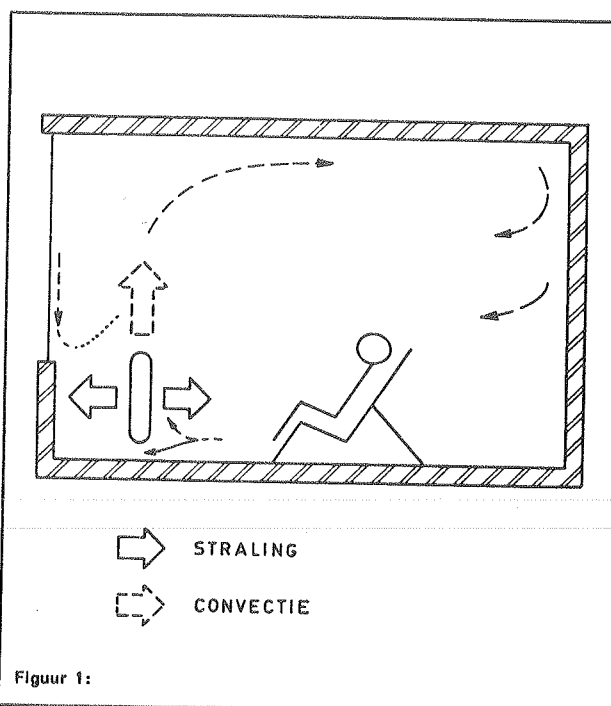
$$\text{enkele beglazing (k = 5,8)} \frac{254}{713} \cdot 100 = 36\%$$

Hieruit blijkt dat het warmteverlies sterk wordt beïnvloed door de borstweringsconstructie. Het gebruik van enkel glas als borstwering achter de radiator is wat warmteverlies en energiegebruik betreft een kostbare toepassing.

Radiatoren dient men toe te passen in combinatie met een goed geïsoleerde borstwering. Met een goed geïsoleerde borstwering en radiatoren kan men de ruimte verwarmen, met glas in hoofdzaak het heela.

stralingswarmte wordt door geleiding naar buiten gevoerd. Bij het toepassen van een borstwering met een kleinere warmteweerstand zal de borstweringtemperatuur onder dezelfde omstandigheden lager zijn. Het temperatuurverschil tussen de borstwering en de radiator wordt hierdoor groter, zodat de borstwering meer stralingswarmte zal ontvangen. Door de lagere borstweringtemperatuur zal van de toegenomen stralingswarmte een kleiner deel door convectie de ruimte bereiken. Het deel dat door geleiding naar buiten wordt gevoerd is dus groter door het toenemen van de stralingswarmte en het afnemen van de omzetting van stralingswarmte in convectiewarmte naar de ruimte.

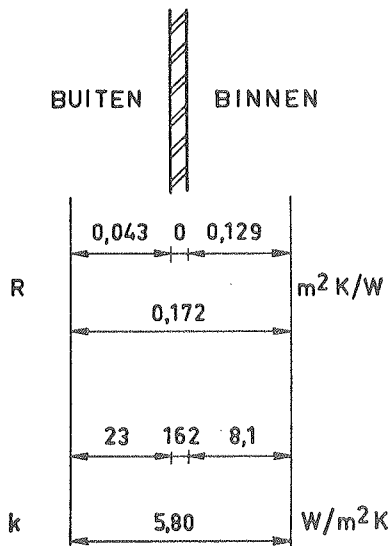
Bij het toepassen van een zeer kleine warmteweerstand (figuur 4) wordt de borstwering kouder dan de luchttemperatuur. Hierdoor zal naast veel stralingswarmte ook convectieve warmte door geleiding naar buiten worden afgevoerd. Het verband tussen de hoeveelheid warmte die door geleiding door de borstwering naar buiten verloren gaat is in figuur 5 weergegeven als functie van de berekende warmteweerstand „lucht op lucht”. In tabel 1 zijn de verliezen naar buiten vermeld voor andere borstweringconstructies.



CONDITIE : TEMPERATUUR BUITEN 5°C
 BINNEN 20°C
 GEM. RADIATOR 55°C
 AFMETING RADIATOR 0,5 m HOOG
 2 m LANG } 1m²

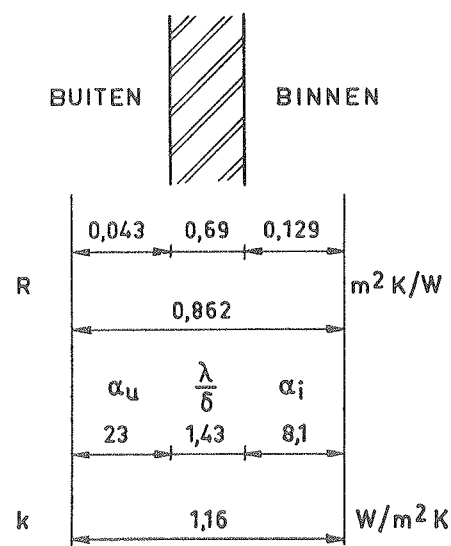
UITVOERING BORSTWERING :

ENKEL GLAS



SPOUWMUUR

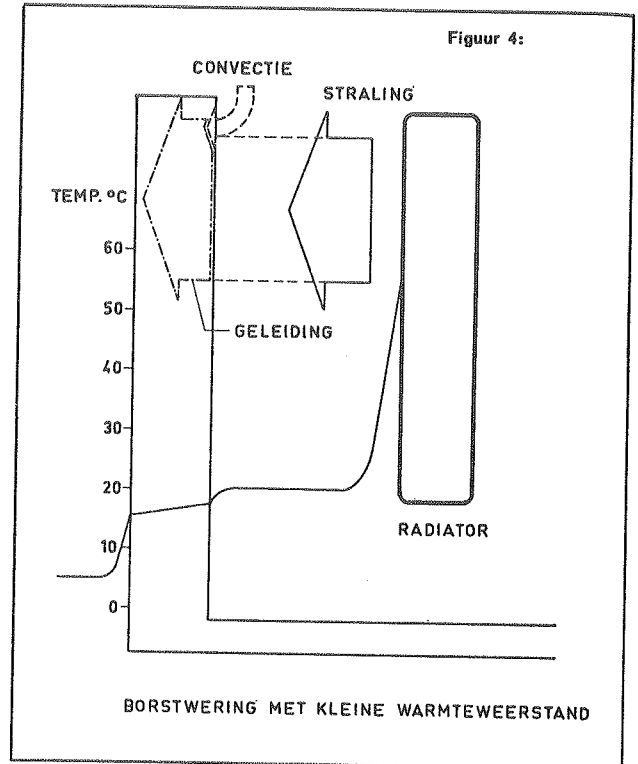
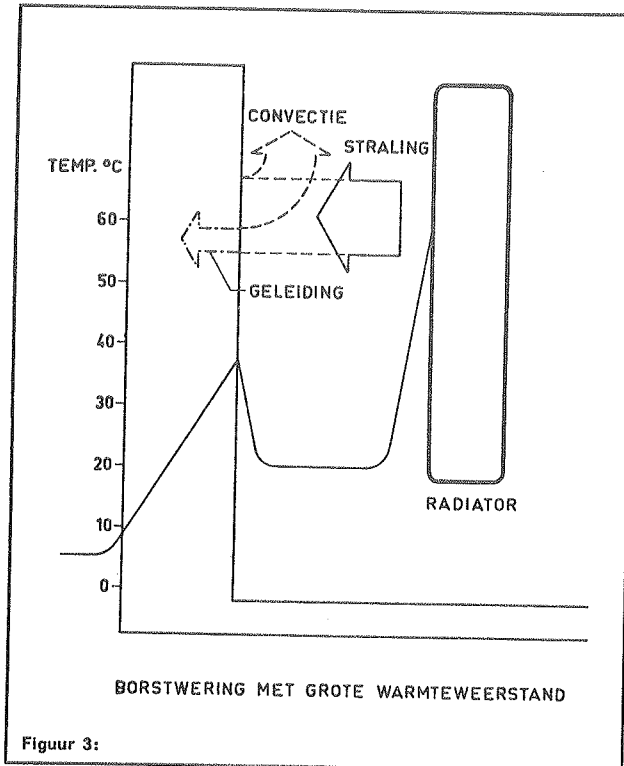
KLASSE : 1/2 STEENS HARDGRAUW BUITEN
 SPOUW 4 cm
 VOLDOENDE KUNSTSTOF SCHUIM 1 cm
 NEN 1068 1/2 STEENS KALKSTEEN BINNEN
 PLEISTERLAAG



Figuur 2:

Tabel 1. Warmteverlies door de borstwering bij diverse borstweringconstructies.

Constructie	Warmte weerstand „lucht op lucht” R m ² K/W	Warmtedoorgangs- coëfficiënt k W/m ² K	Warmteverlies- borstwering W/m ² warmte- schild	
			normaal	
enkelglas	0,172	5,80	254	72
1/2 steens (hardgr.)	0,262	3,85	148	52
dubbelglas	0,344	2,91	108	44
1 steens (hardgr.)	0,362	2,80	95	40
spouwmuur (hardgr. + K.Z. st.) 2 × 1/2 steens	0,562	1,78	67	27
idem + 1 cm isolatie	0,864	1,16	44	17



Vermindering warmteverlies met stralingreflecterend materiaal op de borstwering

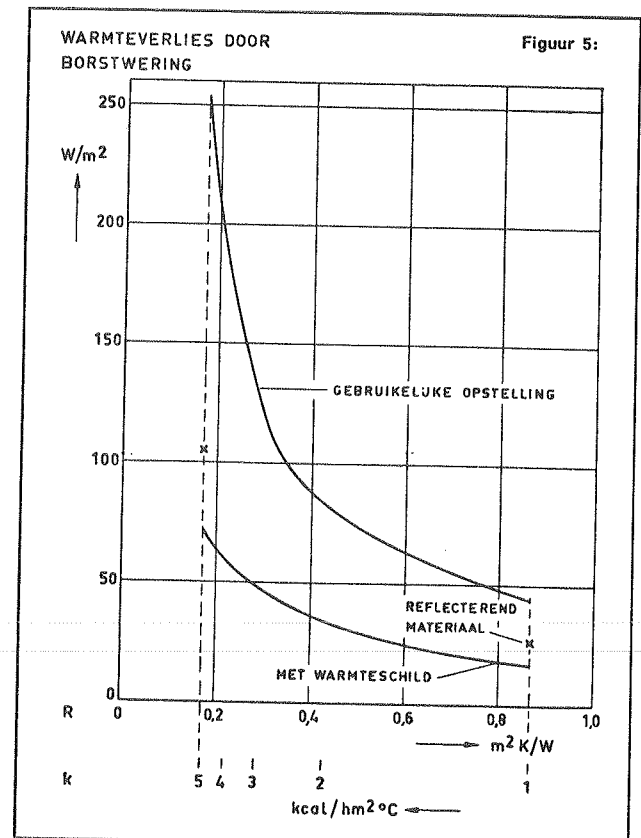
Indien men geen keuze meer kan maken omdat men reeds in het bezit is van een borstwering van glas achter de radiatoren kan men het warmteverlies met stralingreflecterend materiaal verminderen. Indien dit op het glas is aangebracht zal er veel minder stralingswarmte naar de borstwering worden afgegeven (figuur 6).

Voor een borstwering van glas kan hiermee het warmteverlies worden teruggebracht tot 105 W/m².

Vergelijkt men figuur 6 met figuur 4 dan blijkt dat de radiator zijn stralingswarmte niet „kwijt” kan door het stralingreflecterende materiaal; tevens is het verlies aan convectieve warmte door de borstwering toegenomen. Een nadeel van reflecterend materiaal op het glas is ook dat men zowel in de winter als in de zomer niet door het glas kan kijken.

Conclusie

Door het toepassen van stralingreflecterend materiaal op de borstwering kan het warmteverlies door een borstwering van enkel glas $k = 5,8$ worden verminderd van 254 W/m² naar 105 W/m².



Vermindering warmteverlies met een warmteschild

Bij een „voldoende” geïsoleerde borstwering ($k = 1,16 \text{ W/m}^2\text{K}$) (figuur 3) kon de aan de achterzijde afgegeven stralingswarmte de ruimte mede verwarmen door omzetting in convectie. De radiator heeft hiervoor een vlak nodig dat warmte absorbeert.

Het verlies door de borstwering kon bij ($k = 5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) (figuur 6) worden verminderd omdat de stralingswarmte de borstwering niet kon bereiken omdat het straling-reflecterende materiaal het stralingstransport sterk reduceert. Wil men warmte naar de ruimte brengen dan moet men tegenover de radiator een stralings-absorberend vlak plaatsen, voor een klein warmteverlies moet men echter naar de borstwering een stralingreflecterende laag plaatsen.

deze dubbele eis wordt voldaan door het warmteschild (figuur 7). Wanneer nu de absorberende laag naar de radiator wordt gericht zal die laag worden verwarmd door van de radiator afkomstige stralingswarmte. De zo ontvangen warmte wordt voor het grootste deel direct aan de lucht afgestaan door convectie, voor het overige via geleiding aan de tweede materiaal laag. Aangezien deze echter weinig straling kan afgeven, zal ook de hierin aanwezige warmte door convectie voor een deel aan het vertrek ten goede komen.

De hoeveelheid stralingswarmte die de borstwering bereikt is nu erg klein. De borstwering wordt hierdoor zo weinig verwarmd dat ze onder de ruimtetemperatuur zal blijven. Hierdoor zal naast een geringe hoeveelheid stralingswarmte ook convectieve warmte naar buiten verloren gaan. In de zomer kan het warmteschild worden verwijderd, zodat men dan weer door het glas kan kijken. De aanbevolen opstelling is in figuur 8 aangegeven.

Conclusie

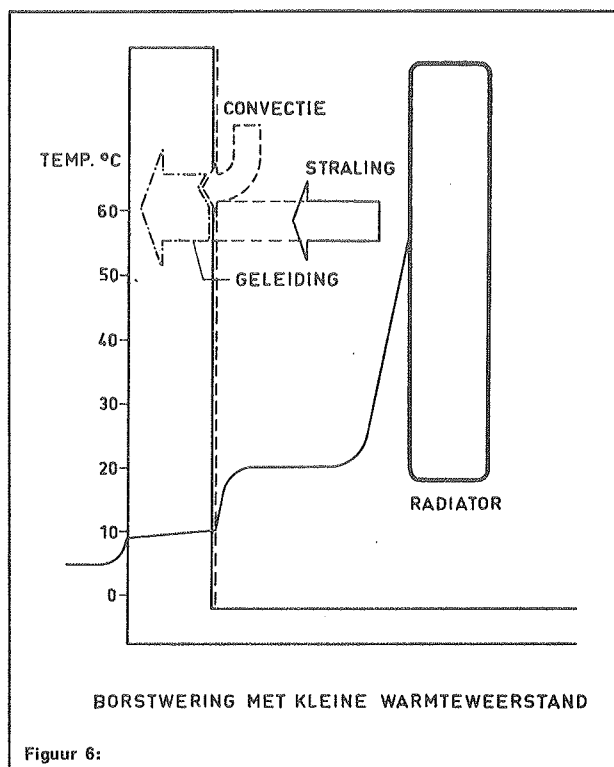
Door het toepassen van een warmteschild tussen de borstwering en de radiator kan het warmteverlies door een borstwering van enkel glas $k = 5,8$ worden verminderd van 254 W/m^2 naar 72 W/m^2 .

Overzicht warmtestromen achter radiator

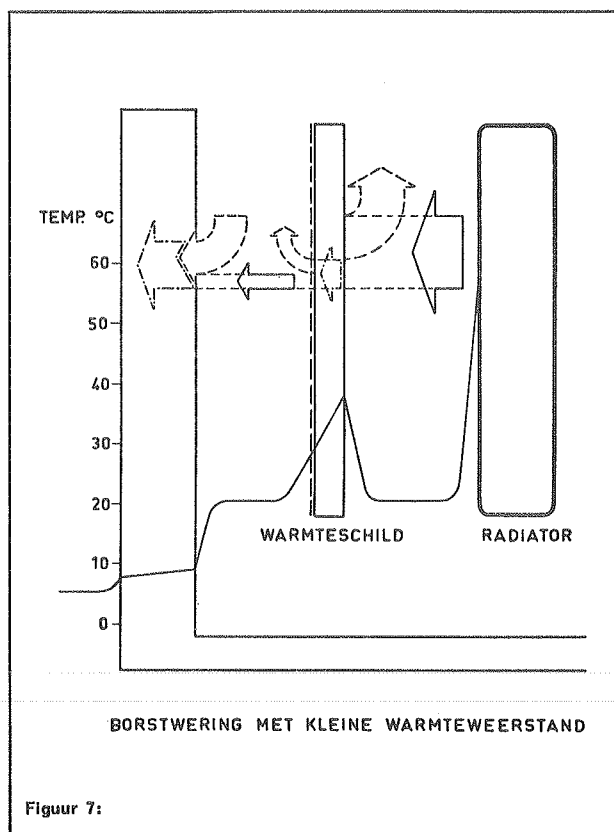
In tabel 2 zijn de besproken opstellingen voor een borstwering met $k = 5,8$ en $1,16$ weergegeven.

Gaat men uit van een radiator voor enkel glas $k = 5,8$ dan blijkt dat alle straling naar buiten wordt afgevoerd samen met 16 W/m^2 aan convectie.

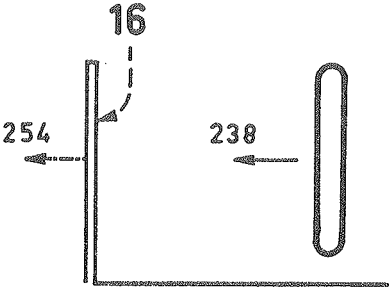
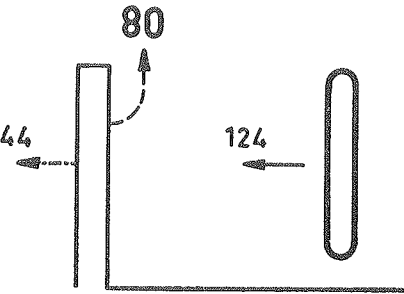
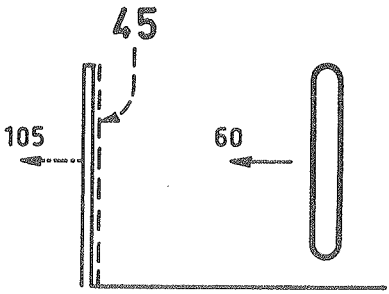
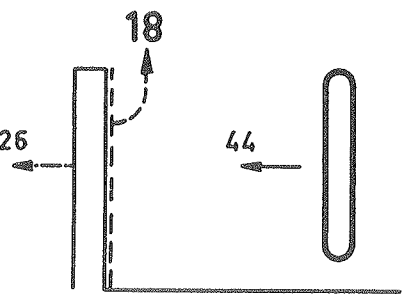
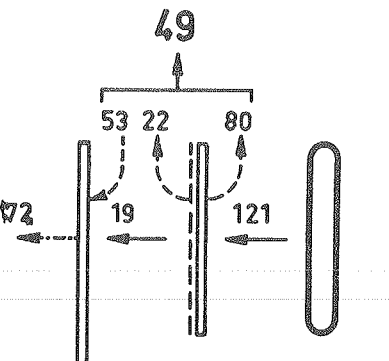
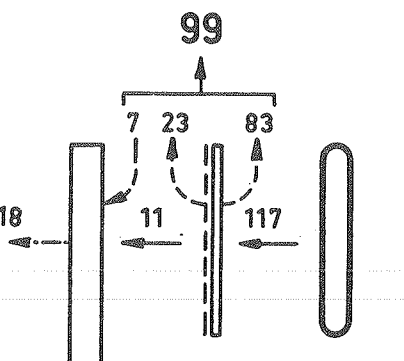
Had men de radiator echter voor een wand $k = 1,16$ geplaatst dan zou van de stralingswarmte aan de achterzijde 44 W/m^2 verloren gaan en 80 W/m^2 beschikbaar komen voor het verwarmen van de ruimte. Hoewel minder stralingswarmte wordt afgegeven wordt deze wel nuttiger gebruikt. Dit betekent, bij nieuwbouw, radiatoren voor een



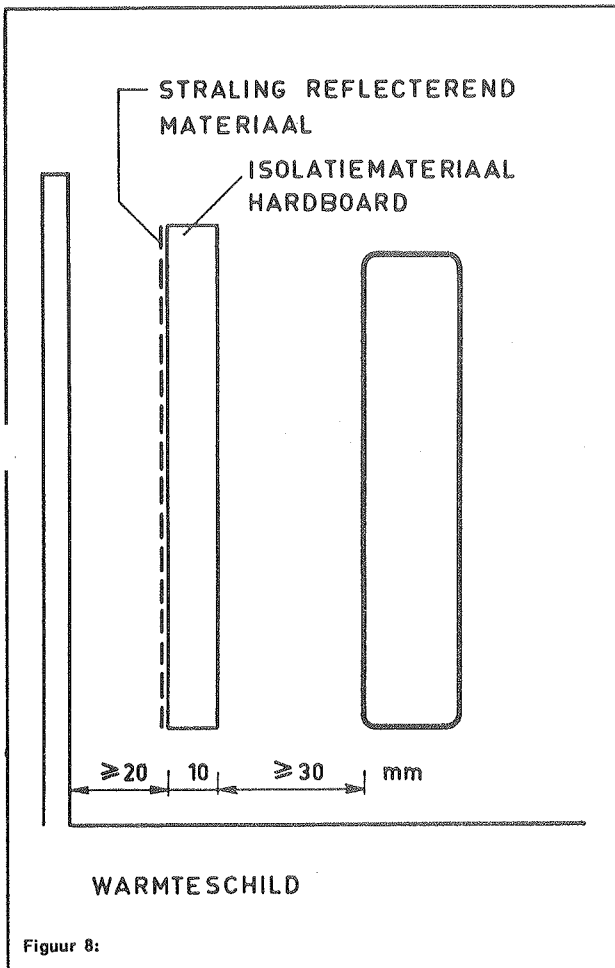
Figuur 6:



Figuur 7:

WARMTESTROMEN IN W/m ²		BINNEN 20°C	BUITEN 5°C	RADIATOR 55°C
$R = 0,862 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ $k = 5,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$		$R = 0,172 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ $k = 1,16 \text{ W/m}^2 \text{ K}$		
				
				
				

TABEL 2



goed geïsoleerde borstwering plaatsen. Heeft men reeds enkel glas achter de radiator $k = 5,8$ dan zal bij straling reflecterend materiaal het warmteverlies afnemen naar 105 W/m^2 . Ook in dit geval wordt er door convectie warmte uit de ruimte door de borstwering afgevoerd.

Omdat deze convectie warmteafvoer groter is dan bij de gewone opstelling geeft de radiator minder warmte af aan de ruimte. Straling reflecterend materiaal kan worden toegepast als de capaciteit van de radiatoren niet te krap is. Bij het toepassen van een wärmeschild gaat 72 W/m^2 door de borstwering naar buiten.

Van de aan de achterzijde afgegeven stralingswarmte komt hier 49 W/m^2 beschikbaar voor het verwarmen van de ruimte, dit is dus een toename t.o.v. de gewone opstelling. Het aanbrengen van voorzieningen bij een goed geïsoleerde borstwering heeft slechts weinig invloed op het warmteverlies.

Algemene conclusie

- De borstwering achter een radiator goed isoleren
 - warmteverlies klein
 - stralingswarmte achterzijde radiator beschikbaar voor de ruimte.
- Indien goede isolatie van de borstwering niet mogelijk is dan
 - stralingreflecterend materiaal op de borstwering
 - warmteverlies kleiner
 - minder warmte van de radiator beschikbaar om de ruimte te verwarmen.
 - wärmeschild
 - warmteverlies kleiner
 - meer warmte van de radiator beschikbaar om de ruimte te verwarmen.

Invloed op het ontwerp van een installatie

Uit het voorgaande blijkt dat de warmteverliezen door de borstwering en de warmteafgifte van de radiator sterk beïnvloed worden door de wijze van opstellen.

Dit heeft consequenties voor de benodigde radiatorafmetingen en de ketelcapaciteit.

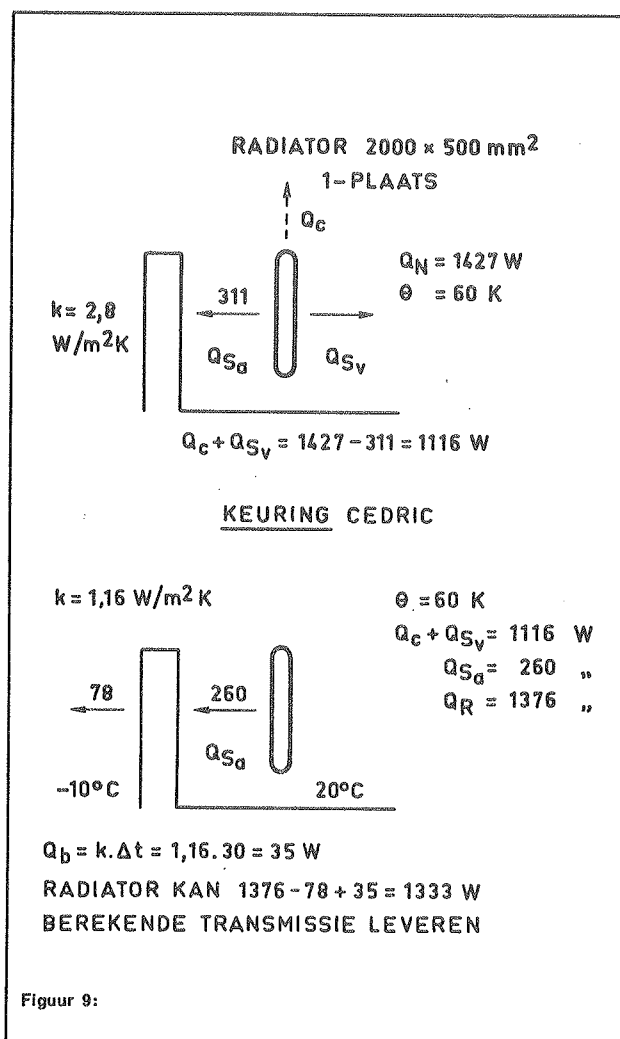
Invloed radiatormeting

De invloed op de radiatormeting is berekend voor een 1 plaatsradiator van $2000 \times 500 \text{ mm}^2$ voor een borstwering met een $k = 1,16 \text{ W/m}^2\text{K}$. Hierbij is uitgegaan van de warmteafgifte die onder keuromstandigheden bij CEDRIC te Luik werd bepaald (figuur 9). Onder de keuromstandigheden geeft de radiator 1427 W af bij $\theta = 60 \text{ K}$. Bij een borstwering $k = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ wordt dan 311 W stralingswarmte aan de achterzijde van de radiator afgegeven.

Aan convectie en straling naar de voorzijde wordt dan 1116 W afgegeven. Bij plaatsing voor een borstwering $k = 1,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ zal 78 W naar buiten gaan van de 260 W die de radiator aan de achterzijde afgeeft. De afgifte van de radiator is dan $1116 + 260 = 1376 \text{ W}$, er vanuit gaande dat de convectie en de straling aan de voorzijde dezelfde is als onder de keuromstandigheden.

Als warmteverlies door de borstwering was berekend $1,16 \times 30 = 35 \text{ W}$. De 43 W extra verlies kan dus niet naar de ruimte.

De radiator kan nu $1376 - 43 = 1333 \text{ W}$ berekende transmissie leveren. Heeft men de radiator gekozen voor een afgifte van 1427 W dan moet men de radiator iets groter kiezen. De toeslag op de radiatorafmeting is dan



$$\frac{1427 - 1333}{1333} \cdot 100\% = 7\%$$

In de ISSO publikatie 1 zijn deze toeslagen vermeld als functie van de k-waarde voor $\epsilon = 0,9$ en $\epsilon = 0,2$ (fig. 10).

Invloed installatie capaciteit

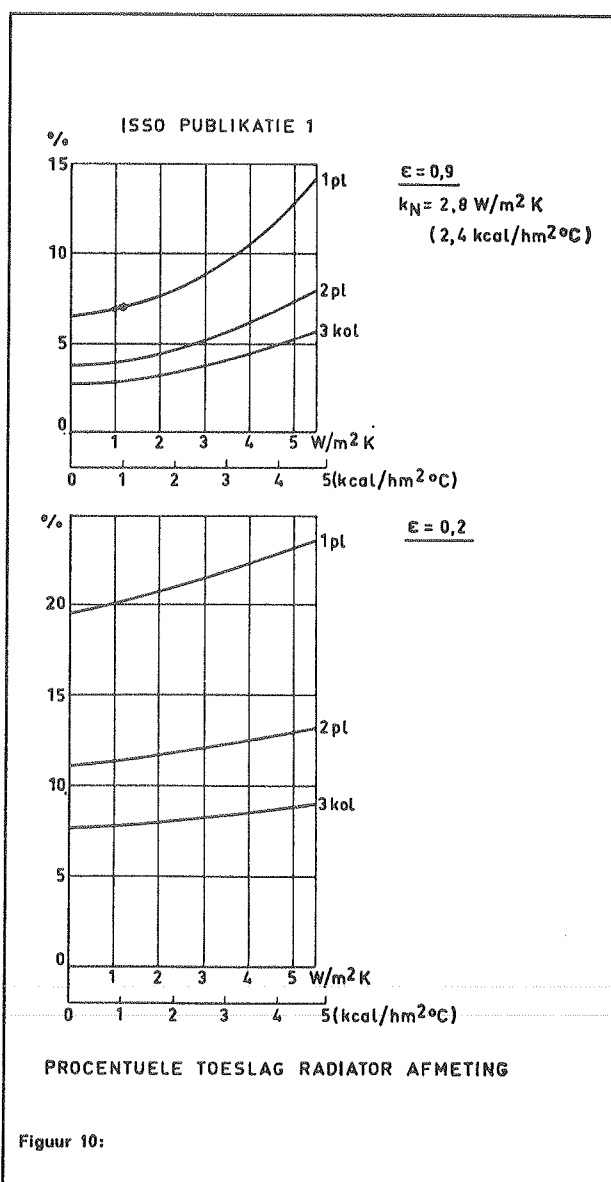
Zoals uit het voorbeeld bleek is het warmteverlies door de borstwering groter dan was berekend. De installatie moet dus meer warmte leveren dan was berekend. Nog steeds uitgaande van de 1 plaatsradiator van $2000 \times 500 \text{ mm}^2$ vindt men:

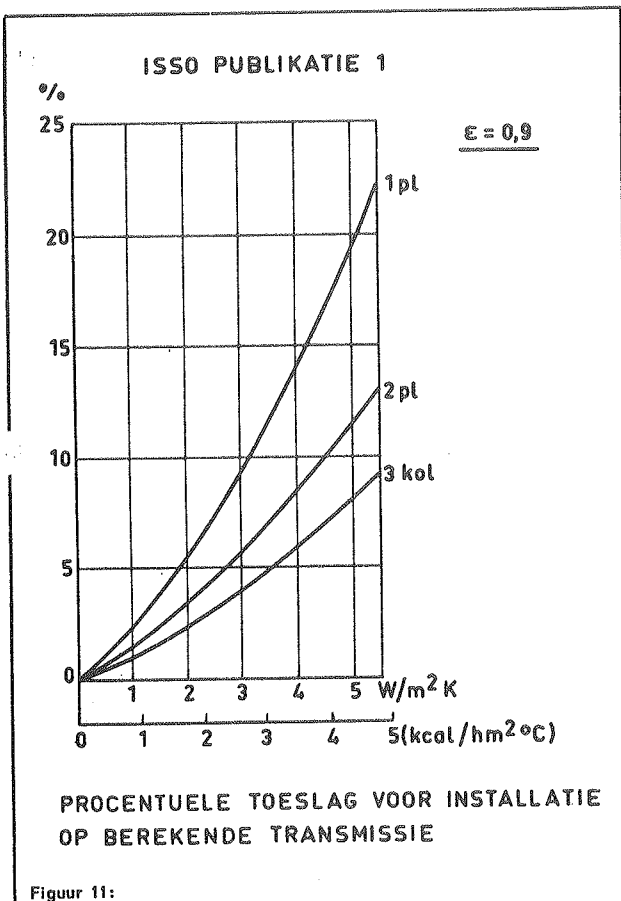
De berekende transmissie die de radiator kan leveren is 1333 W. De warmteafgifte bij een borstwering $k = 1,16$

$\text{W/m}^2\text{K}$ bedraagt 1376 W. De toeslag op de installatie-capaciteit is nu

$$\frac{1376 - 1333}{1333} \cdot 100\% = 3\%$$

De procentuele toeslag voor een installatie op de berekende transmissie is als functie van de k-waarde eveneens vermeld in ISSO-publikatie 1 voor $\epsilon = 0,9$ (figuur 11). Deze toeslag is bij $\epsilon = 0,2$ zo klein dat hij hierbij buiten beschouwing is gelaten.





Vergelijkingen

De voor de berekening gebruikte vergelijkingen voor de gebruikelijke opstelling is hieronder vermeld. De vergelijking is opgebouwd uit drie termen, namelijk de stralings-, convectie- en geleidingsterm. Als onbekende heeft men alleen t_3 .

De emissiecoëfficiënt ϵ_{4-3} is evenredig met het stralings-transport van oppervlak 4 naar 3, zodat

$$\epsilon_{4-3} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_4} + \frac{1}{\epsilon_3} - 1} \text{ bedraagt.}$$

Voor ϵ_{4-3} is de waarde van 0,9 voor de normale opstelling gekozen. Voor stralingsreflecterend materiaal op vlak 3 is de waarde ϵ_{4-3} op 0,2 gesteld. De kleur van de borstwering of de radiator kan hierbij buiten beschouwing worden gelaten. De temperatuur van de stralingsbron is namelijk < 400 K waarbij de golflengte zo groot is dat alle kleuren als een zwart vlak kunnen worden benaderd. Bij een stralingsbron met hoge temperatuur en een kleine golflengte

zoals de zon is de emissiecoëfficiënt wel afhankelijk van de kleur (figuur 12).

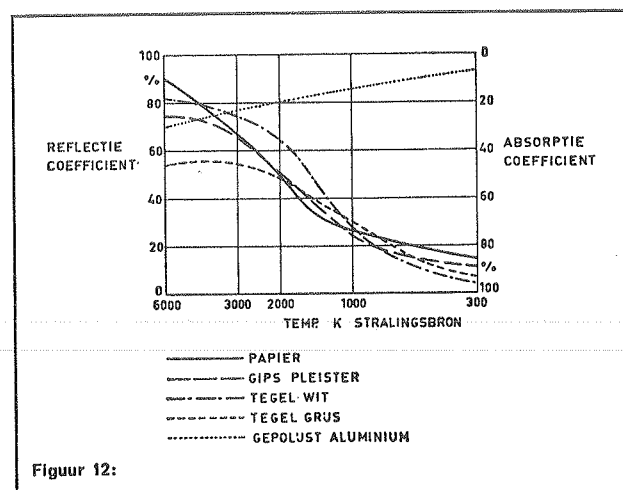
Bij het toepassen van het warmteschild hebben we drie vergelijkingen met drie onbekende temperaturen. Zij zijn in overzicht 1 vermeld.

Symbolenlijst

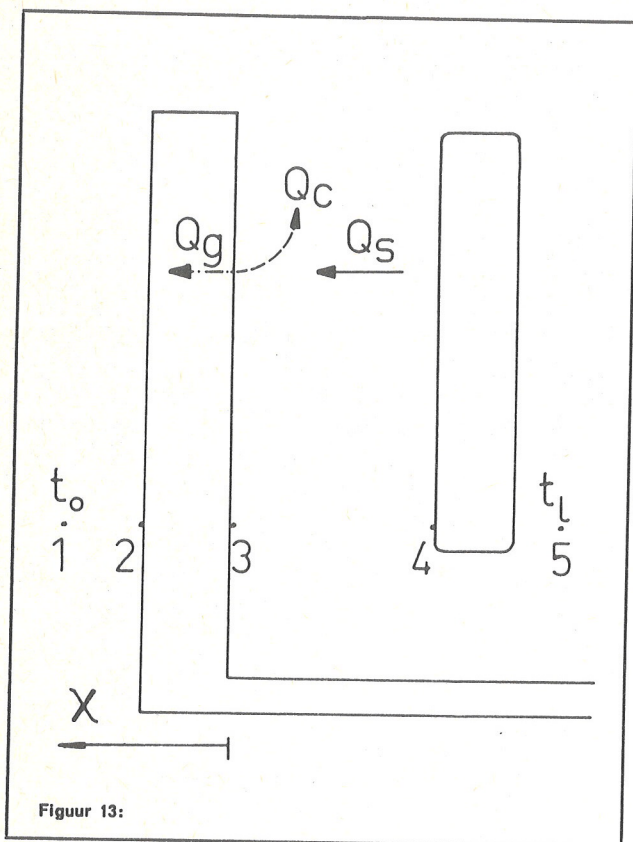
f	vorm factor	—
k	warmtedoorgangscoefficiënt	W/m²K
Q	warmteafgifte	W
R	warmteweerstand	m²K/W
T	absolute temperaturen	°K
t	temperatuur	°C
Δt	temperatuurverschil	K
α	convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt	W/m²K
δ	dikte	m
ϵ_{4-3}	emissiecoëfficiënt van 4 naar 3	—
χ	warmtedoorgangscoefficiënt	W/m²K
λ	warmtegeleidingscoëfficiënt	W/m K
C	Stralingsconstante	W/m²K⁴
θ	overtemperatuur	K

Index

b	borstwering
c	convectie
g	geleiding
i	binnen
l	lucht
N	keuromstandigheid
o	buitentemperatuur
R	radiator
S	straling
Sa	straling achterzijde
Sv	straling voorzijde
u	buiten
1...7	nummer



Normale opstelling en stralings-reflecterend materiaal op de borstwering.



Algemeen

$$Q_s = Q_c + Q_g \quad (1)$$

$$C \cdot f \cdot \varepsilon_{4-3} \left\{ \left(\frac{T_4}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_3}{100} \right)^4 \right\} = \alpha_c (t_3 - t_1) + \chi (t_3 - t_o) \quad (2)$$

Constanten

C	5,77 W/m ² K ⁴
ε_{4-3}	0,9 resp. 0,2
α_c	4,65
α_u	23
f	1

Conditie

t_o	= 5°C
t_4	= 55°C
t_1	= 20°C

Overzicht 1 Warmteschild

Vergelijkingen

$$Q_{s1} = Q_{c1} + Q_{g1} \quad (3)$$

$$Q_{g1} = Q_{s2} + Q_{c2} \quad (4)$$

$$Q_{g2} = Q_{s2} + Q_{c3} \quad (5)$$

Onbekenden

t_3, t_4 en t_5

Constanten

ε_{6-5}	0,9
ε_{4-3}	0,2

Conditie

δ_2	= 0,01 m
λ_2	= 0,035 W/m K

LITERATUUR

1. Binnenklimaat en Energieverbruik - Nederlandse Gasunie
2. Isolatie van buitenwanden waarvoor radiatoren zijn geplaatst - Ir. E. van Gunst de Ingenieur (Aug 1955 blz G11)
3. De invloed van de isolatie van de wand achter de radiator op de warmteverliezen van het lokaal en op de warmteafgifte van de radiator - Prof. G. Burnay en H. Marcq WTCB TV 70

