

# 1978

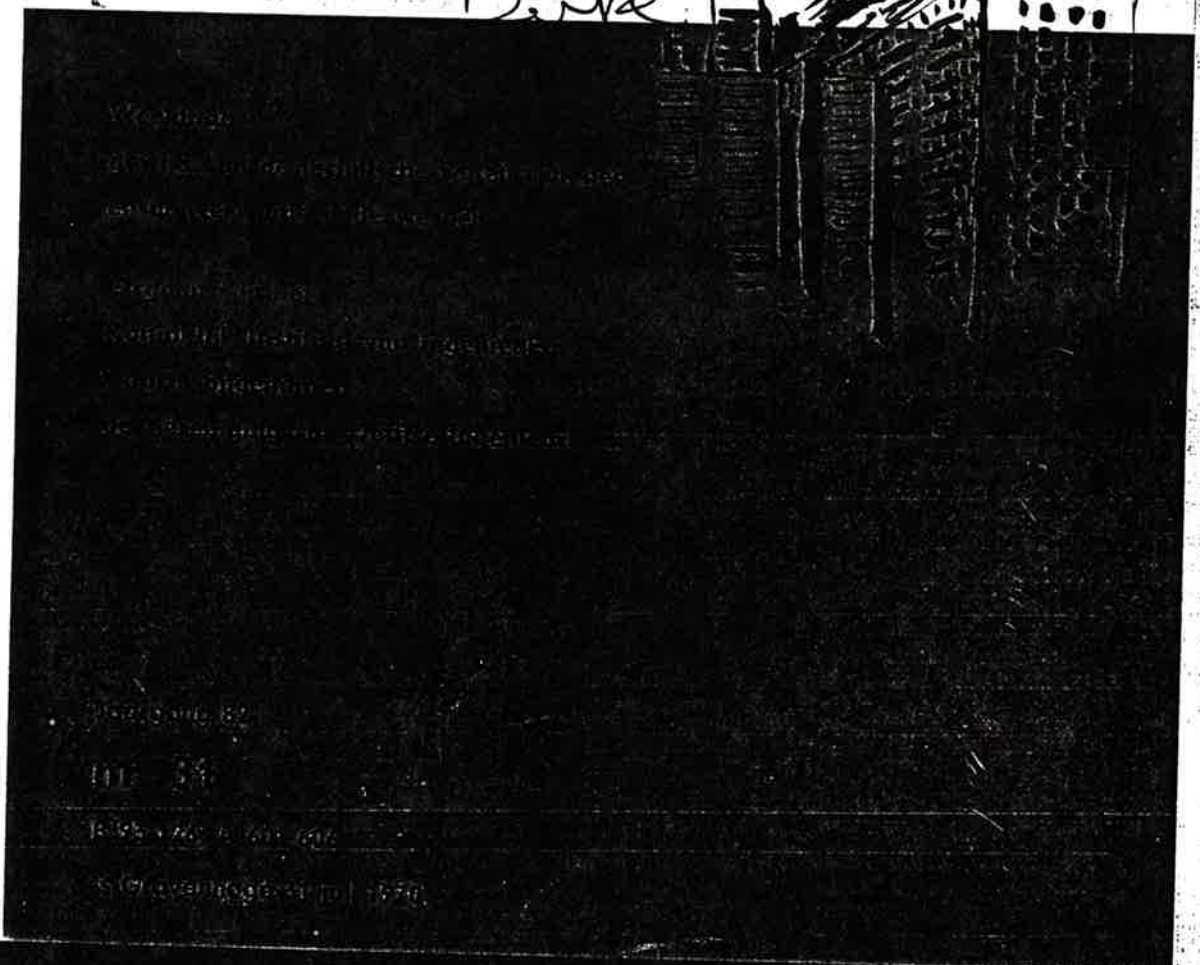


# DE INGENIEUR

## WIND EN HOGE GEBOUWEN

NATIONAL LENDING LIBRARY  
 FOR SCIENCE AND  
 TECHNOLOGY.  
 - 4 AUG. 1970  
 4506.5

D. NR





## Literatuur

- [1] A. G. DAVENPORT: Gust loading factors. A.S.C.E. Environmental Engineering Conference, Dallas, Texas, 1967.
- [2] Vejledning Vindbelastninger. Teknisk Forlag, Okt. 1966.
- [3] P. J. RUKOORT: Enkele gegevens omtrent extreme windsnelheden

voor een berekening van de maximale windbelasting op gebouwen, 1964.

- [4] W. D. BAINES: Measurements of pressures on roofs. University of Toronto, 1962.
- [5] H. VAN KOTEN: Vortex excitation. Proceedings of the Conference on Tower-Shaped Structures, Den Haag, 1969.

72.011.27:628.83:551.55

## III. Windinvloed om en in gebouwen

door P. A. Bossers, adj. wetenschappelijk medewerker Instituut voor Gezondheidstechniek TNO, Delft.

**Summary:** *The Influence of the Wind both around and within Buildings.*  
The paper:

- Outlines the living conditions that can occur in the proximity of buildings and the significance of the wind velocities that can be established, e.g. for shopping centres when these include high-rise buildings or for patio schools when these are to be suitable for education in the open air.
- Illustrates how natural ventilation in the building occurs and describes the influence of the wind on mechanical ventilation systems.
- Discusses the possibilities of drawing contaminated air or fuel gases from the building's own boiler plant into the supply air of the building's ventilation system.
- Denotes the means of investigating these problems in a wind-tunnel.

### Inleiding

De aanwezigheid van een windtunnel bij een afdeling die zich bezighoudt met het binnenklimaat zal verwondering wekken, omdat zich in het binnenklimaat geen omstandigheden voordoen, die voor een onderzoek in een windtunnel geschikt zijn. Dit soort onderzoek is echter ter hand genomen omdat de wind drukken op de gebouwen veroorzaakt, die via de openingen in het gebouw hun invloed op het binnenklimaat uitoefenen. Door deze drukverschillen vindt immers de natuurlijke ventilatie in hoofdzaak plaats; ook bij een mechanisch ventilatiesysteem hebben de drukken op de aan- en afvoeropeningen invloed op de getransporteerde hoeveelheden lucht.

Toen de windtunnel eenmaal voor dit doel in gebruik was kwamen vragen (die ook op ander gebied lagen) van architecten en van adviseurs en installateurs van klimatiseringsinstallaties. Omdat er weinig instanties zijn die zich op dit gebied bewegen, hebben we deze vragen zo goed mogelijk behandeld.

Op dit moment kunnen drie groepen van onderzoekingen worden onderscheiden:

1. De aard van de luchtbeweging om gebouwen of gebouwencomplexen, waarbij de bebouwing zelf de oorzaak is van verandering van de luchtbeweging. Als voorbeelden kunnen het onderzoek naar eventuele vergroting van de luchtsnelheden door de onderlinge ligging of afstand van de gebouwen alsmede het onderzoek naar de mogelijkheden om gebruik te maken van de bebouwing om beschutting te vormen tegen windaanval, genoemd worden.
2. Het reeds genoemde onderzoek naar de drukverdeling op

een gebouw t.b.v. de berekening van de natuurlijke ventilatie en het verkrijgen van inzicht in de invloed van de drukverdeling op de werking van een mechanisch ventilatiesysteem.

3. Het onderzoek naar de afvoer van lucht van het ventilatiesysteem en van verbrandingsgassen van de ketelinstallatie uit een gebouw, met het oog op het vermijden van het aanzuigen van deze afvoergassen door het ventilatiesysteem.

Deze onderzoekingen hebben alle een min of meer nauwe relatie met het leefklimaat en passen dus als zodanig wel aan bij het werk van de Afd. Binnenklimaat van het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO. Er wordt (uiteraard) geen werk verricht op het gebied van de sterkte en de constructie van gebouwen onder invloed van de wind.

### De natuurlijke en kunstmatige wind

Een modelonderzoek wordt meestal uitgevoerd als nog geen werkelijke resultaten over het gedrag van de wind bij een gebouw bekend kunnen zijn, omdat het zich nog in het ontwerp stadium bevindt. Het kan echter ook zijn, dat voor een bestaand gebouw problemen moeten worden behandeld. Bij tunnelonderzoek behoeft niet op wind uit een bepaalde richting te worden gewacht, terwijl bovendien wijzigingen aan de opstelling kunnen worden aangebracht en het effect daarvan kan worden bestudeerd, zonder dat dit met grote kosten gepaard gaat. Nog afgezien van de tijd die het aanbrengen van wijzigingen in de werkelijkheid zou vergen als het om bestaande gebouwen gaat. De resultaten van een modelonderzoek moeten uiteraard zo nauwkeurig mogelijk overeenstemmen met de werkelijkheid. Daarom is het noodzakelijk, de optredende verschijnselen in deze werkelijkheid te kennen en bij het model zo goed mogelijk na te bootsen.

In vergelijking met de wind in de natuur is de luchtstroming in de windtunnel zeer stationair. Fluctuaties van de windrichting (zoals die bij de wind in de natuur optreden over een hoek van minimaal 30° als van wind uit een bepaalde richting wordt gesproken) komen in de windtunnel niet voor. Ook veranderingen van de snelheid door de wervels en het verloop van de snelheid met de hoogte zijn, normaal gesproken, in de windtunnel van geringe betekenis.

Het verloop van de windsnelheid in de onderste luchtlagen boven de aarde is te beschouwen als een grenslaagstroming; het hangt dus in grote mate af van de ruwheid van het oppervlak.

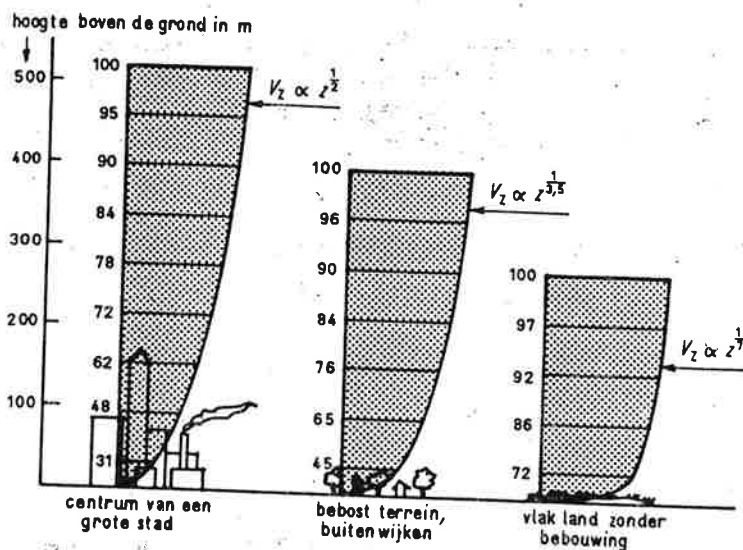


Fig. 1. Snelheidsverloop van de wind boven verschillende oppervlakken.

Voorts hebben de temperatuuropbouw van de atmosfeer en de windsnelheid zelf invloed op het verloop. Een voorbeeld van de invloed van de oppervlakteruwheid op het verloop van de snelheid in en de dikte van de grenslaag is weergegeven in fig. 1, ontleend aan de publikatie van A. G. Davenport.

Het verloop van de snelheid kan worden voorgesteld door een exponentiële functie:

$$V_z = KZ^{\frac{1}{\alpha}} \quad (1)$$

- waarin:  $V_z$  de snelheid voorstelt op de hoogte  $Z$ ;  
 $K$  een constante is voor de windsnelheid op een gegeven hoogte;  
 $\alpha$  een constante is, die afhangt van de oppervlakteruwheid.

Deze formule wordt om zijn eenvoudige vorm veel gebruikt. De factor  $\alpha$  kan variëren van ongeveer 2 voor zeer ruwe oppervlakken (zoals grote steden) tot ca. 10 voor grote wateroppervlakken, waarin weinig golven voorkomen. De beperkte geldigheid over de hoogte is voor het windtunnelonderzoek geen bezwaar, omdat het onderzoek zich altijd beperkt tot gebouwen e.d., die niet tot extreme hoogten reiken.

Naast deze praktijkformule wordt ook een formule gebruikt, die langs theoretische weg voor het verloop van de snelheid in een grenslaag kan worden afgeleid; zij luidt:

$$\frac{U_z}{U^*} = 0,25 \ln \frac{Z+Z_0}{Z_0} \quad (2)$$

- Hierin is:  $U_z$  de snelheid op de hoogte  $Z$ ;  
 $U^*$  de schuifspanningssnelheid;  
 $Z_0$  een maat voor de ruwheid van het oppervlak.

Ook deze formule is slechts geldig over een beperkte hoogte, o. in verband met de aanname dat de schuifspanning over de hoogte constant is.

Voor de waarden van  $Z_0$  worden genoemd:

- 750 cm voor een grote stad;
- 0,20 cm voor kort geschoren grasland;
- $1,8 \cdot 10^{-2}$  voor groot glad wateroppervlak.

Het is mogelijk in de windtunnel een zodanige grenslaag te creëren, dat een vergelijking met de werkelijkheid is te maken. De stroming in de windtunnel is echter isotherm; zij wijkt, voor wat betreft en door het ontbreken van richtingsveranderingen, van de werkelijkheid af.

### Modelregels

Bij het beproeven van modellen op een andere schaal dan de ware grootte moeten bepaalde regels in acht worden genomen. Ten eerste moet het model gelijkvormig zijn aan de werkelijkheid, wat geen moeilijkheden kan opleveren; ten tweede zou de kenmerkende grootte bij de stromingsvorm (het getal van Reynolds) gelijk moeten zijn, zowel in werkelijkheid als bij het model. Dit leidt al gauw tot hoge snelheden in de windtunnel.

Een gelukkige omstandigheid is echter, dat bij het gebruik van scherpkantige modellen de stromingsvorm wordt bepaald door het loslaten van de stroming aan de scherpe hoeken en dus nagenoeg onafhankelijk van het getal van Reynolds; daardoor is het mogelijk, in een tunnel voor lage snelheden modelproeven te doen. Ten derde moet de grenslaag van de wind in de natuur zo goed mogelijk worden nagebootst en hier komen de moeilijkheden! De grenslaag in de windtunnel is door het gladde oppervlak van de tunnelvloer betrekkelijk dun: bij de windtunnel van de Afd. Binnenklimaat is hij ongeveer 8 cm dik. Het snelheidsverloop kan volgens formule (1) worden gekarakteriseerd door het invullen van een waarde voor  $\alpha$  van 7,5 en volgens formule (2) door de waarde van  $Z_0 = 3 \cdot 10^{-3}$  mm.

Als het modelonderzoek in deze tunnel zou moeten plaatsvinden en een zelfde verloop van de snelheid als in de natuur zou moeten worden gewaarborgd, zouden zeer kleine modellen moeten worden gebruikt, waarin de meetinstrumenten naar verhouding te groot zouden zijn om ontoelaatbare beïnvloeding van de stroming te voorkomen.

Een natuurgetrouwe nabootsing zou mogelijk zijn door het aanbrengen van een model van de omgeving in de aanloopstrook naar het te onderzoeken model. Deze oplossing is duur en er zou in sommige gevallen voor verschillende windrichtingen een nieuw model in de aanloopstrook moeten worden gebouwd.

Door de Deense onderzoekers *Jensen en Franck* is een methode onderzocht om – zonder nauwkeurige modellering van het terrein – aan de loefzijde van het model een grenslaag in de windtunnel te vormen, die grote overeenkomst vertoont met de werkelijkheid. Zij zijn daarbij uitgegaan van vergelijking van de ruweheidsparameters uit formule (2).

Uit hun onderzoek blijkt dat, zowel voor de drukmetingen op een gebouw als voor de snelheden er omheen, goed vergelijkbare resultaten werden verkregen als de ruweheidsparameters van de werkelijkheid en de tunnel in dezelfde verhouding staan als de schaalwaarde. Zij bereikten de ruwheid in de tunnel door

het aanbrengen van o.a. golfkarton en latjes van verschillende hoogten en dikten. De maten van de latjes en het aantal heeft dezelfde stromingsvorm ten gevolge als de hoogte en dichtheid van bebouwing in de werkelijkheid. De latjes werden in een zigzag-patroon geplaatst om een gelijkmatig ritme in de wervelingen te vermijden; in fig. 2 is een voorbeeld van een kunstmatig aangebrachte ruwheid in de windtunnel weergegeven.

Jensen en Franck voerden metingen uit om de ruwheidsparameter bij verschillende mate van oneffenheid van de grond te bepalen. De waarde voor  $Z_0$  wordt grafisch bepaald uit een grafiek, die het verband weergeeft tussen de relatieve snelheid en de logaritme van de hoogte. De relatieve snelheid is de gemeten snelheid, berekend als percentage van de snelheid op een bepaalde hoogte, waarvoor Jensen en Franck 100 m hebben genomen.

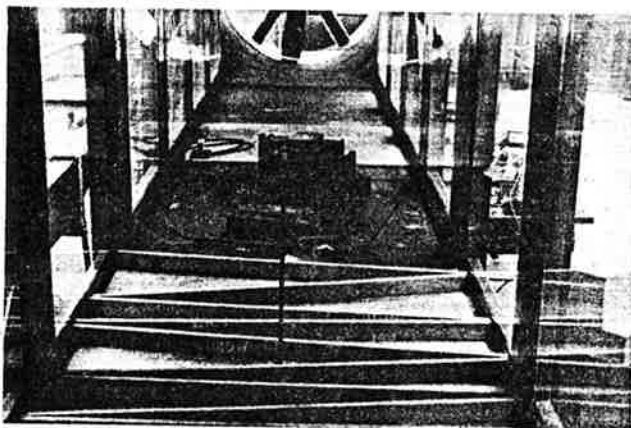


Fig. 2. Voorbeeld van een in de windtunnel aangebrachte kunstmatige ruwheid.

In fig. 3 zijn een aantal van hun metingen weergegeven, die als resultaat waarden voor  $Z_0$  hadden van:

- 750 cm voor het centrum van Kopenhagen;
- 0,74 cm voor een stoppelveld;
- 0,20 cm voor een kortgeschoren grasveld;
- $8,2 \times 10^{-2}$  cm voor geëgd land;
- $1,8 \times 10^{-2}$  cm voor een glad wateroppervlak.

Door inpassing van de gegevens van andere onderzoekers zijn nog enige ruwheidsparameters verzameld. Voor buitenwijken van grote steden en voor kleinere steden is  $Z_0 = 200$  cm, voor een vlak weidelandschap met verspreid staande bomen, struikgewas en enkele huizen, 30 cm.

De beide Deense onderzoekers hebben proeven uitgevoerd om de nauwkeurigheid van hun methode te toetsen; o.a. hebben zij de optredende drukken op een bouwsel gemeten en deze vergeleken met de resultaten, verkregen aan een model in de windtunnel. In fig. 4 zijn de resultaten in de werkelijkheid vergeleken met die van de metingen in de tunnel met de juiste ruwheidsparameter en met de metingen bij een ruwheidsparameter  $Z_0 = 0$ . De overeenkomst van de metingen bij een ruwe tunnel is zeer goed, terwijl de metingen zonder ruwheid niet alleen getalmatig volkomen afwijken, maar vooral een volledig verschillend verloop van de druk over de gevel aan het licht brengen. Dezelfde goede resultaten werden verkregen bij metingen aan luchtsnelheden achter obstakels als schuttingen en geperforeerde schermen.

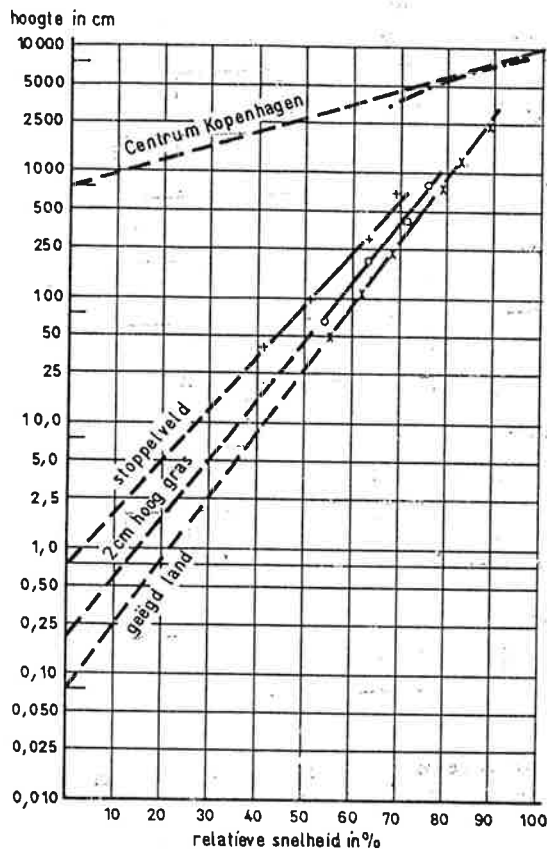
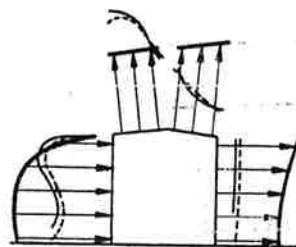


Fig. 3. Bepaling van verschillende ruwheidsparameters uit windsnelheidsmetingen van Jensen en Franck.



- $Z_0 = 0$
- - -  $Z_0$  bij model 1:20 is 0,047 cm
- $Z_0$  in werkelijkheid 0,95 cm

Fig. 4. Vergelijking tussen de in de windtunnel en in de werkelijkheid gemeten drukverdeling om een gebouw.

Uit de vergelijkende metingen van Jensen en Franck kan worden geconcludeerd dat, bij een te kleine ruwheid van de tunnel, bij drukmetingen een te hoge waarde wordt gemeten en dat bij snelheidsmetingen te lage waarden worden verkregen.

Bij de Afd. Binnenklimaat van het Instituut voor Gezondheidstechniek is de methode-Jensen overgenomen; in de fig. 5... zijn vergelijkingen weergegeven van de toegepaste stromingsprofielen voor omgevingen met een verschillende ruwheid en het daarbij te verwachten stromingsprofiel in de werkelijkheid. In het onderste gebied treedt in de windtunnel enige afwijking op van het theoretische verloop in de werkelijkheid door de nabijheid van de obstakels.

In de werkelijkheid zal ongetwijfeld ook onder de invloed



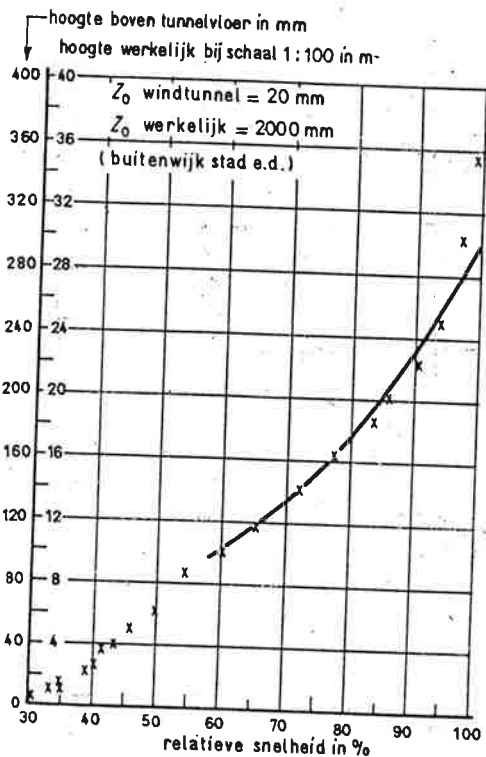


Fig. 5. Het in de windtunnel toegepaste stromingsprofiel voor een buitenwijk van een stad, met het daarbij in werkelijkheid te verwachten profiel.

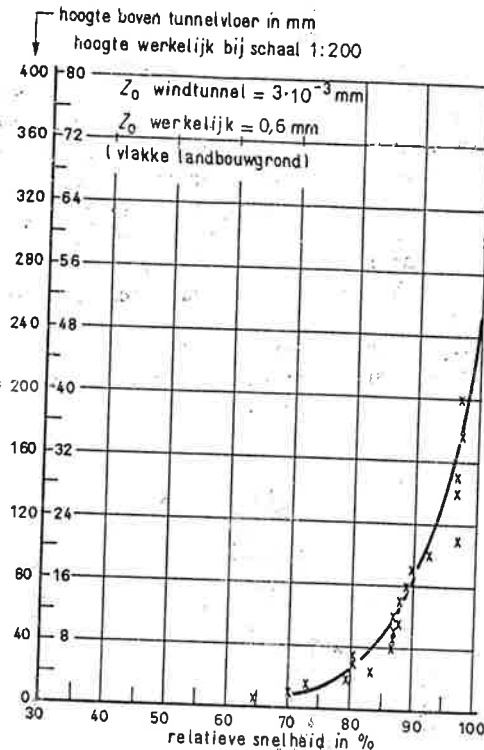


Fig. 7. Het in de windtunnel toegepaste stromingsprofiel voor vlakke landbouwgrond, met het daarbij in werkelijkheid te verwachten profiel.

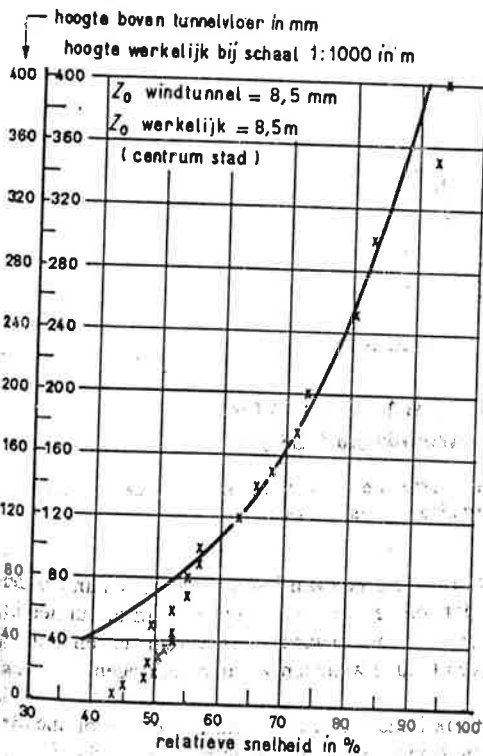


Fig. 6. Het in de windtunnel toegepaste stromingsprofiel voor een stadscentrum, met het daarbij in werkelijkheid te verwachten profiel.

van de obstakels een afwijking van het geschatte ideale verloop optreden, omdat de formule (2) daar geen rekening mee houdt.

#### Enige voorbeelden van uitgevoerde onderzoeken

##### Snelheidsmetingen

Als er een verzoek binnenkomt om een project in de windtunnel te onderzoeken, wordt eerst aan de hand van de omgeving een schatting gemaakt van de ruwheidsparameter in de werkelijkheid. Met inachtneming van de mogelijke grootte van het model wordt de ruwheidsparameter van de tunnel aangepast. De aanpassing is een zuiver empirisch probleem, dat door ervaring vrij goed kan worden geschat, maar waarvoor toch altijd een meting van het snelheidsverloop wordt uitgevoerd.

Bij metingen aan de snelheden die in de nabijheid van gebouwen optreden wordt vervolgens door het leggen van een 'rookdeken' globaal vastgesteld waar 'stroomversnellingen' optreden; een voorbeeld van zo'n rookproef is weergegeven in fig. 8. Dit betreft een bovenaanzicht van het model van een aantal woongebouwen in 12 woonlagen, waarbij de opstelling aanleiding zou kunnen geven tot verhoogde snelheden in de trechtervormige openingen tussen de gebouwen; er is te zien dat deze vrets gerechtvaardigd was!

Om de snelheidsstoening kwantitatief vast te stellen worden kleine thermische anemometers gebruikt, waarvan het gevoelige element uit een cilindertje met een diameter van 1 mm en een lengte van 2 mm bestaat; de anemometers zijn ongevoelig voor verschillen van aanstroomrichting. De gemeten waarden worden vergeleken met de snelheid die op dezelfde plaats en hoogte zou heersen als het gebouw er niet stond, eigenlijk dus een vergelijking met de snelheid in het vrije veld. In dit geval werden op een hoogte van 5 m boven de grond snelheidsverhogingen vastgesteld van 30 tot 50%. Op een hoger niveau (35 m boven de grond) was de snelheidsstoening veel geringer, nl. maxi-

maal 10%: de invloed van de gebouwen wordt dus in de nabijheid van het dak minder. Weliswaar is de snelheid op de grotere hoogte iets toegenomen en is een toeneming van 10% van deze snelheid - absoluut gezien - groter dan overeenkomt met hetzelfde percentage op 5 m.



Fig. 8. Met rook kunnen globaal de plaatsen zichtbaar gemaakt worden waar 'stroomversnellingen' optreden.

De opgegeven waarden voor de snelheid zijn een gemiddelde van de voorkomende snelheden. Zowel in de werkelijkheid als in de windtunnel komen 'vlagen' voor, waarbij echter kan worden aangenomen dat de snelheidstoename door de invloed van de bebouwing op dezelfde wijze plaatsvindt als voor de gemiddelde snelheid is bepaald.

Om op dit soort metingen een controle te hebben zijn in één geval de resultaten van het modelonderzoek vergeleken met de werkelijke omstandigheden. Het betrof hier het prototype van een 'patioschool' die ontwikkeld was door het 'Informatiecentrum voor de scholenbouw'. De patio's zouden een wezenlijk onderdeel moeten vormen bij het onderwijs, daarom was het van groot belang of op deze binnenplaatsen gerekend kon worden op een beschutting tegen de wind. De school is gebouwd in de Prins Alexanderpolder te Rotterdam.

Fig. 9 geeft een indruk van de omgeving zoals deze in de werkelijkheid is; fig. 10 geeft een overzicht van de situatie en de afstanden van de school tot de bebouwing en de hoogte daarvan.



Fig. 9. Omgeving van de patioschool in de Prins Alexanderpolder te Rotterdam.

Zoals gebruikelijk werd een eerste indruk verkregen d.m.v. een rookproef, die geen aanleiding gaf tot pessimisme met betrekking tot de optredende snelheden op de patio's, omdat de rook lang bleef hangen (zie fig. 11).

De grootte van de luchtsnelheid is op vier plaatsen per patio, op het voorplein en in de nissen aan de buitenkant van het gebouw gemeten. De resultaten van de metingen aan het model zijn weergegeven op de plattegrond van de school (zie fig. 12).

Voor de metingen in de werkelijkheid werden anemometers van een type dat normaal voor het meten van de windsnelheid in de natuur wordt gebruikt toegepast, die per meetplaats gedurende 20 min in werking werden gesteld; de aflezing gaf de gemiddelde windsnelheid gedurende deze periode. Op enige afstand van de school op een vrij terrein was als referentiepunt een anemometer opgesteld. De anemometers bevonden zich op overeenkomstige plaatsen als die, waar in het model was gemeten en op dezelfde hoogte van 1,70 m. De metingen vonden plaats op 2 november 1967 bij half tot zwaar bewolkt weer en een zuidenwind, die op het referentiepunt varieerde van 6 tot 8 m/s.

De windsnelheden zijn als een percentage van de windsnelheid op het referentiepunt weergegeven in fig. 13; in fig. 14 zijn de resultaten van de modelproef en de werkelijkheid ter vergelijking vermeld. Er is een redelijke overeenstemming te constateren op enkele plaatsen op het voorplein na; de oorzaak hier-

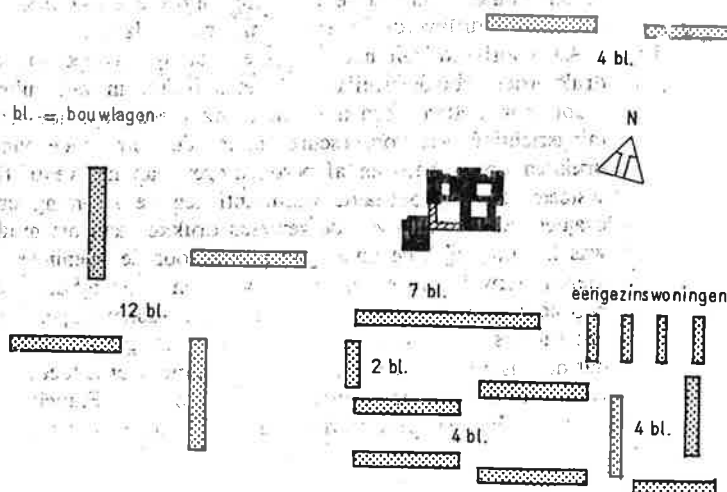


Fig. 10. Situatie patioschool met omliggende bebouwing.

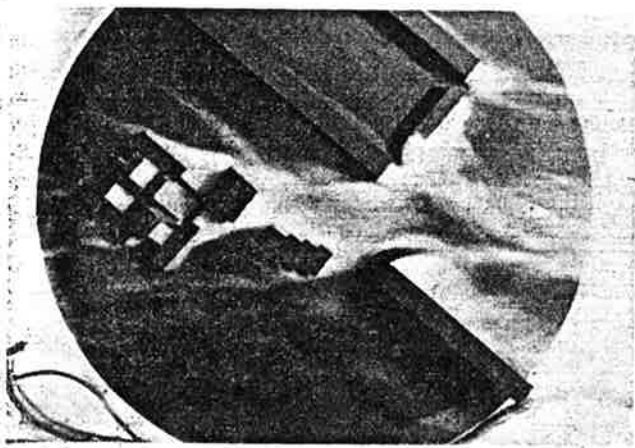


Fig. 11. Model patioschool.

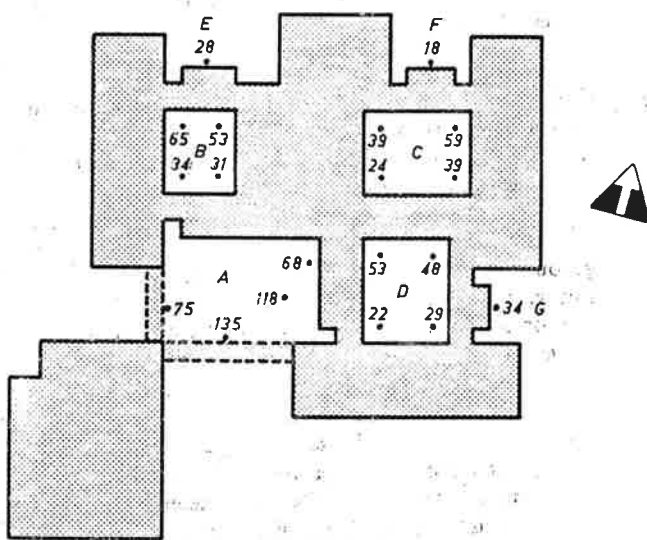


Fig. 12. De in de windtunnel gemeten windsnelheden (opgegeven als een percentage van de snelheid op het referentiepunt).

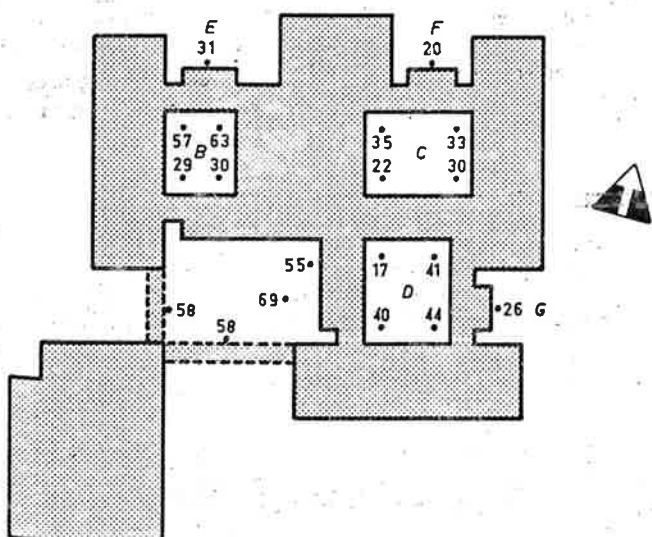


Fig. 13. De ter plaatse gemeten windsnelheidspercentages.

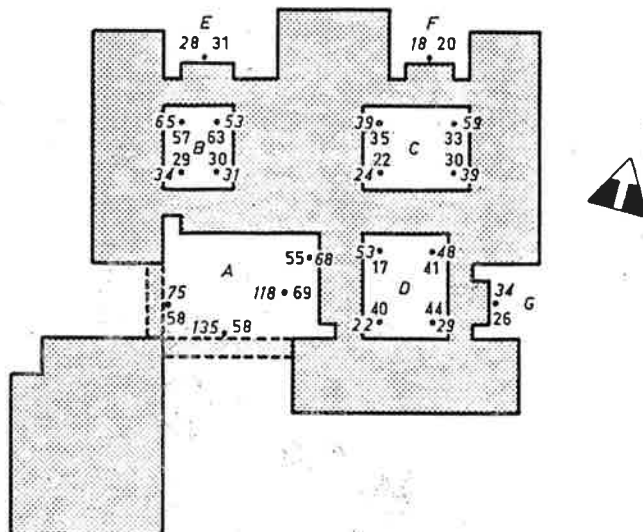


Fig. 14. Vergelijking tussen de uitkomsten van de metingen in de windtunnel en in de werkelijkheid.

van is waarschijnlijk, dat bij de modelproef het lange voorliggende woonblok van 6 bouwlagen is weggelaten. Overigens zijn de resultaten zodanig, dat vertrouwen in de methode gerechtvaardigd is.

Het verrichten van modelonderzoek vooraf biedt voor tal van projecten op dit gebied mogelijkheden. Zo is gebleken, dat in een aantal winkelcentra het klimaat zo ongunstig door de wind wordt beïnvloed, dat de verkoop er schade door lijdt. Vaak was het mogelijk geweest de invloed van de wind te verminderen of te vermijden; hetgeen achteraf meestal op onoverkomelijke moeilijkheden stuit. Er wordt over het algemeen bij deze projecten te weinig rekening gehouden met de plaatselijke omstandigheden. Het maakt voor de windsnelheden in zo'n winkelcentrum een groot verschil uit of het midden in een stad of aan de rand van de stad, grenzend aan een vlak polderlandschap is gesitueerd.

#### Drukmetingen

In vele gevallen zijn (t.b.v. de berekening van de ventilatie of het ventilatiesysteem) metingen gedaan aan de door de wind veroorzaakte druk op de gevels en daken van modellen. Vooral als de stromingsrichting binnen het gebouw van groot belang is – zoals bij bedrijven die radioactieve stoffen verwerken of in ziekenhuizen i.v.m. de verspreiding van bacteriën – is bekendheid met de drukverdeling een dwingende noodzaak.

Als voorbeeld kan het onderzoek aan de invloed van de drukverdeling op de ventilatie van het laboratorium van Philips-Duphar in Petten worden vermeld, waar een bepaalde stromingsrichting was voorgeschreven. Bij de optredende winddrukken op de aan- en afvoeropeningen van het ventilatiesysteem kon bij bepaalde windrichtingen de stroming om-draaien. Met behulp van de gemeten drukken aan het model was het mogelijk, de gunstigste plaats voor de openingen te kiezen, terwijl tevens een model van een aanzuigbuis werd beproefd, waardoor de windinvloed op de aanzuigopeningen grotendeels werd geëlimineerd. Dat het van groot belang is dat de juiste ruwheidsparameter in de tunnel wordt toegepast, is al aan de hand van de metingen van Jensen en Franck aangetoond. Wellicht ten overvloede geeft fig. 15 de waarden voor



de drukken, resp. onderdrukken, aan de gevels en op het dak bij een wind met een snelheid van 10 m/s, loodrecht op de gevels, bij een gladde tunnel ( $Z_0 = 3 \cdot 10^{-3}$  mm) en bij de voor die omstandigheden juiste ruwheid ( $Z_0 = 2$  mm). In het eerste geval is het maximale drukverschil over de gevels bijna 11 mm(w.k.), in het tweede geval minder dan 8 mm(w.k.). Bovendien is de verdeling van de druk in het tweede geval dusdanig anders, dat de invloed daarvan op de luchttransporten in het gebouw niet kan worden verwaarloosd.

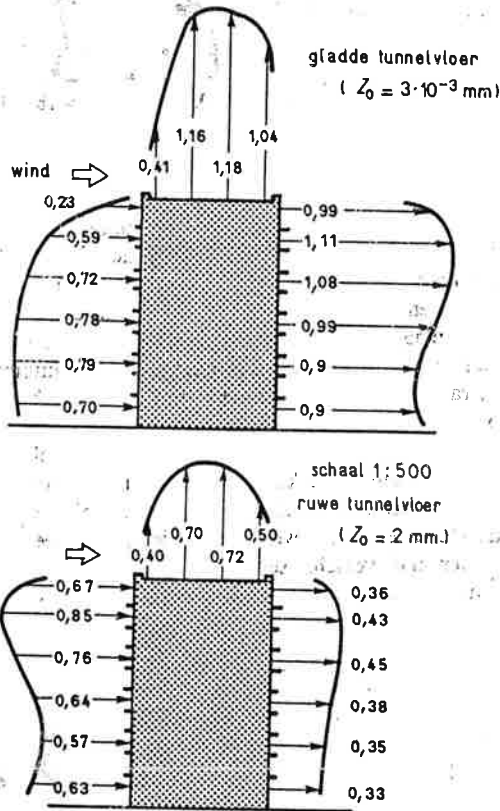


Fig. 15. Drukverdelingen om een gebouw.

#### Rookverspreiding

Ook bij de rookverspreiding is een aanpassing van de ruwheid van de tunnelvloer noodzakelijk, omdat de daardoor veroorzaakte wervels op dezelfde wijze de baan van de rook beïnvloeden als in de natuur het geval is. De bestudering van de rookverspreiding vindt bij het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO slechts plaats ten behoeve van de directe omgeving van het gebouw waarvan de rook of andere gasvormige afvoerproducten afkomstig zijn.

De stroming wordt zichtbaar gemaakt door kleuring van de lucht met ammoniumchloride, dat helder wit is en tegen een zwarte achtergrond een goed contrast levert om de resultaten fotografisch vast te leggen.

De verspreiding van de rook wordt bepaald door de plaats van de uitblaasopening t.o.v. het gebouw en de verhouding tussen de windsnelheid en de uitblaassnelheid. Op het dak, aan de van de wind afgekeerde gevel en de zijgevels van een gebouw ontstaat door het loslaten van de stroming een wervelgebied; bevindt de afvoeropening zich in dit gebied, dan zal het geheel

met de min of meer verdunde afvoerproducten gevuld worden. Een voorbeeld hiervan toont fig. 16, waar de uitmondning van de schoorsteen te laag boven het dak komt om vrij te blijven van het wervelgebied op het dak. Fig. 17 geeft de situatie weer bij hetzelfde gebouw en dezelfde verhouding tussen de uitblaassnelheid en de windsnelheid bij een hogere schoorsteen. Een bijzonder moeilijke situatie toont fig. 18, waar de uitmondning van de schoorsteen zich achter een hoog gebouw bevindt en waarbij men de indruk krijgt, dat de rook tegen de wind instroomt. Dit is het gevolg van de grote wervel, die door het hoge gebouw aan de loefzijde van de schoorsteen wordt veroorzaakt. De baan van de pluim wordt bij een niet direct door

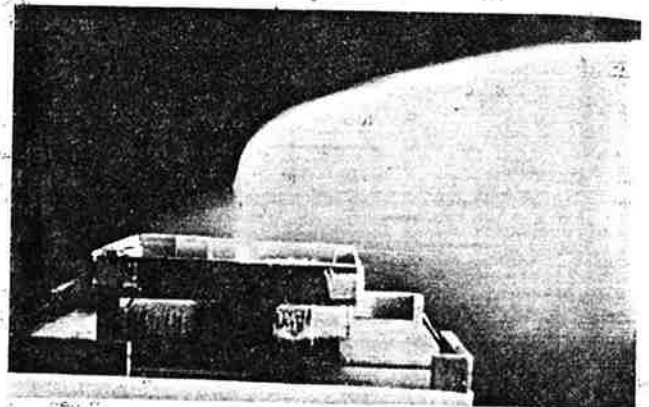


Fig. 16. Voorbeeld van de baan van de rookgassen uit een lage schoorsteen.

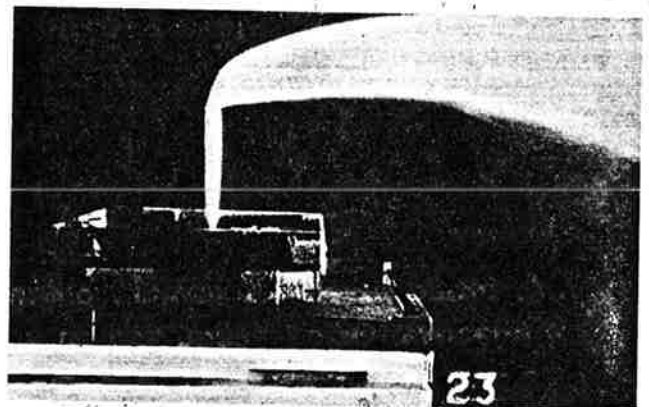


Fig. 17. Voorbeeld van de baan van de rookgassen uit een hoge schoorsteen.

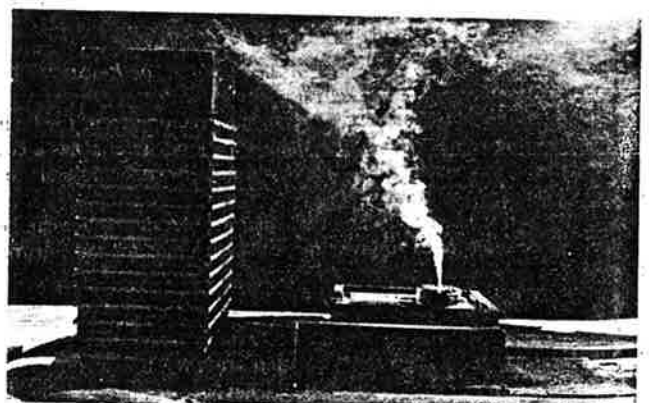


Fig. 18. Voorbeeld van het bewegingspatroon van de rookgassen, indien de schoorsteen achter een hoog gebouw is geplaatst.



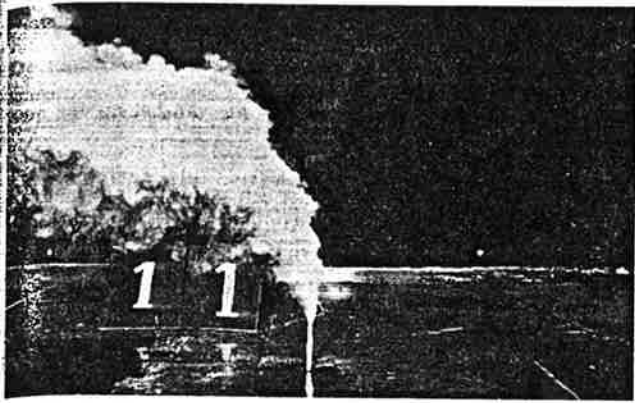


Fig. 19. De baan van de rookpluim wordt hoofdzakelijk bepaald door de verhouding tussen windsnelheid en uitblaassnelheid.

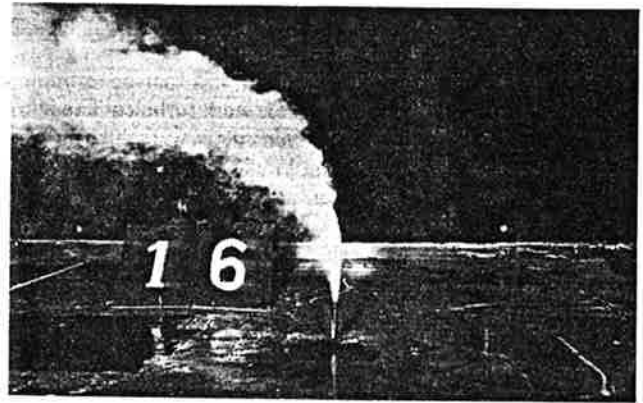


Fig. 20. Rookpluim baan als in fig. 19, bij dezelfde verhouding doch bij tweemaal zo hoge snelheden.

een onderdrukgebied beïnvloedde schoorsteen hoofdzakelijk bepaald door de verhouding tussen de windsnelheid en de uitblaassnelheid; hiervan wordt bij de modelproeven gebruik gemaakt. Bij het fotograferen van de rookpluim kan nl. de lichtsnelheid in de tunnel niet te hoog worden gekozen i.v.m. de zichtbaarheid van de rook. Als nu de rookpluim bestudeerd moet worden van een schoorsteen, waaruit de gassen worden afgevoerd met een snelheid van 10 m/s bij een windsnelheid van 15 m/s, dan worden dezelfde resultaten verkregen bij een lichtsnelheid in de tunnel van 2 m/s en een uitblaassnelheid uit de modelschoorsteen van 1,33 m/s. Een voorbeeld hiervan is gegeven in de fig. 19 en 20, die de rookpluim weergeven van een schoorsteen bij dezelfde verhouding van uitblaassnelheid en windsnelheid, maar waarbij beide snelheden in het tweede geval (fig. 20) tweemaal zo hoog zijn als in het eerste geval.

Omdat – vooral bij grote turbulentie van de stroming – de baan van de rookpluim nogal grote fluctuaties vertoont, worden de resultaten vastgelegd door bij het fotograferen een lange belichtingstijd te gebruiken, zodat als het ware in één beeld ook een overzicht wordt verkregen van de minder voorkomende plaatsen waar de rook terecht komt. De mate van kleuring op de foto is dan een maat voor de combinatie van concentratie van de gassen en de beweging van de baan van de rookpluim.

Hoewel niet gezegd kan worden, dat met modelproeven de uiterste nauwkeurigheid kan worden bereikt (daarvoor zijn de omstandigheden in de natuur al te zeer verschillend) kan deze techniek toch een waardevol hulpmiddel zijn om een inzicht te verschaffen in de verschijnselen, die zich om of aan een gebouw afspelen.

72.011.27:551.55:533.6.07

#### IV. Modelregels en schaalproblemen bij onderzoeken van windaanvallen op gebouwen en van windhinder

door ir. K. A. Warschauer en drs. G. A. Boschloo, onderscheidenlijk onderdirecteur en wetenschappelijk medewerker Centraal Technisch Instituut TNO, Apeldoorn.

*Summary: Model Rules and Scale Problems for Research into Wind Effects on Buildings and into the Effect of Buildings on their surrounding Wind Fields.*

In the model research of phenomena, resulting from the interaction of buildings or structures and the surrounding air, use is made of small-scale models. This has a bearing on the methods to be chosen for research in wind and water tunnels, as it will not always be possible to simulate all important factors correctly in one single experiment.

It is discussed how conditions that are met in practice can be simulated, and how the results of experiments can be interpreted to give practical indications for the construction of buildings.

##### 1. Inleiding

De door gebouwen ondervonden krachten ten gevolge van wind nemen in het algemeen toe met het kwadraat van de windsnelheid. Deze krachten moeten voldoende bekend zijn; zij moeten

op de juiste wijze bij het ontwerpen van een gebouw in rekening worden gebracht. Anders kan bij stormweer gemakkelijk schade ontstaan; dit is bij architecten en constructeurs voldoende bekend.

Het op modelschaal meten van windbelastingen op gebouwen



