

# Koeling en ventilatie met regelbare raamopeningen

A. H. C. van Paassen  
TU Delft  
WbMT - Proces en Energie  
Koudetechniek en Klimaatregeling

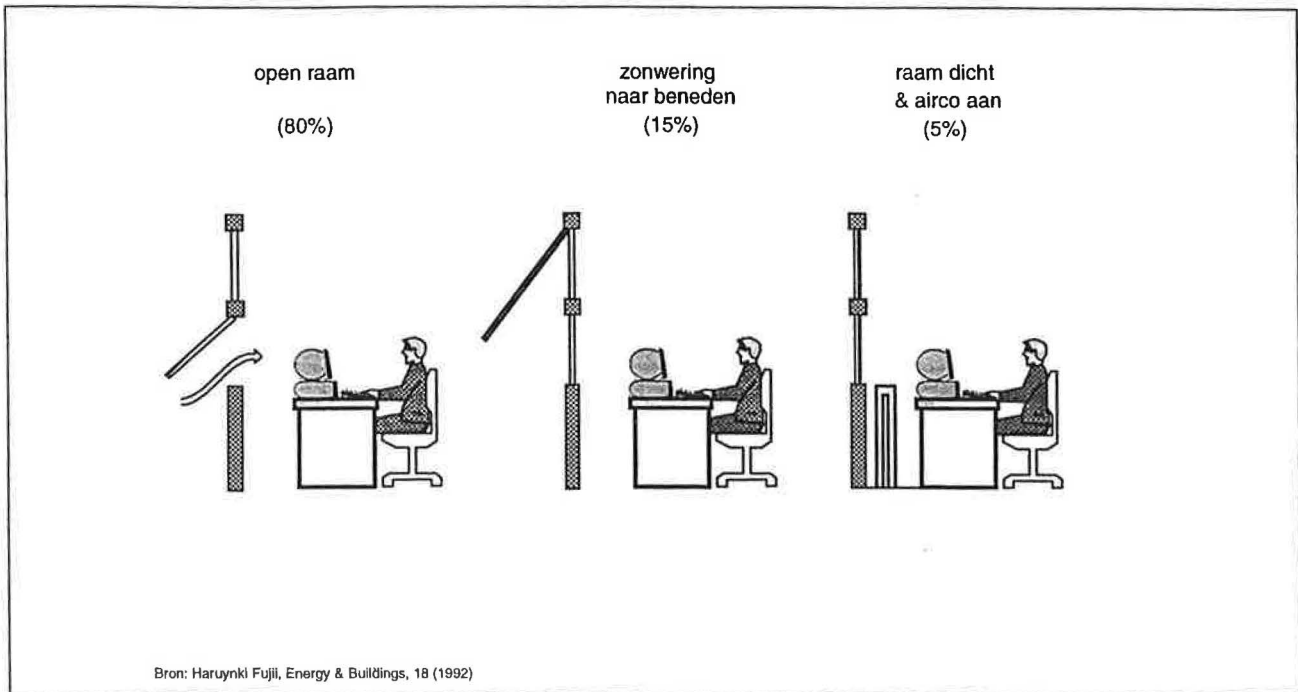
## Samenvatting

Een nieuw klimaatbeheersingssysteem is ontworpen en getest in een kantoorgebouw. Zon en wind zijn positief aangewend voor het verkrijgen van een behaaglijk binnenklimaat door het automatisch regelen van de zonwering, de verlichting, de radiatoren en de raamopeningen. Het accent van dit artikel ligt op de koeling d.m.v. natuurlijke ventilatie. Aan de orde komen de mogelijkheden en begrenzingen van regelbare ramen voor koeling en ventilatie. Ook zal worden aangetoond dat veel energie bespaard kan worden, wanneer de bewoner de keuze heeft tussen het regelen van raamopeningen en mechanische koeling.

## 1 Welk binnenklimaat wordt door de bewoners gewenst?

In Japan werd recentelijk een interessant onderzoek uitgevoerd, [Haruyuki, 1992]. Een groot aantal personen werd gevraagd een antwoord te geven op de volgende vragen. "Stel u hebt de volgende mogelijkheden om uw binnenklimaat te beïnvloeden: een airconditioningunit, een zonnescherm en een te openen raam. Stel dat het op een zomerse dag binnen veel te warm geworden is. Wat is uw eerste actie om verkoeling te krijgen? 80% van de ondervraagden gaf te kennen het raam te openen! In figuur 1 is het aantal personen af te lezen dat voor de andere mogelijkheden koos.

Daarna werd gevraagd wat men zou doen als zou blijken dat het hierna toch nog te warm zou blijven. Een bijna even groot aantal zou als tweede actie de ramen sluiten en de airconditioning unit inschakelen. Dit onderzoek demonstreert, dat mensen een grote voorkeur hebben voor het te openen raam. Dit was een van de redene om het Passief Klimaatstelsel te ontwerpen.



*Figuur 1*  
*Wensen van mensen*

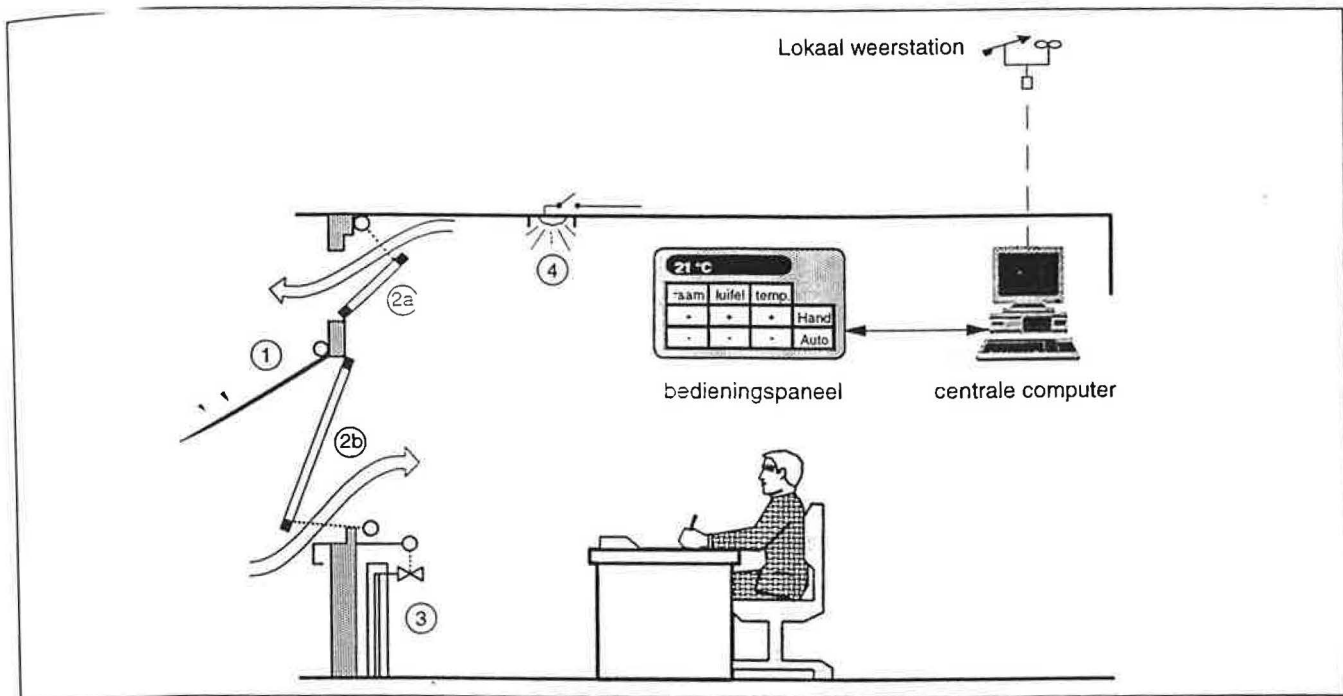
De bewoners moeten een binnenklimaat kunnen realiseren, dat ze zelf wensen, ook als dit niet overeenkomt met het comfortmodel, dat bij het ontwerp is gebruikt. Kortom een geagiteerde medewerker moet zijn frustraties kwijt kunnen door tijdelijk het raam ver open te zetten. Dit betekent een individuele regeling, waarmee de automatische regeling met de hand kan worden overgenomen.

## 2 Energiebesparing

Een ander punt, dat tot het Passief Klimaatsysteem leidde, is de noodzaak energie te besparen. Zon en wind zijn bij uitstek geschikt om te gebruiken voor gratis verlichting, verwarming en koeling. Het Passief Klimaatsysteem is vooral gericht om de wind te gebruiken voor de toevoer van verse lucht en het afvoeren van overtollige warmte. In dit artikel zal blijken dat vooral de laatste mogelijkheid een energiebesparende optie is voor moderne kantoorgebouwen.

## 3 Het Passief Klimaatsysteem

Het passief klimaatsysteem (figuur 2) tracht zo goed mogelijk het buitenklimaat te gebruiken om een aanvaardbaar binnenklimaat met minimale kosten te realiseren. Het zal duidelijk zijn dat het onderzoek en de praktische uitwerking zich voornamelijk geconcentreerd hebben op de buitengevel van het gebouw als zijnde de scheiding tussen het buiten- en binnenklimaat.



*Figuur 2*  
*Het Passief Klimaatsysteem.*

De aspecten, die hierbij een rol spelen zijn verwarming en koeling om een zekere binnentemperatuur te handhaven, de toevoer van verse lucht en het handhaven van een zeker verlichtingsniveau. Het is de bedoeling dat zonnestraling wordt gebruikt voor verwarmingsdoeleinden en voor natuurlijke verlichting. De wind en het verschil in de buiten- en binnentemperatuur worden gebruikt om natuurlijke ventilatie te realiseren. Deze ventilatie is nodig voor de toevoer van verse lucht en kan in de zomer tevens ingezet worden voor koeling.

Ofschoon dit een aantrekkelijke filosofie lijkt, liggen de problemen voor de hand. Het voordelig gebruik maken van het buitenklimaat is niet altijd mogelijk, omdat het vereiste gunstige effect niet op de juiste tijd of in de juiste hoeveelheid voor handen is. Zonnestraling als verwarmingsbron is nodig in de winter, terwijl de hoogste waarden juist in de zomer optreden. Koele buitenlucht is in de zomer meestal 's-nachts beschikbaar, terwijl het overdag als de binnentemperatuur zijn hoogste waarden bereikt, nodig is.

Aan het buitenklimaat kan niets veranderd worden. Het is dus nodig enige voorzieningen in de gevel te treffen om de bijdrage van het buitenklimaat aan het binnenklimaat te kunnen regelen en ten gunste van het binnenklimaat te kunnen aanwenden, zie figuur 2. De gevel is derhalve uitgerust met de volgende automatisch bedienbare passieve componenten om de bijdrage van het buitenklimaat aan het binnenklimaat te kunnen beïnvloeden.

### 3.1 Componenten

De passieve componenten zijn:

- 1 Zonwerende elementen, zoals een luifel, binnen- of buitenzonwering.

Bij voorkeur moet het bovenste deel van het raam niet worden afgeschermd in verband met de natuurlijke verlichting.

- 2 Ventilatie ramen voor koeling en verse luchttoevoer.

Boven- en onderramen worden toegepast. Het bovenraam wordt gebruikt in de winter, terwijl het onderraam dient voor koeling in de zomer, wanneer gevaar voor tocht niet aanwezig is. Daarnaast zijn in het gebouw nog de volgende actieve componenten nodig voor situaties waarin de passieve componenten niet toereikend zijn. Deze zijn:

- 3 Een radiator voor verwarming of een koelunit voor de afvoervan overtollige warmte.
- 4 Verlichting

### 3.2 Regeling

Om al deze componenten zodanig te laten samenwerken dat inderdaad een aanvaardbaar binnenklimaat ontstaat met minimale kosten, zal een regelsysteem nodig zijn, dat waakt over de juiste gang van zaken. In wezen komt het erop neer dat voorkomen moet worden dat de componenten elkaar gaan tegenwerken (bijvoorbeeld tegelijkertijd verwarmen en koelen door ventileren) en dat op een gunstig tijdstip van de voordelen van het buitenklimaat gebruik gemaakt wordt. Ook dient de mogelijkheid aanwezig te zijn dat de gebruiker van het vertrek kan ingrijpen, indien hieraan behoefte is (ramen openen, etc.).

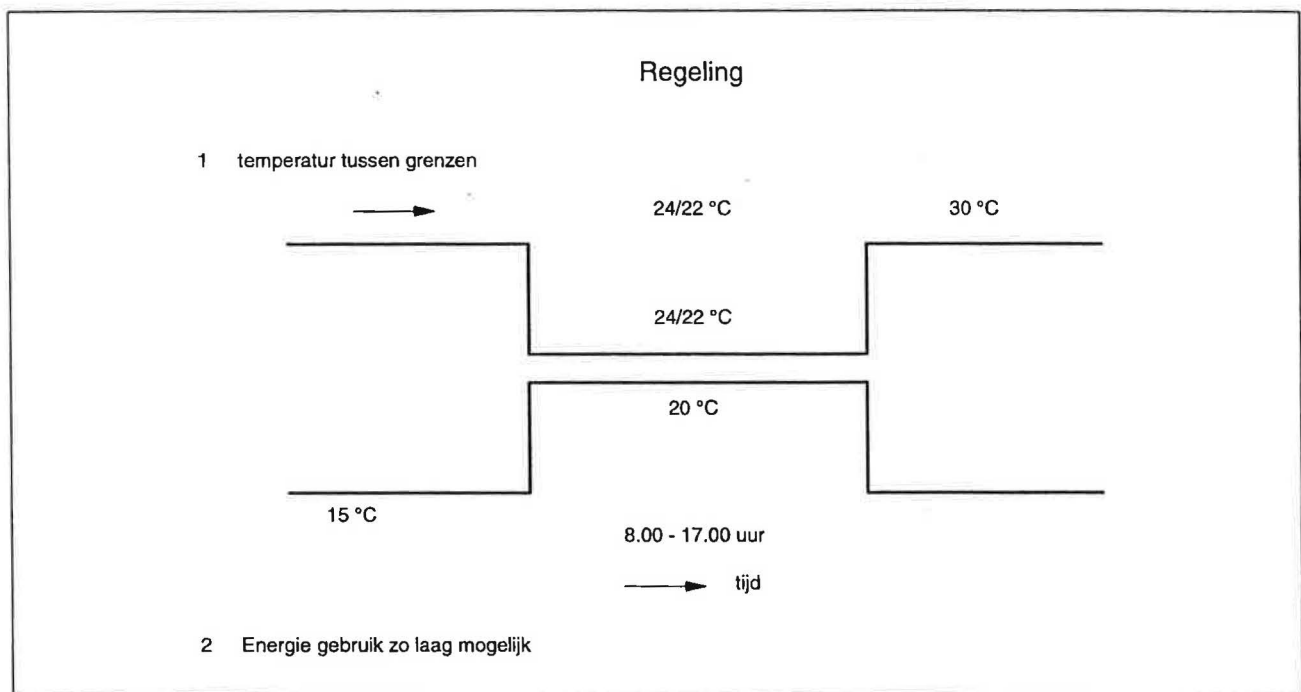
Het regelsysteem is als volgt opgezet. Elk vertrek heeft een lokale regeleenheid, welke de componenten aanstuurt om een bepaald gespecificeerd binnenklimaat te realiseren. Tevens is het voor de gebruiker mogelijk om zelf via dit paneel bepaalde componenten te bedienen. Alle regelaars zijn verbonden met een centrale eenheid, welke zorg draagt voor algemene zaken, zoals meting van het buitenklimaat, optimalisering van de regelingen en data-logging voor latere analyse. Een en ander is in figuur 2 schematisch weergegeven.

Het vervolg van dit verhaal zal hoofdzakelijk op de regeling van natuurlijke ventilatie gericht zijn.

### 3.3 Comfort

Een aanvaardbaar binnenklimaat wordt gekenmerkt door de volgende eisen:

- De binnentemperatuur moet liggen tussen een gespecificeerde minimum en maximum temperatuur, zie figuur 3.
- De verse luchttoevoer moet hoger zijn dan een gespecificeerde minimum waarde en mag geen tocht veroorzaken.
- Het verlichtingsniveau dient hoger te zijn dan een gespecificeerde minimum waarde en mag geen verblinding veroorzaken.



*Figuur 3  
Comfort.*

De gebruiker moet echter altijd zijn eigen wensen kunnen specificeren

## 4 Werking van het systeem

### 4.1 Bewoner afwezig

Als niemand aanwezig is zorgt het systeem ervoor dat het binnenklimaat optimaal voorgesteld is voor de komende periode. Dit betekent:

- Gedurende de zomer wordt de ramen 's nachts zo ver en zo lang open gezet, dat het vertrek koel zal zijn als de bewoner binnenkomt. Om dit te kunnen voorspellen wordt gebruik gemaakt van een voorspellend algoritme, zodat het gebouw alleen wordt afgekoeld als een warme periode zich aandient. De zonwering zal worden neergelaten als de zonnewarmte het gevaar oplevert voor te hoge temperaturen. Overigens dient opgemerkt, dat het zonnescherm zodanig is geplaatst dat alleen het benedendeel van het raam wordt afgeschermd. De achterliggende gedachte is de volgende. Er moet voldoende zonnestraling via het bovenraam naar binnen stralen om gebruik te kunnen maken van natuurlijk daglicht.
- In de winter wordt het vertrek s'-morgens op het juiste moment opgewarmd tot de zogenaamde "standby"-temperatuur is bereikt. Komt de bewoner binnen dan wordt de temperatuur snel op het comfortabele niveau gebracht; bijvoorbeeld van de "standby"-temperatuur van 18 °C naar de comfortabele temperatuur van 20 °C.

Voor het uitvoeren van deze acties gebruikt de regeleenheid de informatie over het weekprogramma dat door de bewoner is ingeprogrammeerd.

### 4.2 Bewoner aanwezig

Betreedt iemand het vertrek dan wordt dit gedetecteerd door de aanwezigheidsdetector.

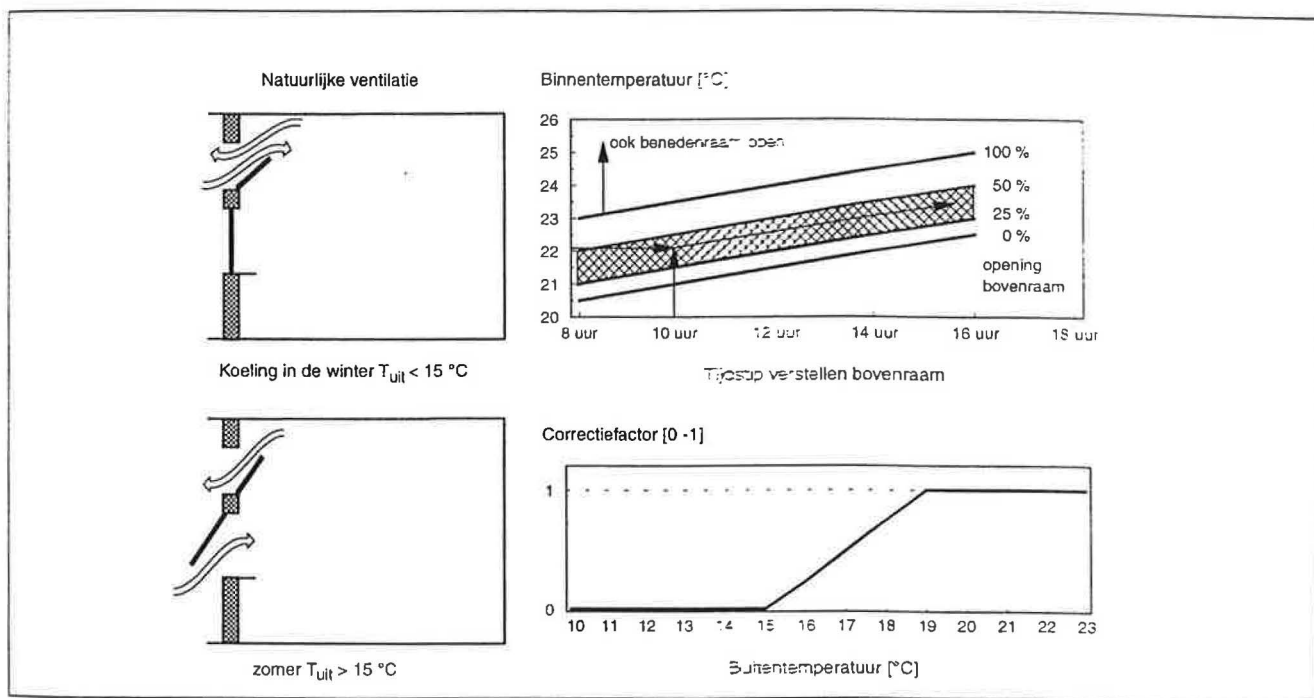
- In de winter wordt als reactie hierop het bovenraam in de minimum positie gezet om ervoor te zorgen dat er voldoende frisse lucht wordt toegevoerd en wordt de temperatuurregeling geactiveerd om van de standby naar de gewenste temperatuur over te gaan. Berekent de centrale dat het verlichtingsniveau in het desbetreffende vertrek te laag is dan wordt de verlichting ingeschakeld. Deze wordt weer uitgeschakeld als de voorspelde waarde gedurende een lange periode te hoog is.
- In de zomer zal bij binnenkomst van de bewoner de temperatuurregeling overgaan van een voorcoolsetpoint naar een hogere comfortabele waarde (bijvoorbeeld van 20 °C naar 24 °C). Uiteraard is dan de verwarming geblokkeerd. Het overdag continu regelen van de ramen om de juiste teperatuur te realiseren werd door de bewoners als zeer hinderlijk ervaren. Daarom is een sturing toegepast, waarover later meer.

### 4.3 Handbediening

Is de bewoner het niet eens met de regeling dan kan hij elk onderdeel via een afstandsbediening in een gewenste stand zetten met uitzondering van de radiatorklep.

### 4.4 Regeling boven en onderramen

Om het binnenklimaat te regelen zijn de posities van de boven- en onderramen te beïnvloeden (figuur 4). In de nu volgende paragrafen wordt beschreven wanneer en hoe deze ramen gebruikt worden.



Figuur 4  
Regeling boven- en onderraam.

#### 4.4.1 Sturing opening bovenraam

Om tocht te vermijden wordt overdag alleen geventileerd met de bovenramen. Dreigt de binnentemperatuur de bovenste comfortgrens te overschrijden dan wordt ook het benedenraam geopend. In de winter wordt het bovenraam in een zodanige positie gezet dat voldoende frisse lucht in het vertrek komt. Dit gebeurt op basis van kennis die we met metingen van het ventilatievoud hebben verkregen. Deze kennis is in de vorm regels in het regelsysteem verwerkt. De minimumstand wordt ingesteld afhankelijk van de windsnelheid en windrichting volgens:

- Kies als minimumstand min 20 [%]

Pas deze als volgt aan:

- Is de windrichting van de gevel af (voor ZW gevels zijn dit windrichtingen tussen Noord en Oost; voor het vertrek 02 van Radex is dit 0 tot 90. Verhoog dan de minimum stand bij lage windsnelheden volgens:

$$\alpha_{\min} = 2 \cdot 20 - 10 \cdot v_{\text{wind}}[\%] \quad \text{als } v_{\text{wind}} < 2 \text{ [m/s]}$$

- Staat de windrichting op de gevel (voor Z-W gevel zijn dit windrichtingen tussen 180 en 270) verlaag dan de minimumstand bij hogere snelheden:

$$\alpha_{\min} = \frac{20 \cdot 3}{v_{\text{wind}}} [\%] \quad \text{als } v_{\text{wind}} > 3 \text{ [m/s]}$$

Ter vermijding van tocht wordt de volgende regel toegevoegd:

- Bij een van de gevel afstaande wind en buitentemperaturen onder de 10 °C en een gesloten radiatorklep verhoog dan het setpoint van de temperatuurregeling in een verwarmingsperiode met 1K. Door de laatste regel wordt vermeden dat de koude lucht, die met een zeer lage snelheid het vertrek binnenstroomt, direct naar beneden in de leefzone valt. Door het verhoogde setpoint zal de radiatorklep open gaan en een warme luchtstroom veroorzaken, die dit naar beneden vallen zal verhinderen.

#### 4.4.2 Regeling/sturing boven- en onderraam

Zijn er geen mensen in het vertrek gedetecteerd dan wordt met een PI-regelaar de ramen zodanig versteld dat de binnentemperatuur gelijk wordt aan het gewenste setpoint. Zijn er wel mensen aanwezig dan worden de ramen niet voortdurend versteld door de regeling. In de praktijk gaf dit te veel hinder voor de bewoners. Er is daarom gekozen om de ramen op vijf geschikte momenten op de dag te verstellen. In figuur 4 is dit weergegeven. De verstelling is zodanig dat bij een hogere binnentemperatuur en bij het vorderen van de dag de ramen verder worden opengezet. Tocht is een combinatie van lage temperatuur en een relatief hoge lichtsnelheid. Om tochtproblemen te voorkomen wordt de berekende raamstand gecorrigeerd voor de buitentemperatuur. Als de buitentemperatuur lager dan 15 °C is, wordt het raam niet meer gebruikt voor extra koeling. Het raam zorgt alleen dat de minimale ventilatie gehandhaafd blijft. De correctiefactor vervalt als de buitentemperatuur stijgt boven de 19 °C, de kans op tocht is nu zeer gering.



Het raam wordt niet gesloten als de buitentemperatuur boven de binnentemperatuur stijgt. Dit in verband met het verkoelende effect van de opgewekte luchtstroming in het vertrek. Voor nadere informatie wordt verwezen naar (van Paassen 1995).

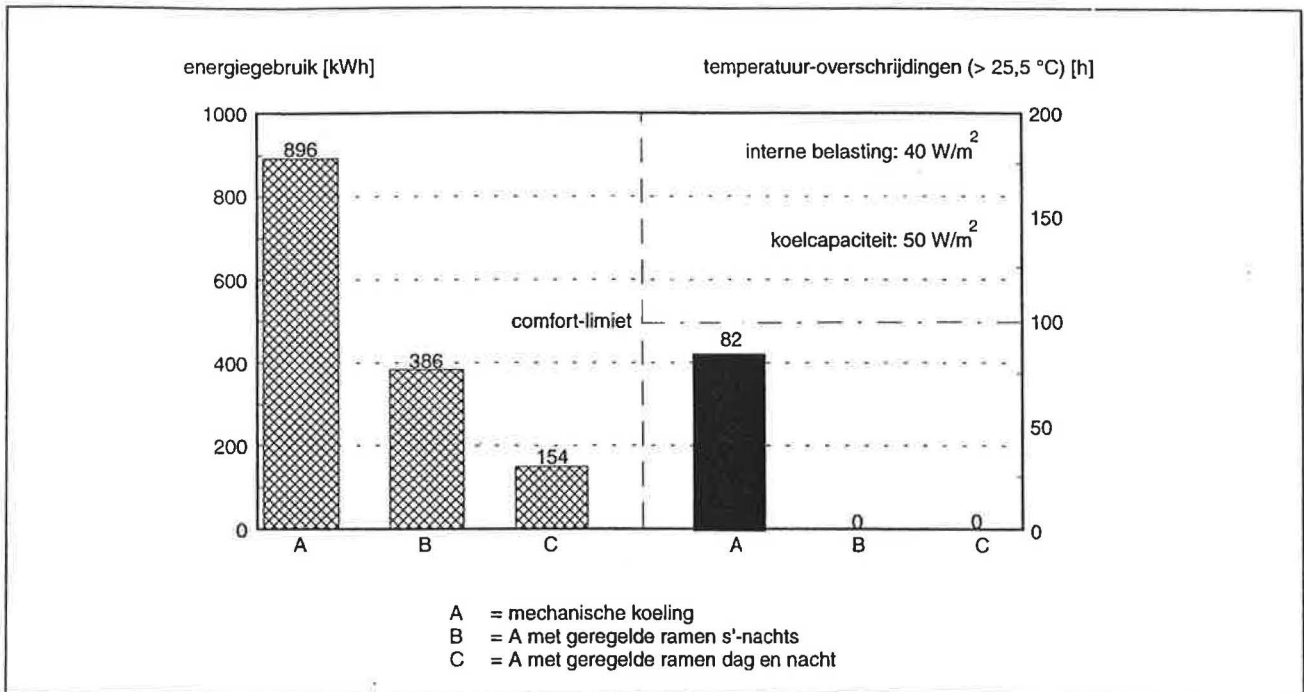
## 5 Berekeningsresultaten

Uit het onderzoek is gebleken dat de opzet van het Passief Klimaatsysteem zich goed leent voor het beheersen van het binnenklimaat met behulp van het Nederlandse klimaat, mits men een aantal bouwfysische aspecten in acht neemt. Allereerst dient het glasoppervlak van het raam niet te groot te zijn (30 á 40%), daar anders de energiewinst ten gevolge van de zonnestraling weer verloren gaat door transmissie door het raam. Tevens kan dit leiden tot een te grote warmtebelasting in de zomer, waardoor te veel temperatuur-overschrijdingen zullen voorkomen. Ook gaat de voorkeur uit naar een zwaarder type binnenwand (beton of baksteen). Dit reduceert niet alleen het energiegebruik in de winter, maar zorgt vooral voor minder temperatuur-overschrijdingen in de zomer. Deze zaken in aanmerking genomen maakt het mogelijk met het Passief Klimaatsysteem een behaaglijk binnenklimaat te realiseren mits de interne belasting niet uitstijgt boven 20 á 30 W/m<sup>2</sup>. Deze waarde is enigszins afhankelijk van de constructie van het gebouw en de intelligentie van het regelsysteem.

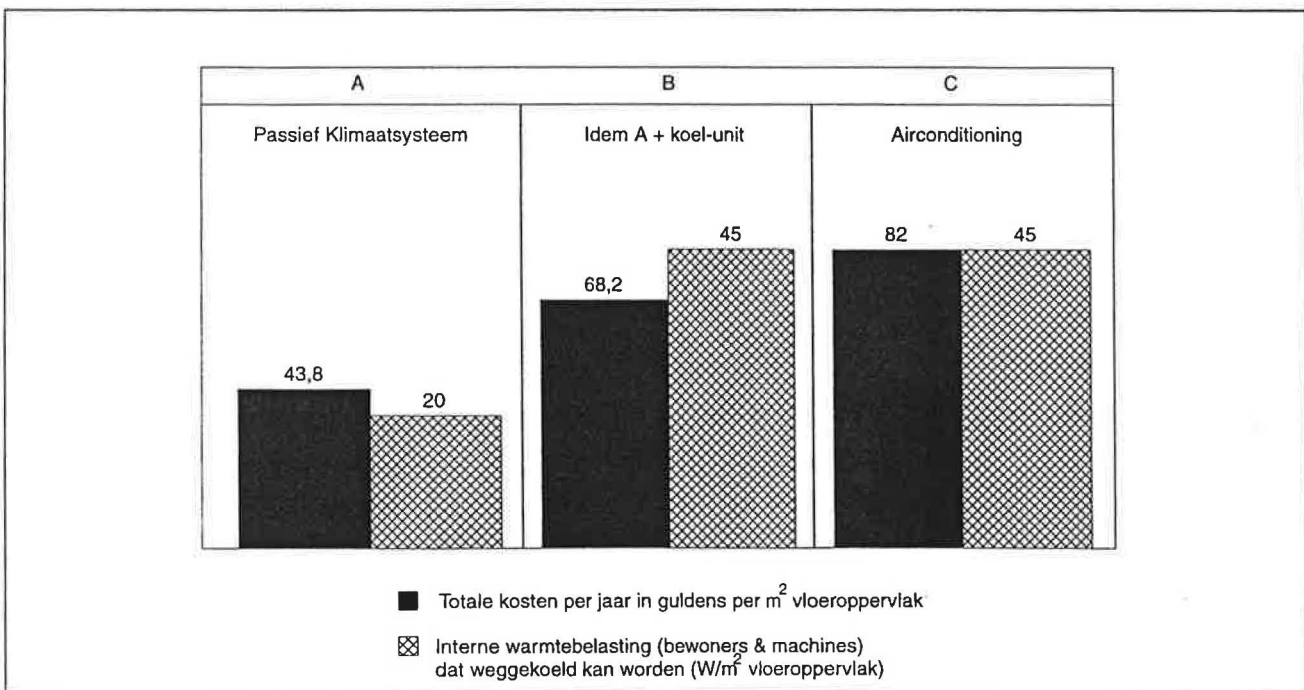
### 5.1 Koeling door geopende ramen of mechanische koeling

Is de belasting hoger dan 30 W/m<sup>2</sup> dan is mechanische koeling noodzakelijk in de warmere perioden van het jaar. Wordt de mechanische koelunit alleen ingeschakeld als raamventilatie niet meer toereikend is, dan is een enorme energiebesparing te bereiken. Het energiegebruik voor koeling is dan 20% van de hoeveelheid die nodig zou zijn in eenzelfde gebouw met een gesloten gevel, [van Paassen en Lute, 1993]. In figuur 5 zijn de energiegebruiken voor koeling en de temperatuuroverschrijdingen weergegeven voor drie situaties: A) volledig gesloten gevel en alleen mechanische koeling, B) als A met alleen koeling via de open ramen gedurende de nacht, C) als A met de mogelijkheid om gedurende de gehele dag te koelen via open ramen. Hieruit zijn de besparingen af te lezen. Ook blijkt de keuzemogelijkheid van of koeling met open ramen of mechanische koeling de vereiste capaciteit van de koelunit met 50% te reduceren, zodat er een extra inversteringsruimte ontstaat voor de raamregeling.

In figuur 6 zijn de kosten en de maximaal weg te koelen belasting van het Passief Klimaatsysteem vergeleken met een volledig airconditioning- installatie, waarmee 45 W/m<sup>2</sup> kan worden weggekoeld. Tevens is een mengvorm van beide systemen (C) in beschouwing genomen. Te zien is dat deze laatste versie eenzelfde prestatie kan leveren als de volledige airconditioning- installatie, echter met lagere kosten. De kosten kunnen nog verder omlaag indien het systeem vereenvoudigd wordt tot een gelijktijdige regeling van alle raamopeningen van een zelfde gevel. Uiteraard met behoud van de mogelijkheid van een individuele handbediening (van Paassen 1995; de Wijs 1993).



*Figuur 5*  
*Koeling door geopende ramen of mechanische koeling.*



*Figuur 6*  
*Vergelijking Passief Klimaatsysteem met volledige air-conditioning.*

## 6 Veldtest

### 6.1 Het Radex-gebouw

Het passief klimaatsysteem wordt uitgetest in een deel van het Radex-gebouw, zie figuur 7. Het Radex-gebouw is een bedrijfsverzamelgebouw met als doel betaalbare kantoorruimte te creëren voor jonge ondernemingen in de kennisintensieve sector. De twee lengtegevels van het gebouw zijn Zuid-West en respectievelijk Noord-Oost georiënteerd.



*Figuur 7  
Radex gebouw met Passief Klimaatsysteem.*

Het gebouw bestaat uit drie verdiepingen en is opgebouwd uit betonnen kolommen, vloeren en plafonds van betonnen kanaalplaten. De binnenwanden bestaan uit kalkzandsteen en een gipsen scheidingswand. De buitengevel is zeer goed geïsoleerd.

### 6.2 Vertrekken met passief klimaatsysteem

Het Passief Klimaatsysteem is in acht vertrekken op de eerste verdieping in het midden van het Radex-gebouw geïnstalleerd. Van de acht vertrekken bevinden zich vier vertrekken aan de Noord-oost zijde en vier vertrekken aan de Zuid-west zijde. De vertrekken worden gescheiden door een gang.

## Opbouw vertrekken

De buitengevel bestaat uit kalkzandsteen en baksteen met een spouw waarin een 12 cm van een isolatiemateriaal is aangebracht. De plafonds in de vertrekken kunnen naar eigen keuze worden voorzien van een systeemplafond.

De afmetingen b x d x h van de vertrekken zijn:

Zuid-westzijde: 3,5 x 7,0 x 2,9 [m]

Noord-oostzijde: 3,5 x 5,2 x 2,9 [m]

Elk vertrek is voorzien van dubbel glas met de volgende afmetingen:

Raamafmeting: 1,7 x 1,7 [m]

Twee gedeelten van het raam kunnen worden geopend voor ventilatie, het raam bestaat uit een onderraam en een bovenraam. De afmetingen van de te openen gedeelten zijn:

Bovenraam: 1,6 x 0,52 [m]

Onderraam: 1,0 x 0,79 [m]

Voor het berekenen van de grootte van de raamopeningen wordt verwezen naar appendix 2.

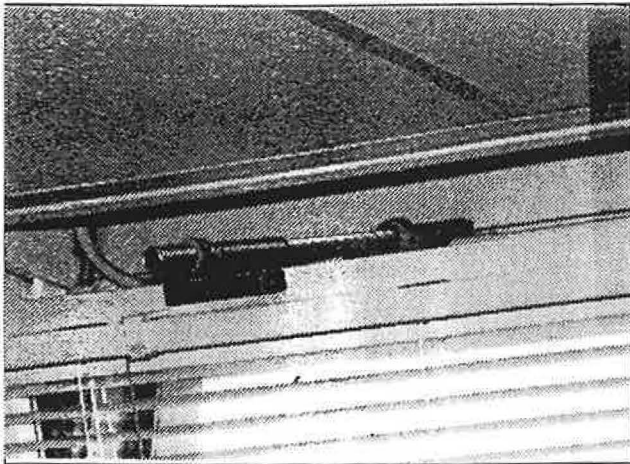
Beide ramen zijn uitgerust met een elektromotor. Het bovenraam is voorzien van een spindelaandrijving en opent naar binnen. Het onderraam is voorzien van een ketting-overbrenging en opent naar buiten. De motoren kunnen door het regelsysteem of met de hand worden bediend.

In figuur 8 is de toegepaste spindelaandrijving van het bovenraam en in figuur 9 is de kettingaandrijving van het onderraam weergegeven.

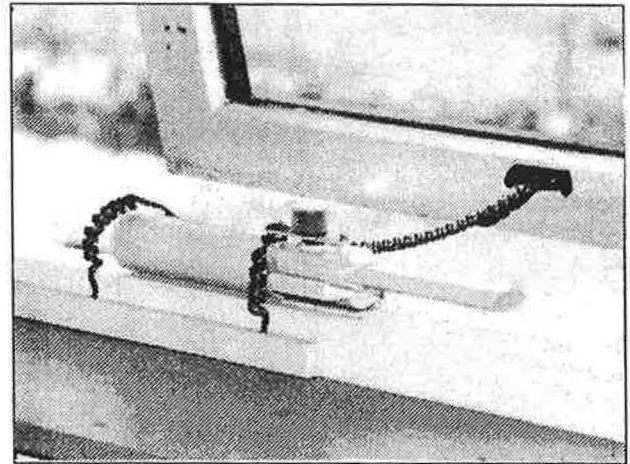
De Zuid-west zijde is voorzien van een buitenzonwering, deze is geplaatst onder het bovenraam. De zon wordt alleen geweerd op het onderste gedeelte van het raam, zie figuur 10. Het bovenraam moet zoveel mogelijk onbedekt blijven omdat anders geen gebruik kan worden gemaakt van het buitenlicht. Als de zonwering naar beneden is kan er toch voldoende licht naar binnen komen en kan de verlichting uit blijven. Om verblinding te vermijden is het bovenraam voorzien van een eenvoudige binnenzonwering. De zonwering is voorzien van een elektromotor die door het systeem of met de hand kan worden bediend.

De verlichting in het vertrek is verdeeld in twee groepen. Een groep aan de voorzijde en een groep aan de achterzijde. De groep aan de voorzijde bestaat uit 2 x 36 Watt TL-buizen. De achterzijde bestaat uit 4 x 36 Watt voor een vertrek aan de Zuid-westzijde of 2 x 36 Watt voor

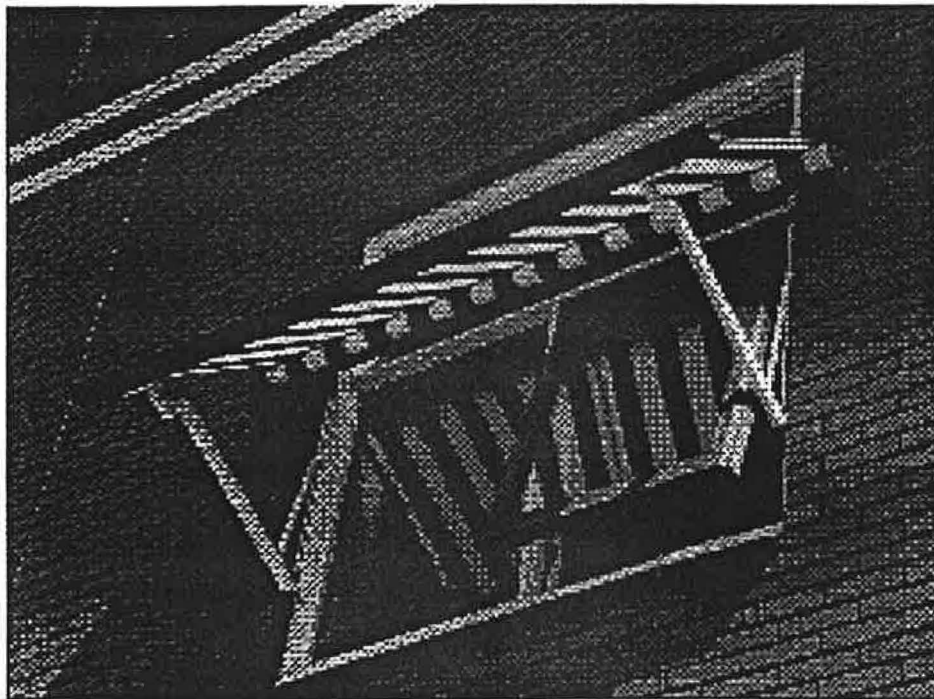
een vertrek aan de Noord-oostzijde. De verlichting kan onafhankelijk worden in- of uitgeschakeld. Ook deze wordt automatisch door het systeem geregeld of kan met de hand worden bediend. Elk vertrek is uitgerust met een radiator met een nominaal vermogen van 760 Watt (90/70). De elektrisch bestuurbare radiatorklep wordt automatisch door het systeem geregeld.



*Figuur 8  
Spindelaandrijving.*



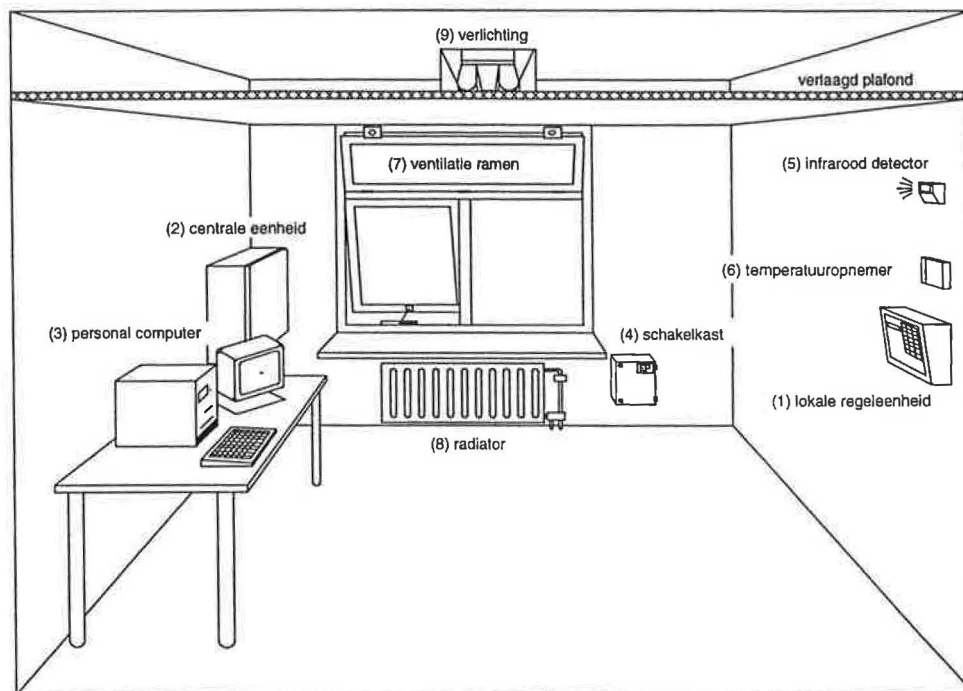
*Figuur 9  
Kettingaandrijving.*



*Figuur 10  
Regelbare zonwering.*

## Het vertrek

In figuur 11 is een aanzicht gegeven van het vertrek 1.20b waarin zich de centrale eenheid Comp01 en de lokale regelaar Comp02 bevinden. Dit vertrek werd gebruikt voor het uitvoeren van gedetailleerdere metingen.

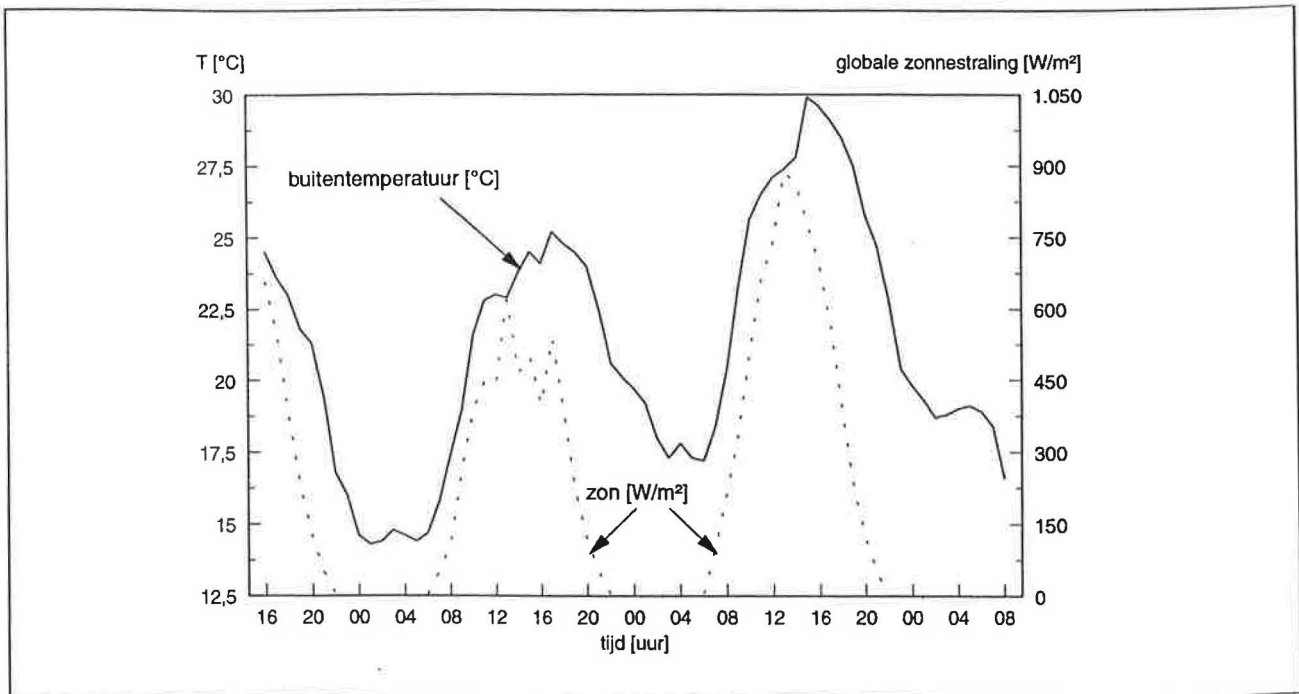


*Figuur 11*  
*Het vertrek 1.20b*

De overige vertrekken hebben dezelfde componenten met uitzondering van de centrale eenheid. De centrale eenheid verricht de coördinerende en optimaliserende berekeningen en vertaalt deze vervolgens in gewenste waarden en acties, die vervolgens door de lokale regeleenheden in de vertrekken worden uitgevoerd. De acties van de regeleenheid worden via de schakelkast omgezet in de juiste standen van de radiatorklep, de raamopeningen, de zonwering en het wel of niet inschakelen van de verlichting. In eerste instantie zijn er geen beveiligingen toegepast voor inbraak en het klemmen van vingers. Een mogelijke oplossing is gegeven in appendix 1.

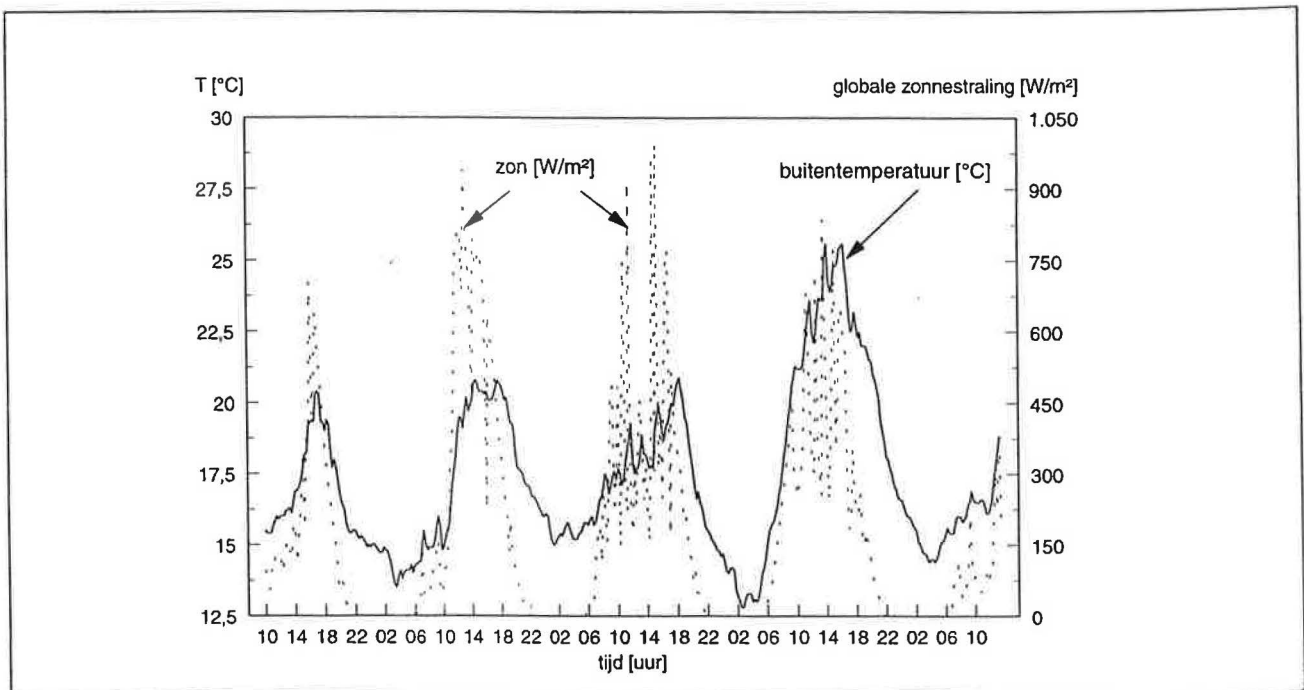
## Zomersituatie 1993

De maand juli 1993 was een karakteristieke zomermaand. Voor de analyse is de periode 02-07/09-07 gekozen. Deze periode is onderverdeeld in het weekend 02-07/05-07 en de werkweek 05-07/09-07. Figuur 12a en 12b tonen de buitentemperatuur en de zonnestraling in respectievelijk het weekend en de werkweek.



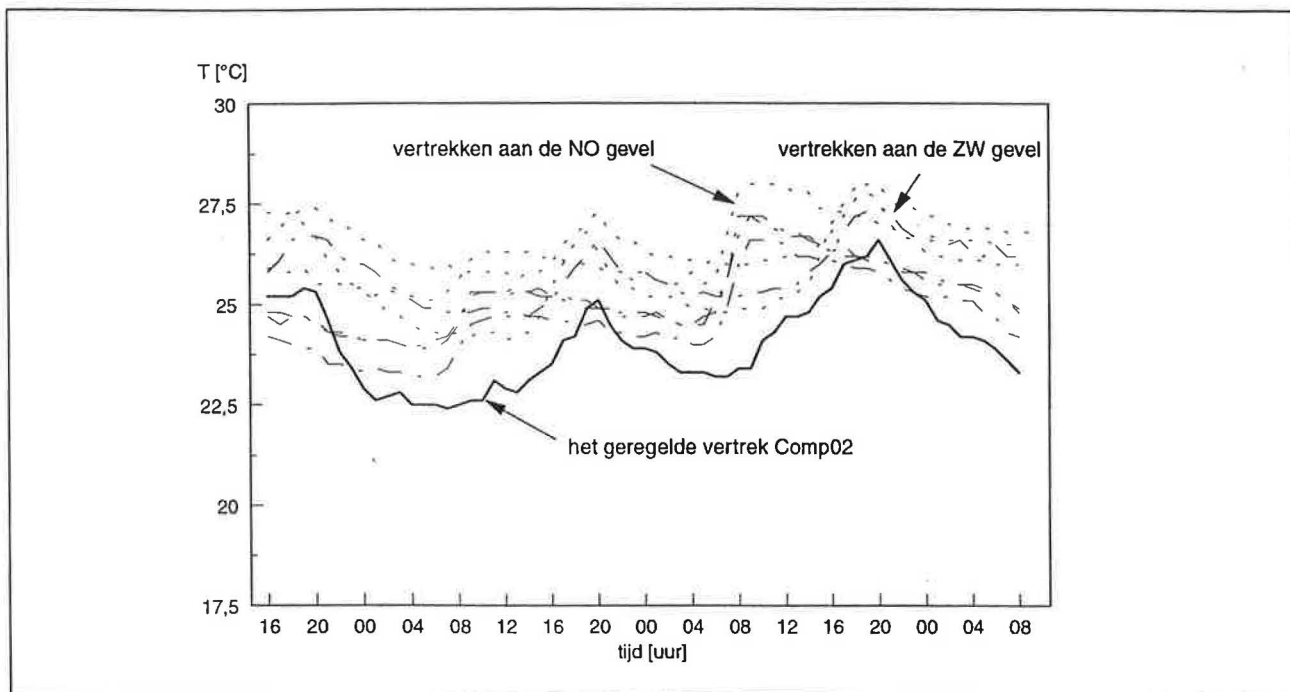
*Figuur 12a*  
*Buitenklimaat weekend 02-07 / 05-07.*

De buitentemperatuur bereikt op zondag even de 30 °C. De daarop volgende werkweek begint vrij koel met veel bewolking, maar aan het eind van de week begint de temperatuur weer te stijgen.

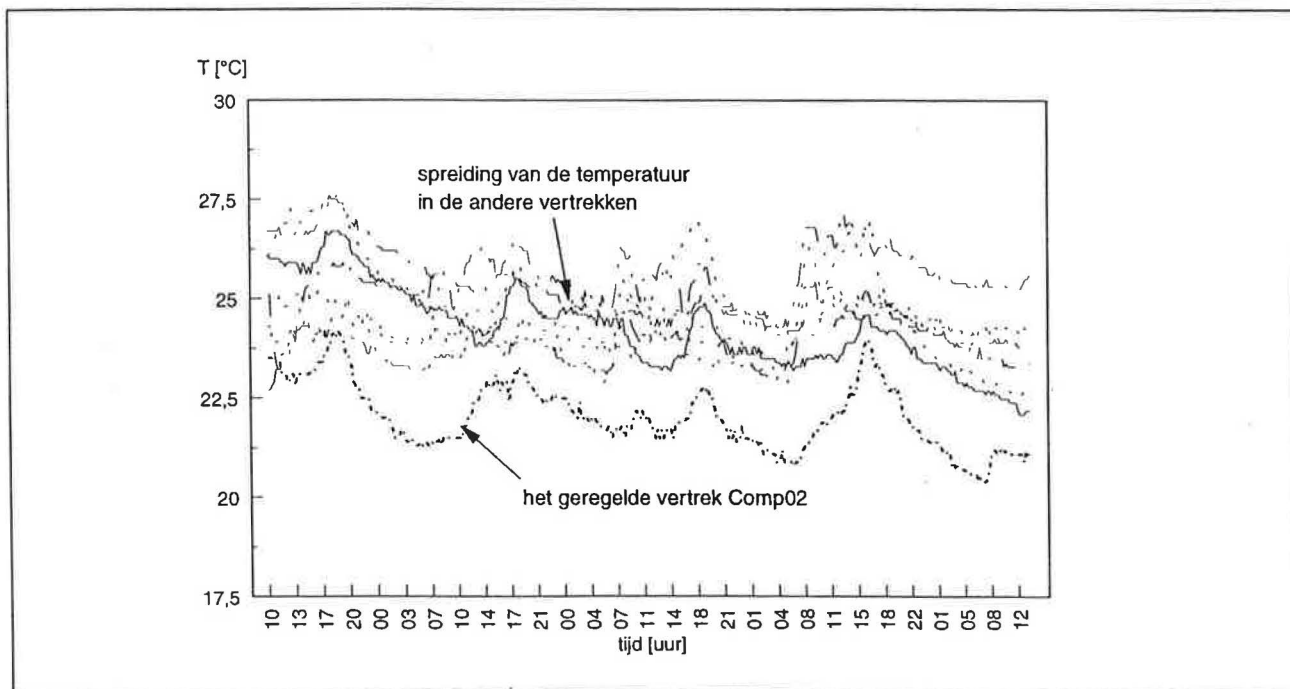


*Figuur 12b*  
*Buitenklimaat werkweek 05-07 / 09-07.*

Figuur 12c en 12d tonen de binnentemperaturen van de vertrekken die aan het systeemverbonden zijn. Deze figuren laten zien, dat het optimaal geregelde vertrek Comp02 duidelijk koeler is dan de andere vertrekken, waarin de handbediening was toegepast. Dit is bereikt dank zij het 's-nachts openen regelen van de ramen (nachtventilatie).



Figuur 12c  
Binnentemperatuur weekend 02-07 / 05-07.



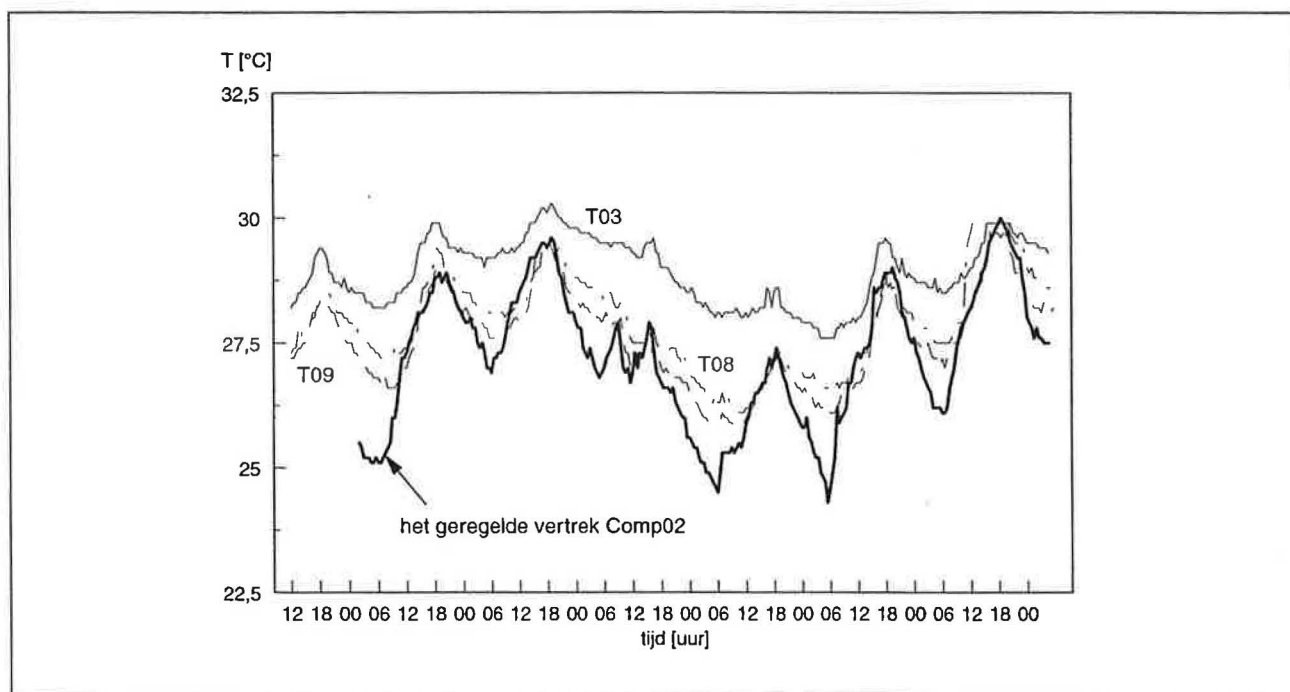
Figuur 12d  
Binnentemperatuur werkweek 05-07 / 09-07.



## Zomersituatie 1994

De week van 29 juli tot 5 augustus was de warmste week in de buitengewoon warme zomer van 1994. Een dergelijke zomer komt in Nederland hoogstens éénmaal in de 10 jaar voor.

In de figuur 13 zijn de binnentemperaturen van de verschillende vertrekken weergegeven. Zowel voor de Noord- als de Zuidgevel zijn de temperaturen steeds boven de norm van 25,5 °C. Het vertrek Comp02, het enige vertrek met automatische raamregeling in bedrijf, is steeds koeler dan de overige vertrekken op Zuid. Men ziet dat op de warmste dag het vertrek Comp02 niet koeler is dan de overige vertrekken. Toch voelde het koeler aan door koudere wanden.



*Figuur 13*  
*Binnentemperatuur 29 juli tot 5 augustus 1994.*

## Conclusies veldtest

Nadat de kinderziekten waren opgelost, voldeed het regelsysteem in het vertrek Comp02 met de automatische regeling zeer goed.

In de zomer van 1993 kon door het toepassen van nachtventilatie de ruimtetemperatuur aangenaam laag gehouden worden. In de winter kon de verwarming tot het minimum beperkt worden, door in de avond de ramen te sluiten en alleen bij aanwezigheid van personen de raam op een kier te zetten voor de toevoer van de minimum vereiste buitenlucht.

In de buitengewoon warme zomer van 1994 lag het aantal uren met temperaturen boven de 25,5 °C beduidend boven de norm van 100 uren. Bijvoorbeeld gedurende de week van 29 juli tot 25 augustus varieerde de binnentemperatuur in het vertrek 02 met de automische raamregeling gedurende de dag tussen de 25 en 29 °C. Bij de overige vertrekken zonder automatische regeling waren de binnentemperaturen in die week gemiddeld 1 tot 2,5 K hoger.

Het opwarmen van de omliggende vertrekken zonder raamregeling verhinderde een sterke afkoeling geduren de nacht. Om een juist beeld te krijgen over de mogelijkheden van het Passief Klimaatsysteem in een extreem warme zomer periode zou het gehele gebouw 's-nachts geventileerd moeten worden.

## Referenties

Galen, P.J.M. van (1994)

"Automatische raamopeningen als bruikbaar onderdeel van de klimaatbeheersing".  
Afstudeerrapport KK-1070, TU Delft, WbMT, Koudetechniek en Klimaatregeling, juli 1994.

Hessing, R.A. en Smit, J.T.P. (1993)

"Testen passief klimaatsysteem"  
Afstudeerverslag TH-stagieres, KK-1049, TU Delft, WbMT,  
Koudetechniek en Klimaatregeling, mei 1993.

Haruyuki Fujii, Loren Lutzen Hiser (1992)

"Japanese Residential Air-Conditioning Natural Cooling and Intelligent Systems".  
Energy and Buildings, 18 (1992) p. 221-233.

Lute, P.J. (1992)

"Veldtest passief binnenklimaatsysteem"  
Fase 1 - Voorbereiding, Rapport K-182, TU Delft, WbMT,  
Koudetechniek en Klimaatregeling, 1992.

Lute, P.J. (1992)

"The use of predictions in temperature control in buildings"  
A passive climate application  
PhD thesis TU Delft, WbMT, Koudetechniek en Klimaatregeling, oktober 1992.

Paassen, A.H.C. van, Lute, P.J., Liem, S.H. (1991)

"Het Passief Klimaatsysteem".  
Ventileren en koelen met regelbare raamopeningen. Rapport TU Delft,  
Koudetechniek en Klimaatregeling, K-169, 1991.

Paassen, A.H.C. van, Lute, P.J. (1993)

"Energy saving through controlled ventilation windows".  
3rd European Conference on Architecture 17-21 Florence Italy, May 1993, pp 208-211.

Paassen, A.H.C. van, and Lute, P.J. (1993)

"Performance and Feasibility of Passive Climate Systems."  
Proceedings Clima 2000, Int. Congress, november 1-3, 1993, London, United Kingdom.  
(The "Pilkington Prize" has been awarded to the authors)

Paassen A.H.C. van, (1995)

"Veldtest Passief Klimaatsysteem"  
K-207. In opdracht van NOVEM-Sector Bouw. Maart 1995.

Paassen A.H.C. van, (1995)

"Rules for cooling through motorized vent windows".

19th Congress IIR/IIF, August 1995, The Hague, The Netherlands

Phaff, J.C. (1980)

"Onderzoek naar de gevolgen van het openen van een raam op het binnenklimaat van een kamer".

IMG-TNO, maart 1980.

Warren, P. J. (1978)

"Ventilation through openings on one wall only"

Building Research Establishment, Garston, Batford, England.

Energy Conservation in Heating, Cooling and Ventilation Building, 1978.

Wijs, P., (1993)

"Toepassing van regelbare raamopeningen".

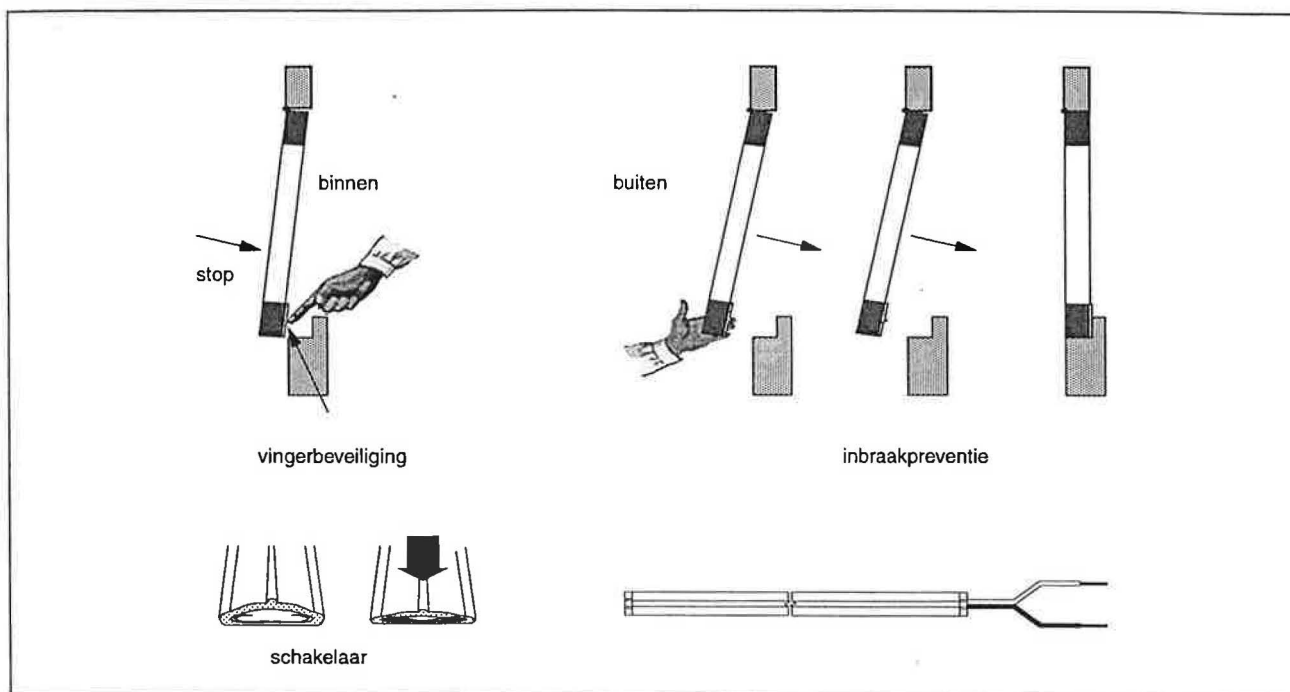
Afstudeerrapport KK-1047, mei 1993,

Koudetechniek en Klimaatregeling, Technische Universiteit Delft.

## Appendix 1

### Vingerbeveiliging en inbraakpreventie

Via de software is het gevaar voor het klemmen van de vingers of andere lichaamsdelen te verminderen door bij het sluiten van het raam enige tijd een minimumstand in acht te nemen alvorens tot volledige sluiting wordt overgegaan. Dit is niet volkomen veilig. In het laboratorium is een eenvoudig systeem bedacht. Het bestaat uit een strip (tapeswitch) dat op de randen van het raamkozijn is aangebracht. Bij aanraking zal de stroomtoevoer naar de raamverstel-motor onderbroken worden. In figuur 14 is dit op anschouwelijke wijze weergegeven. De tapeswitch is op de markt in allerlei uitvoeringsvormen verkrijgbaar (Guardscan).



Figuur 14  
Vingerbeveiliging en inbraakpreventie.

Dit systeem kan ook worden gebruikt als inbraakpreventie. Hiervoor is het nodig dat het uitschakelen gedetecteerd wordt door de regeleenheid. Valt een detectie van een aanraking van het raam buiten kantoortijd en zijn er geen personen door de aanwezigheidsdetector waargenomen dan zal bij het weer loslaten van het raam deze via de regeleenheid definitief gesloten worden. Dit kan eventueel gepaard gaan met een (stil) alarm.

## Appendix 2

### Grootte van te openen raamdelen

#### Uitgangspunten

- Het is van belang de raamopeningen te dimensioneren voor een warme dag met weinig wind. Aangezien op de zomerse dagen er altijd wel enige wind staat, wordt voor de dimensionering uitgegaan van een windsnelheid van 2 m/s.
- Het temperatuurverschil tussen de binnen- en buitentemperatuur wordt gelijkgesteld aan een gemiddelde waarde. Op een warme zomerse dag varieert het temperatuurverschil sterk. Gedurende de dag is het verschil klein en kan het verschil zelfs negatief worden omdat het buiten warmer is geworden. 's-Nachts varieert het verschil tussen de 0 en 6 K. Hier wordt als uitgangswaarde voor de dimensionering 2K gekozen.

*Tabel I*  
*Ontwerpregel te openen raamdelen.*

**Globale ontwerpregel:  
grootte van te openen raamdelen  
gebaseerd op metingen in het Radex gebouw.**

**Uitgangspunt:**

De hoeveelheid ventilatie,  $\Phi_{vent}$  wordt bepaald, waarbij het aantal uren met binnentemperaturen boven de 25,5 °C niet hoger is dan 100 uren.

Dit wordt bijvoorbeeld gedaan met een temperatuur-overschrijdingsprogramma.

Berekening van het totaal oppervlak (boven en onder) van de te openen raamdelen:

$$A_{\text{totaal}} = \frac{2 \cdot \Phi_{\text{vent}}}{\bar{v}_r} \frac{1}{\sin \alpha_{\text{max}}}$$

met:

$\bar{v}_r = 0,19$  à  $0,38$  gemiddelde luchtsnelheid in raamopening

$\alpha_{\text{max}}$  = maximale openingshoek raam

Overigens bleek het effect van het temperatuurverschil op de hoeveelheid ventilatie bij extreme zomerse condities veel kleiner dan die van de wind. In het Radex gebouw bleek het ventilatievoud dus 50% kleiner dan eerder in een testcel was bepaald. De waarden 0,38 voor de parameter is gebaseerd op de meetresultaten van de testcel. Een lagere waarde bleek noodzakelijk voor het Radex-gebouw, namelijk 0,19. Voor een nadere beschouwing wordt verwezen naar (Paassen 1995).