

de invloed van wind en lijke regeling van centrale

1. Inleiding

Het doel van de regeling is het constant houden van de temperatuur in de vertrekken op de waarde die gedurende een deel van het etmaal wordt verlangd. Voor het onderhouden van de verlangde binnentemperatuur moet door de verwarmingsinstallatie een hoeveelheid warmte worden geleverd die wordt gegeven door:

$$Q_w = (\Sigma kF + c_p V) \cdot (t_i - t_o) - Q_s - Q_a$$

Hierin zijn:

- Q_w = de door de verwarmingsinstallatie te leveren warmte (kcal/h)
 Q_s = de door de zon aan het gebouw toegevoerde warmte (kcal/h)
 Q_a = de in het gebouw door andere warmtebronnen geproduceerde warmte (kcal/h)
(hierbij valt te denken aan elektrische apparaten en de personen in het gebouw).
 t_i = de verlangde binnentemperatuur ($^{\circ}\text{C}$)
 t_o = de omgevingstemperatuur ($^{\circ}\text{C}$)
 ΣkF = de som van de transmissieverliezen door de wanden van het gebouw (kcal/ $^{\circ}\text{C}$ h)
 $c_p V$ = het warmteverlies door ventilatie (kcal/ $^{\circ}\text{C}$ h)

Bij de verdere beschouwingen zal worden uitgegaan van een gevelregeling. Dit impliceert dat bij natuurlijke ventilatie de term $c_p V$ alleen voorkomt bij de gevel aan de loefzijde.

Uit de warmtebalans van het gebouw blijkt dat in principe de voorkeur moet worden gegeven aan een regeling op een binnenthermostaat omdat deze ook rekening houdt met de grootte van de door de andere warmtebronnen ontwikkelde warmte. Er zijn aan dit systeem echter ook nadelen verbonden. Meestal wordt de warmtetoevoer van een aantal vertrekken geregeld door een in een bepaald vertrek opgestelde binnenthermostaat. Wanneer nu de warmtebehoefte van dit vertrek sterk afwijkt van de rest van het gebouw, krijgen de overige vertrekken te veel of te weinig warmte toegevoerd. Een afwijkende warmtebehoefte kan worden veroorzaakt door een andere Q_a of door een afwijkend gedrag van de gebruikers van het testvertrek met betrekking tot het openen van ramen en deuren of het gebruik van zonweringen.

Het is dan ook niet verwonderlijk dat bij grotere gebouwen meestal een weersafhankelijke regeling wordt toegepast. Door de zogenaamde buitenvoeler worden een of meerdere van de klimatologische factoren die de warmtebehoefte van het gebouw bepalen, gemeten. In afhankelijkheid van het resultaat van deze meting wordt het regelpunt van de aanvoertemperatuur verhoogd of verlaagd.

Tot de hiervoor genoemde klimatologische factoren behoort in de eerste plaats de omgevingstemperatuur t_o .

Voordracht gehouden op de
• Vakantieleergang 1967 voor Warmtetechniek
** Medewerker TNO.

Zon bij de weersafhankelijke verwarmingsinstallaties ^{*)}

De invloed van de wind komt op 2 manieren tot uiting. Bij toenemende windsnelheid wordt de warmte-overdrachtscoëfficiënt aan de buitenzijde (α_u) groter en daardoor ook de k-waarde van de wand, terwijl door de grotere windsnelheden grotere drukverschillen over de gevels van het gebouw en dus een versterkte ventilatie ontstaat.

Bij de tegenwoordige bouwwijze met veel glas maakt de zonnestraling zich vooral merkbaar door instraling via de vensters van het gebouw.

De invloed van de regen resulteert voornamelijk in een hogere k-waarde tengevolge van een hoger vochtgehalte van de wandconstructie. Dit effect is in principe in de transmissiecoëfficiënten verwerkt.

In het hierna volgende zal allereerst worden aangegeven hoe de invloed van de wind en de zon op de warmtebehoefte van een gevel van het gebouw kan worden berekend. Vervolgens zal nader worden ingegaan op de vraag op welke wijze de klimatologische factoren door de buitenvoeler kunnen worden bepaald. Tenslotte zal enige aandacht worden besteed aan de beperkingen die inherent zijn aan de weersafhankelijke regeling en aan de mogelijkheid om deze te combineren met een regeling op een binnenthermostaat.

2. De invloed van de windsnelheid op het warmteverlies.

2.1 De k-waarde.

Bij toenemende windsnelheid stijgt de uitwendige warmteoverdrachtscoëfficiënt.

Volgens Jürgens (zie [1]) is:

$$\begin{aligned} \alpha_u &= 5 + 3,4 w \quad \text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} & w < 5 \text{ m/sec} \\ \alpha_u &= 6,26 w^{0,78} \quad \text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} & w > 5 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

In deze formules is w de snelheid waarmee de wind langs de wand strijkt. Volgens Schack [1] wordt de α_u nog aanmerkelijk groter dan de hierboven gegeven waarden indien de luchtstroom het vlak onder een hoek treft. Voor de α_u van wanden die aan de wind zijn blootgesteld moet daarom minstens met de door Jürgens gegeven waarden worden gerekend.

Wanneer een wand door de wind wordt aangeblazen zullen er wervels ontstaan, waarbij ter plaatse van deze wervels hogere α_u 's zullen optreden. De in de bovenstaande formules gegeven waarden dienen dan ook als een gemiddelde voor de hele wand te worden opgevat.

Uit de formule:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_u}$$

blijkt dat de invloed van de windsnelheid op de

k-waarde groter is naarmate $\frac{1}{\alpha_i}$ en $\frac{d}{\lambda}$ kleiner zijn.

In de figuren 1 en 2 zijn voor respectievelijk enkel- en dubbelglas de gemiddelde k-waarden van een wand uitgezet als functie van de windsnelheid met het glaspercentage φ als parameter. De rest van de wand (100- φ) % bestaat uit een spouwmuur.

Bovendien is in figuur 1 het verloop van de k-waarde gegeven voor een dakconstructie.

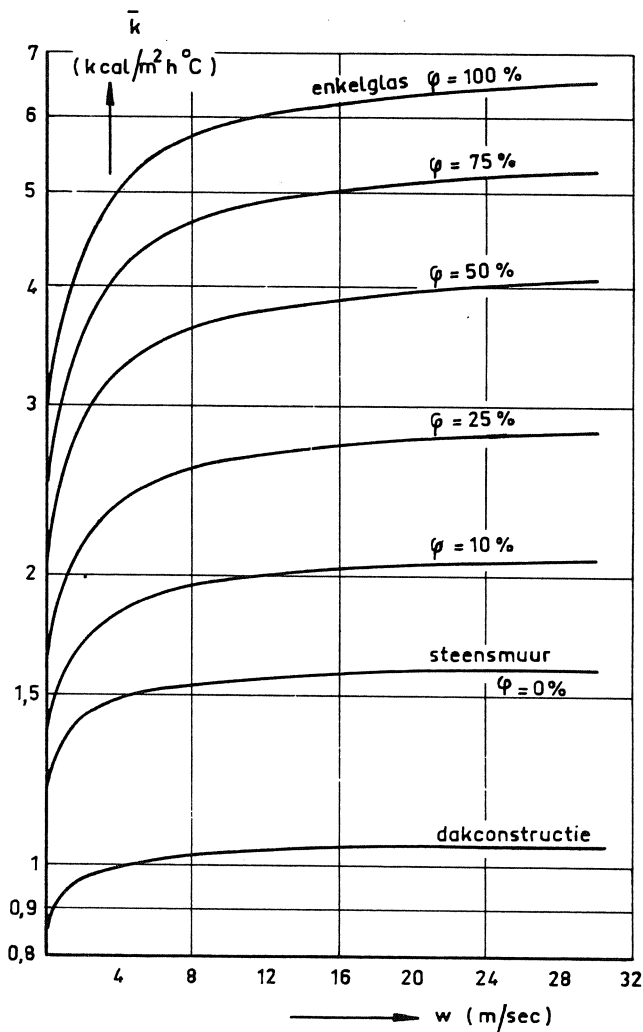
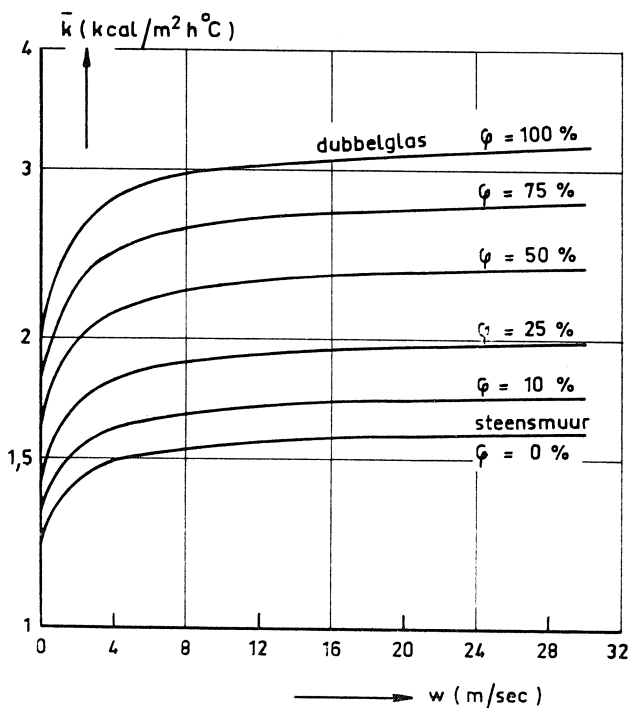


FIG. 1

FIG. 2



Bij de berekening van deze grafieken is uitgegaan van de volgende waarden:

dakconstructie $k = 1,00 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
 spouwmuur $k = 1,50 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
 dubbelglas $k = 2,80 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
 enkelglas $k = 5,17 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$

Bovenstaande k-waarden gelden voor:

$$\alpha_i = 7 \text{ en } \alpha_u = 20 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}.$$

De k-waarde waarop de transmissieberekening is gebaseerd wordt bereikt bij $\alpha_u = 20$ d.w.z. bij $w = 4,4 \text{ m/sec}$. Uit de grafieken blijkt dat de grootste stijging van de k-waarde optreedt in het gebied $0 < w < 5 \text{ m/sec}$.

2.2 De ventilatie van het gebouw.

De natuurlijke ventilatie ontstaat door de drukverschillen over de spleten in ramen en deuren.

De thermische ventilatie wordt veroorzaakt door de dichtheidsverschillen tussen de lucht buiten en in het gebouw. Over de hoogte van één verdieping zijn deze drukverschillen en ook de daardoor veroorzaakte ventilatie betrekkelijk onbelangrijk. Bij hoge gebouwen waarbij doorgaande verticale verbindingen aanwezig zijn, kan dit verschijnsel echter wel degelijk een rol van betekenis gaan spelen. Omdat de buitenlucht dan op de lager gelegen niveaus infiltreert, betekent dit een grotere warmtebehoefte van de lagere verdiepingen.

Daarnaast zijn er de drukverschillen ten gevolge van de wind en de daardoor veroorzaakte ventilatie. Er is in de literatuur geen eenstemmigheid over de vraag of de thermische en de door de winddruk veroorzaakte ventilatie elkaar al dan niet wederzijds beïnvloeden. Wij zullen ons verder beperken tot de door de winddruk veroorzaakte ventilatie.

Bij de berekening hiervan is uitgegaan van de in de DIN 4701 aangegeven methode.

Uit metingen is gebleken dat voor een gesloten raam of deur geldt:

$$V = l \cdot C (\Delta p_1)^{1/n} \quad \text{m}^3/\text{h}$$

Hierin zijn:

V = door het raam of deur lekkende luchthoeveelheid (m^3/h)
 l = spleetlengte (m)
 C = doorlaatcoëfficiënt ($\text{m}^3/\text{hm} \cdot \text{kg}/\text{m}^2$)
 Δp_1 = drukverschil over het raam of deur (kg/m^2)
 $1/n$ = exponent $1 < n < 2$

Voor nauwe spleten nadert n tot 1 en voor wijde spleten tot 2. De DIN 4701 rekent met $n = 3/2$ d.w.z. $1 : n = 2/3$.

Er zijn betrekkelijk weinig gegevens over de C-waar-

den van de in Nederland toegepaste vensters en deuren. Hiervan wordt verwezen naar een publikatie van Van Gunst [2].

Wanneer de wind loodrecht staat op de gevel van een gebouw ontstaat er tussen de loef- en lijzijde hiervan een drukverschil ter grootte van 0,8 à 1,3 x de snelheidsdruk van de wind.

Bij de berekening van het ventilatieverlies dient men er rekening mee te houden dat van het drukverschil Δp tussen de lij- en loefzijde slechts het gedeelte Δp_1 over de vensteropeningen aan de loefzijde werkzaam is. Wanneer de drukverschillen over de overige scheidingswanden worden voorgesteld door Δp_2 , Δp_3 en Δp_4 dan is

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4$$

Het is mogelijk de verhouding $R = \Delta p_1 : \Delta p$ te berekenen wanneer de weerstandskarakteristieken van alle openingen in het gebouw bekend zijn. In de praktijk stuit men dan echter al vrij spoedig op een vrijwel onuitvoerbaar hoeveelheid rekenwerk. Voor die gevallen waar dit noodzakelijk mocht zijn kan daarbij het analogon van het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO uitkomst bieden.

Gelukkig geeft de DIN 4701 een eenvoudiger zij het dan ook benaderde berekeningswijze. Men heeft bij de opstelling van deze norm een groot aantal plattegronden berekend. Daarbij is gebleken dat de waarde van R in een eenvoudige tabel kan worden vastgelegd. In de praktijk kan meestal worden volstaan met

$$R = 0,7 \text{ of } R = 0,9.$$

Het warmteverlies door ventilatie wordt in de DIN 4701 gegeven door de volgende formule:

$$Q_v = \Sigma (C l) \cdot R H (t_i - t_o)$$

De woningfactor H is afhankelijk van het windsnelheidsgebied, van de al of niet beschutte ligging, en van het type woning. Bij vrijstaande huizen, waar de geïnfiltreerde lucht de woning aan drie zijden kan verlaten is H namelijk groter dan bij woningen in een rij. Hieruit volgt dus dat de waarde van R ook gedeeltelijk in de woningfactor H is verwerkt.

De woningfactor H met de daarbij behorende windsnelheid is opgenomen in tabel 1.

Het ventilatieverlies als functie van de windsnelheid kan nu als volgt worden berekend:

$$Q_v = \Sigma (C l) \cdot R \cdot H \cdot (t_i - t_o) = c_p V \cdot (t_i - t_o) \text{ kcal/h}$$

Nu is

$$V \text{ evenredig met } \Delta p^{2/3} \text{ en}$$

$$\Delta p \text{ evenredig met } w^2 \text{ dus:}$$

$$V \text{ evenredig met } w^{4/3}$$

Hieruit volgt:

$$\frac{Q_v}{t_i - t_o} = \Sigma (C l) \cdot R \cdot H = A \cdot w^{4/3} \text{ kcal/}^\circ\text{C h}$$

Uit deze vergelijking kan de evenredigheidsconstante A worden bepaald. Het produkt $A w^{4/3}$ is het ventilatieverlies per $^\circ\text{C}$ temperatuurverschil aan de loefzijde van het gebouw.

3. De invloed van de zonne- en de hemelstraling op het warmteverlies

3.1 Straling op buitenwanden.

Wanneer een buitenwand van het gebouw wordt bestraald zal het warmteverlies door deze wand verminderen. Een exacte berekening van dit verschijnsel is nogal moeilijk omdat wij dan te maken krijgen met de berekening van niet-stationaire warmtestromen. In de evenwichtstoestand is het effect van de bestraling maximaal, het warmteverlies van de wand bedraagt dan:

$$Q_t = F \cdot k (t_i - t_o) - \frac{k}{\alpha_u} q_v \text{ kcal/h}^\circ\text{C}$$

hierin is q_v de door het vlak geabsorbeerde straling uitgedrukt in kcal/m²h.

Uit de formule blijkt dat zelfs in de evenwichtstoestand slechts een gedeelte van de geabsorbeerde straling ten goede komt aan het gebouw nl.: $k \cdot q_v : \alpha_u$.

De waarde van $k : \alpha_u$ kan voor een eensteensmuur variëren tussen 25 % voor windstilte en 3 % voor $w = 14$ m/sec. Bij stijgende windsnelheid neemt $k : \alpha_u$ af en in gelijke mate de invloed van de bestraling op de warmtebalans van het gebouw.

TABEL 1 Woningfactor H

		Woningen in rij	Vrijstaande woning	Windsnelheid w
gebied met normale wind	beschutte ligging	0,24	0,34	4
	vrije ligging	0,41	0,58	6
gebied met sterke wind	buitengewoon vrije ligging	0,60	0,84	8
	beschutte ligging	0,41	0,58	6
	vrije ligging	0,60	0,84	8
	buitengewoon vrije ligging	0,82	1,13	10

In de praktijk wordt de evenwichtstoestand nooit bereikt. De hierbovengenoemde percentages zullen daarvoor dus lager zijn. Daartegenover staat dat het effect van de bestraling door de zon zich over een langere tijd merkbaar zal maken.

3.2 Instraling door vensters.

Een glaswand gedraagt zich ten opzichte van zonne-straling geheel anders dan een ondoorzichtige wand. Bij normaal vensterglas wordt ongeveer 90 % van de opvallende zonne-straling doorgelaten. Voor dubbelglas is het percentage doorgelaten straling ca. 80 %. In het gebouw wordt de zonne-straling omgezet in warmte door temperatuurverhoging van de bestraalde oppervlakken. Deze gaan langgolvlige straling uitzenden waarvoor het glas vrijwel ondoorlaatbaar is, zodat vrijwel alle ingestraalde energie in het vertrek blijft, het zogenaamde broeikas-effect. Hieruit volgt dat het percentage van de zonne-straling dat aan het gebouw wordt toegevoerd bij glas vele malen groter is dan bij een niet-doorzichtige wand. Bovendien bedraagt het percentage glasoppervlak bij moderne gebouwen dikwijls ca 60 à 70 %. Bij de verdere beschouwingen zal daarom de via muren opgenomen zonne-straling worden verwaarloosd.

Bij instraling door vensters kan onderscheid worden gemaakt tussen directe en de indirecte werking van de zonne-straling. De directe uitwerking wordt onder-vonden door de zich in de zonne-straling bevindende personen. De indirecte werking van de zon bestaat in het op een hoger temperatuurniveau brengen van de bestraalde binnenwanden. Door de thermische traagheid van deze binnenwanden treedt hierbij een zekere faseverschuiving op.

Ter compensatie van de zoinstraling moet de waterinhoud van het verwarmingssysteem op een lager temperatuurniveau worden gebracht. Ook dit gaat gepaard met traagheidsverschijnselen, maar in de praktijk zullen deze traagheden wel zelden of nooit aan elkaar gelijk zijn.

4. Meteorologische gegevens

4.1 Windsnelheid.

Op de meteorologische stations worden windsnelheden gemeten op 6 m hoogte in het vrije veld.

In figuur 3 is voor het tijdvak oktober t/m april de cumulatieve frequentie van de windsnelheid gegeven voor Den Helder en Maastricht [3]. Uit deze figuur blijkt dat er grote plaatselijke verschillen bestaan. De windsnelheid die gedurende 10 % van de tijd wordt overschreden is voor Den Helder 12 m/sec en voor Maastricht 6 m/sec.

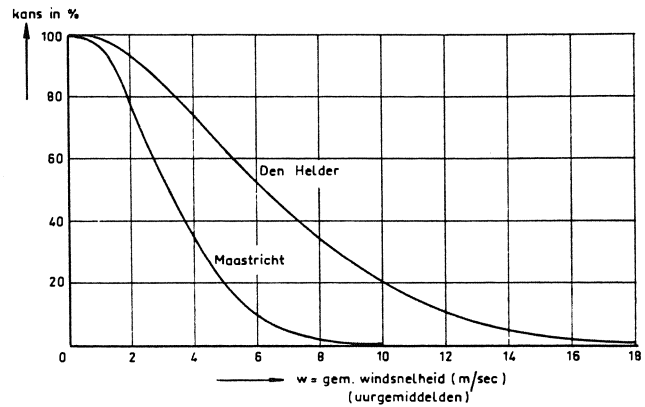


FIG. 3

De windsnelheden in de stad zijn lager dan die in het vrije veld. Hiervoor kunnen de waarden worden gebruikt die in tabel 2 zijn aangegeven [2].

TABEL 2

Percentage van de windsnelheid in het vrije veld

zeer ongunstige ligging	100 %
ongunstige ligging	70 %
beschutte ligging	40 %

In [7] zijn de voor de warmteverliesberekening bij de laagste buitentemperatuur aan te houden grootste windsnelheden gegeven. Deze grootste windsnelheden zijn alleen zeer zeldzaam bij de laagste buitentemperaturen. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de meteorologische gegevens voor Den Helder waar de „grootste” windsnelheid bij -8°C 10 m/sec bedraagt terwijl er in het gehele winterseizoen een kans is van 20 % dat deze waarde wordt overschreden.

Het verticale verloop van de windsnelheid is van belang bij de indeling in horizontale groepen van hoge gebouwen. Hieraan zijn metingen verricht door Braak in het vrije veld [4] en door Jensen in de stad Kopenhagen [5].

Tabel 3 geeft het verticale verloop van de windsnelheid. Bij de berekening van deze tabel is door ons aangenomen dat op 100 m hoogte de windsnelheden boven de stad en het vrije veld gelijk zijn.

TABEL 3

Windsnelheden in % van de vrije windsnelheid op 6 m hoogte

Hoogte in m	6	12	18	24	30
Vrije veld	100	110	116	119	122
Stad	30	50	64	75	84

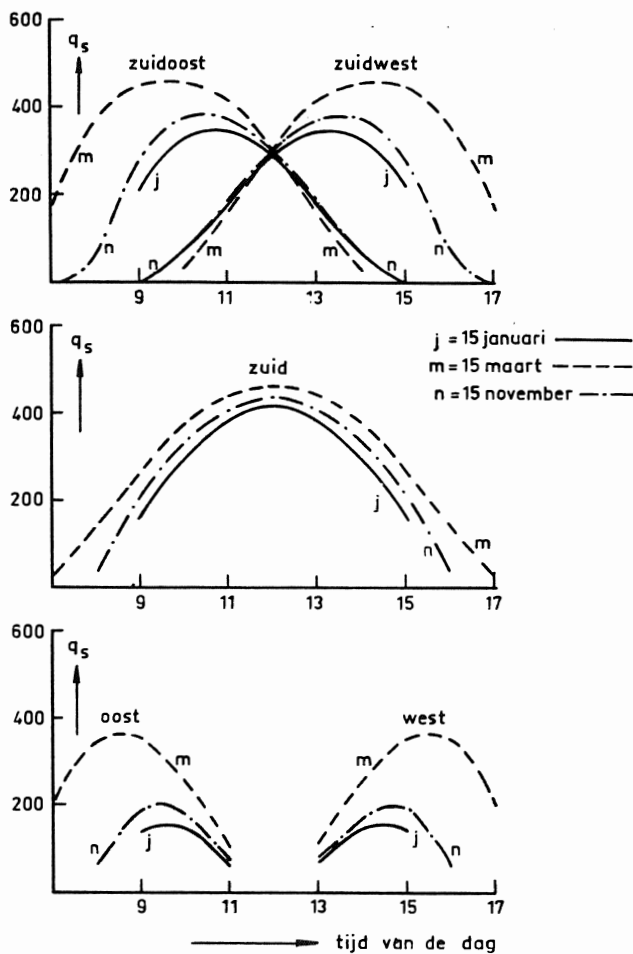


FIG. 4

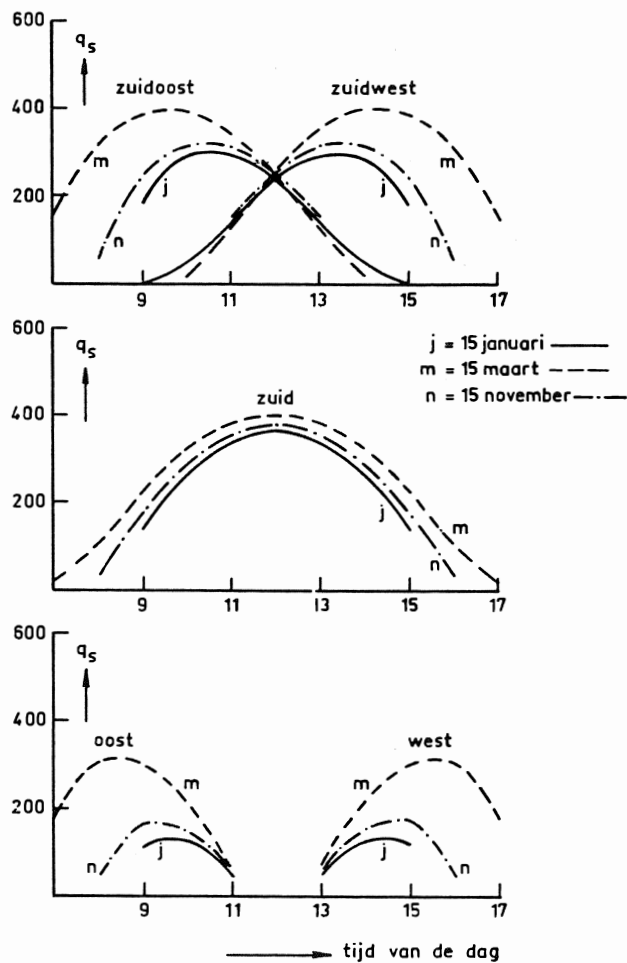


FIG. 5

4.2 Zoninstraling

De figuren 4 en 5 geven voor respectievelijk enkel- en dubbelglas de bij een heldere hemel doorgelaten *directe* zonnestraling in kcal/m²h [6]. De hierin gegeven waarden gelden voor 51° NB ten opzichte van onze breedte kunnen daardoor verschillen van 10 % optreden.

Behalve het directe zonlicht wordt door het glas ook het *verstrooide* zonlicht doorgelaten. Over de grootte van deze component is niet zoveel bekend. Voor een heldere dag kan deze 20 % van het directe zonlicht bedragen.

Figuur 6 geeft de kans op zonneshijn in Den Helder. In deze figuur is de tijd dat de zon boven de horizon staat gesteld op 100 %.

5. Rekenvoorbeeld

5.1 Wind en zoninvloed

De theoretische beschouwingen zullen worden verduidelijkt met een rekenvoorbeeld.

Van een gebouw zijn de volgende gegevens bekend:

hoogte	9 m (3 woonlagen)
lengte	44 m
breedte	10 m
geveleppervlak	$9 \cdot 44 = 396 \text{ m}^2$
glasoppervlak	Fgl. = 198 m ² (50 % glas)
spleetlengte	$l = 655 \text{ m}$ (per gevel)
doorlaatcoëfficiënt vensters	$C = 2,5 \text{ m}^3/\text{hm} \cdot \text{kg}/\text{m}^2$
woningfactor	$H = 0,82$
vertrekfactor	$R = 0,90$
windsnelheid	$w = 10 \text{ m}/\text{sec}$
warmtedoorgangscoëfficiënten bij	$\alpha_u = 20 \text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
	en $\alpha_i = 7 \text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
dak	$k = 1,00 \text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
glaswanden	$k = 5,17 \text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ (enkel glas)
overige wanden	$k = 1,50 \text{ kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$
bezetting	130 personen per gevel
verlichting	20 kcal/m ² vloeroppervlak.

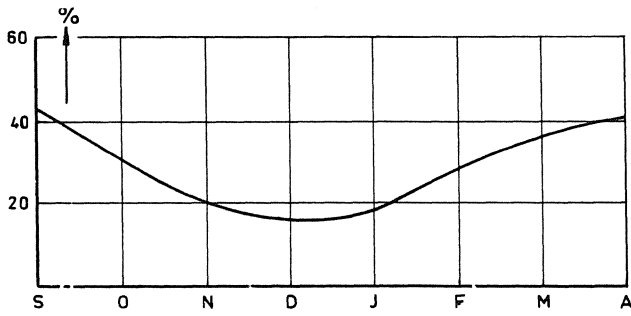


FIG. 6

Bij de opzet van de berekening is uitgegaan van een gevelregeling met andere woorden dat de helft van de breedte van het gebouw in de berekening is opgenomen.

Het warmteverlies door ventilatie als functie van de windsnelheid volgt uit:

$$c_p V = \sum (C l.) H R = A w^{4/3}$$

$$c_p V = 655 \cdot 2,5 \cdot 0,82 \cdot 0,9$$

hier uit volgt: $A = 56$

$$\text{dus } c_p V = 56 w^{4/3} \text{ kcal/}^\circ\text{C h}$$

De waarden van k zijn ontleend aan figuur 1. Het resultaat van de berekening is grafisch weergegeven in figuur 7. Hierin is als functie van de windsnelheid uitgezet het ventilatieverlies $c_p V$ en de som van transmissie- en ventilatieverlies $\sum kF + c_p V$. Uit de figuur blijkt dat de toename van de warmtebehoefte bij stijgende windsnelheid grotendeels afkomstig is van het ventilatieverlies.

Bij dit gebouw is voor $w < 4$ m/sec het ventilatievoud $v < 1$. Dit gedeelte van de grafiek is gestippeld omdat kan worden aangenomen dat de gebruikers van het gebouw door het openen van vensters het ventilatievoud boven een bepaald minimum zullen houden.

Uit figuur 7 blijkt dat het totale warmteverbruik van de loefzijde met goede benadering door een rechte lijn kon worden weergegeven. De vergelijking hiervan luidt:

$$\frac{Q}{t_i - t_o} = \sum kF + c_p V = 1200 + 192,5 w \text{ (kcal/h}^\circ\text{C)}$$

Wanneer de instraling door de vensters in rekening wordt gebracht kan bij een binnentemperatuur van 20°C de warmtebehoefte van het gebouw worden berekend uit:

$$Q_w = (1200 + 192,5 w) (20 - t_o) - 198 q_5$$

Hierin is 198 het glasoppervlak en q_5 door het glas doorgelaten zonnestraling.

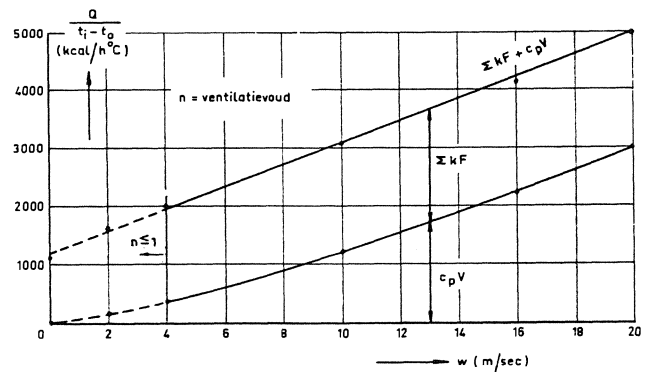


FIG. 7

De capaciteit van de installatie kan wanneer wij een toeslag van 15% voor bedrijfsonderbreking inzetten voor de gegeven ontwerpcondities worden berekend uit:

$$Q_{\max} = 1,15 (1200 + 192,5 \cdot 10) (20 - (-10))$$

$$Q_{\max} = 108.000 \text{ kcal/h}$$

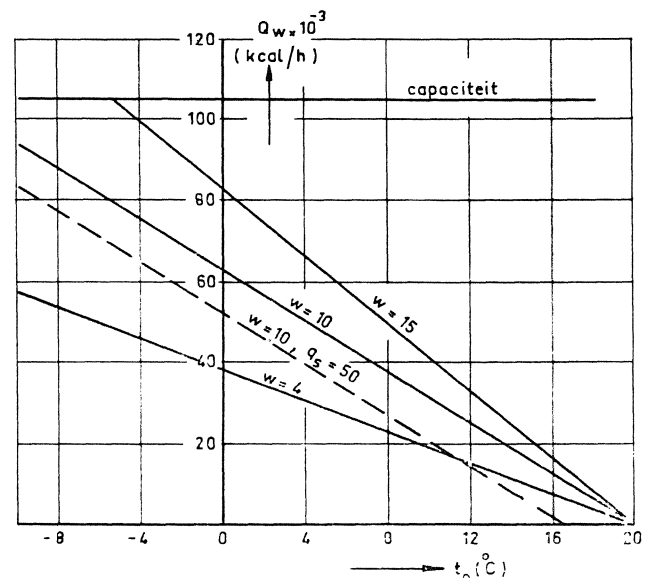
In figuur 8 is de warmtebehoefte uitgezet als functie van de omgevingstemperatuur met de windsnelheid w als parameter.

Uit de gestippelde lijn voor $w = 10$ en $q_5 = 50$ blijkt het effect van de zonnestraling. Bij dezelfde windsnelheid is een instraling van $320 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ voldoende voor het onderhouden van een temperatuurverschil van 20° tussen het gebouw en de omgeving.

5.2 Warmtetoevoer door andere warmtebronnen

Deze kunnen een niet onaanzienlijk gedeelte van de totale warmtebehoefte van het gebouw leveren. Bij een bezetting van 130 personen en een verlichtingssterkte van $20 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ geeft dit voor Q_a een waarde van:

FIG. 8



personen: $130 \cdot 80 = 10.400$

verlichting: $44 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 20 = 13.200$

Totaal $Q_a = 23.600$ kcal/h

Dit is een hoeveelheid warmte die voldoende is om het gebouw bij $w = 10$ m/sec een overtemperatuur van $7,5^\circ\text{C}$ boven de omgeving te geven.

Nu zou dit bij een weersafhankelijke regeling toch nog geen problemen opleveren wanneer Q_a constant van waarde zou zijn. De moeilijkheid ligt echter juist in het feit dat Q_a op een voor de buitenvoeler niet te controleren wijze fluctueert.

6. Maximaal mogelijke variaties van het warmteverbruik

6.1 Tengevolge van de windinvloed

Allereerst moet worden opgemerkt dat de ventilatieberekening volgens DIN 4701 een benadering is van de exacte berekening. Daarnaast is er in de praktijk een enorme spreiding in de waarden van de luchtdoorlaatcoëfficiënten van de vensters. Ook over de vermindering die de in het vrije veld gemeten windsnelheid in de stad ondergaat zijn slechts globale waarden bekend. Veel meer dan een vrij grove benadering kan van een dergelijke berekening dus niet worden verwacht.

Een onzekere factor vormt ook het ingrijpen van de bewoners in de ventilatie van het gebouw door het openen van vensters en deuren. In het rekenvoorbeeld is aangenomen dat ook bij lage windsnelheden een ventilatievoud van één niet zal worden overschreden. Het daarbij behorende minimumwarmteverbruik bedraagt 1970 kcal/h. per $^\circ\text{C}$ temperatuurverschil.

Bij een overschrijdingskans van 5% is de maximale windsnelheid in het vrije veld te Den Helder 14 m/sec en in Maastricht 7 m/sec. Voor het gegeven rekenvoorbeeld kan het maximaal te verwachten warmteverbruik worden berekend met de in 5.1 gevonden formules. Het resultaat van deze berekening is weergegeven in tabel 4.

Uit de tabel blijkt dat de windinvloed op het warmte-

verbruik sterk afhankelijk is van de windsnelheid in het vrije veld en van de ligging van het gebouw.

Er valt ook nog wel iets te zeggen over de toename van het warmteverbruik met de hoogte. Dit verschijnsel is vooral in de stad van betekenis omdat de beschutting van de omgeving voor de hogere verdiepingen verloren gaat. Volgens tabel 3 is de windsnelheid op 6 m hoogte 30% en op 24 m hoogte 75% van de windsnelheid in het vrije veld. Bij een windsnelheid in het vrije veld van 14 m/sec betekent dit voor het gegeven rekenvoorbeeld (even aannemend dat het gebouw 24 m i.p.v. 9 m hoog is) een toename van ruim 50% van het warmteverbruik voor de hoogste verdieping.

6.2 Tengevolge van de zoninstraling

Het is niet mogelijk om een overschrijdingskans aan te geven voor een bepaalde intensiteit van de zoninstraling. Uit het rekenvoorbeeld blijkt echter dat bij gebouwen met een groot glaspercentage door de zoninstraling een hoeveelheid warmte kan worden toegevoerd die groter is dan de warmtebehoefte. Vooral bij een gedeeltelijk bewolkte hemel kunnen door de zoninstraling grote fluctuaties in de warmtebehoefte ontstaan.

7. Weersafhankelijke buitenvoelers

7.1 De functie van de buitenvoeler

De functie van de buitenvoeler is het doorgeven van een voor het warmteverlies van het gebouw kenmerkend signaal aan de centrale regelaar. In afhankelijkheid van de grootte van dit signaal wordt door de centrale regelaar het regelpunt van de aanvoerwatertemperatuur bepaald.

In figuur 9 is voor een radiatorverwarming met pomp-circulatie de aanvoerwatertemperatuur uitgezet als functie van $Q_w : Q_{\max}$. Dit verband wordt voorgesteld door de zwak gebogen lijn die echter met goede benadering door een rechte kan worden vervangen.

De afwijking in de warmteafgifte die daardoor ontstaat is niet van praktische betekenis, vooral niet als

TABEL 4

Maximum warmteverbruik in procenten van het minimum warmteverbruik (1970 kcal/ $^\circ\text{C}h$)

ligging	Den Helder		Maastricht	
	windsnelheid	$Q/Q_{\min} \cdot 100$	windsnelheid	$Q/Q_{\min} \cdot 100$
zeer ongunstig	14.0	198	7.0	129,-
ongunstig	9.8	157	4.9	109
beschut	5.6	116	2.8	—

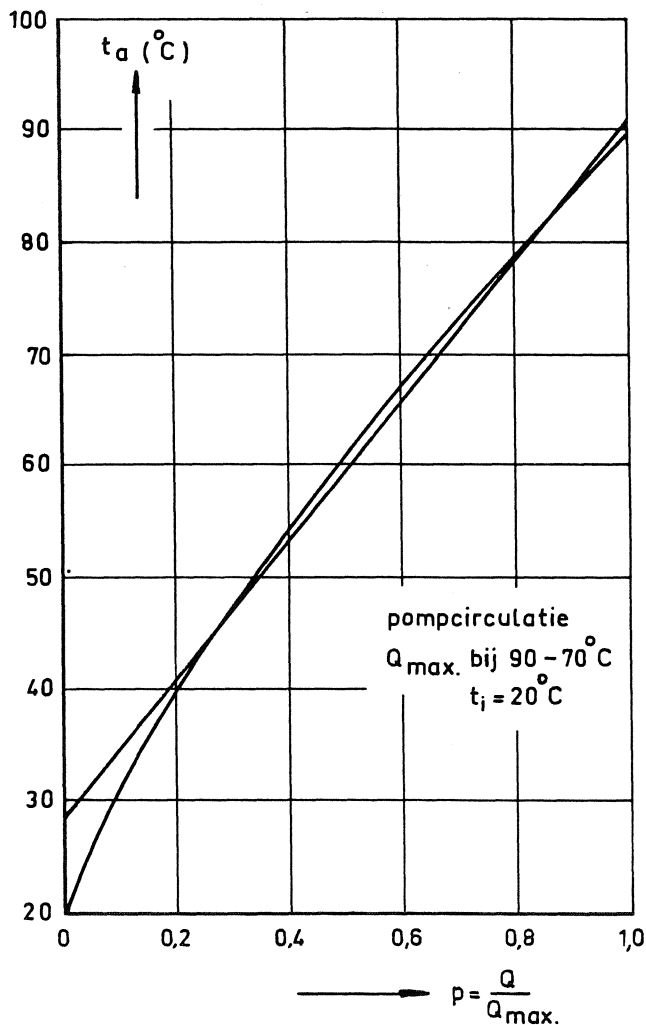
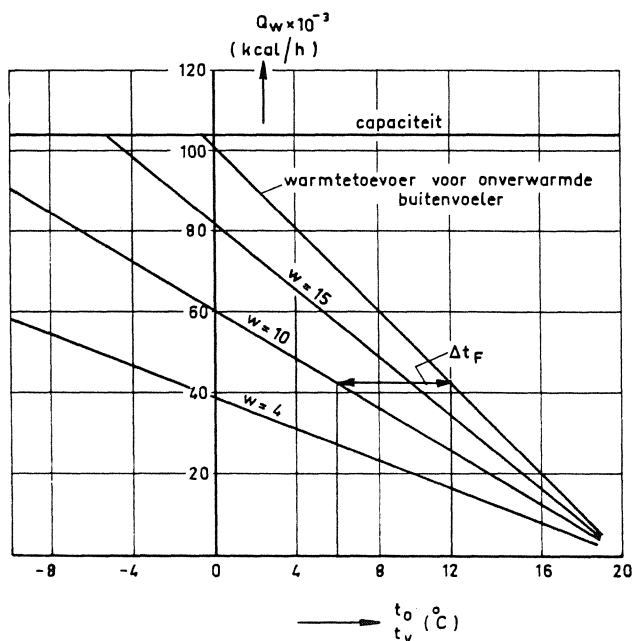


FIG. 9

FIG. 10

VOORBEELD WINDCOMPENSATIE



deze wordt gezien tegen de achtergrond van de door de buitenvoeler niet in aanmerking genomen factoren. Uit het rekenvoorbeeld is gebleken dat de warmtetoevoer door de verlichting en de bezetting van het gebouw enkele tientallen procenten van de warmtebehoefte kan bedragen.

Bij de meest eenvoudige uitvoering van de buitenvoeler wordt alleen de buitentemperatuur gemeten. Meestal geschiedt dit door een temperatuurafhankelijke weerstand. De hoeveelheid warmte die aan het gebouw wordt toegevoerd is dan evenredig met $(t_i - t_o)$ zodat in feite wordt aangenomen dat:

$$\Sigma kF \cdot c_p V = \text{constant.}$$

7.2 Buitenvoeler met windcompensatie

Windcompensatie kan worden bereikt door het meetelement van de omgevingstemperatuur op te warmen. Bij stijgende windsnelheid daalt de temperatuur van het meetelement en wordt een hogere aanvoerwatertemperatuur ingesteld.

Men hoort wel eens de mening verkondigen dat de verwarmde buitenvoeler een analogon van het gebouw voorstelt. Dit is mijns inziens onjuist omdat een analogon verwarmd zou moeten worden tot de in het gebouw gewenste binnentemperatuur. Het warmteverlies van het analogon zou dan een maat voor de aan het gebouw toe te voeren hoeveelheid warmte moeten zijn.

Dit is bij de verwarmde buitenvoeler niet het geval. Hierin wordt onder invloed van de oorspronkelijke omgevingstemperatuur en de windsnelheid een nieuwe temperatuur gecreëerd, die maatgevend is voor het warmteverlies van het gebouw.

Wij kunnen dit het beste toelichten aan de hand van het rekenvoorbeeld (zie figuur 10).

Nemen wij aan dat de voeler vraagt om een warmteproductie volgens de lijn A B. Bij een omgevingstemperatuur van $+6^\circ\text{C}$ zou dan 71.000 kcal/h aan het gebouw worden afgegeven. Wanneer de windsnelheid $w = 10$ m/sec bedraagt is de warmtebehoefte van het gebouw $Q_w = 43.000$ kcal/h. Deze warmteproductie kan worden bereikt door de buitenvoeler een omgevingstemperatuur van 12°C voor te spiegelen, dus door een opwarming $\Delta t_v = 12 - 6 = 6^\circ\text{C}$.

Wij kunnen dit nu iets algemener stellen. Wanneer de vergelijking van de lijn A B wordt gegeven door:

$$Q_w = (20 - t_o) C_1$$

en de warmtebehoefte van de gevel aan de loefzijde van het gebouw door:

$$Q_w = (a + bw) \cdot (20 - t_o)$$

dan moet:

$$(20 - t_v) \cdot C_1 = (a + bw) \cdot (20 - t_0)$$

Hieruit blijkt dat de aan de voeler toegevoerde hoeveelheid warmte evenredig moet zijn met de vereiste overt temperatuur van het gebouw ten opzichte van de omgeving. Tevens volgt uit het bovenstaande dat er een instelmogelijkheid moet zijn om de windcompensatie te kunnen aanpassen aan de windgevoeligheid van het gebouw zoals deze tot uitdrukking komt in de betrekking $\Sigma kF + c_p V = a + bw$

7.3 Zoncompensatie

De warmtebehoefte van een gebouw met een groot glaspercentage onder de invloed van wind en zon kan worden berekend uit:

$$Q_w = (a + bw) (20 - t_0) - F_{gl} \cdot q_s$$

Hierin is F_{gl} het glasoppervlak in m^2 en q_s de door het glas in het vertrek gestraalde warmte in $kcal/m^2h$. In tegenstelling met de windinvloed is het effect van de zoninstraling op de warmtebalans onafhankelijk van de omgevingstemperatuur.

Bij buitenvoelers met zoncompensatie wordt meestal een voor de zoninstraling maatgevende grootte afzonderlijk gemeten en als correctiefactor aan de centrale regelaar doorgegeven.

Men kan dit bereiken door een tweetal buitenvoelers aan te brengen de één met en één zonder stralingscherm. Wanneer de zon schijnt neemt de buitenvoeler zonder stralingscherm een hogere temperatuur aan. Het temperatuurverschil van de beide buitenvoelers dient dan als correctiefactor voor de zoncompensatie. Bij de andere uitvoeringen wordt een temperatuurafhankelijke weerstand via een venster door de zon bestraald. Het andere meetelement is in de schaduw gemonteerd. Ook hier fungeert het temperatuurverschil van de beide meetelementen als correctiegrootte voor de zoninstraling.

Ook bij de zoncompensatie moet er een instelmogelijkheid zijn om de regeling aan te kunnen passen aan het percentage vensteroppervlak van het gebouw.

7.4 De plaatsing van de buitenvoeler

Deze is enigszins afhankelijk van het type voeler. In ieder geval dient te worden vermeden dat de buitenvoeler omstroomd kan worden door uit het gebouw opstijgende warme lucht. Een situering boven een beweegbaar venster of een uitblaasopening dient te worden vermeden.

Daarnaast is er nog de vraag of de buitenvoeler aan de muur of op enige afstand daarvan moet worden bevestigd. Bij een opstelling op enige afstand van de muur is de kans dat de buitenvoeler in de schaduw van balkons of dakgoten terecht komt kleiner. Voor wat be-

treft de meting van de juiste windsnelheid is er mijns inziens niet zoveel verschil. De wervels die door het gebouw zelf worden veroorzaakt zijn zo groot dat deze alleen bij een plaatsing op vrij grote afstand van de gevel zouden kunnen worden vermeden.

Een op de buitenmuur bevestigde buitenvoeler zal in het algemeen wat trager reageren op veranderingen van de buitentemperatuur. Of dit al dan niet aanleiding tot moeilijkheden zal geven is afhankelijk van de traagheid van het gebouw en de verwarmingsinstallatie.

8. Beperkingen van de weersafhankelijke regeling

De weersafhankelijke regeling is een zogenaamde anticiperende regeling. Zodra een of meer van de klimatologische factoren die de warmtebehoefte bepalen zich wijzigen wordt het regelpunt van de aanvoerwartertemperatuur gewijzigd.

Het resultaat van zijn ingrijpen wordt door de signaalgever niet waargenomen, hij werkt volgens het principe „doe wel en zie niet om”.

Tegenover het voordeel dat onmiddellijk wordt ingegrepen zodra het buitenklimaat verandert staat het nadeel dat een aantal belangrijke storingsbronnen niet in beschouwing worden genomen.

Tot deze storingsbronnen behoren het ingrijpen van de bewoners in de bezonning en ventilatie van het gebouw door het manipuleren met zonweringen en ramen. Verder de inwendige warmteontwikkeling in de vertrekken door de daarin aanwezige personen en elektrische apparaten.

Voor de ventilatie van een gebouw maakt het verschil of de gevel door de wind loodrecht of evenwijdig wordt aangeblazen. De thans op de markt zijnde buitenvoelers met windcompensatie zijn echter niet richtinggevoelig.

Bij zoncompensatie wordt de grens voor de mogelijkheden bereikt wanneer de door de zon toegevoerde hoeveelheid warmte groter is dan de warmtebehoefte van het gebouw.

Men kan zich natuurlijk afvragen hoe het komt dat er toch betrekkelijk weinig klachten met betrekking tot de weersafhankelijke regeling worden vernomen, vooral wanneer in aanmerking wordt genomen dat er in de praktijk vrij veel buitenvoelers in gebruik zijn die alleen of hoofdzakelijk reageren op veranderingen in de omgevingstemperatuur.

Het antwoord op deze vraag is gelegen in het feit dat in het algemeen verwarmingsinstallaties ruim worden gedimensioneerd en aan de hoge kant worden ingeregeld. Verder geven de hiervoor genoemde storingsbronnen meestal aanleiding tot een extra warmte-

ontwikkeling. De tekortkomingen van de regeling uiteten zich dan ook veelal in te hoge binnentemperaturen.

Wanneer het te warm is verstelt men de radiatorkranen en opent in het ergste geval de vensters. Het warmteverlies dat daarbij ontstaat neemt men dan op de koop toe. Deze „vensterregeling” komt nogal eens voor omdat aan de gangbare radiatorkranen het bezwaar kleeft dat ze meer als afsluiter dan als regelorgaan gebruikt kunnen worden.

Economisch gezien zijn de hogere aanschaffingskosten van een regeling met wind- en zoncompensatie alleen gerechtvaardigd wanneer deze worden terugverdiend door een lager brandstofverbruik. Voor een dergelijke beoordeling is het zeer gewenst te beschikken over aan de praktijk ontleende gegevens. Voor zover ons bekend is hiervan tot nu toe weinig of niets gepubliceerd.

Het ligt voor de hand dat men gepoogd heeft om de beperkingen van de weersafhankelijke regeling en de regeling op een binnenthermostaat te ontgaan, door een combinatie van beide systemen. Doordat de klimatologische invloeden door de weersafhankelijke regeling worden gecompenseerd, worden aan de kamerthermostaat kleinere afwijkingen van de gewenste temperatuur aangeboden.

Dit systeem heeft het voordeel dat snel wordt gereageerd op een wijziging van het buitenklimaat, terwijl de invloeden van de overige storingsbronnen worden gecompenseerd via de binnenthermostaat.

Gebruikte symbolen	Eenheden
Q_w – de door de verwarmingsinstallatie te leveren warmtehoeveelheid	kcal/h
Q_s – de door de zon aan het gebouw toegevoerde hoeveelheid warmte	kcal/h
Q_a – de door andere bronnen geproduceerde warmte	kcal/h
Q_{max} – de capaciteit installatie bij ontwerpcondities	kcal/h
Q_t – warmteverlies door transmissie	kcal/h
Q_v – warmteverlies door ventilatie	kcal/h
F – oppervlak wandconstructie	m^2
F_{gl} – glasoppervlak	m^2
V – transport ventilatie lucht	m^3/h
R – vertrekfactor	—
H – woningfactor	—
φ – glaspercentage	—
C – doorlaatcoëfficiënt raam of deur	$m^3/h \cdot m \cdot kg/m^2$
l – spleetlengte raam of deur	m

c_p – soortelijke warmte bij constante druk	kcal/ $m^3 \text{ } ^\circ C$
k – warmtetransmissiecoëfficiënt	kcal/ $m^2 \text{ h } ^\circ C$
α_u – uitwendige warmteoverdrachtscoëfficiënt	kcal/ $m^2 \text{ h } ^\circ C$
α_i – inwendige warmteoverdrachtscoëfficiënt	kcal/ $m^2 \text{ h } ^\circ C$
λ – warmtegeleidingscoëfficiënt	kcal/ $m \text{ h } ^\circ C$
d – wanddikte	m
t_i – binnentemperatuur	$^\circ C$
t_o – omgevingstemperatuur	$^\circ C$
t_v – voelertemperatuur	$^\circ C$
Δ_{tv} – overtemperatuur van de voeler	$^\circ C$
Δ_{P1} – drukverschil over raam of deur	kg/ m^2
Δ_p – drukverschil over de gevels aan de lij- en loefzijde	kg/ m^2
n – exponent	—
w – windsnelheid	m/sec
v – ventilatievoud	l/h
q_v – door de muur geabsorbeerde straling	kcal/ $m^2 h$
q_s – door het glas doorgelaten straling	kcal/ $m^2 h$

Referenties

1. A. Schack: Der Industrielle Wärmeübergang. pag. 109-111. Verlag Stahleisen MBH, Düsseldorf 1940.
2. E. v. Gunst: Transmissieberekening en ventilatietoeslag: Verwarming en Ventilatie 1959 pag. 41-56.
3. C. Braak: Het klimaat van Nederland. - Wind. Ned. Verhandelingen 46. Rijksuitgeverij 1942.
4. C. Braak: De structuur van de wind. Vakantieleergang voor verwarmingstechniek, voordracht 4, 1948.
5. Jensen: Model Scale Tests in Turbulent Wind. Part I pag. 31. The Danish Technical Press, Copenhagen 1963.
6. Door het Instituut v. Gezondheidstechniek TNO samengesteld uit door Moon in Ukkel verrichte metingen.
7. Publikatie T 6. Verwarming en Ventilatie 1949, pag. 28-31.

Geraadpleegde literatuur

- W. H. Wolsey: Die Witterungsabhängige Regelung. Heizung Lüftung Haustechnik. 1963 - no. 10, pag. 342-351.
- Röhnik en F. Lieneweg: Die erfassung von Witterungseinflüssen bei der Heizungs- Lüftungs- und Klimaregelung. Heizung Lüftung Haustechnik, 1963 nr. 4, pag. 106-110.