prepared M. Coesel

title

Wat ik altijd wilde weten over radiatorfolies

Samenvatting

Met dit rapport probeer ik, via berekeningen met behulp van thermische modellen, inzicht te verschaffen in de prestaties van de Tonzon en Iso de Lux radiatorfolie.

Studieobject is de radiator (met thermostaat) in de werkkamer.
Beschouwde configuraties zijn:
1. Zonder radiatorfolie
2. Met Tonzon op de achterkant van de radiator
3. Met ISO de Luxe op de borstwering
4. Met ISO de Luxe op de achterkant van de radiator

Van elke configuratie is een thermisch rekenmodel gemaakt.

De randvoorwaarden zijn:
Buitentemperatuur = -10 en 5.7°C.
De eerste is de wintertemperatuur. De laatste is de gemiddelde stookseizoentemperatuur (RD1).
Luchttemperatuur binnen = 21.5°C.

De voor de berekening benodigde convectieve warmteoverdrachtcoëfficiënten zijn herleid uit fabrikantgegevens op basis van de testopstelling volgens EN442. Dat resulteert in de betrekking voor de convectieve warmteoverdrachtcoëfficiënt h $\approx 3.13\ \Delta T^{0.39}$, die we in de thermische rekenmodellen hebben toegepast.

De berekeningsresultaten, dat zijn de warmtelek door de borstwering en de veranderingen (ΔQ) ten gevolge van de soort toegepaste folie, per m2 radiatoroppervlak staan in de volgende tabel, voor een stookseizoengemiddelde buitentemperatuur van 5.7°C.

	Steenwolisolatie in borstwering = 5cm			Steenwolisolatie in borstwering = 1cm			Geen isolatie Alleen multiplex paneel 1.8 cm dikte.		
	Warmtelek naar buitenlucht	ΔQ	ΔQ/Qzonder	Warmtelek naar buitenlucht	ΔQ	ΔQ/Qzonder	Warmtelek naar buitenlucht	ΔQ	ΔQ/Qzonder
Optie	(W/m2)	(W/m2)	(%)	(W/m2)	(W/m2)	(%)	(W/m2)	(W/m2)	(%)
Zonder folie	19			54			106		
Tonzon radiatorfolie	12	7.1	37	34	20	37	65	40	38
ISO de Luxe op borstwering	17	2.3	12	41	13	24	61	45	42
ISO de Luxe achterkant radiator	16	3.4	18	39	14	27	82	24	23
Onzekerheid	10%	8 - 14%							

Berekeningsresultaten. Invloed van foliesoort op warmtelek via borstwering.

De daarmee corresponderende besparingen op het aardgasverbruik zijn:

	Steenwol isolatiedikte 5 cm	Steenwol isolatiedikte 1 cm	Geen isolatie multiplex paneel 1.8 cm dikte
Optie	Euro/m2/jaar	Euro/m2/jaar	Euro/m2/jaar
Tonzon radiatorfolie	4.0	11	23
ISO de Luxe op borstwering	1.3	7.4	25
ISO de Luxe achterkant radiator	1.9	8.1	14
Onzekerheid	8 - 14%		

Besparing op stookkosten per m2 radiatoroppervlak per jaar.

De Tonzon folie, hoewel duurder, presteert beter dan de Iso de Luxe. De besparingen zijn, zoals verwacht, hoger naarmate de isolatie slechter is. Bij slecht geïsoleerde toepassingen kan je de ISO de Luxe folie beter op de wand/paneel/ruit aanbrengen. Hij doet het dan zelfs iets beter dan de Tonzonfolie.

Condensatie van waterdamp
Het is van belang, met het oog op risico voor condensatie van waterdamp, dat de temperatuur van de borstwering aan de binnenzijde niet te laag wordt. Dat gevaar bestaat vooral voor de slecht geïsoleerde borstwering bij lage buitentemperaturen, zoals we kunnen zien aan de berekeningsresultaten in de volgende tabel:

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

Temperatuur borstwering binnen	**Temperatuur buitenlucht = 5.7°C**		
			Geen isolatie
	Steenwol	Steenwol	multiplex
	isolatiedikte	isolatiedikte	paneel
	5 cm	1 cm	1.8 cm dikte
Optie	(°C)	(°C)	(°C)
Zonder folie	30	27	20
Tonzon radiatorfolie	21	19	15
ISO de Luxe op borstwering	27	22	14
ISO de Luxe achterkant radiator	26	21	17

Temperatuur borstwering binnen	**Temperatuur buitenlucht = -10°C**		
			Geen isolatie
	Steenwol	Steenwol	multiplex
	isolatiedikte	isolatiedikte	paneel
	5 cm	1 cm	1.8 cm dikte
Optie	(°C)	(°C)	(°C)
Zonder folie	37	31	19
Tonzon radiatorfolie	21	17	9
ISO de Luxe op borstwering	31	21	7
ISO de Luxe achterkant radiator	29	21	13

Tabel 4 5 Temperatuur borstwering binnen bij 5.7 en -10°C.
Hoe donkerder de kleur hoe groter de kans op condensatie

Daarom is in een dergelijk geval de radiatorfolie slechts een lapmiddel. Het aanpakken van de slechte isolatie bij de bron, namelijk het isoleren van de borstwering met minimaal 5cm isolatiedikte, is dan een betere oplossing/advies.

Radiatortemperatuur

De radiatorfolie belemmert de warmteafgifte van de radiator. Om de temperatuur van de kamer op het gewenste niveau van 21.5°C te houden zal de radiatorthermostaat ingrijpen en het cv-water-debiet aanpassen om de radiatortemperatuur, en daarmee de warmteafgifte, te verhogen. Dit gedrag zien we terug in de berekende radiatortemperaturen in onderstaande tabel. De temperatuurverhoging van de radiator kan voor Tonzon wel oplopen tot 6°C bij winterse omstandigheden (buitentemperatuur -10°C).

Temperatuur radiator	**Temperatuur buitenlucht = 5.7°C**		
			Geen isolatie
	Steenwol	Steenwol	multiplex
	isolatiedikte	isolatiedikte	paneel
	5 cm	1 cm	1.8 cm dikte
Optie	(°C)	(°C)	(°C)
Zonder folie	39.0	39.0	39.0
Tonzon radiatorfolie	42.4	42.5	41.8
ISO de Luxe op borstwering	39.1	39.0	38.6
ISO de Luxe achterkant radiator	41.7	41.9	41.5

Temperatuur radiator	**Temperatuur buitenlucht = -10°C**		
			Geen isolatie
	Steenwol	Steenwol	multiplex
	isolatiedikte	isolatiedikte	paneel
	5 cm	1 cm	1.8 cm dikte
Optie	(°C)	(°C)	(°C)
Zonder folie	51.2	51.2	51.2
Tonzon radiatorfolie	57.2	57.4	56.2
ISO de Luxe op borstwering	51.4	51.3	50.5
ISO de Luxe achterkant radiator	56.0	56.4	55.6

Tabel 1-1 Temperatuur van de radiator

De temperatuur van het cv-water moet dan wel toereikend hoog zijn om dit te effectueren. Merk op dat de temperatuur van het cv-water bepaald wordt door de centrale thermostaat (in de woonkamer) en uiteraard door de ingestelde watertemperatuur in de cv-ketel.

Toepassen van radiatorfolie op een radiator in de woonkamer met centrale thermostaat.
Passen we in dit geval een radiatorfolie toe dan heeft dat een temperatuurverhoging van het cv-water tot gevolg die tot extra warmteafgifte kan leiden van de overige radiatoren in de woning. Dat geldt voor radiatoren die niet zijn uitgerust met een radiatorthermostaat. De beoogde energiebesparing valt dan tegen.

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

Revision Record

issue	date	total pages	authorization	pages affected	brief description of change
1	16-8-2021	17		All	Nieuw document
2	22-9-2021	26		All	Nieuwe benadering voor het debiet ingewerkt. Annex A Kans op condensatie toegevoegd. Berekende temperaturen toegevoegd Annex B

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

Inhoud

1. Referenties 5
1. Inleiding 6
2. Radiatorfolies 6
2.1 Tonzon 6
2.2 ISO de Luxe 6
3. Aanpak 7
3.1 Studieobject 7
3.2 Beschouwde configuraties: 8
3.3 Randvoorwaarden 8
3.4 Aannames 8
4. Thermisch rekenmodel 9
4.1 Radiator capaciteit en karakteristieken 9
4.1.1 Warmteoverdracht van de radiator 9
4.2 Doorrekenen van de verschillende folie-opties 12
4.2.1 In het vervolg presenteren we de thermische-model-nodeverdelingen voor de opties. 12
4.2.2 Berekeningsresultaten 16
5. Samenvatting en conclusies 20
6. ANNEX A 22
6.1 Nadere beschouwing van het debiet van de opstijgende warme lucht langs de radiator volgens betrekking uit RD-7. 22
6.1.1 De numerieke oplossing van de gekoppelde differentiaalvergelijkingen (6-1) en (6-2). 23
6.1.2 Grenslaagdikten 25
7. ANNEX B 26

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

1. Referenties

RD 1	M. Coesel, Studie Bestaande Huizen Met Minimaal Aardgasverbruik RC-GAS-TN-001, issue 1 rev 6
RD 2	Thermal Control Material & Metallized films: Sheldahl; Part No Listing & General Spec.,REV.6-77.
RD 3	Thermal Control ervaringsdata.
RD 4	VDI Wärmeatlas hoofdstuk Fa2; Uitgave 10, Springer- Verlag, Berlin Heidelberg 2006
RD 5	Renzo MARCHESIa, et al; EXPERIMENTAL ANALYSIS OF RADIATORS' THERMAL OUTPUT FOR HEAT ACCOUNTING. THERMAL SCIENCE: Year 2019, Vol. 23, No. 2B, pp. 989-1002.
RD 6	VDI Wärmeatlas hoofdstuk Fb1; Uitgave 10, Springer- Verlag, Berlin Heidelberg 2006
RD 7	https://www.engineeringtoolbox.com/convective-air-flow-d_1006.html
RD 8	I.G. Currie. Fundamental mechanics of fluids. 2nd edition 1993
RD 9	S. Ostrach. An Analysis of laminar free-convection flow and heat transfer about a flat plate parallel to the direction of the generating body force. NACA Technical note 2635 february 1952.
RD 10	P.P Puttkammer. Boundary Layer over a Flat Plate. BSc Report University of Twente. Enschede June 2013.
RD 11	Latif M. Jiji. Heat Convection. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

1. Inleiding

Binnen de groep van de Alphense Energiecoaches is er discussie gaande over de prestaties van radiatorfolies en welk type eventueel aangekocht moet worden. Daarbij komt ook ter sprake wat de coaches moeten adviseren ten aanzien van het type folie afhankelijk van de omstandigheden.
Met dit rapport probeer ik, via berekeningen met behulp van thermische modellen, inzicht te verschaffen in de prestaties van de Tonzon en Iso de Lux folie.

2. Radiatorfolies

2.1 Tonzon

Gemeten foliedikte = 20 μm.
Aantal zijden gemetalliseerd: 2.
Te verwachten hemispherical emissiecoëfficiënt ε_H = 0.05, aan beide zijden (RD3).
Gemiddelde luchtspleet tussen folie en radiator = 2.5 mm.
Houd je de folie voor een lichtbron, dan zie je (Figuur 2-1) dat de metaallagen niet egaal zijn, maar in dit geval strepen en putjes vertonen. Dit hoeft in het infrarode spectrum geen doorslaggevend bezwaar te zijn.
Met behulp van een meting van de IR-emissiecoëfficiënt kan de IR kwaliteit van de folie gecontroleerd worden.

Figuur 2-1 Tonzonfolie in doorzicht voor LED lamp

2.2 ISO de Luxe

Opbouw: schuim, gemetalliseerde folie.
Gemeten dikte schuimlaag = 2 mm.
Materiaal schuim: polyethyleen (PE), vermoedelijk.
Warmtegeleidingscoefficient = 0.05 W/K/m, vermoedelijk.
Gemeten dikte gemetalliseerde folielaag = 20 μm.
Materiaal folie: Polyethyleentereftalaat (PET), vermoedelijk.

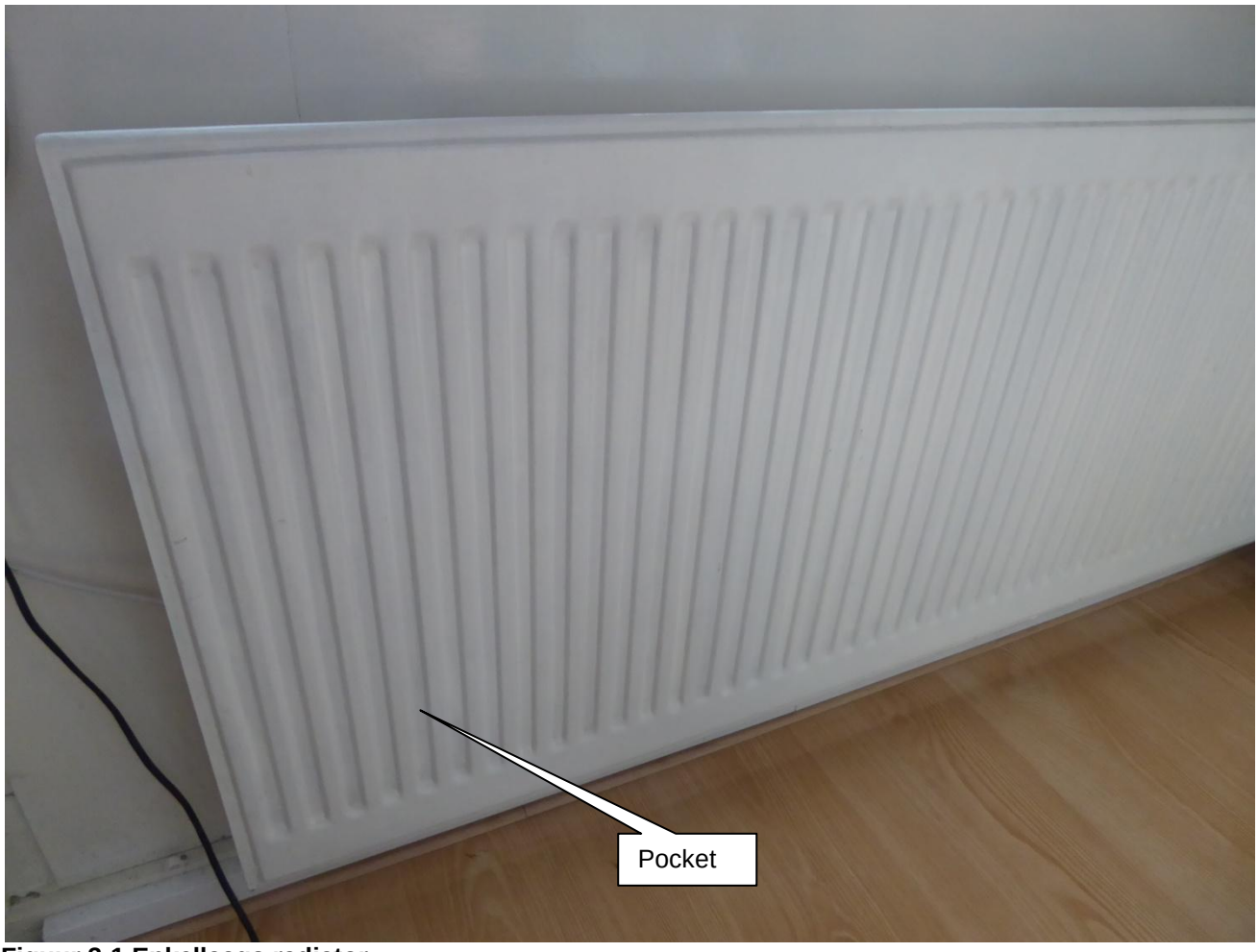
© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

Aantal zijden gemetalliseerd: 1, aan de schuimlaagzijde.
Te verwachten hemispherical emissiecoëfficiënt ε_H = 0.48 (PET buitenzijde) (RD2).
Te verwachten hemispherical emissiecoëfficiënt ε_H = 0.8, schuimzijde (typische waarde) voor kunststof.
Gemiddelde luchtspleet tussen folie en radiator = 3 mm.

3. Aanpak

3.1 Studieobject

Studieobject is de radiator in de werkkamer, die gemonteerd is op een borstwering, zie Figuur 3-1, met de karakteristieken volgens Tabel 3-1.



Figuur 3-1 Enkellaags radiator

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

Type: 1 laags zonder vinnen					
Afmetingen:	Lengte		2.3	m	
	Hoogte		0.5	m	
	Pocket lengte		0.39	m	
	Pocket breedte		0.01	m	
	Pocket diepte		0.004	m	
	Hartafstand pockets		0.025	m	
	Aantal pockets =		92		
	Extra oppervlak door pockets =			0.2944	m2 per zijde
	Eenzijdig oppervlak=		1.15	m2 exclusief pockets	
	Eenzijdig oppervlak=		1.4444	m2 inclusief pockets	
	Afstand tot borstwering =		0.07	m	
	Emissiecoefficient =		0.8		

Tabel 3-1 Radiatorgegevens

De radiator is geplaatst tegen een borstwering bestaande uit:

- Oude radiatorfolie met verkruimelde schuimlaag (>20 jaar oud), gedegradeerd, telt niet mee in de berekening.
- Multiplex 8mm dik op houten kozijnraamwerk.
- Kozijnraamwerk opgevuld met glaswol isolatie, dikte ~50mm.
- Verticale houten schrootjes (kierdicht), dikte 16mm, aan de buitenzijde.
- Oriëntatie van de gevel: ~op het noorden.

3.2 Beschouwde configuraties:

1. Zonder radiatorfolie
2. Met Tonzon op de achterkant van de radiator
3. Met ISO de Luxe op de borstwering
4. Met ISO de Luxe op de achterkant van de radiator

3.3 Randvoorwaarden

Buitentemperatuur = -10, en 5.7°C.
De eerste is de wintertemperatuur.
De laatste is de gemiddelde stookseizoentemperatuur (RD1).
Luchttemperatuur binnen = 21.5°C.
Thermostaat op radiator.

3.4 Aannames

Randeffecten laten we buiten beschouwing als eerste benadering.
D.w.z. de afmetingen (oppervlak) van de borstwering = oppervlak van de radiator.
We gebruiken het uitgebreide rekenmodel (RD 1) om de overige thermische belastingcomponenten van de radiator (vooral die van de werkkamer) in de berekening te verwerken.

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

4. Thermisch rekenmodel

4.1 Radiator capaciteit en karakteristieken

De methode voor meting van de radiatorcapaciteit, zoals die door fabrikanten moeten worden uitgevoerd, vinden we in de norm EN 442 Helaas is die niet gratis verkrijgbaar. Echter een korte beschrijving van deze meetmethode treffen we aan in RD 5.

De standaard methode EN 442:

> De te meten radiator is opgesteld in een gesloten en niet-geventileerde testkamer met vijf watergekoelde wanden en één niet gekoelde wand. De radiator die wordt getest is gemonteerd aan de niet-gekoelde wand. Alle wanden zijn geïsoleerd, zodat op deze manier de thermische omstandigheden onafhankelijk zijn van de externe omgeving.
> De watergekoelde wanden staan op een vaste temperatuur ingesteld (20°C) en de radiator inlaat temperatuur en debiet staan op een zodanige waarde dat de gemiddelde temperatuur van de radiator inlaat en uitlaat gelijk is aan 70°C.
> Het temperatuurverschil tussen radiator en omgeving is dan 50K. De door de radiator afgegeven warmte wordt gemeten. Deze waarden vinden we terug in de brochures van de radiatorfabrikanten.

Uiteraard zijn andere temperatuurniveaus en verschillen op deze manier ook te bemeten.
De radiatorcapaciteit voor afwijkende temperatuurverschillen kunnen we afschatten doormiddel van de volgende betrekking:

$$Q = Q50*(dT/50)^n. \quad (4\text{-}1)$$

Q50 = gemeten capaciteit bij een temperatuurverschil van 50K
dT = temperatuur verschil afwijkend van 50K
n = exponent =~1.3 voor onze vlakke radiator (RD 6)

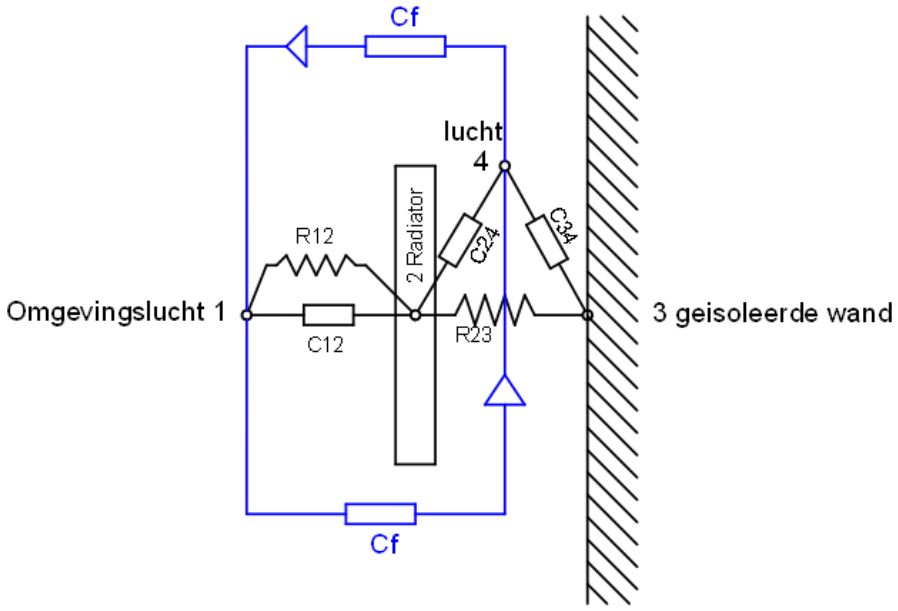
4.1.1 Warmteoverdracht van de radiator

De warmteoverdracht van de radiator aan zijn omgeving bestaat uit straling en convectie.
Die voor straling is eenvoudig in de berekening op te nemen. Die voor convectie is minder rechttoe rechtaan.
In het volgende hoofdstuk beschrijven we de toegepaste methode.

4.1.1.1 Herleiding convectieve warmteoverdrachtcoëfficiënten uit fabrikantgegevens

Met behulp van RD 4 is getracht om de warmteoverdrachtcoëfficiënten aan de voor- en achterkant van de radiator uit te rekenen. Dit leidde niet tot de gewenste correlatie met de fabrikantgegevens. Daarom gaan we de volgende alternatieve methode toepassen, die uitgaat van een thermisch model van de testopstelling volgens EN442, zie Figuur 4-1. We volgen de rekenmethode zoals besproken in RD1, hoofdstuk 9.1.
De warmteoverdracht door straling is weergegeven door de koppelingen R12 en R23. De convectieve warmteoverdracht door de koppelingen C12, C24 en C34.
Het warmtetransport door de verwarmde opstijgende lucht die tussen de radiator en wand stroomt beschrijven we met de flowconductor Cf (ook wel de warmtecapaciteitstroom genoemd).
De conducties C12, C24 en C34, en de flowconductor Cf zijn onbekend en gaan we, met dit model, iteratief herleiden uit de fabrikantgegevens (T1, T2 en radiatorvermogen).

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.



Figuur 4-1 Thermisch model radiator; Testcondities EN442

Voor het vervolg hebben we, met behulp van het grote model van het huis (RD-1), de radiatortemperaturen en vermogens bepaald voor buitenluchttemperaturen van -10, 0 en 5.7°C en voor de startsituatie met 5cm steenwol-isolatie in de borstwering. De kamertemperatuur is steeds 21.5°C.

T buitenlucht	Tradiator	Radiatorvermogen Qrad fabrikant volgens (4-1)
(°C)	(°C)	(W)
-10	51.2	714
0	43.9	496
5.7	39.0	359

Tabel 4-1 Tradiator berekend met het grote model van het huis en Qrad berekend met (4-1)

Merk op dat het radiatorvermogen opgegeven door de fabrikant gelijk is aan 1408W bij T1=20 en T2=70°C.

Vervolgens zijn, voor deze drie buitenluchttemperatuurniveaus, met het rekenmodel van Figuur 4-1 de onbekende conducties C12, C24, C34 en de flowconductor Cf bepaald onder de aanname dat de warmteoverdrachtcoëfficiënt h voor elk vlak dezelfde waarde heeft.

C12 = h A2
C24 = h.A2
C34 = h A3
A2 = warmte-uitwisselend oppervlak van de voorkant/achterkant van de radiator (inclusief pockets).
A3 = warmte-uitwisselende oppervlak van de geïsoleerde wand = radiatoroppervlak exclusief pockets

Cf = flowconductor = $\phi_{vtot}\ \rho\ Cp$ (W/K)
ϕ_{vtot} = debiet (m^3/s) opstijgende verwarmde lucht tussen de radiator en de wand is volgens ANNEX A:

$\phi_{vtot} = 2\ \phi_{v1} + \phi_{v3}$.

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

$\phi_{v1} = L * 0.0067 (g\ ABS(T2 – T1) / T1.H^3)^{1/4}$ (4-2)
Dit is de bijdrage aan het debiet van één zijde van de radiator, en:

$\phi_{v3} = L * 0.0067 (g\ ABS(T3 – T1) / T1.H^3)^{1/4}$ (4-3)
is de bijdrage aan het debiet van de geïsoleerde wand.

L = lengte van de radiator (m).
g = 9.81 m/s^2 = versnelling van de zwaartekracht
H = hoogte van de radiator (m)
ρ = dichtheid van lucht (kg/m^3)
Cp = warmtecapaciteit van lucht bij constante druk (J/kg/K)
ABS() = absolute waarde (Excel).

Opmerking

Indien T3 < T1 dan is er sprake van koude lucht die "naar beneden zakt" zodat $\phi_{v3} < 0$. Dit treedt op bij het doorrekenen van de verschillende opties waarbij we (4-2) en (4-3) gaan toepassen in hoofdstuk 4.2.

De emissiecoëfficiënten van de radiator en de geïsoleerde wand zijn 0.8. De overige wanden van de testkamer, zijn op zodanige afstand verondersteld dat van een zwarte omgeving van de radiator mag worden uitgegaan (emissiecoëfficiënt =1).

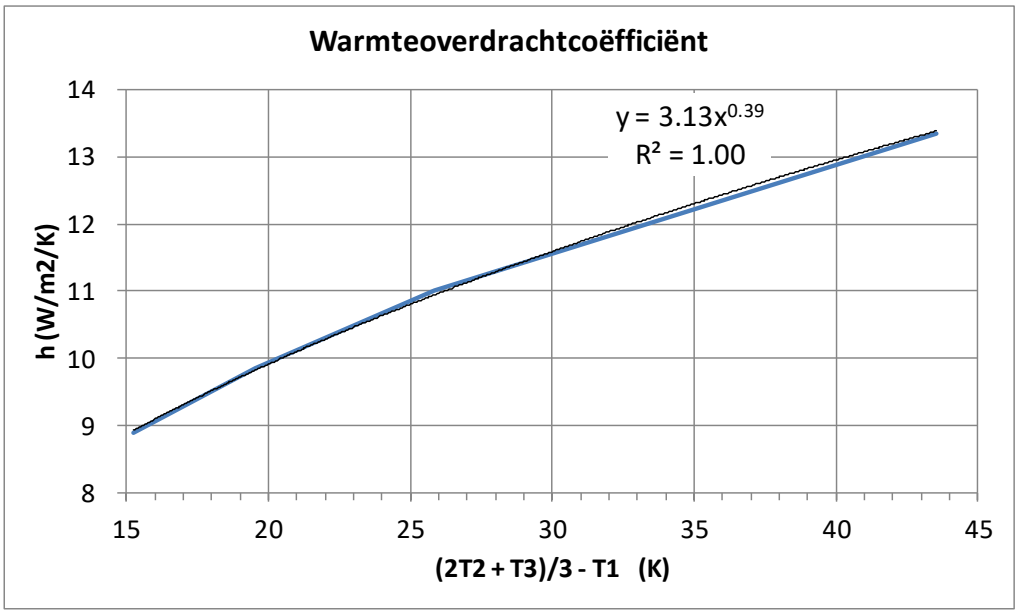
De temperaturen T1 en T2 zijn vaste randvoorwaarden.
We starten de berekening door het kiezen een waarde van de warmteoverdrachtcoëfficiënt h; daaruit volgt een waarde van Cf en het radiatorvermogen. Is dit ǂ Qrad_fabrikant, dan kiezen we een andere waarde van h. We herhalen dit net zolang tot het radiatorvermogen zo goed als gelijk is aan Qrad_fabrikant.
We komen tot de volgende bevindingen, zie Tabel 4-2.

Tbuitenlucht	Tlucht kamer	Tradiator	Qradiator	h	Cf	T3 wand	T4 lucht
(°C)	(°C)	(°C)	(W)	(W/m^2/K)	(W/K)	(°C)	(°C)
n.v.t.	20	70	1408	13.3	35.7	50.6	40.4
-10	21.5	51.2	714	11.0	31.3	39.7	33.2
0	21.5	43.9	496	9.9	29.2	35.3	30.2
5.7	21.5	39.0	359	8.9	27.4	32.3	28.1

Tabel 4-2 Resultaten modelberekeningen testcondities EN442

Vervolgens plotten we h als functie van het temperatuurverschil (2T2+T3)/3 – T1), zie Figuur 4-2.
Omdat de radiator 2-zijdig is wegen we de radiatortemperatuur met een factor 2.

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.



Figuur 4-2

Het blijkt dat h goed te benaderen is door een trendlijn met vergelijking:
h ≈ 3.13 {ABS(Tp – T1)}^0.39 (4-4)

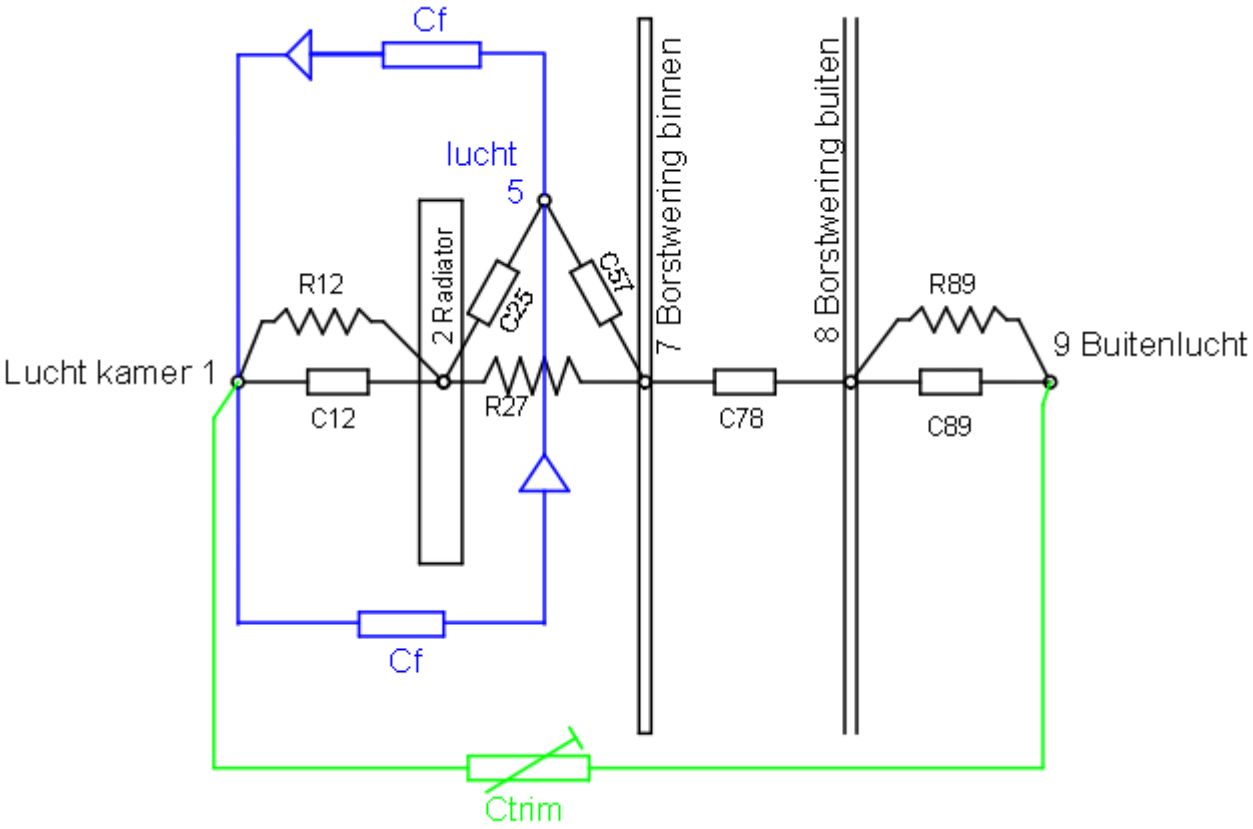
Tp = temperatuur van het onderhavige radiatoroppervlak, folie of borstwering.

Deze betrekking gaan we in het vervolg gebruiken om de convectieve warmteoverdracht van de radiator/folie/borstwering te benaderen.

4.2 Doorrekenen van de verschillende folie-opties

4.2.1 In het vervolg presenteren we de thermische-model-nodeverdelingen voor de opties.

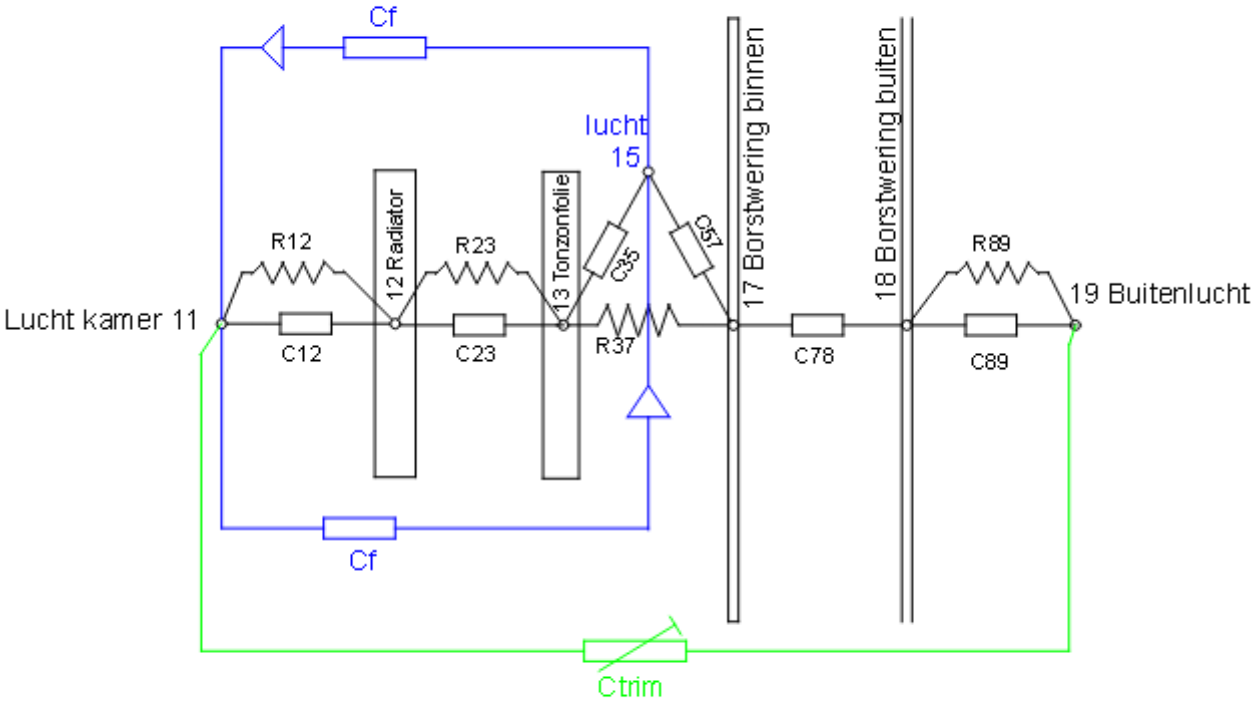
© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.



Figuur 4-3 Nodeverdeling beginconfiguratie zonder folie

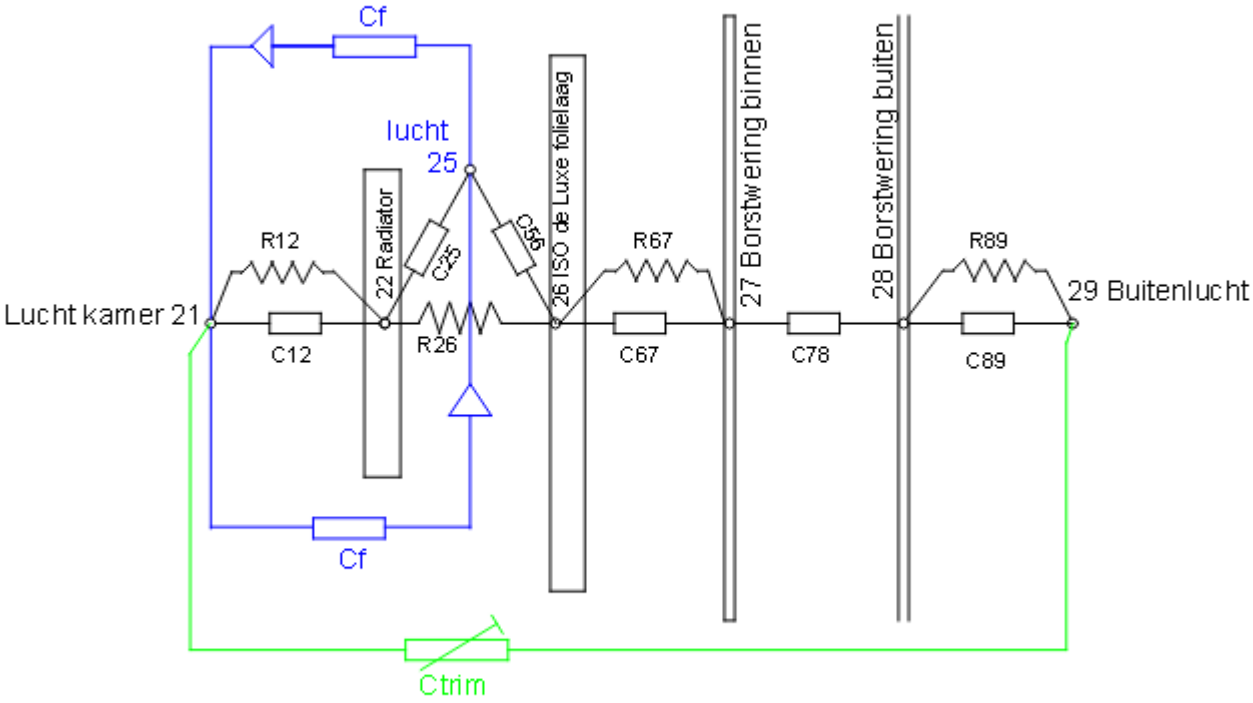
De trimconductie Ctrim representeert de warmtebelasting via de overige delen van de kamer, zoals ramen, muren en delen van de borstwering die niet met de radiator corresponderen.
Ctrim berekenen we iteratief met het thermisch model zodanig dat T1 (lucht in de kamer) = 21.5°C en is vervolgens een vaste waarde voor de folieopties.
T1 is dus geen z.g. boundary temperatuur in het model.
Op deze manier bootsen we de werking na van de radiatorthermostaat.
Deze procedure volgen we voor elke folieoptie.

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.



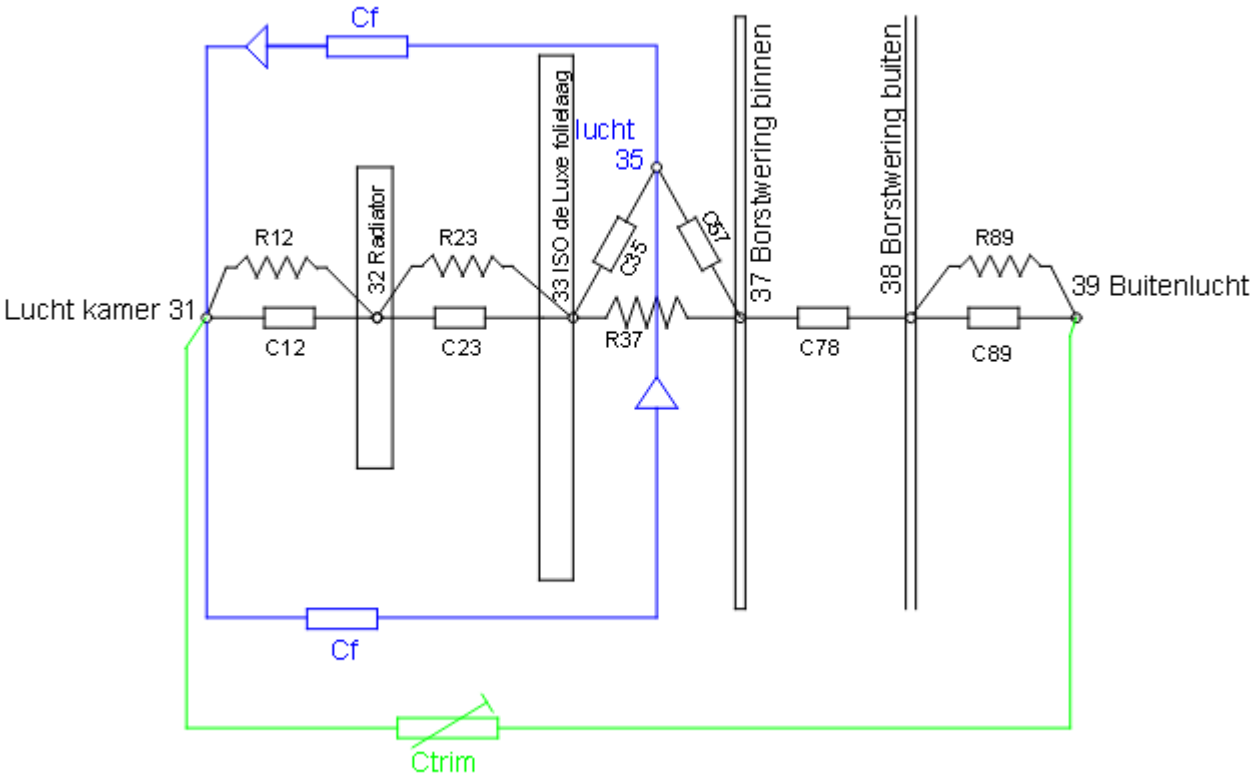
Figuur 4-4 Nodeverdeling voor Tonzon radiatorfolie

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.



Figuur 4-5 Nodeverdeling ISO de Luxe folie op borstwering

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.



Figuur 4-6 Nodeverdeling ISO de Lux folie op achterzijde radiator

4.2.2 Berekeningsresultaten

4.2.2.1 Warmtelek

De berekeningsresultaten, dat zijn de warmtelek door de borstwering en de veranderingen ten gevolge van de soort toegepaste folie, per m^2 radiatoroppervlak staan in Tabel 4-3, voor een stookseizoengemiddelde buitentemperatuur van 5.7°C.

	Steenwolisolatie in borstwering = 5cm				Steenwolisolatie in borstwering = 1cm				Geen isolatie Alleen multiplex paneel 1.8 cm dikte.		
Optie	Warmtelek naar buitenlucht (W/m2)	ΔQ (W/m2)	ΔQ/Qzonder (%)		Warmtelek naar buitenlucht (W/m2)	ΔQ (W/m2)	ΔQ/Qzonder (%)		Warmtelek naar buitenlucht (W/m2)	ΔQ (W/m2)	ΔQ/Qzonder (%)
Zonder folie	19	0	0.0		54	0.0	0.0		106	0.0	0.0
Tonzon radiatorfolie	12	7.07	37		34	20	37		65	40	38
ISO de Luxe op borstwering	17	2	12		41	13	24		61	45	42
ISO de Luxe achterkant radiator	16	3	18		39	14	27		82	24	23
Onzekerheid	10%	8 - 14%									

Tabel 4-3 Berekeningsresultaten. Invloed van foliesoort op warmtelek via borstwering.
De onzekerheden baseren we op de onzekerheidsanalyse van hoofdstuk 4.2.2.4.

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

De daarmee corresponderende besparingen op het aardgasverbruik uitgedrukt in stookkosten staan in Tabel 4-4

Verbrandingswaarde aardgas =	35.17	MJ/m3 bovenwaarde	
Rendement CV ketel	95	%	
Tarief (2020)	1.02	Euro/m3	
Duur stookseizoen	5088	uur	

			Geen isolatie
	Steenwol	Steenwol	multiplex
	isolatiedikte	isolatiedikte	paneel
	5 cm	1 cm	1.8 cm dikte
Optie	Euro/m2/jaar	Euro/m2/jaar	Euro/m2/jaar
Tonzon radiatorfolie	4.0	11	23
ISO de Luxe op borstwering	1.3	7.4	25
ISO de Luxe achterkant radiator	1.9	8.1	14
Onzekerheid	8 - 14%		

Tabel 4-4 Besparing op stookkosten per m^2 radiatoroppervlak per jaar.

De Tonzon folie, hoewel duurder, presteert beter dan de Iso de Luxe. De besparingen zijn, zoals verwacht, hoger naarmate de isolatie slechter is. Bij slecht geïsoleerde toepassingen kan je de ISO de Luxe folie beter op de wand/paneel/ruit aanbrengen. Hij doet het dan zelfs iets beter dan de Tonzonfolie. We dienen echter ook te letten op eventuele problemen met condensatie van waterdamp op delen die kouder zijn dan de luchttemperatuur in de kamer (21.5°C). Dat is onderwerp van het volgende hoofdstuk.

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

4.2.2.2 Temperatuur van de borstwering binnen

Het is van belang, met het oog op risico voor condensatie van waterdamp, dat de temperatuur van de borstwering aan de binnenzijde niet te laag wordt. Dat gevaar bestaat vooral voor de slecht geïsoleerde borstwering bij lage buitentemperaturen, zoals we kunnen zien aan de berekeningsresultaten in Tabel 4-5. Daarom is in een dergelijk geval de radiatorfolie slechts een lapmiddel. Het aanpakken van de slechte isolatie bij de bron, namelijk het isoleren van de borstwering met minimaal 5cm isolatiedikte, is dan een betere oplossing/advies.

Temperatuur borstwering binnen	**Temperatuur buitenlucht = 5.7°C**		
			Geen isolatie
	Steenwol	Steenwol	multiplex
	isolatiedikte	isolatiedikte	paneel
	5 cm	1 cm	1.8 cm dikte
Optie	(°C)	(°C)	(°C)
Zonder folie	30	27	20
Tonzon radiatorfolie	21	19	15
ISO de Luxe op borstwering	27	22	14
ISO de Luxe achterkant radiator	26	21	17

Temperatuur borstwering binnen	**Temperatuur buitenlucht = -10°C**		
			Geen isolatie
	Steenwol	Steenwol	multiplex
	isolatiedikte	isolatiedikte	paneel
	5 cm	1 cm	1.8 cm dikte
Optie	(°C)	(°C)	(°C)
Zonder folie	37	31	19
Tonzon radiatorfolie	21	17	9
ISO de Luxe op borstwering	31	21	7
ISO de Luxe achterkant radiator	29	21	13

Tabel 4-5 **Temperatuur borstwering binnen bij 5.7 en -10°C.**
Hoe donkerder de kleur hoe groter de kans op condensatie

4.2.2.3 Temperatuur van de radiator

De radiatorfolie belemmert de warmteafgifte van de radiator Om de temperatuur van de kamer op het gewenste niveau van 21.5°C te houden zal de radiatorthermostaat ingrijpen en het cv-water-debiet aanpassen om de radiatortemperatuur, en daarmee de warmteafgifte, te verhogen.
Dit gedrag zien we terug in de berekende radiatortemperaturen in Tabel 4-6. De temperatuurverhoging van de radiator kan voor Tonzon wel oplopen tot 6°C bij winterse omstandigheden (buitentemperatuur -10°C).

ISO de Luxe aangebracht op de borstwering vormt hierop een uitzondering voor de configuratie "multiplex 1.8cm dikte". Omdat in dit geval de ISO de Luxe folie een kleine bijdrage (+2mm schuimlaag) levert aan de isolatie van de borstwering.

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

Temperatuur radiator	**Temperatuur buitenlucht = 5.7°C**		
			Geen isolatie
	Steenwol	Steenwol	multiplex
	isolatiedikte	isolatiedikte	paneel
	5 cm	1 cm	1.8 cm dikte
Optie	(°C)	(°C)	(°C)
Zonder folie	39.0	39.0	39.0
Tonzon radiatorfolie	42.4	42.5	41.8
ISO de Luxe op borstwering	39.1	39.0	38.6
ISO de Luxe achterkant radiator	41.7	41.9	41.5

Temperatuur radiator	**Temperatuur buitenlucht = -10°C**		
			Geen isolatie
	Steenwol	Steenwol	multiplex
	isolatiedikte	isolatiedikte	paneel
	5 cm	1 cm	1.8 cm dikte
Optie	(°C)	(°C)	(°C)
Zonder folie	51.2	51.2	51.2
Tonzon radiatorfolie	57.2	57.4	56.2
ISO de Luxe op borstwering	51.4	51.3	50.5
ISO de Luxe achterkant radiator	56.0	56.4	55.6

Tabel 4-6 Temperatuur van de radiator

De temperatuur van het cv-water moet dan wel toereikend hoog zijn om dit te effectueren. Merk op dat de temperatuur van het cv-water bepaald wordt door de centrale thermostaat (in de woonkamer) en uiteraard door de ingestelde watertemperatuur in de cv-ketel.

Toepassen van radiatorfolie op een radiator in de woonkamer met centrale thermostaat.
Passen we in dit geval een radiatorfolie toe dan heeft dat een temperatuurverhoging van het cv-water tot gevolg die tot extra warmteafgifte kan leiden van de overige radiatoren in de woning. Dat geldt voor radiatoren die niet zijn uitgerust met een radiatorthermostaat. De beoogde energiebesparing valt dan tegen.

4.2.2.4 Onzekerheidsanalyse

Deze voeren we uit door, in het rekenmodel, van een aantal belangrijke modelparameters de waarde te veranderen in de grootte orde van hun onzekerheid en vervolgens het berekeningsresultaat (Q en dQ) te vergelijken met hun nominale waarde. Zie Tabel 4-7.
De resulterende onzekerheden verwerkten we in Tabel 4-3 en Tabel 4-4.

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

Isolatiedikte in borstwering 5cm		Delta's (W)	---------->						
		Q	Q	Q	Q	dQ	dQ	dQ	dQ
	Variatie			ISO op	ISO achter			ISO op	ISO achter
Omschrijving		Zonder folie	Tonzon	borstwering	radiator	Zonder folie	Tonzon	borstwering	radiator
Flowconductors	Cf x 0.75	-0.58	-0.05	-0.60	-0.50	0.00	-0.53	0.02	-0.08
Warmteoverdrachtcoëfficiënt	h x 0.75	0.07	0.17	0.22	-0.09	0.00	-0.09	-0.15	0.16
Emissiecoëfficiënt radiator	x 0.875	0.31	0.00	0.18	0.07	0.00	0.31	0.14	0.25
Emissiecoëfficiënt Tonzon folie	x 1.4	0.00	-0.06	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00
Emissiecoëfficiënt ISO folie	x 1.1	0.00	0.00	-0.22	-0.15	0.00	0.00	0.22	0.15
Luchtspleet beide folies	+ 1mm	0.00	0.06	0.23	0.23	0.00	-0.06	-0.23	-0.23
Modelleeronzekerheid	+ 10%	2.21	1.40	1.95	1.82				
Root Sum Square (W)		2.3	1.4	2.1	1.9		0.6	0.4	0.4
Nominale waarden (W)		22.1	14.0	19.5	18.2		8.1	2.6	3.9
Onzekerheid (%)		**10**	**10**	**11**	**10**		**8**	**14**	**11**

Tabel 4-7 **Resultaten onzekerheidsanalyse.** Isolatiedikte steenwol in borstwering = 5 cm.

4.2.2.5 Berekende temperaturen

Deze zijn, van alle nodes en opties, te vinden in hoofdstuk 7 ANNEX-B.

5. Samenvatting en conclusies

Met dit rapport probeer ik, via berekeningen met behulp van thermische modellen, inzicht te verschaffen in de prestaties van de Tonzon en Iso de Lux radiatorfolie.

Studieobject is de radiator in de werkkamer, die gemonteerd is op een borstwering.
Beschouwde configuraties zijn:
1. Zonder radiatorfolie
2. Met Tonzon op de achterkant van de radiator
3. Met ISO de Luxe op de borstwering
4. Met ISO de Luxe op de achterkant van de radiator

Van elke configuratie is een thermisch rekenmodel gemaakt.

De randvoorwaarden zijn:
Buitentemperatuur = -10 en 5.7°C.
De eerste is de wintertemperatuur.
De laatste is de gemiddelde stookseizoentemperatuur (RD1).
Luchttemperatuur binnen = 21.5°C.
Thermostaat op radiator.

De convectieve warmteoverdrachtcoëfficiënten zijn herleid uit fabrikantgegevens op basis van de testopstelling volgens EN442.
Dat resulteert in de betrekking voor de convectieve warmteoverdrachtcoëfficiënt h $\approx 3.13\ \Delta T\text{^}0.39$, die we in de thermische rekenmodellen hebben toegepast.

De berekeningsresultaten, dat zijn de warmtelek door de borstwering en de veranderingen ten gevolge van de soort toegepaste folie, per m^2 radiatoroppervlak staan in Tabel 4-3, voor een stookseizoengemiddelde buitentemperatuur van 5.7°C.

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

	Steenwolisolatie in borstwering = 5cm				Steenwolisolatie in borstwering = 1cm				Geen isolatie Alleen multiplex paneel 1.8 cm dikte.		
	Warmtelek naar buitenlucht	ΔQ	ΔQ/Qzonder		Warmtelek naar buitenlucht	ΔQ	ΔQ/Qzonder		Warmtelek naar buitenlucht	ΔQ	ΔQ/Qzonder
Optie	(W/m2)	(W/m2)	(%)		(W/m2)	(W/m2)	(%)		(W/m2)	(W/m2)	(%)
Zonder folie	19	0	0.0		54	0.0	0.0		106	0.0	0.0
Tonzon radiatorfolie	12	7.07	37		34	20	37		65	40	38
ISO de Luxe op borstwering	17	2	12		41	13	24		61	45	42
ISO de Luxe achterkant radiator	16	3	18		39	14	27		82	24	23
Onzekerheid	10%	8 - 14%									

Tabel 4-3 Berekeningsresultaten. Invloed van foliesoort op warmtelek via borstwering.

De daarmee corresponderende besparingen op het aardgasverbruik staan in Tabel 4-4

			Geen isolatie
	Steenwol	Steenwol	multiplex
	isolatiedikte	isolatiedikte	paneel
	5 cm	1 cm	1.8 cm dikte
Optie	Euro/m2/jaar	Euro/m2/jaar	Euro/m2/jaar
Tonzon radiatorfolie	4.0	11	23
ISO de Luxe op borstwering	1.3	7.4	25
ISO de Luxe achterkant radiator	1.9	8.1	14
Onzekerheid	8 - 14%		

Tabel 4-4 Besparing op stookkosten per m2 radiatoroppervlak per jaar.

De Tonzon folie, hoewel duurder, presteert beter dan de Iso de Luxe. De besparingen zijn, zoals verwacht, hoger naarmate de isolatie slechter is. Bij slecht geïsoleerde toepassingen kan je de ISO de Luxe folie beter op de wand/paneel/ruit aanbrengen dan op de achterkant van de radiator. Hij doet het dan zelfs iets beter dan de Tonzonfolie. Aanbrengen met magneetjes is dan echter niet eenvoudig te realiseren.

Kans op condensatie van waterdamp op de borstwering binnenzijde.
Het is van belang, met het oog op risico voor condensatie van waterdamp, dat de temperatuur van de borstwering aan de binnenzijde niet te laag wordt. Dat gevaar bestaat vooral voor de slecht geïsoleerde borstwering bij lage buitentemperaturen, zoals we kunnen zien aan de berekeningsresultaten in Tabel 4-5. Daarom is in zo'n geval de radiatorfolie slechts een lapmiddel. Het aanpakken van de slechte isolatie bij de bron, namelijk het isoleren van de borstwering met minimaal 5cm isolatiedikte, is dan een betere oplossing/advies.

Temperatuur van de radiator
De radiatorfolie belemmert de warmteafgifte van de radiator Om de temperatuur van de kamer op het gewenste niveau van 21.5°C te houden zal de radiatorthermostaat ingrijpen en het cv-water-debiet aanpassen om de radiatortemperatuur, en daarmee de warmteafgifte, te verhogen.
Dit gedrag zien we terug in de berekende radiatortemperaturen in Tabel 4-6. De temperatuurverhoging van de radiator kan voor Tonzon wel oplopen tot 6°C bij winterse omstandigheden (buitentemperatuur -10°C).

De temperatuur van het cv-water moet dan wel toereikend hoog zijn om dit te effectueren. Merk op dat de temperatuur van het cv-water bepaald wordt door de centrale thermostaat (in de woonkamer) en uiteraard door de ingestelde watertemperatuur in de cv-ketel.

Toepassen van radiatorfolie op een radiator in de woonkamer met centrale thermostaat.
Passen we in dit geval een radiatorfolie toe dan heeft dat een temperatuurverhoging van het cv-water tot gevolg die tot extra warmteafgifte kan leiden van de overige radiatoren in de woning. Dat geldt voor radiatoren die niet zijn uitgerust met een radiatorthermostaat. De beoogde energiebesparing valt dan tegen.

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

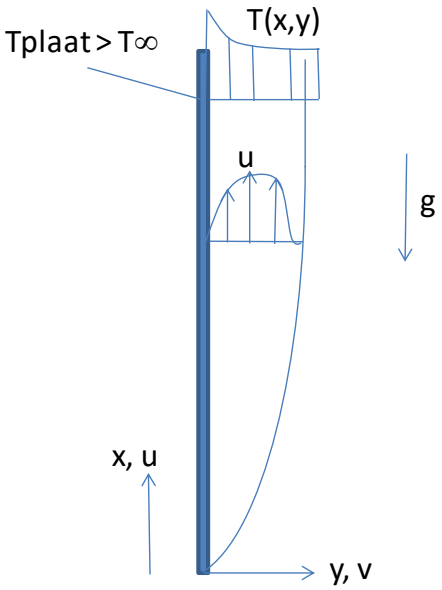
6. ANNEX A

6.1 Nadere beschouwing van het debiet van de opstijgende warme lucht langs de radiator volgens betrekking uit RD-7.

De referentie van deze betrekking (ϕ_v = 0.019 L [g (T23 – T1)/(273.15+T1)]^0.4 H^1.2) is de internet site: https://www.engineeringtoolbox.com/convective-air-flow-d_1006.html.

Het probleem met deze site is het ontbreken van de (elke) informatiebron van de geboden formules. Een verzoek om deze bron vrij te geven is tot nu toe met stilzwijgen “beantwoord”.
De betreffende formule ben ik nog niet in de literatuur tegengekomen.
De exponenten 0.4 en 1.2 komen niet bekend voor. Je verwacht respectievelijk ¼ en ¾ of eventueel 1/5 en 3/5.
Daarom besluit ik om dieper in te gaan op deze materie: de vrije convectie optredende bij een verwarmde (of gekoelde) verticale plaat.
Het doel is om de in diverse literatuurbronnen beschreven stroomfunctie te verifiëren en zelf (nog eens) te bepalen.
Daar is veel over gepubliceerd, wij gaan uit van RD-8, RD-9 en RD-11. Hierin staat de afleiding, die we hier niet herhalen, van de differentiaalvergelijking voor een grenslaag bij een warme verticale wand, waarbij men, als benadering, de overeenkomst (similarity) gebruikt tussen de z.g. temperatuur- en snelheidsgrenslaag:

De beschouwde configuratie staat in Figuur 6-1:



Figuur 6-1 Grenslaagopbouw rond een verwarmde verticale plaat.

De resulterende differentiaalvergelijkingen zijn (RD-11):

$$f''' + 3f\,f'' - 2(f')^2 + T = 0 \qquad (6\text{-}1)$$

$$T'' + 3\,Pr\,f\,T = 0 \qquad (6\text{-}2)$$

Met randvoorwaarden (6-3):
$\eta = 0$: $f = f' = 0$; $T = 1$.
$\eta \rightarrow \infty$: $f' \rightarrow 0$; $T \rightarrow 0$.

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

f en T zijn dimensieloze functies van de similarity variabele η.

$\eta \equiv y/x\ (Gr/4)^{1/4}$ (6-4) en de stroomfunctie $\Psi(x,y) \equiv f(\eta)\ 4\ \nu\ (Gr/4)^{1/4}$ (6-5)

$T = (T(x,y) - T\infty)/(Tplaat - T\infty)$

Pr = kental van Prandtl =Cp μ/k

$T\infty$ = temperatuur van de omgevingslucht ver van de plaat.
T(x,y) = temperatuur van de lucht in de grenslaag.

μ = dynamische viscositeit
Cp = soortelijke warmte bij contante druk
k = warmtegeleidingcoëfficiënt

De snelheid u in de grenslaag vinden we door differentiëren van de stroomfunctie:

$u = \partial\Psi/\partial y = 2\ \nu\ /\ x\ Gr^{1/2}\ f'(\eta)$

Gr is het kental van Grashof = $g\ ((Tplaat - T\infty)\ x^3\ /T\infty\ /\nu^2$.
ν = kinematische viscositeit

Om het debiet van de opstijgende warme lucht af te schatten moeten we de stroomfunctie berekenen volgens (6-5) voor $\eta = y/x\ (Gr/4)^{1/4}$, waarbij x = hoogte van de radiator (0.5m) en voor het gebied buiten de snelheidsgrenslaag, dat is voor y > grenslaagdikte. Zoals later uit de berekeningsresultaten zal blijken, moet dan η>5.

6.1.1 De numerieke oplossing van de gekoppelde differentiaalvergelijkingen (6-1) en (6-2).

In appendix B van RD-9 beschrijft Lynn U. Albers een methode gebaseerd op Lagrange Interpolatie polynomen. Die berekeningen zijn, aldus Albers, uitgevoerd op een *"IBM Card Programmed Electronic Calculator" A deck of punched cards 2 inches thick. Calculation time 3 minutes per run!* Voor die tijd (1950) was dat top of the bill!.
Wij volgen hier een eenvoudiger methode die ontleend is aan RD-10. Dank zij de huidige snelle processors en ruime geheugencapaciteit kunnen we dat eenvoudigweg in Excel programmeren.

Het rekenschema ziet er als volgt uit:
Eerst de 2 differentiaalvergelijkingen opdelen in 5 eerste orde differentiaalvergelijkingen:

$df/d\eta = f'$ met $f(0)=0$

$df'/d\eta = f''$ met $f'(0) = 0$ en $f'(\infty)=0$

$df''/d\eta = f''' = 2(f')^2\ 3\ f\ f'' - T$ met $f''(0)=$ iteratief te bepalen (shooting methode).

$dT/d\eta = T'$ met $T90) = 1$ en $T(\infty) = 0$

$dT'/d\eta = T'' = -3Pr\ f\ T'$ met $T'(0) =$ iteratief te bepalen (shooting methode).

Volgens (Euler's forward methode) voeren we het volgende in in Excel:

$fi+1 = fi + fí\ \Delta\eta$

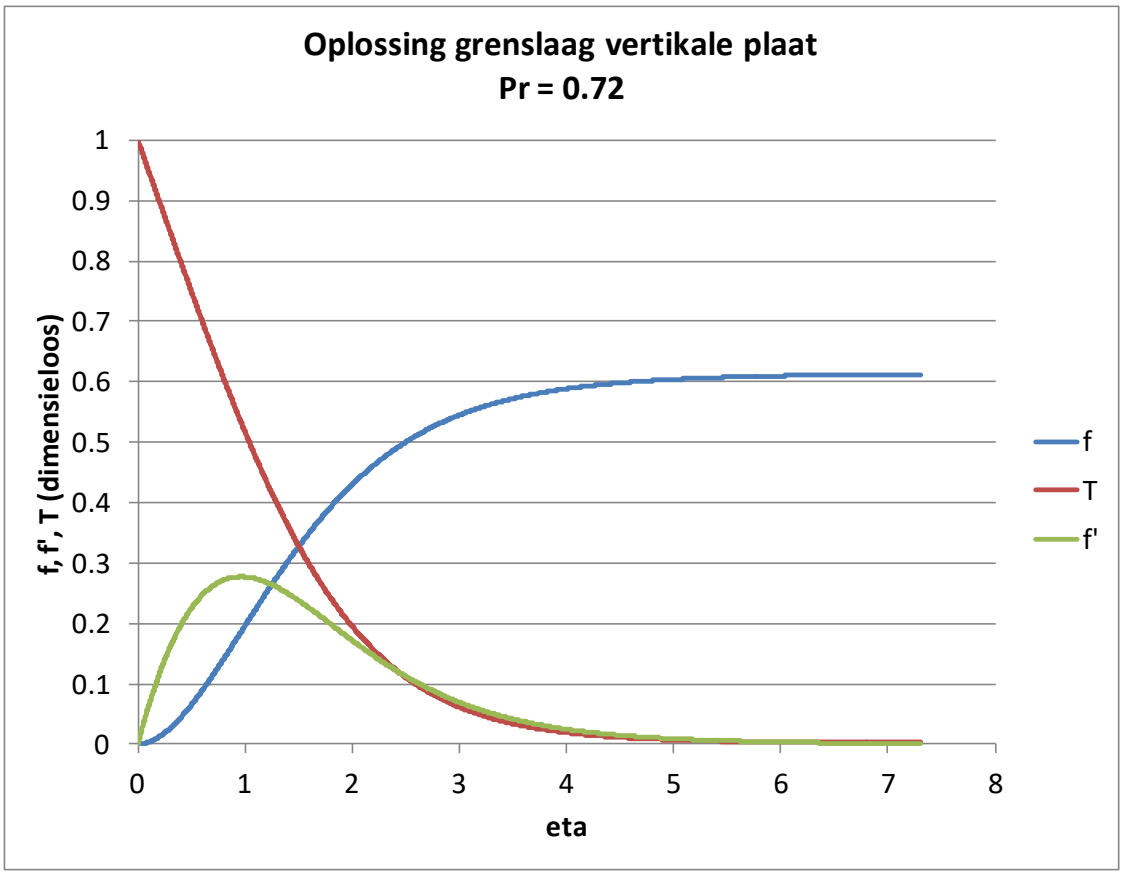
© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

$f'_{i+1} = f'_i + f''_i \Delta\eta$

$f''_{i+1} = f''_i + [2(f'_i)^2 - 3 f_i f''_i - T_i] \Delta\eta$

$T_{i+1} = T_i + T'_i \Delta\eta$
$T'_{i+1} = T'_i - 3 Pr f_i T'_i \Delta\eta$
We kiezen Pr = 0.72, dat is de waarde voor lucht op kamertemperatuur.
Het blijkt nodig de stapgrootte te verkleinen tot $\Delta\eta = 0.001$. Net als in RD-9 laten we η oplopen tot 7.3.
De startwaarden voor f''(0) en T'(0) zijn in overeenstemming met die van RD-9 (resp. 0.6768 versus 0.6760 en -0.5043 versus -0.5046).
De randvoorwaarden komen uit op:
$f'(\infty) = 0.00033$ versus 0.0000
$T(\infty) = 0.00278$ versus 0.0001
De eindwaarde van $f(\eta=7.3) = 0.61216$ versus 0.5961.

De berekeningsresultaten staan in Figuur 6-2. De rekentijd is tegenwoordig een fractie van een seconde, inclusief de verwerking tot een grafische voorstelling van de resultaten!



Figuur 6-2 Berekeningsresultaten

We nemen voor $f(\infty)$ de waarde 0.6, zodat de stroomfunctie, dat is het debiet aan warme opstijgende lucht, gelijk is aan:

$\Psi = 0.6 * 4 \nu (Gr/4)^{1/4}$. Uitgeschreven met de eigenschappen van lucht, bij 21.5°C, wordt dit:

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

ϕ_v = 0.6*4 1.63E-5*(g ΔT/T∞.H^3/1.63E-5^2 / 4)$^{1/4}$ = 0.0067 (g ΔT/T∞.H^3)$^{1/4}$ (6-6)
H = hoogte van de plaat (in ons geval de radiator).

Nemen we ΔT=40 en T∞ = 295K en H=0.5m, dan is het debiet per meter lengte volgens RD-7.

debiet= 0.019 [9.81 * 40/295]^0.4 * 0.5^1.2 = 0.00927 m^3/s/m
en volgens (6-6):

ϕ_v = 0.0067 * (9.81 * 40/295 * 0.5^3)^1/4 = 0.00437 m^3/s/m. Dat is een factor 0.47 minder dan de waarde die is berekend met de formule van RD-7 (engineeringtoolbox site).

Omdat de formule van de engineeringtoolbox site niet geverifieerd kan worden gaan we de berekeningen uitvoeren met de, bij deze, geverifieerde betrekking (6-6):

ϕ_v = 0.0067 (g ΔT/T∞.H^3)$^{1/4}$. (Deze geldt voor een omgevingsluchttemperatuur van 21.5°C).

Waarbij we tevens het debiet gaan “verfijnen” volgens de volgende bijdragen:

Beschouw de configuratie van de testomstandigheden van EN442, Figuur 4-1.

- Het debiet aan de voorkant van de radiator is
  ϕ_{v1} = L * 0.0067 (g (T2 – T1) / T1.H^3)$^{1/4}$
- Het debiet aan de achterkant van de radiator is, gebaseerd op de temperatuur van de radiator
  ϕ_{v2} = ϕ_{v1}
- Het debiet aan de geïsoleerde wand is, gebaseerd op de temperatuur van de geïsoleerde wand
  ϕ_{v3} = L * 0.0067 (g (T3 – T1) / T1.H^3)$^{1/4}$

Het totale debiet is dan ϕ_{vtot} =2 ϕ_{v1} + ϕ_{v3}.
L = lengte van de radiator.

6.1.2 Grenslaagdikten

Uit Figuur 6-2 blijkt dat de scheidingslijn van de temperatuur/snelheids-grenslaag overeenkomt met een waarde van $\eta \approx 5$. De dikte δ van de grenslaag kunnen we dan schatten met behulp van (6-4):

$\delta = \eta$ x (Gr/4)$^{-1/4}$

Voor de radiator met een temperatuur van 50°C, is Gr voor x=0.5m ≈ 5E8. Daarmee is $\delta_{rad} \approx$ 0.024m.
Voor de borstwering zal Gr naar verwachting kleiner zijn; laat zeggen een factor 3 kleiner, dan is
$\delta_{borstwering} \approx$ 0.032m.
De afstand tussen de radiator en de borstwering is 70mm. Dat betekent theoretisch gezien, dat naar verwachting, de grenslaag aan de achterzijde van de radiator tot ontwikkeling kan komen zonder wederzijdse interactie met de grenslaag van de borstwering.

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.

7. ANNEX B

Berekende temperaturen.

		Buitentemperatuur 5.7°C			Buitentemperatuur -10°C		
				Geen isolatie			Geen isolatie
		Steenwol	Steenwol	multiplex	Steenwol	Steenwol	multiplex
		isolatiedikte	isolatiedikte	paneel	isolatiedikte	isolatiedikte	paneel
Nodenaam	Nodenr.	5 cm	1 cm	1.8 cm dikte	5 cm	1 cm	1.8 cm dikte
Lucht Werk	1	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
radiator	2	39.0	39.0	39.0	51.2	51.2	51.2
	3						
	4						
Lucht achter	5	27.9	27.5	28.9	32.8	32.0	34.5
	6						
BorstWbin	7	30.4	27.1	20.4	36.6	31.0	19.2
BorstWbuit	8	6.3	7.5	9.2	-8.8	-6.5	-2.9
Buitenlucht	9	5.7	5.7	5.7	-10.0	-10.0	-10.0
	10						
Lucht Werk	11	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
radiator	12	42.4	42.5	41.8	57.2	57.4	56.2
Tonzon	13	35.2	35.0	33.8	43.7	43.3	41.0
	14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Lucht achter	15	26.4	25.8	23.9	29.8	28.6	24.7
	16						
BorstWbin	17	21.3	19.2	14.8	21.2	17.4	9.3
BorstWbuit	18	6.1	6.8	7.9	-9.2	-7.6	-5.3
Buitenlucht	19	5.7	5.7	5.7	-10.0	-10.0	-10.0
	20						
Lucht Werk	21	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
radiator	22	39.1	39.0	38.6	51.4	51.3	50.5
	23						
	24						
Lucht achter	25	27.8	27.4	28.9	32.6	32.0	34.5
ISO Lux folie	26	29.3	26.4	21.2	34.8	30.0	20.9
BorstWbin	27	27.5	21.9	14.2	31.4	21.2	6.8
BorstWbuit	28	6.3	7.1	7.7	-8.9	-7.3	-5.9
Buitenlucht	29	5.7	5.7	5.7	-10.0	-10.0	-10.0
	30						
Lucht Werk	31	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
radiator	32	41.7	41.9	41.5	56.0	56.4	55.6
ISO Lux folie	33	33.4	33.4	32.2	40.9	41.1	38.7
	34						
Lucht achter	35	25.4	26.3	24.7	28.1	29.7	26.2
	36						
BorstWbin	37	26.1	21.3	17.1	28.7	20.9	12.9
BorstWbuit	38	6.2	7.0	8.4	-9.0	-7.3	-4.4
Buitenlucht	39	5.7	5.7	5.7	-10.0	-10.0	-10.0
	40						
Lucht kamer	41	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Radiator	42	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0	70.0
Muur	43	50.6	50.6	50.6	50.6	50.6	50.6
Lucht radiator	44	40.4	40.4	40.4	40.4	40.4	40.4

© All rights reserved. Disclosure to third parties of this document or any part thereof, or the use of any information contained therein for purposes other than provided for by this document, is not permitted, except with the prior and express written permission of Rinus Coesel.