

COLOFON

Auteurs

R. S. Soeleman en Ph. J. Ham

Redactie en basisontwerp

M. H. de Groot

Tekenwerk

B. Horsthuis en W. H. van Velzen

Vormgeving

Jos. A. van Eunen

Druk

Meinema - Delft

In de afgelopen tijd is veel gesproken over een verschijnsel, dat wordt aangeduid als „gap of knowledge” tussen West-Europa en de USA.

Uit de diverse discussies heeft men inmiddels onder meer de conclusie kunnen trekken, dat het niet zozeer een achterstand in kennis betreft die ons onderscheidt van Amerika, als wel het in toepassing brengen van de bestaande kennis.

Te overbruggen zal deze „gap” slechts zijn door een ombuiging van het industrieel beleid. Men zal o.a. de constructeurs moeten leren van betere methodieken gebruik te maken, zoals die door de wetenschap zijn ontwikkeld en voor praktisch gebruik gereed gemaakt. Om dit mogelijk te maken is het voor de wetenschap een dwingende opgave om in duidelijke, klare taal bekend te maken welke problemen dan wel op deze wijze zijn aan te vatten en op te lossen.

Deze uitgave is een eerste poging daartoe op het gebied van binnenklimaat, een researchgebied waarvoor in de Organisatie TNO een speciale afdeling van het Instituut voor Gezondheidstechniek reeds vele jaren werkzaam is. Met rijkssubsidie wordt wetenschappelijk onderzoek verricht en worden werkmethodeken ontwikkeld ten behoeve van het ontwerpen van installaties en gebouwen. Het is niet de bedoeling om met deze uitgave panklare oplossingen aan de hand te doen.

Er worden enkele problemen in toelicht met daarbij een aanduiding van de methodieken welke de ontwerper ten dienste staan om zijn ontwerpen op een betere gebruikswaarde af te stemmen. Dus een bekendmaking voor een ieder die het aangaat.

De wetenschappelijke onderzoeker lijdt vaak aan de kwaal van een voor de praktijk te ingewikkelde wijze van uiteenzetten. Hij is daarbij echter kritisch, ook op zijn eigen werk, waardoor hij openstaat voor op- en aanmerkingen in opbouwende zin.

Ir. E. van Gunst

Hoofd van de Afdeling Binnenklimaat

IG-TNO INSTITUUT VOOR

COLOFON

Auteurs

R. S. Soeleman en Ph. J. Ham

Redactie en basisontwerp

M. H. de Groot

Tekenwerk

B. Horsthuis en W. H. van Velzen

Vormgeving

Jos. A. van Eunen

Druk

Meinema - Delft

The brief should state the problems to be solved in such a way that the interrelationship between problems is clearly understood and so that the whole design team has a balanced view of the total requirement from the environmental, technical and economic aspects from the outset.

J. F. Redpath,

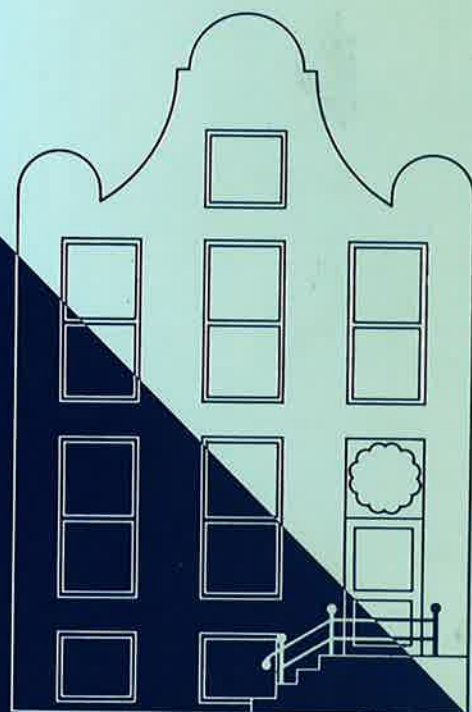
Director General of Research and Development
Ministry of Public Building and Works, London

B 1019

Bibliol

**thermisch
verantwoord
bouwen en
conditioneren
na voorafgaand
elektrisch
modelonderzoek**

G-TIO



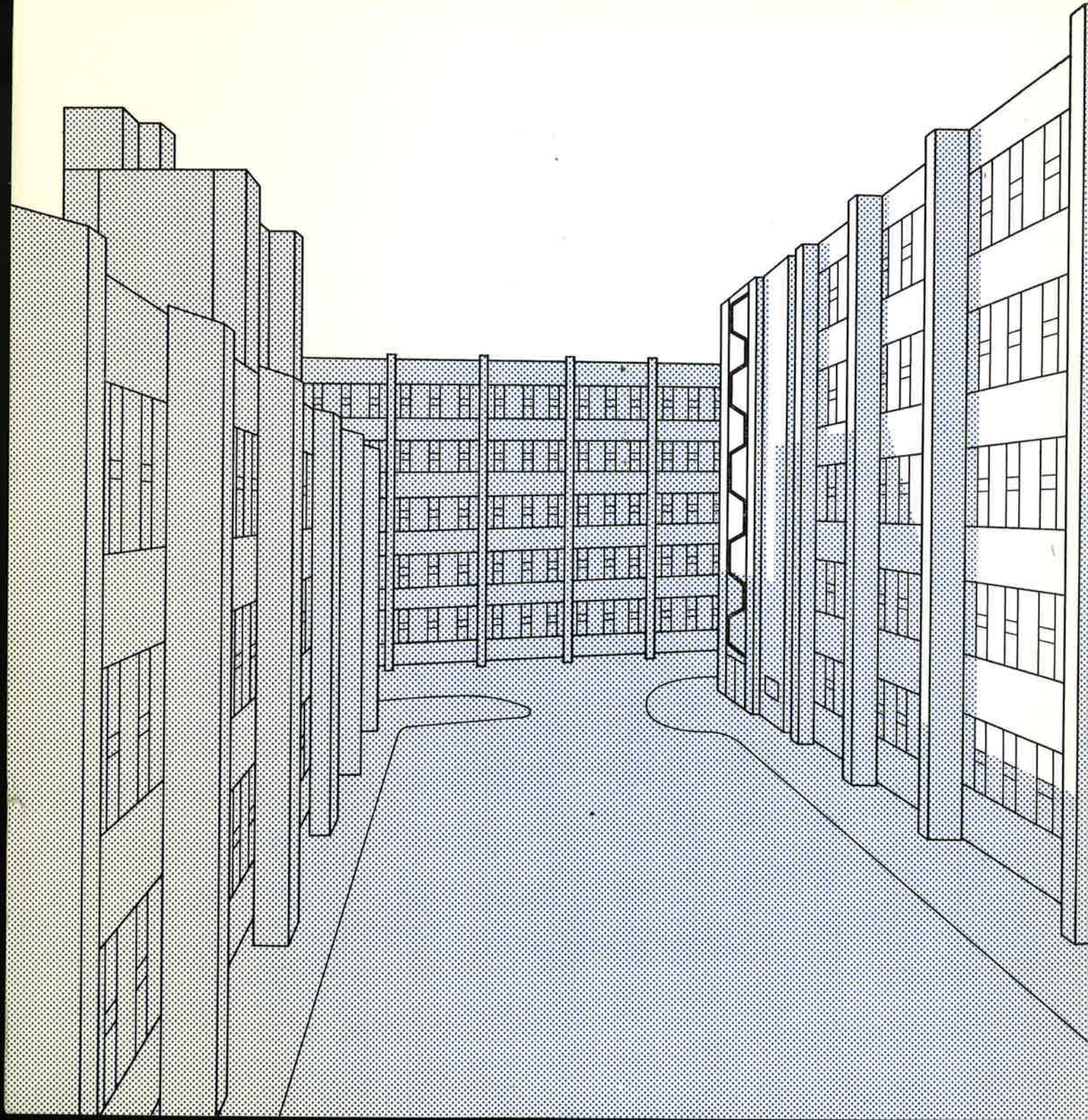
R. S. SOELEMEN en PH. J. HAM

MAART 1969

STITUUT VOOR GEZONDHEIDSTECHNIEK AFD. BINNENKLIMAAT

NR

831



inhoud

R. S. SOELEMEN en Ph. J. HAM

Inleiding

Principe van een elektrisch model

Benodigde gegevens voor een modelonderzoek

- Oriëntatie en ligging van gevels en vertrekken
- Bezonning
- Ingestraalde zonnewarmte
- Bouwkundige gegevens
- Thermische storingsbronnen

Thermisch gedrag van een niet-geconditioneerd vertrek

- Natuurlijke temperatuurbeweging
- Temperaturen van de lucht in het vertrek en de wandoppervlakken

Conditioneringsproblemen door beschaduwing

- Invloed op de zonbelasting
- Consequenties voor capaciteit en regeling van de conditioneringsinstallatie

Conditioneren?

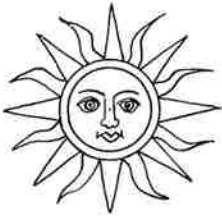
- Luchttemperaturen in niet-geconditioneerde toestand
- Doel, realisatie en effect van thermisch conditioneren
- Luchttemperaturen in wel-geconditioneerde toestand
- Belasting van de installatie in het onderzochte geval

Besluit

thermisch verantwoord bouwen en conditioneren na voorafgaand elektrisch modelonderzoek

*De voor U liggende brochure
bedoelt in eerste instantie voorlichting te geven
over bepaalde aspecten
van de thermische huishouding van gebouwen,
de daaraan verbonden problematiek
en de mogelijkheden van aanpak.
Dit in het bijzonder voor hen, voor wie het
ontwerpen en plannen van utiliteitsgebouwen – zoals
kantoren, laboratoria, ziekenhuizen, scholen en dergelijke –
een dagelijkse bezigheid is geworden.
Bij de moderne utiliteitsbouw
behoort de een of andere vorm van beheersing van het binnenklimaat
waardoor de luchtbehandelingsinstallatie
een geïntegreerd deel van het gebouw wordt.
Wisselende omstandigheden,
de thermische traagheid van de gebouwmassa
en het geheel automatisch regelen van de luchtconditioneringsinstallatie
vormen een gecompliceerd geheel,
waarbij conventionele benaderende rekenwijzen
om thermische binnenklimaatcondities te schatten te kort schieten.
Daarom wordt in het hiernavolgende Uw aandacht gevestigd
op het gebruik van elektrische modellen voor dit doel.
Ook wordt duidelijk gemaakt dat de aldus verkregen informatie
onmisbaar is voor een geslaagde thermische planning.*

inleiding



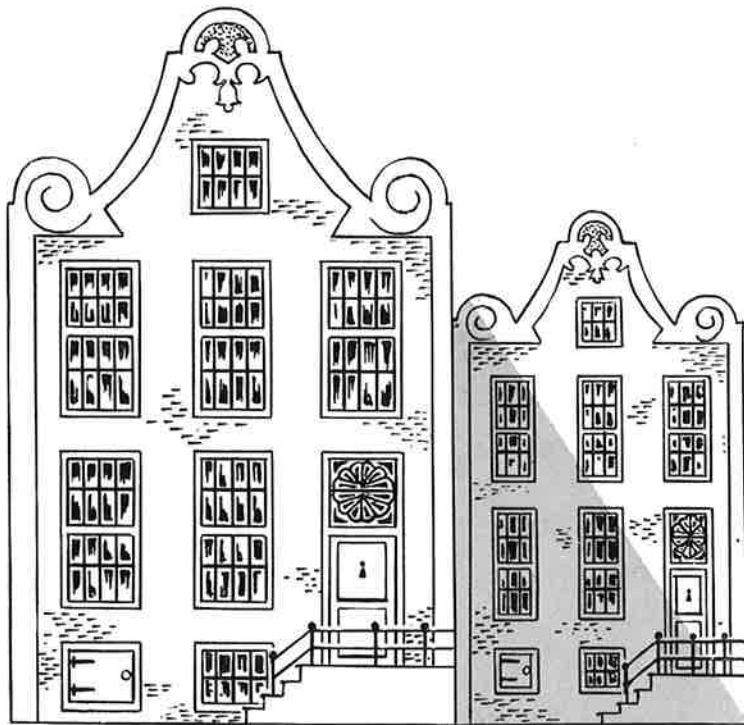
De hoogbouw en de tendens om grotere glasoppervlakken in de gevel te verwerken zullen installateurs van luchtconditioneringsinstallaties heel wat problemen bezorgen. Men denke bijvoorbeeld aan de dagelijkse schaduwbeweging van een hoog gebouw op een gevel in de naaste omgeving en wat de gevolgen hiervan kunnen zijn. Gedurende zekere tijdsintervallen van de dag zullen hierdoor sommige ruimten aan de beschaduwde gevelzijde geen zonnestraling ontvangen, andere daarentegen weer wel.

Om precies de schaduwcontouren van het ene gebouw op het andere te bepalen voor elk

tijdstip van de dag, maand of jaar, is enige kennis van meteorologische zaken onmisbaar.

De vraag in welke mate deze soort beschaduwing de binnentemperatuur verstoort – die voor de adviseur of installateur van de luchtconditioneringsinstallatie vaak bepalend is voor de keuze tussen individuele en centrale regeling – kan slechts door middel van een modelonderzoek op verantwoorde wijze worden beantwoord. Ook problemen die samenhangen met het effect van diverse soorten zonwering op het verloop van de binnentemperatuur kunnen op identieke wijze worden opgelost.

Aangezien het modelonderzoek de mogelijkheid biedt het accumulerende effect van de gebouwmassa nauwkeurig in rekening te brengen, wordt een realistisch nabootsing van de werkelijke thermische omstandigheden verkregen dan ooit mogelijk zal zijn met een z.g. vuistregelberekening, waarin het accumulatie-effect juist de niet te voorspellen factor is. In feite is het doel van elk onderzoek met modellen het bestuderen van problemen op een andere schaal. Voorwaarde hiervoor is dat het gedrag van het model in de situaties waarin het komt te verkeren, geheel analoog moet zijn met de werkelijkheid. M.a.w. de verschijnselen die men bij het model constateert, moeten een afbeelding zijn van die in de werkelijkheid. Om dit mogelijk te maken wordt het elektrische model zodanig samengesteld, dat alle analoge thermische wetmatigheden mede worden ingevoerd. In het model zijn op eenvoudige wijze modificaties aan te brengen, waarna het gedrag opnieuw kan worden bestudeerd. Men heeft zodoende een werktuig in handen, dat thermische consequenties kan voorspellen op een technisch-wetenschappelijk verantwoorde wijze en belangrijk minder tijdrovend dan met traditionele rekenmethoden het geval zou zijn.



principe van een elektrisch model

Het uitgangspunt voor de constructie van een elektrisch model, waarmee het thermisch gedrag van een gebouwmassa wordt gesimuleerd kan als volgt worden omschreven.

De wetmatigheden die men in bouwmaterialen aantreft ten aanzien van temperatuurveranderingen en de als gevolg hiervan optredende warmtestromen, komt men ook tegen in bepaalde elektrische netwerken bestaande uit weerstanden en condensatoren, met een geheel analoog verband tussen spanning en stroom.

Van de meeste bouw- en isolatiematerialen zijn de thermische eigenschappen voldoende bekend, waardoor een vrij nauwkeurige „vertaling” hiervan in elektrische grootheden zonder meer mogelijk is. Met thermische eigenschappen wordt bedoeld de coëfficiënten voor warmtegeleiding (λ -waarde) en warmteaccumulatie (c -waarde = soortelijke massa $\times$ soortelijke warmte).

Indien men de constructie-elementen, die voor het thermisch gedrag van een gebouw bepalend zijn, vervangen denkt door een combinatie van weerstanden en condensatoren, verkrijgt men reeds een aardig beeld van een elektrisch model. Dimensies en geometrische verhoudingen der constructies vindt men terug respectievelijk in de waarden van weerstanden en condensatoren en in de schakelconfiguratie.

In zo'n model worden wanden en dergelijke uitsluitend opgevat als „thermische barrières” tussen de luchtcondities ter weerszijden; voor een gevel dus binnen- en buitenklimaat.

De warmteoverdracht van gebouwmassa naar lucht of omgekeerd vindt plaats door straling, convectie en geleiding. De grootte van deze overdracht zal worden beïnvloed door elk effect dat elk van de drie verschijnselen aantast.

Voor kleine verschillen tussen de temperaturen van massa-oppervlak en aangrenzende lucht, en bij niet te sterk fluctuerende luchtsnelheden langs het oppervlak, zal vaak met een gecombineerde coëfficiënt kunnen worden volstaan, de z.g. warmteovergangscoefficiënt α . Indien kan worden verwacht dat deze grootheid in het probleem min of meer om een gemiddelde waarde schommelt, dan is de overdracht eenvoudig met een weerstand na te bootsen in het model. Wenst men evenwel de effecten van straling en convectie afzonderlijk in rekening te brengen, dan zal voor elk verschijnsel een weerstand nodig zijn of zelfs meer gecompliceerde elektrische componenten, al naar gelang de behoefte aan details.

Wegens het niet-stationaire verloop van de grootheden buitentemperatuur, zonnestraling e.d. gedurende een tijdbestek van bijv. een etmaal moeten deze storingsbronnen in het model als analoog verlopende elektrische veranderingen worden ingevoerd. Onder invloed van deze storingsbronnen zal het model in verschillende toestanden geraken waaruit gedrag en specifieke eigenschappen kunnen worden vastgesteld. Hiertoe worden spanningen en stromen als functie van de tijd geregistreerd die de analoge grootheden zijn voor temperatuur, zonnestraling of warmtestroom. Na terugtransformatie m.b.v. een tabel kunnen de aldus uit het model verkregen gegevens thermisch worden geïnterpreteerd.

Transformatietabel

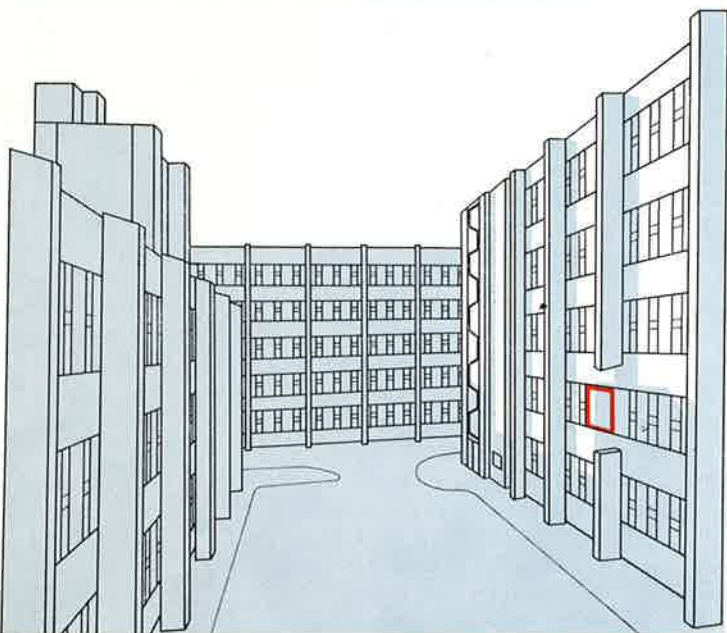
thermisch	elektrisch
°C	Volt
kcal/h	μ Amp
uur	sec.

benodigde gegevens voor een modelonderzoek



Figuur 1

Significant voor een gebouwencomplex is de ligging van de gevels ten opzichte van elkaar. Hier worden 2 tijdstippen van dezelfde dag getoond, waaruit duidelijk blijkt dat de steeds verplaatsende slagschaduw op één van de gevels de behaaglijkheid in de vertrekken zal beïnvloeden.



 = meetvertrek

Oriëntatie en ligging van gevels en vertrekken

Een Z.Z.O. georiënteerde gevel die 5 verdiepingen telt, wordt door een lager gebouw van 3 verdiepingen, waar bovendien een trappehuiskamer met liftkoker bovenuit steekt, beschaduwde op de wijze die voor een tweetal tijdstippen is gegeven in figuur 1. Afhankelijk van de dag van het jaar zal de zon overdag een zeer bepaalde baan „doorlopen”. Het gevolg hiervan is dat de schaduwbegrenzingsen zich steeds wijzigen zowel in horizontale als verticale richting.

De vraag in welke mate dit schaduwspel de temperatuur beïnvloedt in de vertrekken, die dienstengevolge nu eens wel en dan weer niet door de zon worden beschonnen, kan slechts na een elektrisch modelonderzoek van het probleem op concrete wijze worden beantwoord. Een vertrek dat deze wisselende schaduw ontvangt is in de figuren omlind.

Voor dit vertrek op de eerste verdieping is onderzocht, hoe het zich thermisch zal gedragen op een zonnige dag omstreeks eind oktober

Bezonning

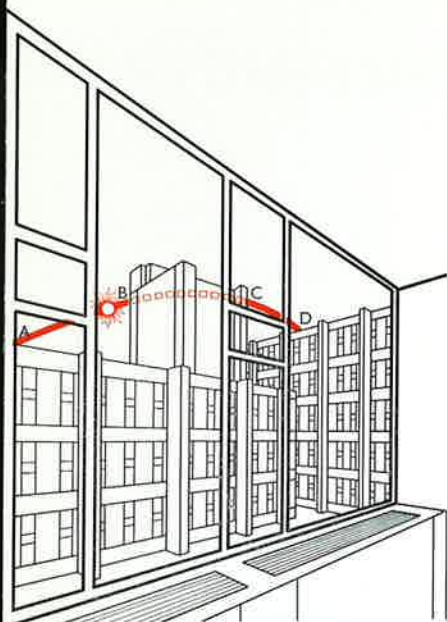
De datum in oktober is uitgekozen in verband met de plaats van de zonnebaan aan de hemel die voor het onderzoek het meest interessant is. Figuur 2 laat zien hoe de zonnebaan daar loopt, gezien vanuit het bewuste vertrek.

De zonpositie kan in het algemeen worden vastgelegd met twee coördinaten, de **zonhoogte** (h) en het **azimuth** (a) die kunnen worden berekend uit: de plaatselijke breedtegraad B (plaats), de declinatie d (datum) en de uurhoek U (tijdstip), als volgt:

$$\sin h = \cos U \cdot \cos B \cdot \cos d + \sin B \cdot \sin d$$

$$\sin a = \sin U \cdot \cos d / \cos h$$

Hieruit volgt bijv. de zonnebaan van figuur 2.



Figuur 2 Uitzicht uit het meetvertrek.

Ingestraalde zonnewarmte

Uit meteorologische gegevens over zonnestraling op een horizontaal vlak kan theoretisch worden afgeleid (Werkrapport C 217 van de Afdeling Binnenklimaat) wat van uur op uur de te verwachten intensiteit van de zonnestraling zal zijn, waarmee een Z.Z.O. georiënteerde gevel wordt bestraald op een onbewolkte dag omstreeks eind oktober. Hierbij is het van essentieel belang om de volgende bijdragen afzonderlijk in rekening te kunnen brengen:

- directe straling, rechtstreeks van de zon
- z.g. diffuse hemelstraling
- reflectiestraling, van omliggende bebouwing.

Het gebouw dat de schaduw veroorzaakt dekt n.l. slechts de directe zonnestraling af.

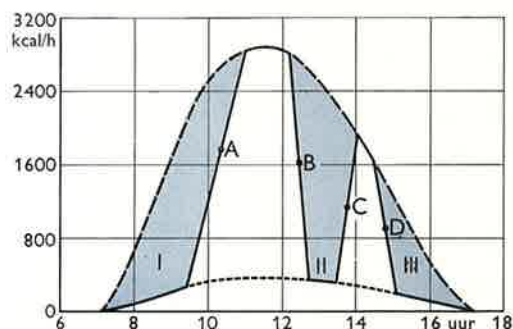
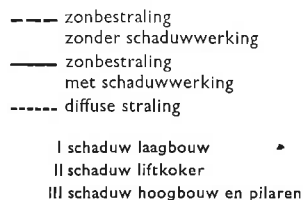
De netto hoeveelheid van de zonnewarmtestraling die op het venster van het vertrek valt en aldus bijdraagt tot het opwarmen van de vertrekruimte, wordt m.b.v. de beschaduwingspatronen op de tijdstippen A, B, C en D (zie fig. 2) berekend. Deze momenten kunnen worden afgeleid uit de positie van de zon in de baan en de geometrische stand van het schaduwveroorzakende gebouw t.o.v. de gevel. Op deze

wijze wordt n.l. de projectie van de schaduw op de gevel bepaald voor elk gewenst tijdstip. Het resultaat van de berekening geeft figuur 3.

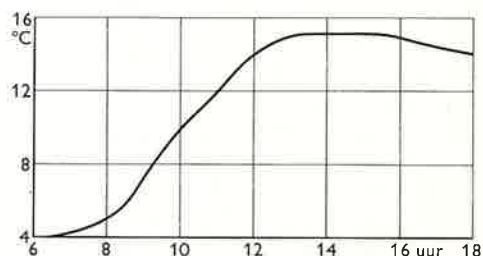
Bouwkundige gegevens

Van de gebouwconstructie zijn samenstelling en toegepaste materialen voldoende bekend. Voor het deel van de gebouwmassa dat de begrenzingen van het vertrek vormt kan nu een elektrisch model worden samengesteld volgens het reeds uiteengezette principe. Het vertrek heeft een luchthoud van 57 m³, een gemiddelde warmtecapaciteit van de omwand van 256 kcal/m³.°C, een venster van dubbele thermopane beglazing van 6,4 m² en ten slotte zonwering aan de binnenzijde.

Figuur 3
Zonnestralingsintensiteit
voor een oktoberdag
per 6,4 m² vensteroppervlakte.



Figuur 4
Buitentemperatuur voor een oktoberdag.



Thermische storingsbronnen

De thermische storingsbronnen zijn de variërende buitentemperatuur (fig. 4) en de wisselende intensiteit van de zonnewarmtestraling (fig. 3). Indien de vertrekruimte wordt geconditioneerd komt hier nog een bron bij. Door transformatie van deze grootheden naar elektrische, met inachtneming van schaalfactoren, ontstaan elektrische storingsbronnen met een analoog verloop als functie van de tijd.

De wijze waarop het object in model wordt gebracht en de storingsfuncties elektrisch worden gesimuleerd wordt niet beschreven.

Alle zaken die duidelijk het karakter dragen van specialismen in de elektronika of in het manipuleren met de elektrische netwerken zijn hier bewust achterwege gelaten (belangstellenden die hierover nader geïnformeerd wensen te worden kunnen zich wenden tot de Afdeling Binnenklimaat). Om deze reden zijn slechts factoren en verschijnselen vermeld die de speciale aandacht vragen als thermisch probleem. Weliswaar zijn deze uit het elektrisch modelonderzoek voortgekomen, doch zonder al te veel moeite thermisch te interpreteren.

thermisch gedrag van een niet-geconditioneerd vertrek

Aan de hand van de beschrijving van een elektrisch modelonderzoek van het gedrag van de temperatuur in een vertrek van een bestaand gebouwencomplex dat gedurende de dag afwisselend wordt beschaduwde, wordt de noodzaak en tevens de doelmatigheid van een dergelijk onderzoek aangetoond. Een voortgaand analyserend onderzoek met het model heeft tenslotte voor het temperatuurverloop van diverse vertrekken aan dezelfde gevel geleid tot uitkomsten, die de parallel uitgevoerde metingen op verrassende wijze bevestigden.

Natuurlijke temperatuurbeweging

Het dagelijks verloop van de temperatuur van de binnenlucht en die van de omwandeling van een vertrek in een gebouw zal het gevolg zijn van de steeds wisselende buitentemperatuur en zonnestraling – te kwalificeren als uitwendige thermische storingsbronnen en eventuele inwendige bronnen, zoals de aanwezigheid van personen, warmteproducerende apparaten, de verlichting en de conditioneringsinstallatie. Bevat het vertrek evenwel geen van de genoemde inwendige bronnen, dan zal het de natuurlijke temperatuurbeweging volgen. Het schatten van het verloop van de temperaturen waarmee de niet-stationaire thermische condities van het vertrek worden beschreven dient zo exact mogelijk te geschieden indien dit de basis moet zijn voor conclusies t.a.v. de conditionering en de thermische sensatie van personen in het vertrek. Wat dit laatste betreft zij nog vermeld dat deze niet slechts wordt bepaald door de luchttemperatuur en -snelheid, echter ook door de oppervlaktetemperaturen van alle naar hen toegekeerde begrenzingsvlakken. In een primitief geconditioneerde ruimte – geen koeling 's zomers, 's winters verwarmd

door een plaatselijke warmtebron – zullen zich grote contrasten voor doen in de oppervlaktetemperaturen van venstervlak en omwandelingen. Enkele voorbeelden hiervan zijn:

- de grote warmtestraling die er voornamelijk 's zomers van een aan de binnenzijde van het vertrek aangebrachte zonwering uitgaat als gevolg van opwarming door de hierop vallende zonnestraling.
- de koudestraling afkomstig van het vensteroppervlak in de winter die tot een grote éénzijdige warmte-afgifte leidt voor personen die zich in de omgeving van het venster bevinden.

Deze beide stralingseffecten zijn niet enkel het gevolg van grote temperatuurverschillen tussen „veroorzaker” en „slachtoffer” doch worden mede bepaald door hun onderlinge geometrische verhouding, d.w.z. door de projectie van de een op de ander welke is samengevat in de term „vormfactor.”

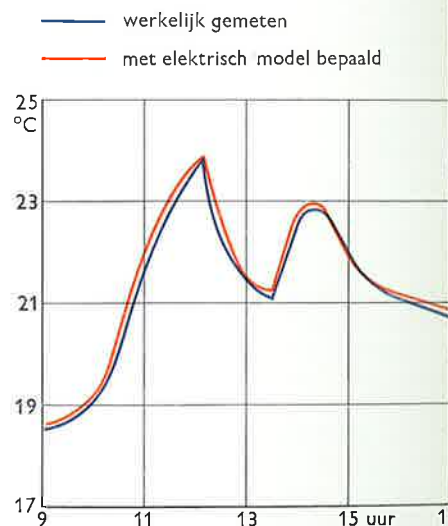
In die gevallen waar grote temperatuurverschillen van de inwendige begrenzingsvlakken te verwachten zijn is een elektrisch modelonderzoek ideaal voor het bepalen van de diverse oppervlaktetemperaturen.

Temperaturen van de lucht in het vertrek en van de wandoppervlakken

Als illustratief voorbeeld geven wij de resultaten van een elektrisch modelonderzoek naar de thermische condities van het eerder beschreven vertrek aan de Z.Z.O.-gevel van fig. 1 dat op een zonnige oktoberdag een wisselende zonbelasting ontvangt.

De conditioneringsinstallatie van het vertrek is uitgeschakeld – m.a.w. geen verwarming, koeling of ventilatie, en zelfs infiltratie door kieren

is tot een minimum beperkt – zodat zo goed mogelijk is voldaan aan de condities voor het bepalen van het natuurlijke verloop van diverse temperaturen in het vertrek. Dit onderzoek is enerzijds aan een elektrisch model verricht anderzijds zijn d.m.v. temperatuurmetingen met thermokoppels en een automatische registrator gegevens verzameld in het bewuste vertrek zelf om beide resultaten te kunnen vergelijken. Figuur 5 toont de overeenkomst tussen het verloop van de gemiddelde luchttemperatuur in het vertrek als resultaat uit het modelonderzoek en dat uit de praktijkmeting d.m.v. thermokoppels. Uit figuur 6 kunnen de momentele temperaturen worden afgelezen, die een maat zijn voor het schatten van de thermische sensatie van een persoon die zich in het vertrek zou bevinden.

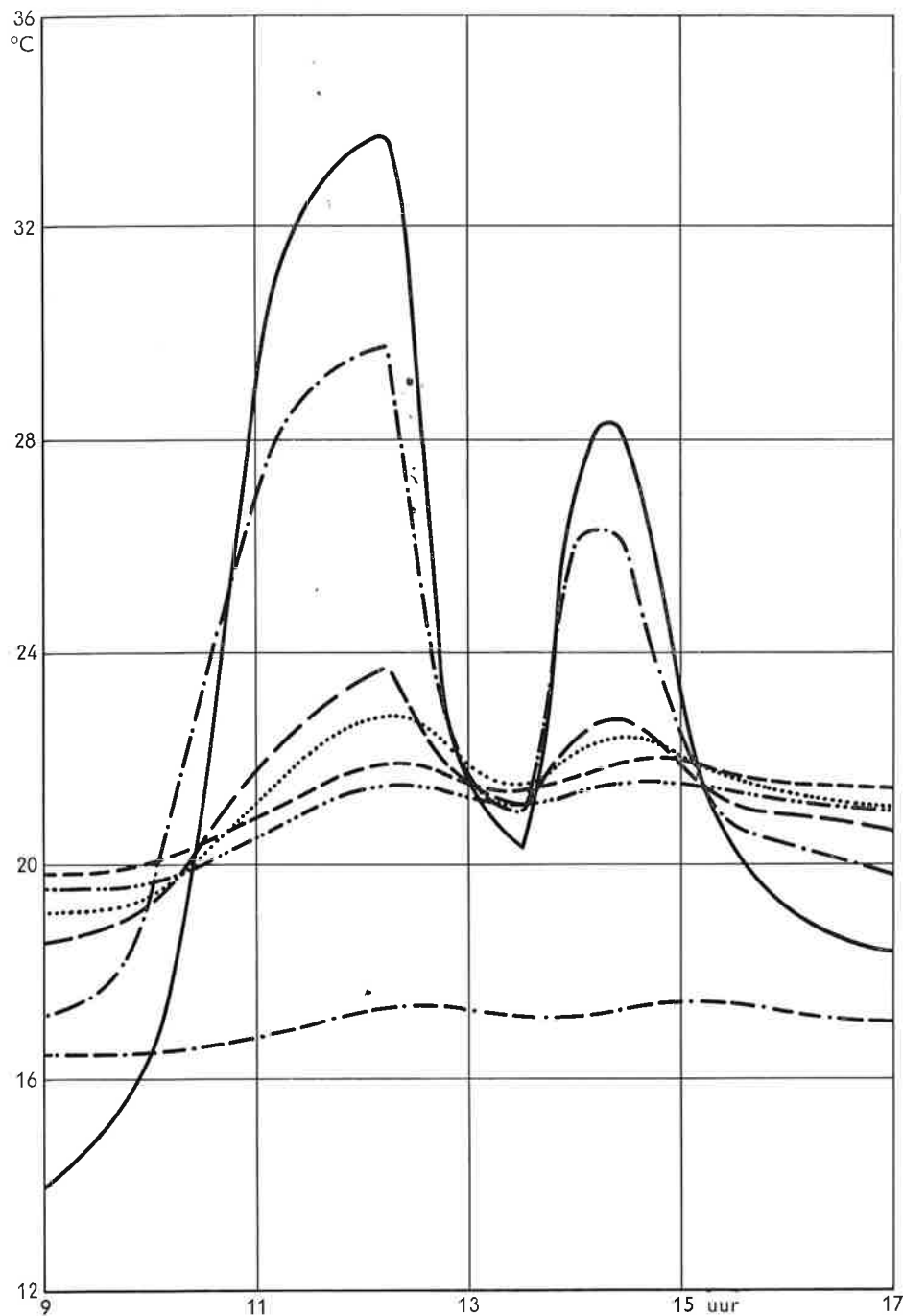


Continue registratie van de temperaturen die bepalend zijn voor de warmtesensatie in het vertrek, kan in het elektrisch model op eenvoudige wijze worden gerealiseerd. Hier een voorbeeld van zo'n registratie, waarbij de sterke stijging en daling van de temperaturen aan de vensterzijde onmiddellijk opvallen.

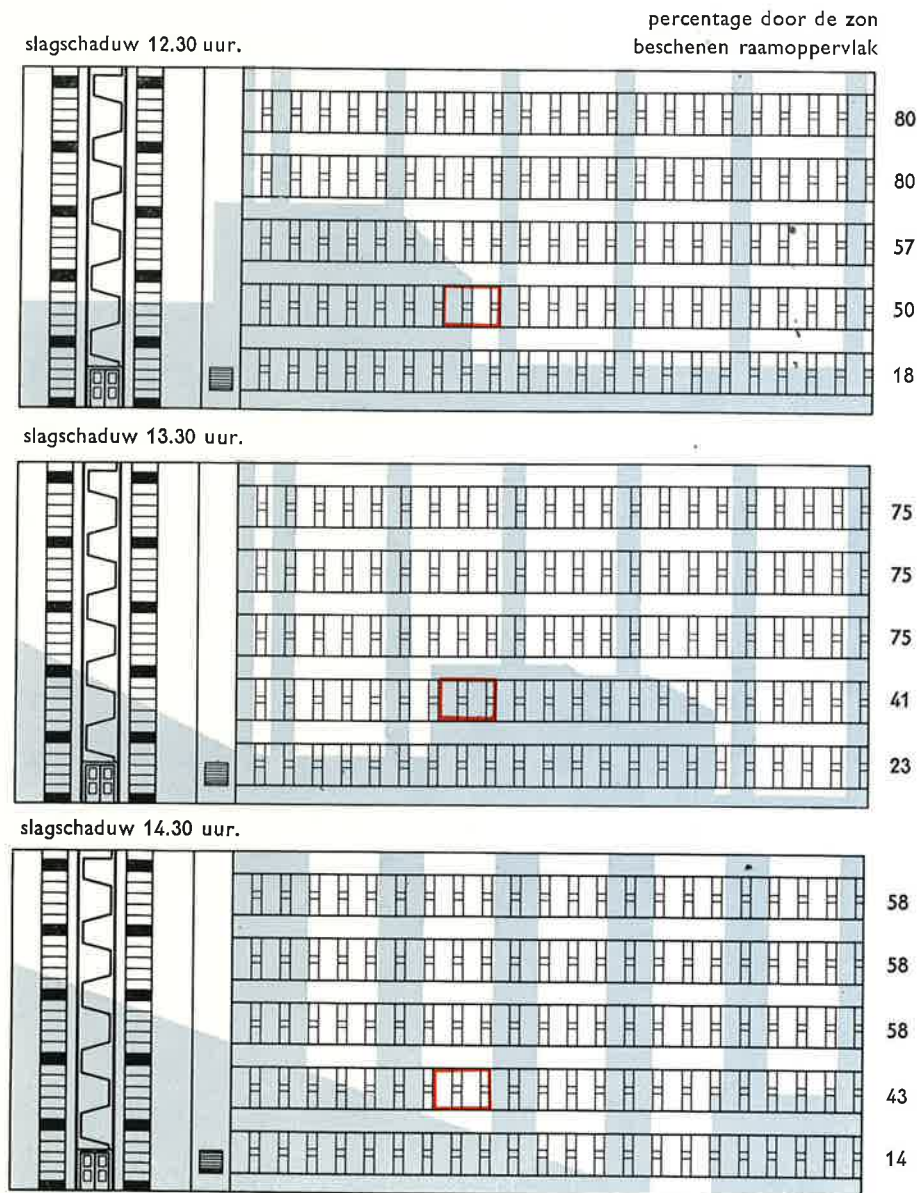
- glasoppervlak
- · - · - borstweringoppervlak
- · — vloeroppervlak
- - - plafondoppervlak
- · · · · gangwandoppervlak
- · - luxaflex
- kamerlucht

Figuur 5
Temperatuur in het meetvertrek onder invloed van de beschaduwing. De in werkelijkheid gemeten en de door middel van het elektrisch model verkregen uitkomsten vertonen zeer goede overeenkomst.

Figuur 6



conditioneringsproblemen door beschaduwing



Invloed op de zonbelasting

De berekening van de beschaduwde en niet beschaduwde gedeelten van de Z.Z.O.-gevel heeft tot onder meer figuur 7 geleid. Met behulp van gegevens over de intensiteit van de zonnestraling voor een zonnige dag in oktober is af te leiden hoe groot de effectieve zonbelasting per verdieping is. In de genoemde figuur is aangegeven met welk percentage per verdieping moet worden gerekend. Op deze wijze komt men tot de intensiteitsverdeling van figuur 8.

Daarin wordt met gemiddelde zonbestraling bedoeld de totale bestraling van elke etage gedeeld door het aantal modulen van de gebouwconstructie. Figuur 8 geeft reeds enige informatie over de onregelmatigheid in de belangrijkste thermische verstoring in het probleem. Hoewel men er gemakkelijk toe geneigd zal zijn, uitgaande van deze informatie, met traditionele rekenmethoden de luchttemperaturen in het vertrek te schatten, verdient het toch alle aanbeveling om door inschakeling van modelonderzoek het temperatuurverloop exact te bepalen, o.a. in verband met de consequenties daarvan voor de regellingsinstallatie.

Consequenties voor capaciteit en regeling van de conditioneringsinstallatie

Op welke wijze men de invloed van de schaduwwerking op de zonbelasting voor een gebouw ook heeft bepaald, de volgende vragen dienen

 = meetvertrek

Figuur 7

Voorbeeld van gecompliceerde beschaduwing.

an meestal nog te worden beantwoord:

- wat is de invloed van de beschaduwing op het thermisch gedrag in de gebouwen
- is koeling onvermijdelijk en welke capaciteit dient dan te worden geïnstalleerd
- zal centrale regeling van de conditioneringsinstallatie voor een gehele gevel voldoen of dient er individuele regeling per vertrek of een regeling per verdieping te worden toegepast?

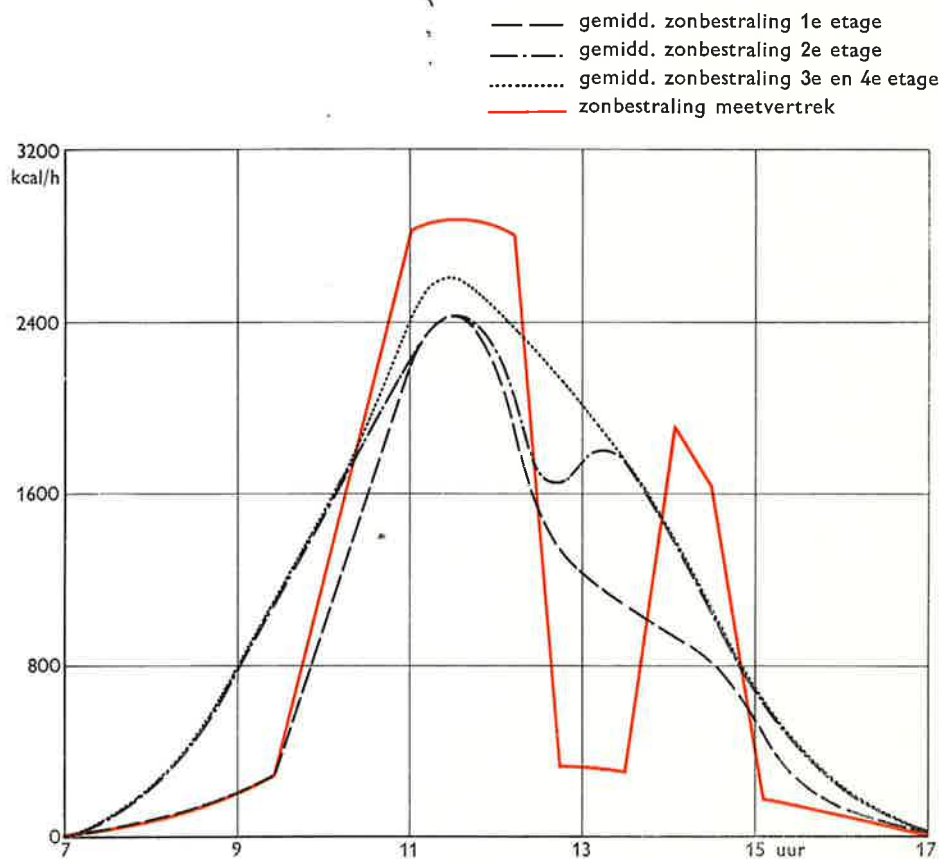
Deze vragen kunnen slechts bevredigend worden beantwoord indien men in staat is het niet-stationaire thermische gedrag van het gebouw te bepalen. Aangezien het mechanisme van geleiding en accumulatie van de gebouwmassa moeilijk voorspelbaar is, zal wederom een elektrisch modelonderzoek de meest aangewezen weg zijn. Om dit aan te tonen werd op deze wijze het temperatuurverloop in het eerder besproken gebouw geanalyseerd.

Adviseurs zullen er verstandig aan doen bij het consult over de luchtconditionering van een gebouwencomplex zoals in figuur 1 is afgebeeld terdege rekening te houden met schaduwinvloeden van de gebouwen onderling.

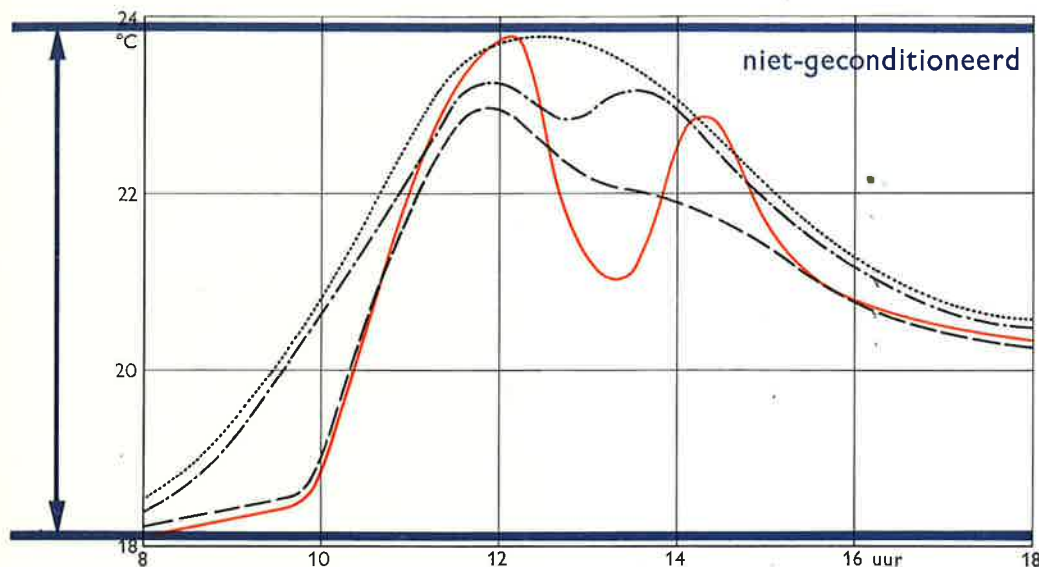
Hoewel de schaduwwerking door handberekening kan worden vastgesteld is dit door de gecompliceerde geometrische verhoudingen een tijdrovende aangelegenheid. Bovendien – wil men er enig profijt van hebben – zal de beschaduwing van de gevel voor elk uur van de dag moeten worden nagegaan, en dat voor een aantal dagen per jaar. Dit betekent steeds, afhankelijk van het aantal dagen dat in de beschouwing moet worden betrokken, een aanzienlijke hoeveelheid berekeningen, die in feite echter slechts op enkele formules beruilen. Dit pleit dus voor het gebruik van een computer in plaats van handberekening.

Figuur 8

Uit de slagschaduwbeelden van fig. 7 is af te leiden welk percentage elke verdieping van moment tot moment aan straling ontvangt. Voor het hier beschreven geval vermeldt onderstaande figuur de toegestraalde warmtehoeveelheid per etage, opgegeven als het gemiddelde van het totaal aantal modules. Tussen 12.00 en 15.00 uur zijn de verschillen in zonbestraling duidelijk merkbaar.



conditioneren?



Figuur

Het resultaat van de berekening van het temperatuurgedrag, verkregen met behulp van een elektrisch model. Bij de hier geldende stralingscondities zal de temperatuur, zijnde het gemiddelde van alle kamers per verdieping, het verloop vertonen zoals in de figuur is aangegeven. Te vergelijking is ook het temperatuurverloop in het meetvertrek op de 1ste etage opgenomen.

Legende

— — afvoerluchttemp. 1e etage
- - - - afvoerluchttemp. 2e etage

Luchttemperaturen in niet-geconditioneerde toestand

Met het elektrisch model is bepaald welke gemiddelde temperatuur er per verdieping zal ontstaan indien niet wordt geconditioneerd. Deze temperatuur is de temperatuur in een gemeenschappelijk ventilatie-afvoerkanal per verdieping. In figuur 9 ziet men het resultaat van het modelonderzoek.

Hierin is duidelijk de invloed van de beschaduw voor de 1ste en 2de etage waarneembaar. Voor een afzonderlijk vertrek, bijv. het meetvertrek, geldt dit nog sterker.

Uit het verloop van de temperatuurkrommen blijkt dat die in hoofdzaak worden veroorzaakt door de toegestraalde zonnewarmte.

Doel, realisatie en effect van thermisch conditioneren

Het doel van het thermisch conditioneren van de vertrekken in een gebouw is het binnen zekere grenzen constant houden van de luchttemperatuur.

Het gebied waarin deze temperatuur mag fluctueren zal voor iedere ruimte zoveel mogelijk hetzelfde moeten zijn. Indien alle kamers van de Z.Z.O.-gevel dezelfde zonbelasting hadden zou dit met een centraal geregelde installatie zeker te realiseren zijn. Beïnvloeding van de luchttemperatuur door in het vertrek aanwezige thermische bronnen is hierbij buiten beschouwing gelaten, in verband met het feit dat deze invloeden kunnen worden opgeheven door de

toevoer van warmte of koude ter plaatse met de hand naar behoefte te regelen. De grilligheid van de uitwendige thermische bronnen maakt automatische regeling van de installatie gewenst. De zaak ligt evenwel hier niet zo eenvoudig aangezien door slagschaduw van het nabij gelegen gebouw de kamers van moment tot moment aan een andere zonbestraling zullen worden blootgesteld. Nu kan de vraag worden gesteld

Is het mogelijk een inzicht te krijgen in de rest-invloed van deze bewegende schaduw op de thermische conditie van het geconditioneerde vertrek, indien de regeling van de installatie centraal plaats vindt?

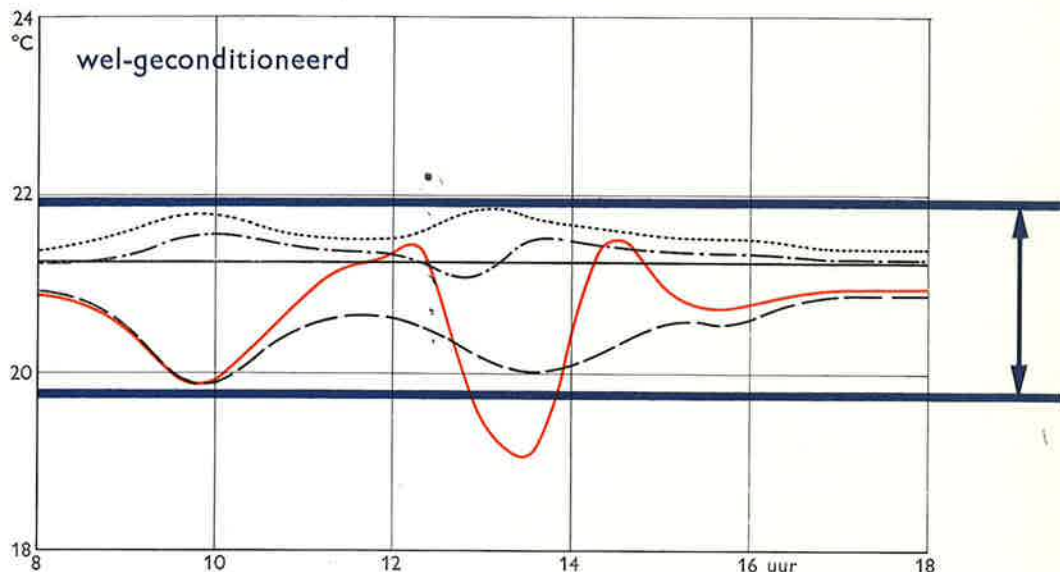
Bij het modelonderzoek dat dit inzicht moet verschaffen is van het volgende uitgegaan:

figuur 10

engevolge van de toegepaste conditionering zijn de fluctuaties in de afvoerluchttemperaturen van de verschillende verdiepingen – vergelijk de „bandbreedte” met die van het niet-geconditioneerde geval – aanzienlijk kleiner geworden.

De figuur laat echter tevens zien dat, alhoewel de afvoerluchttemperatuur van de gevel als totaal de hele dag constant blijft, met het gekozen regelingssysteem niveauverschil tussen de verdiepingen onderling, alsook een door het systeem onopgemerkte fluctuatie in het temperatuurverloop per vertrek, blijft bestaan.

----- afvoerluchttemp. 3e en 4e etage
 ——— afvoerluchttemp. gehele gevel
 ——— luchttemperatuur meetvertrek



de ventilatielucht afkomstig van alle kamers van dezelfde verdieping wordt door een gemeenschappelijk kanaal afgevoerd. Voor de 1ste t/m de 4de etage zal de luchttemperatuur aan het eind van zo'n kanaal gemeten worden, dus per etage

de gemiddelde waarde van de 4 afvoerluchttemperaturen is de grootte die men constant wenst te houden

om deze grootte constant te houden zal de conditioneringsinstallatie meer of minder kilocalorieën aan het gebouw moeten toevoegen of onttrekken. Als gevolg van de centrale regeling geschiedt dit zodanig, dat iedere ruimte hetzelfde krijgt aangeboden.

Luchttemperaturen in wel-geconditioneerde toestand

Het uiteindelijke resultaat van de keuze van een automatische installatie met centrale regeling voor het onderzochte geval toont figuur 10.

Hieruit blijkt dat – conform de opzet – het gemiddelde van de 4 temperaturen op elk ogenblik een constante waarde heeft. De fluctuaties in de temperatuur van de afvoerlucht per etage zijn op zichzelf niet buitensporig, doch er is wel een niveauverschil aanwezig.

Een andere kwestie is: hoe verloopt de temperatuur in elk vertrek afzonderlijk. Uit het onderzoek is duidelijk geworden dat deze ter hoogte van het meetvertrek aan de Z.Z.O.-gevel een beduidend veel grotere fluctuatie

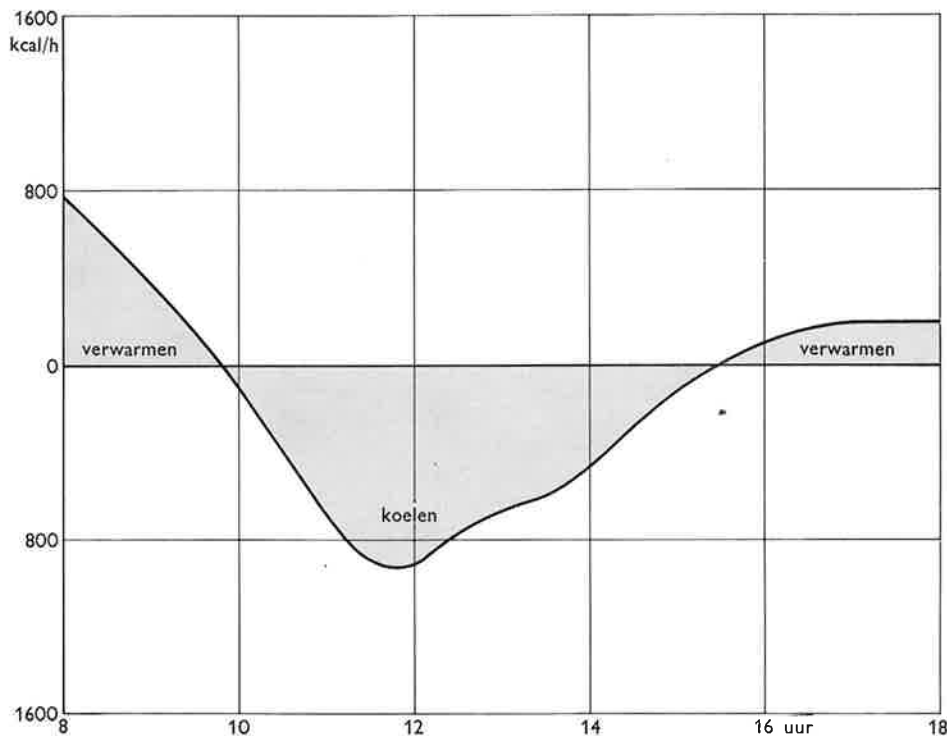
vertoont dan men uit het verloop van de afvoerluchttemperatuur van die verdieping zou kunnen schatten. Uit de desbetreffende kromme in figuur 11 volgt dat men hier rekening moet houden met een temperatuurverandering van ruim 2,5 °C binnen een tijdsbestek van één uur. Dit feit onttrekt zich echter in het hier gekozen systeem aan registratie, omdat de gemiddelde temperatuur van de afvoerlucht van alle vertrekken per verdieping hierdoor niet wordt beïnvloed. Ook in de overige vertrekken zullen uiteraard soortgelijke locale fluctuaties optreden, die eveneens in het systeem onopgemerkt zullen blijven. De bereikte conditionering heeft dan ook duidelijk het karakter van een compromis, waarvan de aanvaardbaarheid van geval tot geval zal moeten worden gezien.

Belasting van de installatie in het onderzochte geval

Tengevolge van het onderlinge verschil in zonbestraling voor de 4 verdiepingen, zie figuur 8, en de gelijke verdeling van het aantal kilocalorieën voor elk vertrek zullen verschillen te verwachten zijn in het temperatuurverloop van de afvoerlucht van de 4 etages. De enige eis die hier aan de regeling wordt gesteld is dat de momentele waarde van het gemiddelde van deze 4 temperaturen constant is.

Uit het modelonderzoek blijkt dat hieraan wordt voldaan indien de belasting van de installatie volgens de kromme van figuur 11 verloopt. Het aantal kilocalorieën dat hierbij is vermeld geldt voor één vertrek. Dat het gemiddelde van de 4 afvoerluchttemperaturen constant is behoeft evenwel nog niet in te houden dat ook de temperatuur in alle vertrekken constant zal zijn.

Met dit feit, waarop ook in het voorgaande reeds de aandacht werd gevestigd zal men terdege rekening moeten houden.



Figuur 11

Indien bij volledige conditionering de capaciteitsregeling van de installatie berust op het constant houden van het gemiddelde der temperaturen van alle verdiepingen, dan zal de hier afgebeelde afgifteverdeling ontstaan, omgerekend voor een gebouwmoduul.

besluit

Met het voorgaande is bewezen dat een elektrisch modelonderzoek de mogelijkheid biedt om waardevolle informatie te verschaffen t.a.v. niet-stationaire thermische verschijnselen. Wij hebben ons hier beperkt tot effecten die nauw samenhangen met de moderne utiliteitsbouw en de wenselijkheid om de gebouwen tenminste thermisch te conditioneren. In principe is het echter mogelijk alle problemen die door dezelfde soort differentiaalvergelijkingen worden beschreven met behulp van elektrische modellen op te lossen.

De nauwkeurigheid waarmee thermische condities kunnen worden gesimuleerd staat in directe relatie tot de fijnheid waarmee in het model de massadelen van het gebouw worden onderverdeeld en de kennis van het exacte verloop van de thermische storingsfuncties.

Deze laatste is van essentieel belang voor de berekening van de benodigde koel- of verwarmingscapaciteit van de conditioneringsinstallatie. De eertijds moeilijk te schatten factor is het thermisch gedrag van de gebouwmassa bij plotselinge thermische belastingsveranderingen, zoals het inschakelen van de installatie na een onderbreking gedurende een weekeinde, of het wegvallen en weer aanwezig zijn van zonnestraling door schaduwwerking op de vensters.

Dat dit zekere consequenties met zich meebrengt voor de automatische regeling van de conditioneringsinstallatie is reeds uit het modelonderzoek gebleken.

Ook het inschakelen van interieurverlichting en de plotselinge aanwezigheid van een groot aantal personen voor een vergadering worden tot zulke abrupte belastingvariëaties gerekend. Uit het gesimuleerde thermisch gedrag van de vertrekken in een gebouw kan heel eenvoudig worden afgeleid in hoeverre extra koeling van

de ventilatielucht onvermijdelijk is, dan wel dat een modificatie in het bouwplan reeds voldoende waarborg geeft t.a.v. de gewenste temperatuur.

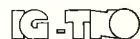
In dit laatste geval kan men denken aan het aanbrengen van zonwering en de toepassing van bouwmaterialen die voor het thermisch comfort in dat specifieke geval meer geschikt zijn.

Ook in het in deze publikatie geschetste geval treedt het anticiperende karakter van het modelonderzoek sterk op de voorgrond. Hierbij speelt uiteraard de snelle en exacte methode van berekening een grote rol. Deze is op traditionele wijze praktisch ondenkbaar.

Het effect van iedere modificatie – onverschillig of dit de thermische storingsfuncties betreft dan wel het model – kan aldus in betrekkelijk korte tijd worden voorspeld en geëvalueerd. De kosten van een elektrisch modelonderzoek – hoe men dit ook wenst te gebruiken – zijn steeds gering vergeleken met de grote sommen welke worden geïnvesteerd in de bouw en de conditioneringsinstallatie.

Men bedenke overigens nog dat de hiermede verkregen informatie niet alleen architect en installateur aangaat, maar ook van veel belang is voor de bedrijfsleiding, aangezien thermische behaaglijkheid duidelijk van invloed is op de produktiviteit van de mensen die in het gebouw hun werk zullen moeten verrichten.





INSTITUUT VOOR GEZONDHEIDSTECHNIEK

DIRECTIE, ADMINISTRATIE, VOORLICHTING

Ir. D. van Zuilen, directeur
Ir. M. L. Kasteleijn, plv. directeur
A. R. Th. Henze, directie-secretaris
M. H. de Groot, hoofd voorlichting

SPEURWERK

Afdeling Water en Bodem

Prof. Dr. J. K. Baars, hoofd
na 1 mei 1969
Dr. Ir. D. W. Scholte Ubing

Afdeling Buitenlucht

Ir. L. J. Brasser, hoofd

Afdeling Binnenlucht

Ir. P. B. Meyer, hoofd

Afdeling Binnenklimaat

Ir. E. van Gunst, hoofd

Afdeling Geluid en Licht

Ir. J. van den Eijk, hoofd

Groep Analytische Chemie

Ir. G. Bergshoeff, hoofd

Onderzoek buiten afdelingsverband

Drs. C. Bitter, psycholoog
P. E. Joosting, arts

G.T.O

INSTITUUT VOOR GEZONDHEIDSTECHNIEK

AFDELING BINNENKLIMAAT

Delft, Schoemakerstraat 97, postbus 214, telefoon 01730-37000, toestel 2403