

Luchtstroming boven radiatoren en convectoren

The behaviour of air above radiators and convectors:
ing. J. C. Aerts en ir A. M. van Weele*

1. Inleiding

In 1981 is in opdracht van de stichting ISSO een onderzoek gestart naar het vermogen van verwarmingslichamen bij niet genormeerde opstelling. Voor de begeleiding van het onderzoek is de ISSO contactgroep 11 'Warmteafgifte radiatoren en convectoren' opgericht. Doel van het onderzoek was:

- Opstellen van de Nederlandse norm NEN 5065 'CV-radiatoren en -convectoren – Bepaling van het vermogen.'
- Opstellen van een ISSO publicatie 'Vermogen van radiatoren en convectoren bij niet genormeerde opstelling'. In deze publicatie wordt een berekeningsmethode gegeven waarmee men het vermogen van een radiator of convector voor een bepaalde praktijkopstelling kan berekenen.

Beide publicaties zijn in mei 1986 gepresenteerd.

In het kader van voornoemd onderzoek is ook de luchtstroming bij verwarmingslichamen bestudeerd [1].

De foto's die bij dit artikel zijn opgenomen geven een beeld van het luchtstromingspatroon dat zichtbaar is gemaakt door middel van rook. De in de lucht gebrachte rook beïnvloedt het stromingspatroon niet doch maakt deze door middel van een speciale lichtbundel wel zichtbaar.

Het is gebruikelijk verwarmingslichamen onder een raam te plaatsen. Hierdoor wordt de relatief lage oppervlakte temperatuur van het raam gecompenseerd en wordt koudeval van het raam voorkomen, zie figuur 1 en 2.

Een nadeel is, dat de warme lucht van het verwarmingslichaam tijdens het opstijgen langs het raam sterk afkoelt. Hierdoor ontstaat een relatief grote ongewenste warmtestroom door het raam naar buiten. Met een vensterbank kan voorkomen worden dat de warme lucht langs het raam stroomt. Het is daarom interessant de luchtstromen boven een verwarmingslichaam te kennen afhankelijk van:

- Vensterbankbreedte b_v en de afstand tussen verwarmingslichaam en vensterbank k ;
- Gemiddelde temperatuur van het verwarmingslichaam;
- Temperatuur van het glasoppervlak (enkel- of dubbelglas);
- Vensterbank met gordijn.

Afhankelijk van de vensterbankbreedte b_v en de afstand k is in de figuren 3 en 4 door middel van pijlen aangegeven welke verschillende luchtstromen er kunnen optreden. Figuur 3 geeft de luchtstromen bij een gemiddelde tem-



Fig. 1 Koude lucht van het raam stroomt de kamer in. Het verwarmingslichaam staat uit.

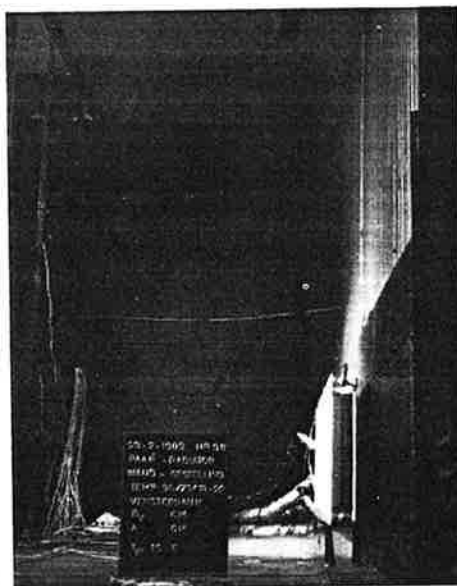


Fig. 2: M.b.v. een verwarmingslichaam wordt een koude luchtstroom in de kamer voorkomen.



Ing. J. C. Aerts



Ir A. M. van Weele

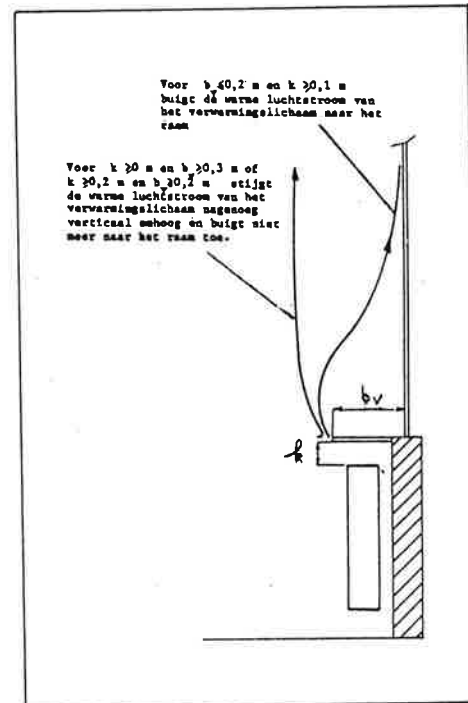


Fig. 3: Het luchtstromingspatroon wordt b vloed door de vensterbankbreedte b_v en stand k . De gemiddelde temperatuur van warmingslichaam is 80°C .

peratuur van het verwarmingslichaam van circa 80°C en figuur 4 bij een temperatuur van circa 50°C . De glaswandtemperatuur aan de binnenzijde is in beide gevallen 10°C .

In het vervolg van dit artikel wordt uitvoerig op de verschillende luchtstromingen ingegaan. Verder wordt in dit artikel de luchtstroming boven een convectorput besproken.

2. Convectieve luchtstroming bij verwarmingslichamen geplaatst voor een buitenwand onder een raam

2.1 Verwarmingslichamen zonder vensterbank

Ongeacht het type verwarmingslichaam en bij normaal voorkomende gemiddelde temperaturen tussen 50°C en 80°C stroomt de warme lucht van het ver-

* medewerkers stichting ISSO

warmingslichaam langs het raam omhoog, zie figuur 5.

Bij deze situatie is er een ongewenste extra warmte stroom naar buiten. De glaswand temperatuur bij het in figuur 5 gegeven stromingsbeeld mag minimaal 2°C zijn (temperatuur van enkelglas bij een buitentemperatuur van -7°C). Als de glaswand temperatuur lager wordt dan 2°C kan koudeval langs het raam optreden.

2.2 De luchtstromen boven een verwarmingslichaam met een vensterbank

Bij een gemiddelde temperatuur van het verwarmingslichaam van circa 80°C ontstaan er, afhankelijk van de vensterbankbreedte b_v en de afstand k , twee verschillende luchtstromingspatronen.

- De luchtstroom buigt naar het raam toe (figuren 6 en 7);
- De luchtstroom buigt niet naar het raam toe (figuren 8 en 9).

De warme luchtstroom buigt naar het raam toe, zie figuur 6 en 7.

Het naar het raam buigen van de luchtstroom wordt veroorzaakt door het Coanda-effect (zie punt 6). Het raakpunt van de luchtstroom aan het raam is afhankelijk van de snelheid van de

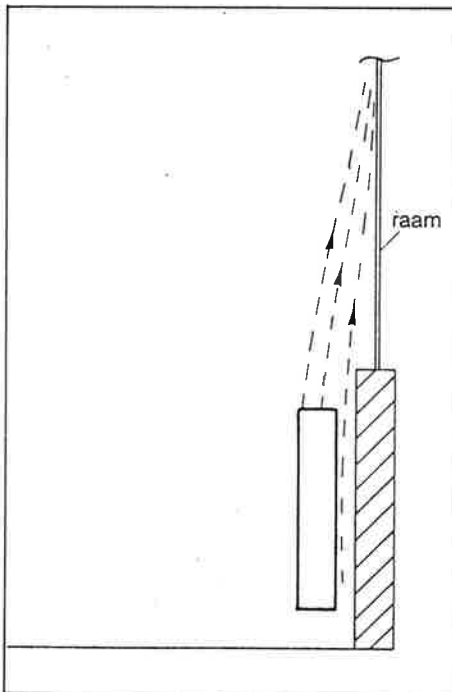


Fig. 5: De warme lucht van het verwarmingslichaam stroomt langs het raam omhoog. Hierdoor ontstaat bij het raam een extra warmtestroom naar buiten toe. Een dergelijke luchtstroom treedt op bij een temperatuur van het verwarmingslichaam tussen 50°C en 80°C. De minimale glaswandtemperatuur aan de binnenzijde is circa 2°C.

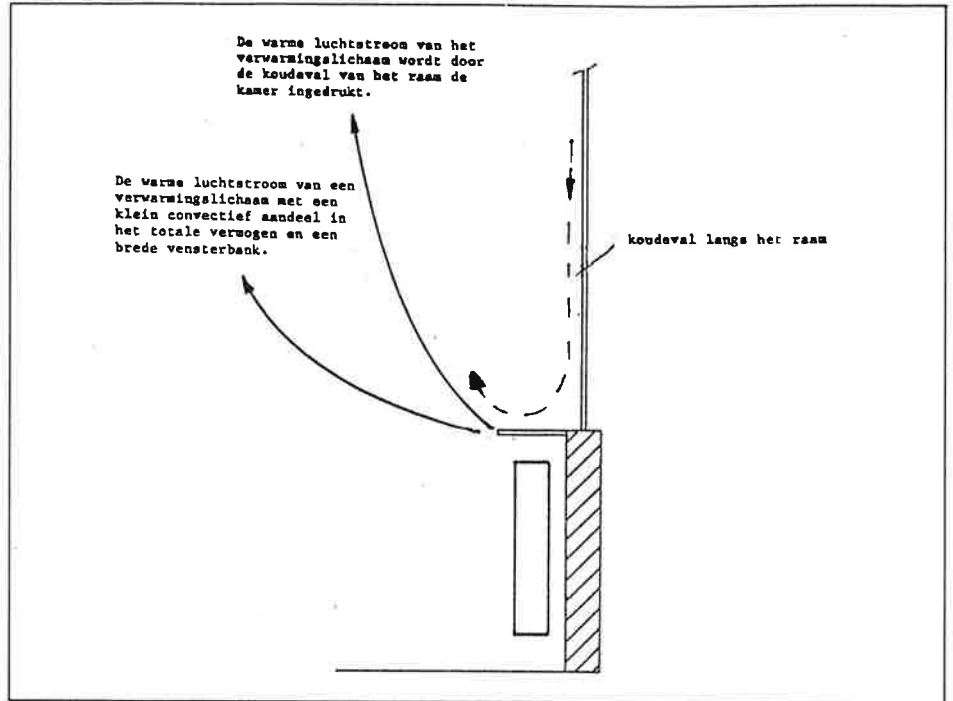


Fig. 4: Het luchtstromingspatroon wordt beïnvloed door de vensterbankbreedte b_v , de afstand k en het aandeel convectief vermogen. De gemiddelde temperatuur van het verwarmingslichaam is 50°C.

lucht en daarmee afhankelijk van het type verwarmingslichaam. Bij verwarmingslichamen met een groot convectief aandeel in het totale vermogen is

de luchtsnelheid groot. Hierdoor is het drukverschil over de luchtstroom groter, waardoor de luchtstroom eerder naar het raam toe buigt en het raakpunt

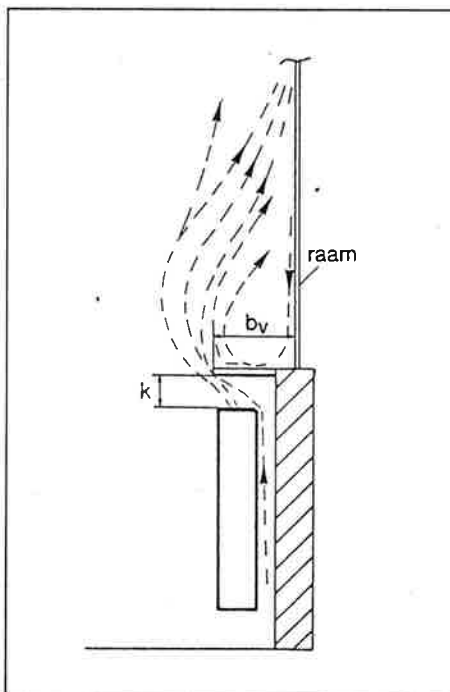


Fig. 6: De warme luchtstroom buigt naar het raam toe en stroomt hierlangs verder omhoog indien geldt: $b_v \leq 0,2$ m en $k \leq 0,1$ m.



Fig. 7: Foto voor het geval dat de luchtstroom naar het raam toe buigt.

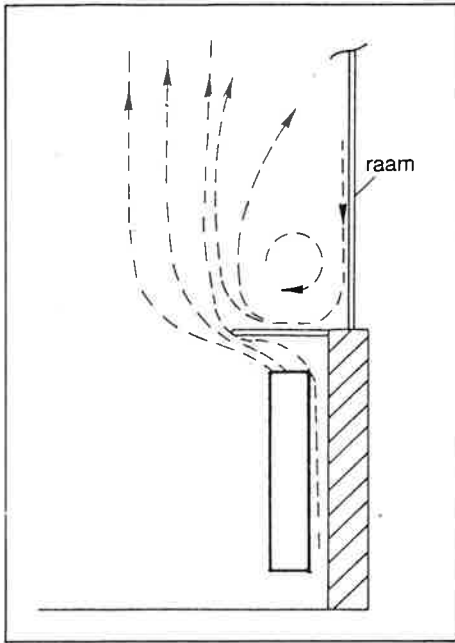


Fig. 8: De warme luchtstroom buigt niet meer naar het raam toe als: $k \geq 0,3 \text{ m}$ en $b_v \geq 0,3 \text{ m}$ of $k \geq 0,2 \text{ m}$ en $b_v \geq 0,2 \text{ m}$.

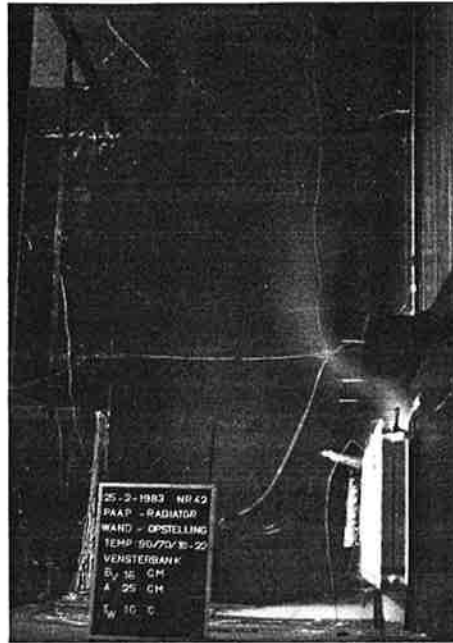


Fig. 9: Foto voor de situatie dat de warme luchtstroom niet naar het raam toe buigt.

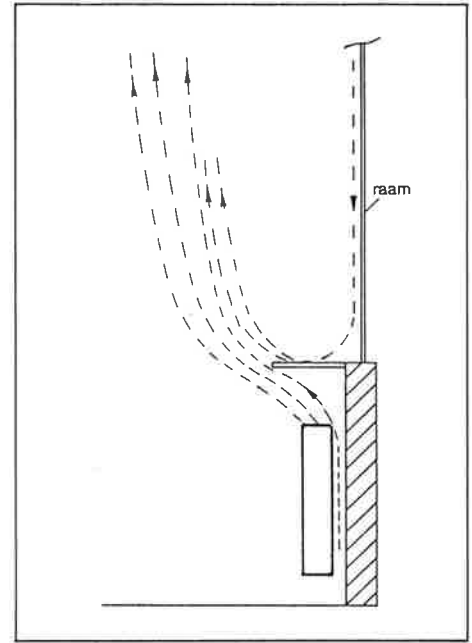


Fig. 10: Luchtstroom als de gemiddelde temperatuur van het verwarmingslichaam circa 50°C is. De glaswandtemperatuur is circa 10°C .

laag komt te liggen. Bij lagere luchtsnelheden (geringer convectief aandeel) is het drukverschil over de luchtstroom kleiner, waardoor het raakpunt van de warme luchtstroom aan het raam hoger komt te liggen. Onder het raakpunt is een koudere dalende luchtstroom langs het raam (zie figuur 6). De minimale glaswandtemperatuur voor dit type luchtstroom is 10°C . Bij een glaswandtemperatuur lager dan 10°C kan door een toename van de koudeval de in de figuren 6 en 7 aangegeven luchtstroom worden verstoord.

De warme luchtstroom buigt niet naar het raam toe, zie figuur 8 en 9.

Nadat de warme luchtstroom de vensterbank is gepasseerd, stroomt deze onmiddellijk nagenoeg verticaal omhoog. De koudere luchtstroom van het raam buigt gedeeltelijk weer naar het raam terug, zoals is aangegeven in figuur 8. Door dit terugbuigen van de koudere luchtstroom naar het raam wordt de koudeval langs het raam gehinderd. Het gedeeltelijk terugbuigen van de koudere luchtstroom naar het raam komt bij enkelplaatradiatoren niet voor. Bij dit type verwarmingslichaam is dus een koudeval over het hele raam aanwezig.

De koudere luchtstroom van het raam heeft bij een enkelplaatradiator meer invloed op de warmere luchtstroom en

drukt deze verder van het raam af de kamer in. De warme luchtstroom buigt niet meer naar het raam toe als de gemiddelde temperatuur van het verwarmingslichaam kleiner dan of gelijk aan 50°C is, de minimale breedte van de vensterbank b_v is hierbij $0,2 \text{ m}$. Er ontstaat nu een luchtstroom zoals is gegeven in figuur 10.

De koudere dalende luchtstroom is

over het gehele raam aanwezig en drukt de warme luchtstroom van het verwarmingslichaam de kamer in. Een luchtstroming zoals gegeven in figuur 10 treedt op bij een glaswandtemperatuur van circa 10°C . Bij een lagere glaswandtemperatuur neemt de koudeval langs het raam toe, waardoor de warme luchtstroom van het verwarmingslichaam verder de kamer wordt ingedrukt.

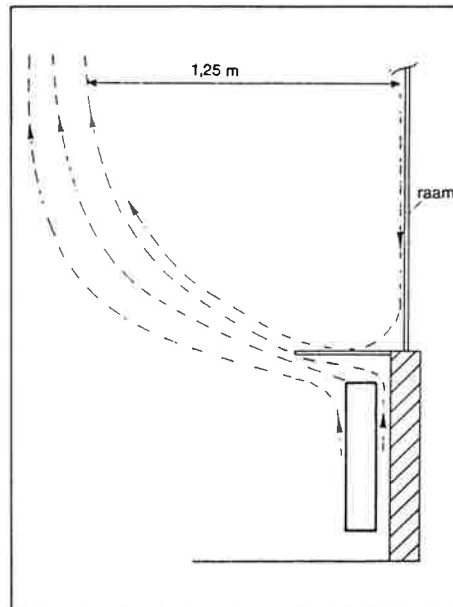


Fig. 11: Luchtstroom boven een enkelplaatradiator met een gemiddelde temperatuur van 50°C . De breedte van de vensterbank is $0,37 \text{ m}$ en de temperatuur van de glaswand is 10°C . De lucht stroomt ver de kamer in.

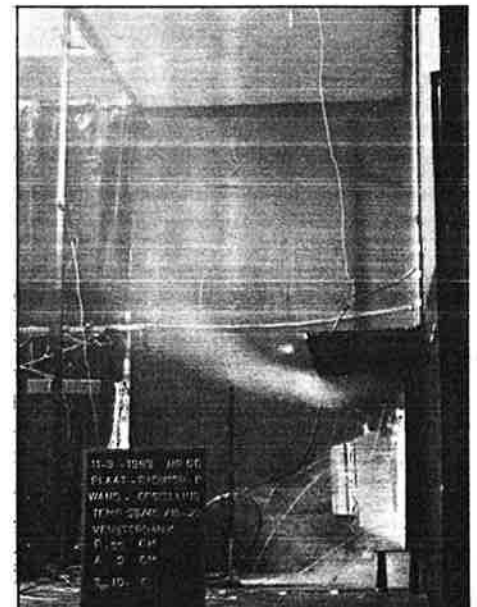


Fig. 12: Foto van de luchtstroom boven een enkelplaatradiator (50°C). De vensterbank is $0,37 \text{ m}$ breed en de glaswandtemperatuur (binnenzijde) is 10°C .

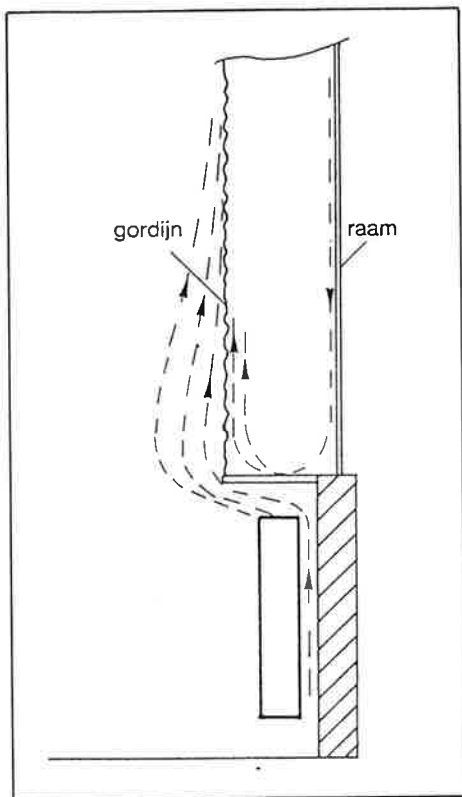


Fig. 13: De luchtstroom boven een verwarmingslichaam met vensterbank en gordijn. De gemiddelde temperatuur van het verwarmingslichaam mag variëren tussen 80°C en 50°C. De minimale glaswandtemperatuur is 2°C.

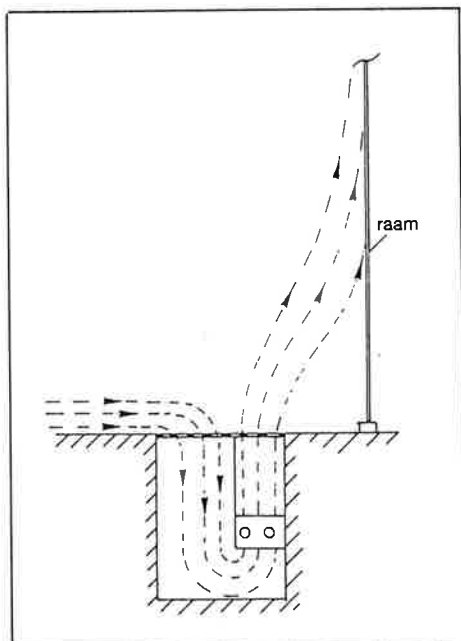


Fig. 14: Luchtstroom boven een convectorput. T.g.v. het Coanda-effect buigt de warme lucht naar het raam toe. De convector is aan de raamzijde in de put geplaatst. Bij deze opstellingswijze levert de convector het grootste vermogen.

Bij een ongunstige combinatie zoals bijvoorbeeld een enkelplaat radiator met een gemiddelde temperatuur van 50°C en een brede vensterbank (>0,37 m)

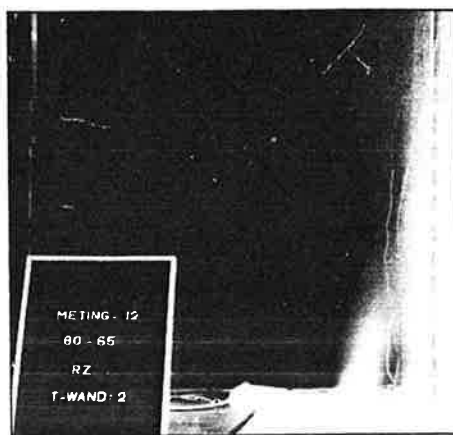


Fig. 15: Foto van de luchtstroom als de convector aan de raamzijde in de put geplaatst is

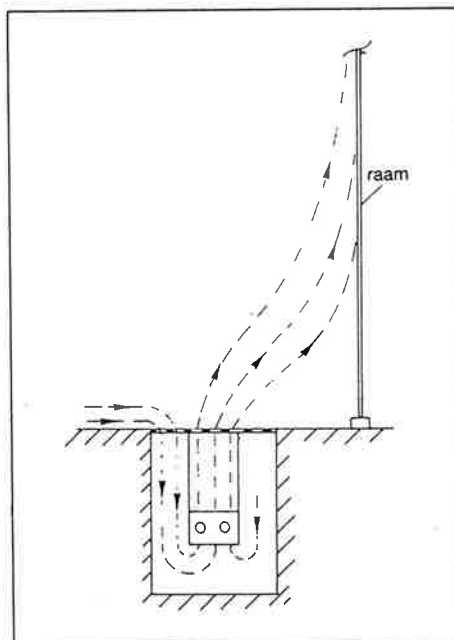


Fig. 16: Luchtstroom boven een convectorput. T.g.v. het Coanda-effect buigt de warme luchtstroom naar het raam toe. De convector is in het midden van de put geplaatst. Bij deze opstellingswijze levert de convector minder vermogen dan bij raamzijde opstelling.

stroomt de lucht ver de kamer in. De afstand, gemeten vanaf het raam, waar geen meetbare horizontale stromingscomponenten meer voorkomen is dan circa 1,25 m, zie figuur 11 en 12.

2.3. Met vesterbank en gordijnen

Door het gordijn worden de warme luchtstroom van het verwarmingslichaam en de koudeluchtstroom van het raam gescheiden. Bij temperaturen van het verwarmingslichaam tussen 80°C en 50°C treedt een luchtstroming op zoals is gegeven in figuur 13. T.g.v. het Coanda-effect buigt de warme luchtstroom naar het gordijn toe en stroomt hierlangs verder omhoog. De breedte

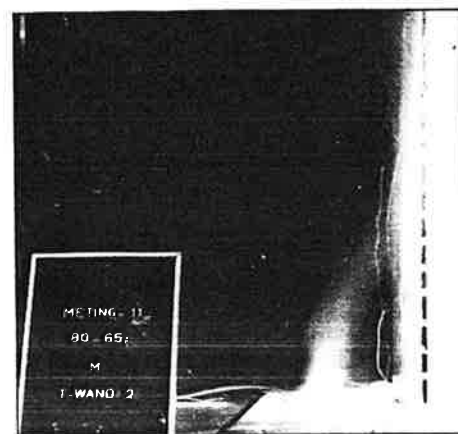


Fig. 17: Foto van de luchtstroom als de convector in het midden van de put geplaatst is.

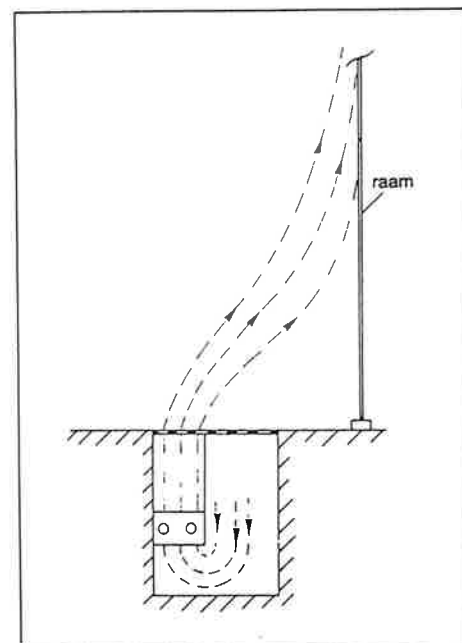


Fig. 18: Luchtstroom boven een convectorput. T.g.v. het Coanda-effect buigt de warme luchtstroom naar het raam toe. De convector is aan de kamerzijde in de put geplaatst. Bij deze opstellingswijze levert de convector het laagste vermogen.

van de vensterbank b_v en de afstand k , alsmede de glaswandtemperatuur beïnvloeden het gegeven stromingsprofiel nagenoeg niet.

3. Luchtstromingen boven een convectorput

Convectorputten worden meestal geplaatst onder grote glasoppervlakken (schuifpui e.d.). Gebleken is, dat ongeacht de plaats van de convector in de put (raamzijde, midden- of kamerzijde), de warme lucht van de convector naar het raam toe buigt en hierlangs verder omhoog stroomt [2], zie de figuren 14 tot en met 19. Het naar het raam toe buigen van de warme luchtstroom

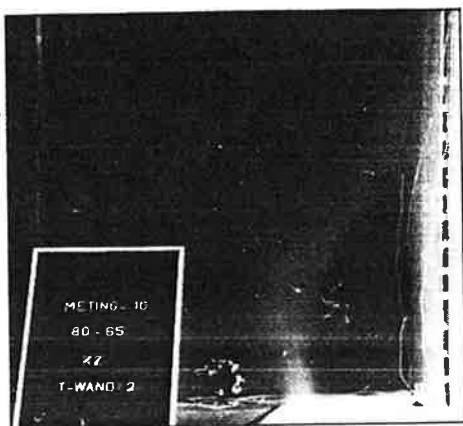


Foto 19: Foto van de luchtstroom als de convector aan de kamerzijde in de put geplaatst is.

wordt veroorzaakt door het Coanda-effect. De gemiddelde convectortemperatuur bij de in de figuren 14 t/m 19 gegeven luchtstromingen is 65°C of hoger. De minimale glaswandtemperatuur is 2°C. De afstand tussen convectorput en raam is 0,25 m. De hoogte van het raakpunt van de warme luchtstroom met het raam is nagenoeg onafhankelijk van de plaats van de convector in de put. Het raakpunt is wel afhankelijk van de temperatuur van het glasoppervlak en in mindere mate afhankelijk van de gemiddelde temperatuur van de convector. Als de glaswandtemperatuur hoger wordt dan komt het raakpunt lager te liggen. In de tabellen 1 t/m 3 is voor de drie opstelwijzen (raamzijde, midden- en kamerzijde) het verband gegeven tussen raakhoogte en glaswandtemperatuur. De gemiddelde temperatuur van de convector is hierbij 65°C.

Houdt men de glaswandtemperatuur constant dan komt het raakpunt van de warme luchtstroom met het glas hoger te liggen naarmate de gemiddelde temperatuur van de convector lager wordt. Dit is weer te verklaren met behulp van het Coanda-effect. Bij een lagere convector temperatuur is de snelheid

van de warme luchtstroom van de convector ook lager, waardoor het drukverschil over de luchtstroom klein is. Door dit kleinere drukverschil buigt de luchtstroom minder snel naar het raam toe, waardoor het raakpunt hoger komt te liggen. Volgens [3] is een minimale afstand tussen convectorput en raam van circa 0,6 m nodig voordat de luchtstroom niet meer naar het raam toe buigt. Een afstand tussen convectorput en raam van circa 0,6 m is niet realistisch.

Er wordt daarom vanuit gegaan dat de afstand convectorput/raam altijd kleiner is dan 0,6 m en dat de warme luchtstroom altijd naar het raam toe buigt, zoals is aangegeven in de figuren 14 t/m 19.

Nadere bestudering van de figuren 14 t/m 19 leert, dat alleen bij de raamzijde opstelling (figuur 14) de warme en koude luchtstroom van en naar de convector elkaar niet hinderen. Bij deze opstellingswijze van de convector in de put levert de convector het grootste vermogen. Bij de midden opstelling (figuur 16) krijgt de inlaatschacht aan de raamzijde onvoldoende lucht toegevoerd, omdat aanvoer van lucht alleen mogelijk is vanuit de kamer via weerszijden van de put. De aanvoer van lucht bij de midden opstelling geschiedt dus grotendeels via de smalle inlaatschacht aan de kamerzijde. De convector geeft het minste vermogen af als deze aan de kamerzijde in de put wordt geplaatst, zie figuur 18. De gehele lucht-aanvoer naar de inlaatschacht aan de raamzijde moet nu langs weerszijden van de put geschieden.

3. Conclusies

3.1 wandopstelling

– Als de warme lucht van het verwarmingslichaam langs het raam omhoog stroomt ontstaat er een grote ongewenste warmtestroom door het

raam naar buiten. Dit kan worden voorkomen door een vensterbank boven het verwarmingslichaam aan te brengen. T.g.v. het Coanda-effect kan met vensterbank de warme luchtstroom toch naar het raam toe buigen, waardoor het beoogde effect deels teniet wordt gedaan. In dit artikel wordt aangegeven onder welke condities de warme luchtstroom wel of niet naar het raam toe buigt. Houdt men tevens rekening met een vermindering van het afgegeven vermogen van een verwarmingslichaam t.g.v. de vensterbank dan geldt, bij een gemiddelde temperatuur van het verwarmingslichaam van circa 80°C en een glaswand temperatuur niet lager dan 10°C (dubbelglas) voor een optimaal ontwerp:

- Afstand tussen vensterbank en verwarmingslichaam $k \geq 0,2$ m;
- De breedte van de vensterbank (tot aan het glasvlak) $b_v = 0,2$ m.
- Bij verwarmingslichamen met een gemiddelde temperatuur lager dan of gelijk aan 50°C en een vensterbank met een breedte van minimaal 0,2 m buigt de warme luchtstroom niet meer naar het raam toe. Wel moet men nu i.v.m. het te ver de kamer instromen van de luchtstroom al te brede vensterbanken ($b_v > 0,037$ m) vermijden.
- Met een gordijn worden de koude luchtstroom van het raam en de warme luchtstroom van het verwarmingslichaam van elkaar gescheiden. Het stromingsbeeld wordt dan niet beïnvloed door de breedte van de vensterbank, de afstand tussen vensterbank en verwarmingslichaam en het raam.

3.1. Putopstelling

– Bij convectorputten buigt de warme luchtstroom van de convector in alle gevallen naar het raam toe. Voor een zo groot mogelijk afgegeven vermo-

Tabel 1

De raakhoogte voor verschillende glaswand temperaturen. De convector bevindt zich aan de raamzijde in de put.

glaswandtemperatuur	raakhoogte (± 10 cm)
2°C	80 cm
10°C	40 cm
17°C	30 cm

Tabel 2

De raakhoogte voor verschillende glaswand temperaturen. De convector bevindt zich in het midden van de put.

glaswandtemperatuur	raakhoogte (± 10 cm)
2°C	70 cm
10°C	50 cm
17°C	35 cm

Tabel 3

De raakhoogte voor verschillende glaswand temperaturen. De convector bevindt zich aan de kamerzijde in de put.

glaswandtemperatuur	raakhoogte (± 10 cm)
2°C	80 cm
10°C	60 cm
17°C	40 cm

gen van de convector is de meest optimale plaats van de convector in de put de raanzijde opstelling.

4. Symbolen en begrippen

- b_v breedte van een vensterbank [m]
 k afstand bovenkant verwarmingslichaam tot de vensterbank [m]
 θ₁ luchttemperatuur van de kamer [°C]

Coanda-effect:

Het effect waarbij een luchtstroom naar een wand toebuigt en hierlangs verder omhoog stroomt. Een stromend medium probeert materie uit de omgeving mee te zuigen. Wordt aan een zijde van de luchtstroom de luchttoevoer gehinderd door b.v. een muur of een raam, dan ontstaat aan die zijde een lagere druk waardoor de luchtstroom naar die zijde afbuigt.

5. Literatuur

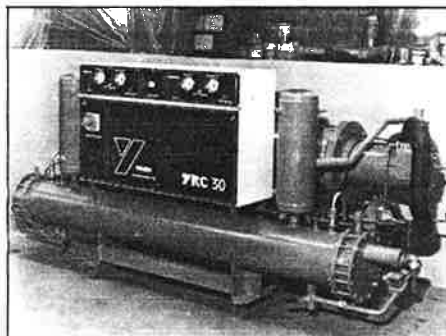
- [1] ISSO-publikatie 1/ Vermogen van radiatoren en convectoren bij niet genormeerde opstelling/1986/ISSO Rotterdam/ISBN 90-5044-001-0.
 [2] A. M. van Weele en J. T. M. Laurens/ Luchtstromingen in en boven een convectorput/ Verwarming en Ventilatie/ december 1979, nr. 12.
 [3] P. Katz/ Der Coanda-effect/ Gesundheits-Ingenieur/juni 1973, nr. 6.

PRODUKTEN

York International introduceert vloeistofkoelaggregaten met roterende compressoren

In aanvulling op het standaard York leveringsprogramma van vloeistofkoelaggregaten met zuigercompressoren met een koelcapaciteit tussen de 10 en 1.000 kW heeft York een serie vloeistofkoelaggregaten geïntroduceerd met roterende compressoren in het capaciteitsgebied van 150-300 kW. Behalve de trillings- en geruisarme werking is bovendien de grote bedrijfszekerheid van deze aggregaten nog verbeterd door deze met 2 geheel gescheiden circuits uit te voeren. De roterende York compressoren worden al een twintigtal jaren toegepast als

zogenaamde booster-compressoren ten behoeve van industriële lage temperatuur koelinstallaties (ca. -30°C). De kunststofschuiven in de asexentriek zijn koolstofversterkt en temperatuurongewoelig.

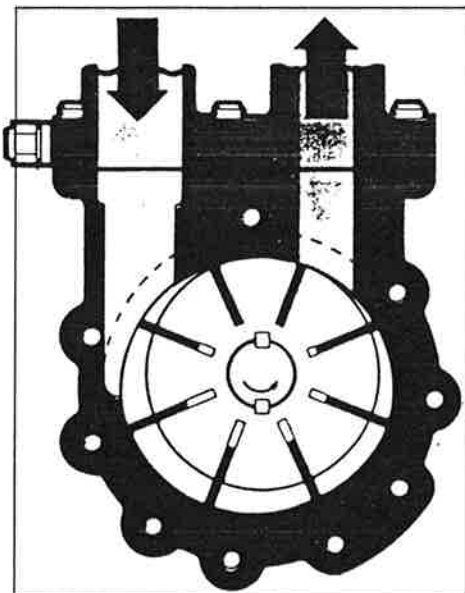


De roterende compressor van York

folder uitgebracht over traploze toerenregeling van draaistroommotoren. Belicht wordt hierin de complete serie Danfoss frequentie-omvormers VLT®, die nu is uitgebreid met vermogens tot 110 kW.

Nieuw is ook dat de uitvoeringen tot 22 kW voortaan naar keuze kunnen worden voorzien van een aantal besturings- en functie-opties waarmee de omvormer eenvoudig aan het specifieke gebruiksdoel kan worden aangepast.

De folder kan worden aangevraagd bij: Itho B.V., afd. Danfoss Industriële Automatisering, Postbus 21, 3100 AA Schiedam, tel. 010-4730122.



Roterende compressor

Na intensief onderzoek blijken deze compressoren geschikt voor vloeistofkoelaggregaten. De verwachting is dat bij belangrijk minder preventief onderhoud door toepassing van alleen roterende delen, de levensduur van deze compressoren belangrijk verlengd zal worden. Ook zal binnenkort door toepassing van traploze toerenregeling niet alleen het deel-last krachtverbruik, maar ook de regelnauwkeurigheid nog sterk verbeterd kunnen worden. Inlichtingen: York International BV, Moerlaken 3, 4825 AR Breda, Postbus 6540, 4802 HM Breda, tel. 076-879264.

Nieuwe folder Danfoss frequentie-omvormers VLT®

Danfoss heeft een nieuwe overzichts-