

Wie past er op de wind in onze steden?

door ir. N. Feis

hoofd van de afdeling Stromingstechniek van het Centraal Technisch Instituut TNO te Apeldoorn

overdruk uit BOUW no. 4 en 6, 27 januari / 10 februari 1973

Wie past er op de wind in onze steden?

door ir. N. Feis*

hoofd van de afdeling Stroomingstechniek van het Centraal Technisch Instituut TNO te Apeldoorn

Dat hoge bomen veel wind vangen is een oude wijsheid die bij de ontwerpers van hoge gebouwen en de stede­bouw­kundigen niet voldoende op de waarde is geschat, getuige de enorme hinder die de wind rond deze gebouwen voor bewoners en passanten kan opleveren. Hoe dat gebeurt en wat er tegen te doen is, daarover gaat het in dit artikel.

Na de Tweede Wereldoorlog heeft zich in Nederland bij de stede­bouw, mede als gevolg van de toenemende bevolkingsdichtheid en de stijgende grondprijzen, een trend ontwikkeld naar het toepassen van hoogbouw, niet alleen in de utiliteitssector maar ook voor woningen.

Omdat hier een winderig zeeklimaat heerst, zijn daardoor allerlei windproblemen in onze steden ontstaan. Doordat de snelheid van de natuurlijke wind altijd toeneemt met de hoogte boven de grond, vormen zich namelijk in de luchtstromingen om hoge gebouwen niet alleen grotere gebieden, waarin min of meer sterke druk­ en windsnelheidsverstoringen voorkomen, maar zijn daarin dicht bij de grond de windsnelheden aanzienlijk groter en de wervelingen veel heftiger dan bij lage gebouwen.

Het waait dan ook bijna altijd hard in de buurt van hoge gebouwen; dit gaat meestal gepaard met hevige rukwinden en plotselinge grote windrichtingsveranderingen of zelfs -omkeringen. Dat maakt niet alleen het verblijf in die omgeving meestal zeer onaangenaam maar is ook vaak gevaarlijk voor alle verkeer, voetgangers, zowel als fietsers en auto's.

Verder kunnen de plaatselijke dynamische windbelastingen op ramen, deuren, gevelbekledingen, dakbedekkingen, enz. zowel bij de hoogbouw als bij de omringende laagbouw zo hoog worden, dat beschadigingen het gevolg zijn, waarbij soms ongelukken ontstaan. Bovendien is door die rukwinden een goede af-

voer van rook en gassen niet alleen bij deze hoogbouw zelf moeilijk te verwezenlijken, maar is zij bij de omringende laagbouw niet of nauwelijks mogelijk. Ook kunnen de zeer grote verschillen in de winddrukken op de diverse gevels sterke inwendige tochtverschijnselen veroorzaken, waardoor behoorlijke verwarming en ventilatie onmogelijk worden.

Ten slotte kunnen zeer slanke gebouwen gaan trillen ten gevolge van de wisselende windbelastingen, hetgeen niet alleen onaangenaam kan zijn, maar ook kan leiden tot verzakkingen, scheuren van muren, enz.

Teneinde al deze onaangename en dikwijls gevaarlijke verschijnselen zoveel mogelijk te kunnen vermijden is het noodzakelijk dat stede­bouw­kundigen en architecten op de hoogte zijn van de problematiek van het micro-windkli-

* Dit artikel is een uittreksel van een aantal lezingen, welke door de schrijver in februari 1972 zijn gehouden voor stede­bouw­kundige studenten aan de TH te Delft. Deze lezingen bestonden hoofdzakelijk uit een compilatie van reeds eerder door hem gegeven en elders gepubliceerde voordrachten over de diverse windproblemen bij de hoogbouw.

maat bij hoge gebouwen. Op dit gebied bestaan echter nog geen duidelijke richtlijnen of bouwvoorschriften, terwijl theoretische benaderingen in het algemeen ontoereikend zijn ten gevolge van de gecompliceerdheid van de zeer turbulente grenslaagstroming van de wind langs het aardoppervlak en van de optredende stromingspatronen om gebouwen, zelfs als deze een eenvoudige vorm hebben. Daarom is het noodzakelijk dat elk plan, waarin hoge gebouwen van ongeveer meer dan 30 meter hoogte voorkomen, in een windtunnel op de diverse windproblemen wordt getoetst, opdat later bewoners, gebruikers, omwonenden en bezoekers niet met allerlei narigheden blijven zitten.

In dit artikel worden de ervaringen uit dergelijke ad hoc windtunnelproeven besproken, opdat stedenbouwkundigen en architecten toch steeds bij hun ontwerpen rekening kunnen houden met eventuele windproblemen en die zoveel mogelijk zullen kunnen vermijden.

Waarom vangen hoge gebouwen zoveel wind?

Wind ontstaat in het algemeen door drukverschillen over grote afstanden in de atmosfeer. Deze drukverschillen zijn weer een gevolg van verschillen in opwarming van de lucht, die met toenemende temperatuur uitzet en dus lichter wordt.

Op een bepaalde hoogte boven het aardoppervlak kan de lucht zich vrij bewegen onder invloed van die drukverlopen, de aardrotatie en de opstijgkrachten. Maar in een laag grenzend aan het aardoppervlak werkt de wrijving langs dit oppervlak sterk verstrend op de luchtbewegingen, die daardoor een verticaal snelheids- en richtingsverloop vertonen en wervelend of turbulent worden. Deze laag is ongeveer 250 tot 500 meter dik en afhankelijk van de ruwheid van het oppervlak. Boven gladde zee of vlakke woestijn is zij het dunst en is het verticale snelheidsverschil dicht bij de grond het sterkst; boven grote steden of ruw bergachtig landschap is zij het dikst en is het verloop het zwakst. (zie afb. 1)

De ruwheid van het aardoppervlak beïnvloedt echter behalve het verticale snelheidsverloop ook de vlagerigheid van de wind. Achter obstakels in een luchtstroming worden namelijk wervels gevormd, die lucht van grotere hoogten, d.w.z. met grote snelheden, tot vlak bij de grond brengen. De draaiingsassen van deze met de luchtstroom meegevoerde wervels hebben allerlei richtingen, terwijl de wervels zeer verschillend van grootte zijn, afhankelijk van de vorm en de afmetingen van de obstakels. Dit

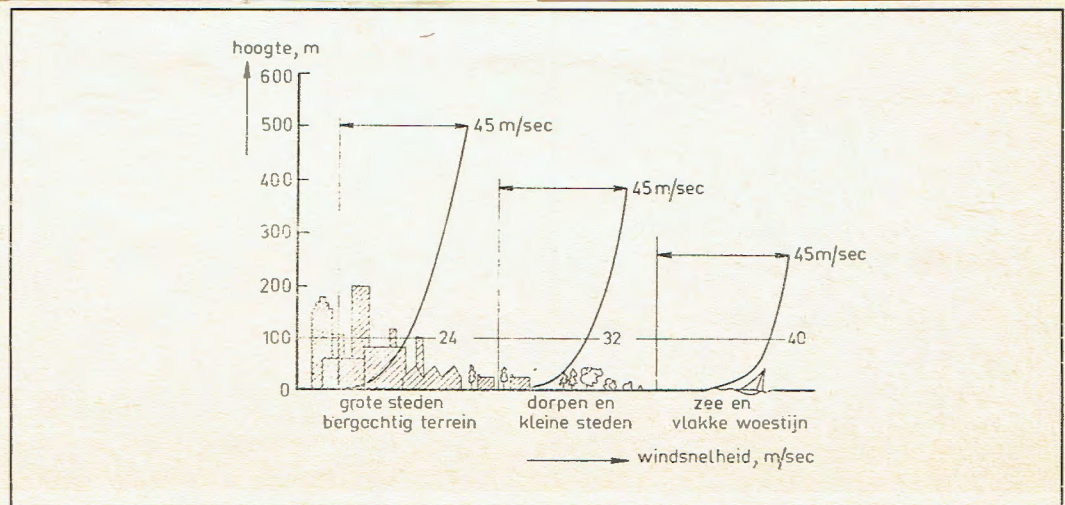
heeft tot gevolg, dat de snelheid bij de grond erdoor onregelmatig zowel vertraagd als versneld, als van richting veranderd wordt, zodat vlagen of rukwinden ontstaan. Boven zee en vlak terrein is de wind veel constanter dan boven steden en begroeide heuvelachtige landschappen, omdat de obstakels in het eerstgenoemde geval veel kleiner en geringer in aantal zijn dan in het laatstgenoemde. Met toenemende windsterkte neemt verder in het algemeen ook de sterkte van de vlagen toe doordat de wervels sterker worden en minder tijd hebben om door inwendige wrijving van de lucht uit te dempen voordat er alweer nieuwe wervels worden gevormd door volgende obstakels.

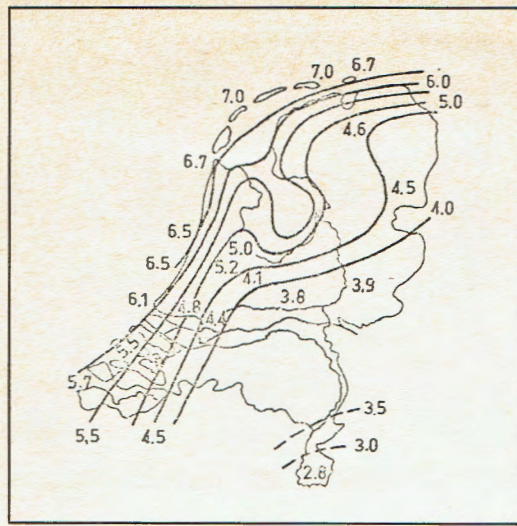
De invloed van deze wervels op de luchtstroming is hier te lande zodanig, dat in verticale zin windrichtingsafwijkingen tot $\pm 6^\circ$ kunnen voorkomen en in dwarsrichting tot $\pm 12,5^\circ$, terwijl de windsnelheid variaties van ± 25 pct. ten opzichte van de gemiddelde snelheid kan vertonen. Er kunnen nog grotere variaties voorkomen maar de kans daarop is minder dan 5 pct.

Die vlagerigheid van de wind neemt toe met de afstand tot de kust, terwijl de gemiddelde windsnelheid op 10 meter hoogte juist afneemt (zie afb. 2). Dit is het gevolg van het verschil in wrijvingsweerstand die de zee en het land op de luchtstromingen uitoefenen. Die specifieke windeigenschappen – het verticale snelheidsverloop en de vlagerigheid – blijken van het grootste belang te zijn voor het windklimaat bij de moderne hoogbouw.

Afhankelijk van de situering – ligt het gebouw aan de kust of meer landinwaarts, in het midden van een grote stad of aan de rand ervan, enz. – kunnen de gemiddelde windsnelheden aan de top van een 100 meter hoog gebouw 1,5 à 2,5 maal zo groot zijn als op de meteorologische standaardhoogte van 10 meter, maar kunnen bij ruw weer in windvlagen of -stoten de snelheden nog 1,5 à 2 maal zo groot worden als die gemiddelden, waarbij dan tevens de windrichting over 20 à 30° kan verlopen.

Het merkwaardige is nu, dat hoge gebouwen de grotere windsnelheden en winddrukverschillen, welke dicht bij hun top heersen, naar de grond brengen. De winddrukken op de gevels van een gebouw zijn namelijk vanaf de grond tot dichtbij de top ongeveer constant en evenredig met de stuwdruk van de ongestoorde wind op minstens tweederde van de hoogte van het gebouw. Daardoor zijn de drukverschillen vlak bij de grond bij hoge gebouwen veel groter dan bij de normale laagbouw.

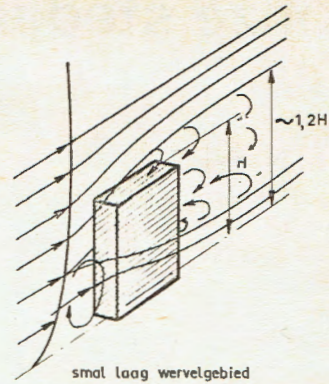




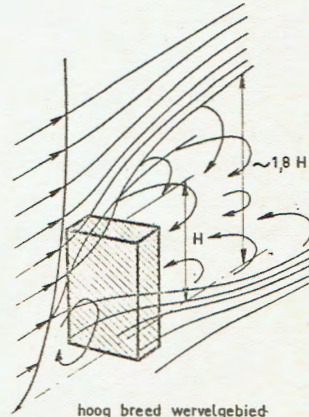
Daar de plaatselijke windsnelheden langs de gevels en om de hoeken van een gebouw direct afhangen van die drukverschillen, zijn de verhoogde snelheden die door de verdringing van de luchtstromingen om een gebouw ontstaan, bij de grond bijna even groot als op tweederde van de gebouwhoogte. Door het verticale windsnelheidsverloop worden dus de plaatselijke windsnelheden rondom hoge gebouwen veel groter dan in de buurt van laagbouw.

Bovendien zijn de wervels, die zich achter, opzij en boven een gebouw vormen bij hoogbouw niet alleen groter maar ook veel sterker dan bij laagbouw. Zij worden namelijk aangejaagd door de lucht, die met verhoogde snelheid om de gevelranden aan de windzijde stroomt; bovendien houden hun diameters verband met de afmetingen van het gebouw waarbij zij ontstaan. Daar grote sterke wervels minder snel uitdempen dan kleine zwakke, is het heftig turbulente gebied achter grote gebouwen naar verhouding altijd veel uitgestrekter dan achter laagbouw.

De vorming van wervels om gebouwen is een gevolg van het feit, dat luchtstromingen geen haakse bochten kunnen maken. De lucht, die vóór de gevel aan loefzijde uitwijkt en er naar opzij en omhoog langsstroomt, kan op de gevelranden niet haaks ombuigen, zodat de stroming van de zij- en bovenvlakken van het gebouw loslaat onder vorming van wervels. (zie fig. afb. 3). Deze wervels zijn echter niet stationair maar ontstaan telkens, groeien aan en spoelen al dan niet periodiek met de stroming mee. Zo vormt zich dus om en achter een gebouw een met wervels gevuld gebied, een zogenaamd zog, waarin de wind steeds van rich-



smal laag wervelgebied

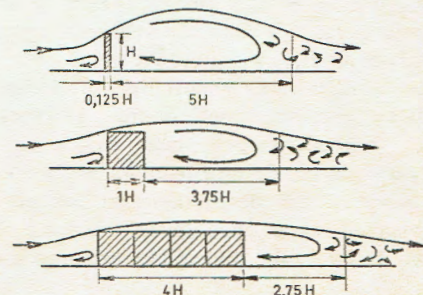


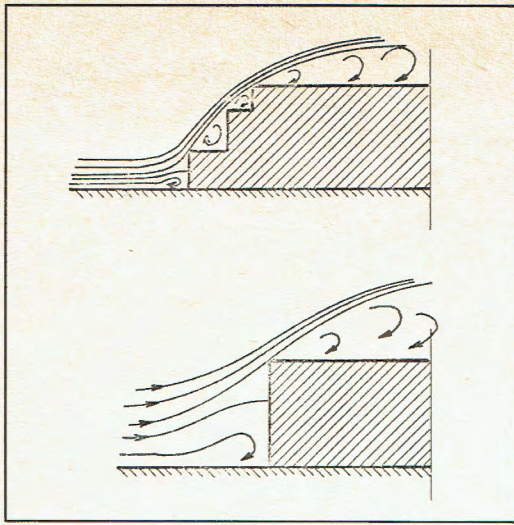
hoog breed wervelgebied

ting en sterkte verandert en waarin in het eerste gedeelte zelfs overwegend terugstromingen optreden.

Dit zoggebied kan bovendien in zijn geheel nog flink wapperen, niet alleen door het periodiek loslaten van wervels bij de gevelranden van het gebouw maar vooral door de richtingsveranderingen van de aankomende wind, die het gevolg zijn van wervels, welke reeds eerder door andere obstakels in die wind zijn gevormd. Omdat de afmetingen van moderne grote gebouwen van dezelfde orde zijn als die van de grootste wervels in de wind, hebben de windstromingen direct om deze gebouwen echter ook altijd een sterk wisselend karakter.

De relatieve afmetingen van het zoggebied hangen natuurlijk grotendeels af van de gebouwvorm en de windrichting. Een smal en lang ge-





bouw heeft bijvoorbeeld, indien de lange zijde evenwijdig met de windrichting staat een veel minder breed en hoog zog dan wanneer de lange zijde loodrecht op de wind staat.

De oriëntatie van een hoog gebouw ten opzichte van de overheersende windrichting is dus van zeer groot belang voor het gemiddelde windklimaat eromheen. Het gebied van het zog, waarin terugstromingen over de grond optreden, is bij hoge gebouwen in verhouding ook meestal langer dan bij laagbouw. (zie afb. 4). Dit komt doordat hoge gebouwen vaak slank van vorm zijn. Bij windrichtingen loodrecht op hun lange gevels zullen de luchtstromingen langs de zijgevels en het dak betrekkelijk minder geleiding ondervinden dan bij de meer gedrongen laagbouw en dientengevolge meer uitbuigen.

Verder kan een gebouw, dat trapsgewijs in hoogte verloopt, een veel kleiner zoggebied hebben dan een gebouw met dezelfde hoogte en grootste dwarsdoorsnede maar met een vlakke gevel. (zie afb. 5). Door een trapsgewijs verloop van de gevel heeft een gebouw namelijk ongeveer hetzelfde effect op de luchtstroming als een stroomlijnvorm. Dat komt doordat de luchtstroming, na te zijn losgelaten op de bovenrand van het eerste verticale vlak, zo uitbuigt, dat zij niet meer extra voor een volgend verticaal vlak behoeft uit te wijken en dus ook niet meer op de volgende rand loslaat. De verlaging van het zoggebied boven een getrappt gebouw ten opzichte van dat boven een gebouw met vlakke gevels, blijkt dan ook af te hangen van de hellingshoek van de getrapte gevel; hoe flauwer die helling is, des te lager wordt het zoggebied.

Het windprobleem van de hoogbouw

Windhinder

De plaatselijke snelheidsverhogingen en de vorming van grote heftige wervels en terugstroomgebieden in de wind om hoge gebouwen kunnen ernstige hinder en zelfs gevaar opleveren voor voetgangers en verkeer. Zij kunnen ook schade veroorzaken aan straatmeubilair (verlichting, wegwijzers, enz.), bomen en planten.

In de eerste plaats kunnen op de hoeken van gebouwen bij de grond snelheden optreden, die 1,5 maal de ongestoorde windsnelheid op circa tweederde van de gebouwhoogte bedragen.

Dat wil zeggen dat bij een gebouw van 100 meter hoogte bij windkracht 7 (circa 15 m/sec) op de hoeken snelheden van $1,5 \times 1,5 \times 15 \cong 35$ m/sec – dit is orkaankracht – kunnen optreden. Dit gebeurt, wanneer de wind loodrecht op de lange gevel van het gebouw staat, bij de geveleinden aan de windzijde. Op balkons en open galerijen langs gebogen flatgebouwen zijn op de hogere verdiepingen bij flauwe hoeken of bochten van de gevels zelfs plaatselijke snelheden van tweemaal de ongestoorde windsnelheid op die hoogte gemeten.

Bij dergelijke orkaansnelheden kan men zich niet staande houden, zodat het onmogelijk of gevaarlijk is om dan die hoeken om te gaan. Verder kunnen bij windrichtingen, die een hoek maken van circa 30° met de lange zijde van een gebouw, langs die zijde over een zekere afstand vanaf de hoek waar de wind op staat, snelheden ontstaan van 1,1 tot 1,25 maal de ongestoorde windsnelheid op tweederde van de gebouwhoogte. Deze oversnelheden zijn zeer plaatselijk en nemen snel af met toenemende afstand tot het gebouw.

Bij het naderen of verlaten van een gebouw van 100 meter hoog moet men dan ook vaak reeds bij windkracht 7 (circa 15 m/sec.) een plaatselijke zware storm met een windkracht van meer dan 12 (circa 25 m/sec.) trotseren. Dit zelfde is het geval in open verbindingen tussen de lange gevels van een hoog gebouw zoals doorritten of loopgangen, waarin de windsnelheden ook kunnen oplopen tot 1,25 maal de ongestoorde windsnelheid. De luchtstraal die aan de lijzijde van het gebouw uit zo'n trekgat spuit, behoudt zijn snelheid over een zekere afstand evenals de om gebouwhoeken blazende jets. Omdat aan de lijzijde van een gebouw ook altijd een gebied met terugstromingen aanwezig is met windsnelheden die tot 0,5 à 1 maal de ongestoorde snelheid op tweederde van de gebouwhoogte kunnen oplo-

pen, ondervindt het aldaar passerende verkeer dus onverwachte zeer sterke windstoten uit tegengestelde richtingen, hetgeen aanleiding kan geven tot ongelukken.

Ten slotte maken de in de buurt van hoge gebouwen reeds bij matige wind optredende sterke windrukken en -vlagen uit verschillende richtingen het verblijf in binnenplaatsen, nabijgelegen speeltuinen en plantsoenen alsmede op dakterrassen en balkons bijna altijd onaangenaam of zelfs ongezond. Bovendien zijn zij de oorzaak van het slecht groeien of doodgaan van planten en het omwaaien van bomen tijdens gewone storm in de omgeving van deze hoogbouw.

Tochthinder

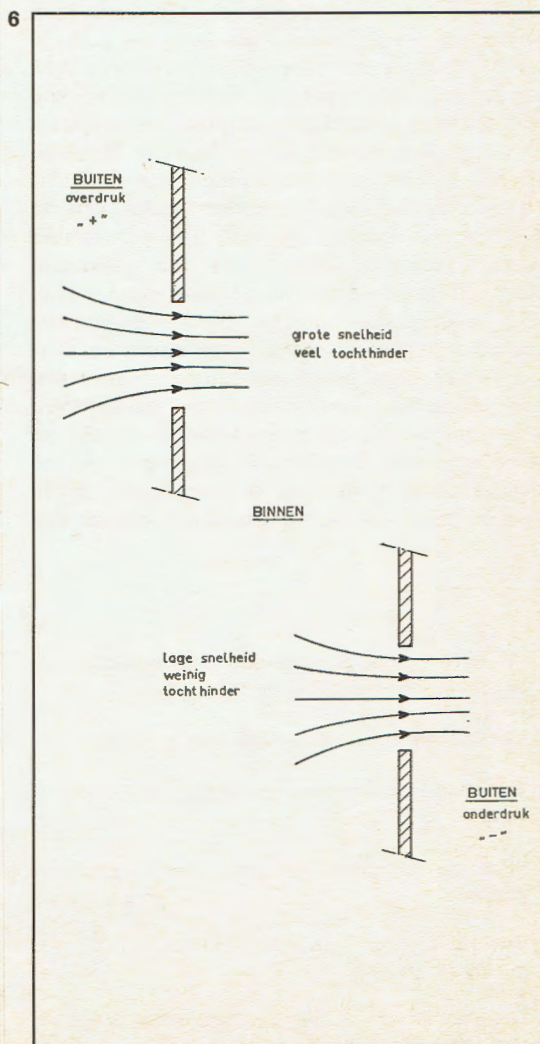
Hinderlijke tochtverschijnselen – dat zijn min of meer gerichte luchtstromingen – zullen zich in een gebouw voordoen, indien er aan verschillende zijden grote openingen zijn zoals openstaande deuren en ramen, in- en uitritten voor auto's en fietsers e.d. en wanneer er weinig weerstanden tegen de luchtstroming aanwezig zijn. Door de wind kunnen namelijk grote drukverschillen op dergelijke openingen ontstaan, waardoor aan de ene zijde lucht naar binnen wordt gestuwd en er aan de andere zijden weer uitgezogen wordt. Die drukverschillen kunnen bij hoge gebouwen zeer groot zijn. Zo ontstaat op een gevel, die aan de loefzijde van het gebouw ongeveer loodrecht op de windrichting staat, overdrukken ten opzichte van de barometerdruk, welke gelijk zijn aan éénmaal de stuwdruk van de wind op tweederde van de gebouwhoogte. Aan de lijzijde kunnen daarentegen onderdrukken van 0,3 à 0,6 maal die stuwdruk voorkomen. Op de hoeken en bij de bovenranden van de gevel aan de loefzijde of op de zijgevels bij windrichtingen die daar schuin opstaan, kunnen echter nog veel grote onderdrukken optreden, namelijk tot 2 à 3 maal de stuwdruk van de wind. Dank zij de in- en uitstroomweerstand van de lucht en de wrijvings- en bochtweerstand van de stromingen door gangen en andere ruimten worden deze drukverschillen van maximaal viermaal de stuwdruk van de wind nooit geheel in tochtsnelheden omgezet. Bij in- en doorritten of op parkeerplaatsen voor auto's en fietsen onder hoge gebouwen kunnen echter wel tochtsnelheden voorkomen, die bijna even groot zijn als de ongestoorde windsnelheid op tweederde van de gebouwhoogte, terwijl er op gangen en in vertrekken tochtsnelheden gelijk aan de helft van die windsnelheid kunnen op-

treden. De ergste hinder ontstaat meestal direct achter ramen en deuren, waar overdruk op staat, alsmede op gangen en in trappenhuisen; maar bij ramen, waar een grote zuiging op werkt zoals op de bovenste verdieping aan de windzijde, kunnen papieren, gordijnen e.d. ook naar buiten vliegen. (zie afb. 6).

Ventilatiemoeilijkheden

De hiervoor genoemde grote drukverschillen bij hoogbouw veroorzaken bovendien allerlei ventilatieproblemen. Bij laagbouw geeft de ventilatie – dat is het verversen van de lucht in vertrekken of werkruimten – meestal geen moeilijkheden. Door temperatuurverschillen van de lucht binnen en buiten alsook door de drukverschillen, welke de wind op ventilatieopeningen zoals ramen, bovenlichten e.d. le-

- 1 Profielen van de gemiddelde windsnelheid boven terreinen van verschillende aard
- 2 Gemiddelde windsnelheid per jaar in m/sec
- 3 Schematische stromingsbeelden bij loodrechte wind
- 4 Effect van gebouwdiepte op grootte terugstroomgebied
- 5 Effect van getrapte voorgevel op hoogte gestoorde gebied
- 6 Tochthinder veroorzaakt door geopende ramen bij over- en onderdruk aan de buitenzijde



vert, ontstaat veelal genoeg natuurlijke trek. Mocht de ventilatie toch onvoldoende blijken door een tegenwerkende winddrukverdeling, dan kunnen raamventilatoren of trekventilatoren in ventilatiekappen en schoorstenen het euvel wel verhelpen.

Als gevolg van het verticale windsnelheidsverloop kunnen de drukverschillen bij moderne gebouwen met een hoogte van bijvoorbeeld 100 meter echter 2,25 tot 6,25 maal zo groot zijn als bij conventionele laagbouw van 10 meter hoog. Natuurlijke ventilatie zelfs met eventuele hulp van raamventilatoren e.d. leidt daardoor bij hoogbouw tot moeilijkheden zoals sterke tochtverschijnselen en ongewenste luchtverplaatsingen tussen diverse ruimten. Daarom is het bij hoge gebouwen noodzakelijk dat gedeeltelijk of volledig kunstmatige ventilatie wordt toegepast. Onder gedeeltelijk kunstmatige ventilatie wordt hier verstaan het wegzuigen van de afgewerkte verontreinigde lucht uit de vertrekken en het vrij toelaten van buitenlucht via ramen, speciale ventilatieopeningen of kanalen. Bij volledige kunstmatige ventilatie wordt de verse lucht, die dan meestal op een bepaalde temperatuur en vochtigheid is gebracht, onder overdruk ingeblazen en verdwijnt de afgewerkte lucht via afzuigkanalen.

Omdat alles in de buurt van hoogbouw getroffen kan worden door de krachtige luchtstralen, die op de hoeken van de hoge gebouwen ontstaan, kunnen bij omgevende laagbouw de winddrukken op ramen, ventilatieopeningen enz. meer dan 10 maal zo groot worden als wanneer de hoogbouw niet aanwezig was. Natuurlijke ventilatie werkt bij de laagbouw dan ook vaak zeer slecht, zodat daarbij ook ten minste gedeeltelijke kunstmatige ventilatie moet worden toegepast.

Bij dit systeem van alleen afzuigen van de afgewerkte lucht – hetgeen natuurlijk dient te gebeuren in de vertrekken met de grootste stankproductie zoals wc's en keukens of in schoorstenen – kunnen echter moeilijkheden ontstaan doordat door de wind meestal onderdrukken ten opzichte van de barometerdruk in gebouwen worden gezogen. Dit is weer het gevolg van het feit, dat alleen de gevel aan de windzijde aan een overdruk van maximaal éénmaal de stuwdruk van de wind blootstaat, terwijl de andere gevels onderdrukken van 0,3 (lijzijde) tot 0,6 (zijgevels) en de hoeken zelfs van 2 à 3 maal die stuwdruk ondervinden.

Afhankelijk van de windrichting en van de plaatsing van ramen en deuren benevens van de

grootte van hun lekoppervlakken kunnen daardoor in gebouwen onderdrukken ontstaan tot 0,3 maal de stuwdruk van de wind. Daar die stuwdruk behoort bij de windsnelheid, zoals die op tweederde van de hoogte van het gebouw heerst, kunnen de onderdrukken bij hoogbouw vrij groot zijn; bijvoorbeeld bij windkracht 7 (15 m/sec.) in een 100 meter hoog gebouw 10 tot 30 mm waterkolom. Bovendien kunnen zij binnen een gebouw naar boven toe toenemen, doordat de overdruk aan de windzijde bij de top afneemt, terwijl de onderdrukken op de andere gevels bovenaan en onderaan meestal vrijwel gelijk zijn. Indien met deze mogelijke onderdrukken geen rekening is gehouden bij de bepaling van de ventilatorcapaciteiten en de plaatsing van de uitlaatopeningen van de ventilatieschachten of schoorstenen, kan het gebeuren dat er door zo'n ventilatiesysteem bij bepaalde windrichtingen en windsterkten geen lucht wordt afgezogen maar juist naar binnen lekt met alle onaangenaamheden of zelfs gevaren van dien (CO-vergiftiging, O₂-gebrek). Bovendien kunnen door de afname van de druk met de hoogte sterke verticale luchtverplaatsingen in trappenhuisen e.d. optreden. Bij volledig kunstmatige luchtverversing of airconditioning kunnen zich soortgelijke problemen voordoen. In principe moeten bij toepassing van deze ventilatiesystemen de gebouwen luchtdicht zijn omdat er anders toch inwendige drukverschillen en ongewenste luchtverplaatsingen ontstaan, waardoor de luchthuishouding alsook de warmtebalans niet in orde gehouden kunnen worden. Op de luchtaanzuig- en uitblaasopeningen die vaak op of bij het dak zijn aangebracht, kunnen echter grote drukverschillen ontstaan; als zij vlak bij elkaar zijn geplaatst soms toch nog wel tot ruim éénmaal de stuwdruk van de wind op dagniveau.

Indien hiermede geen rekening is gehouden bij de berekening van de benodigde ventilatorcapaciteiten kan het bij bepaalde windrichtingen en windkrachten dus ook zijn, dat er geen of slechts heel weinig luchtverversing wordt verkregen. De nogal eens voorkomende neiging om het aanzuigen van verse lucht op de hoeken van gebouwen en het uitblazen van afgewerkte lucht in het midden van lange gevels te laten plaatsvinden is natuurlijk in dit opzicht helemaal funest. Bij de hoeken kunnen namelijk juist de grootste onderdrukken heersen en in het midden van gevels overdrukken. Bij windkracht 7 kan hierdoor op 100 meter hoogte zelfs een tegenwerkend drukverschil van

ruim 300 mm waterkolom ontstaan, hetgeen vele malen meer is dan de gehele inwendige stromingsweerstand van het ventilatiesysteem.

Rookhinder

Onder rookhinder wordt niet alleen verstaan de meer of minder schadelijke of onaangename uitwerking van rook of gassen op mensen, dieren en planten, maar ook de vervuiling of corrosieve aantasting van gebouwen, constructies, enz. Zij wordt vaak onaanvaardbaar in stadsdelen waarin hoge gebouwen zijn geplaatst.

In wijken, waarin alle huizen en gebouwen vrij dicht op elkaar staan en ongeveer even hoog zijn, heeft men meestal weinig last van rookhinder. Alleen de buitenste rij huizen vormt dan een echt obstakel in de wind. Boven zo'n wijk ontstaan dan geen bijzonder heftige grote neertrekkende wervels maar is alleen een dikke turbulente grenslaag aanwezig.

De rookafvoer van elke woning of gebouw kan dan redelijk zijn, als de schoorstenen maar zo hoog zijn dat zij boven het wervelgebied uitsteken, dat het eigen dak veroorzaakt.

Dat wervelgebied is vrij laag door het stroomlijneffect van getrapte gevels dat ook geldt voor schuine daken of daken met slechts gering onderling hoogteverschil. Zodra er echter een hoog gebouw tussen wordt geplaatst, wordt de stromingstoestand in een stadswijk geheel anders. Een dergelijk gebouw vormt een apart groot obstakel in de grenslaagstroming boven de stad zodat zich erachter en erboven en opzij een groot zoggebied ontwikkelt. Hierin kunnen neertrekkende wervels voorkomen waarvan de afmetingen gelijk zijn aan die van de boven de omgeving uitstekende delen van het gebouw. De snelheden in die wervels kunnen gelijk zijn aan de oversnelheden aan de gevelranden aan de loefzijde bij het dak. Afhankelijk van de vorm, de hoogte, de plaatsing van de gebouwen en ook van de windrichting breidt dit zoggebied zich meer of minder sterk uit. Bij loodrechte aanstroming op de lange gevel van een hoog, lang en smal gebouw kan de grens van het gestoorde gebied vanaf de voor-gevelrand van het dak zelfs onder een hoek van 45° naar boven beginnen te lopen en dan geleidelijk horizontaal afbuigen. De uiteindelijke hoogte van het zog kan 2 tot 2,5 maal de gebouwhoogte boven zijn omgeving worden. Indien rook in dit grote wervelgebied wordt uitgeblazen, wordt zij meestal direct naar beneden getransporteerd, zodat in de buurt van hoge gebouwen op de grond vrij hoge rook- en gasconcentraties kunnen voorkomen. Deze zijn

meestal dan niet alleen afkomstig van de omringende laagbouw, maar vooral ook van schoorstenen van de hoogbouw, daar deze bijna altijd te laag zijn en in het eigen zoggebied van die hoogbouw uitmonden. Van hoge gebouwen is dan ook vaak het gehele dak en de lijzijde in rook of gassen gehuld.

Een ander maar niet minder ernstig stookprobleem, dat door hoogbouw wordt veroorzaakt, is het slecht trekken van de schoorstenen van de nabijgelegen laagbouw. Door het 'wapperen' van het zog en de wervels daarin veranderen de luchtstromingen aan de lijzijden van hoge gebouwen namelijk steeds van richting en kunnen zij ook afwisselend op- en neerwaarts zijn. Daardoor ontstaan vrij sterke drukwisselingen op de daken van de omgevende laagbouw waardoor reeds bij niet al te sterke wind zulke grote trekvariaties in de schoorstenen kunnen optreden dat de vlammen in de kachels 'terugslaan' of uitgeblazen worden.

Windbeschadigingen

De zeer grote plaatselijke windsnelheden om en onderdrukken op de gevels van hoge gebouwen leiden soms tot min of meer ernstige en gevaarlijke beschadigingen tijdens stormen. Bij het openen van grote toegangsdeuren aan de loefzijde van een goed luchtdicht gebouw (dat wil zeggen met weinig lek door sponningen, raamspleten, enz.), kan een overdruk tot aan de stuwdruk van de wind op tweederde van zijn hoogte ontstaan. Op de hoeken van een dergelijk gebouw, waar onderdrukken van driemaal die stuwdruk voorkomen, zouden ramen en deuren dan een drukverschil van viermaal die stuwdruk moeten weerstaan. Bij zware storm met windkracht 10 (20 m/sec.) kan dit tijdens windvlagen bij een 100 meter hoog gebouw een belasting betekenen van 500 tot 1000 kg/m². Hierop zijn normale constructies en bevestigingen van ramen en deuren meestal niet berekend.

Ook wanneer er geen deuren of ramen openstaan kunnen er zulke grote drukken op de ruiten en ramen staan, dat zij het begeven.

Bij een onderdruk in het gebouw van 0,3 maal de stuwdruk van de wind worden namelijk de ruiten in het midden van de gevel aan de loefzijde met een drukverschil van 1,3 maal die winddruk naar binnen geduwd, terwijl zij op de hoeken van het gebouw met maximaal 2,7 maal de winddruk naar buiten worden gezogen. Zodra ergens een ruit het begeeft, kunnen de plaatselijke drukverschillen tussen binnen en buiten zowel kleiner als groter worden; afhan-

kelijk van de plaats van het ontstane gat kan namelijk het gebouw verder worden leeggezogen of juist opgepompt. Daardoor bestaat er dus grote kans, dat er dan nog meer ruiten worden uitgeblazen.

Andere beschadigingen welke kunnen optreden zijn die van gevelbekledingen, dakbedekkingen, balkonmuren en -hekken, dakgoten e.d. Deze zijn hoofdzakelijk een direct gevolg van de zeer sterke wisselingen in de snelheden en drukken door het periodiek ontstaan en loslaten van wervels van de gevelranden aan de loefzijde alsook door de grote snelheids- en richtingsvariëaties van de aankomende wind. Die drukwisselingen kunnen vooral dichtbij de hoeken van gebouwen zeer sterk zijn, namelijk tot 3 maal de stuwdruk van de wind op tweederde van de gebouwhoogte. Meestal treden zij niet aan beide zijden van de gevelbekledingen en dakbedekkingen tegelijk op en wordt er heftig aan deze onderdelen gerukt. Daar de hiervoor gebruikte materialen bovendien vaak weinig vermoeidheidsvast zijn, (aluminium, dakleer) worden zij – ook als zij die belastingen stationair zouden kunnen verdragen – na verloop van tijd toch losgescheurd.

Uitstekende bouwdeelen zoals balkonhekken, dakgoten, enz. worden vooral losgewrikt door de heftige windstoten die erop kunnen werken en waarbij de plaatselijke snelheden kunnen verlopen van min éénmaal de snelheid van de ongestoorde wind (terugstroming) naar plus anderhalf à tweemaal die snelheid.

Verder gebeurt het vaak dat tijdens de bouw van hoge gebouwen, wanneer er nog aan diverse zijden meer of minder grote openingen zijn, er allerlei beschadigingen door wind ontstaan; van het uitwaaien van ramen en deuren tot het omrukken van hele muren en het oplichten van daken toe.

Ten slotte moet worden opgemerkt, dat al deze gevaren ook bestaan voor de omringende laagbouw als gevolg van de zeer sterke wapperende luchtstralen en de heftige wervels die van de hoeken van de hoogbouw afkomen. Bij die laagbouw zijn de kansen op beschadiging feitelijk nog veel groter, omdat er bij hun ontwerp in geen geval gerekend is op die geweldig hoge windbelastingen.

Wie past er op de wind in onze steden? (2)

door ir. N. Feis

In BOUW no 4 hebt u kunnen lezen waarom hoge gebouwen zoveel wind vangen en wat daarvan de narigheden voor bewoners en passanten kunnen zijn. De windproblemen zijn in wind- en watertunnels aan schaalmodellen te meten. Dat heeft veel inzicht opgeleverd op het gebied van het vermijden van de windhinder. In het tweede deel van Feis' artikel krijgen de ontwerpers dan ook veel aanbevelingen panklaar opgediend. Het zou fijn zijn als u zich deze gegevens eigen zou maken, of minder hoog gaat bouwen . . .

Resultaten van windtunnelonderzoekingen

Over de meeste in het eerste deel van het artikel (BOUW no. 4) besproken windproblemen zijn in Nederland aan schaalmodellen onderzoeken uitgevoerd in windtunnels, welke gebouwd zijn voor vliegtuigontwikkelingen. Hoewel in die windtunnels de atmosferische turbulente grenslaagstromingen niet juist kunnen worden nagebootst, geven de resultaten der proeven wel de mogelijkheid om het effect van bepaalde maatregelen ter bestrijding van windproblemen na te gaan. Daaruit kunnen de volgende globale algemene conclusies worden getrokken.

Windhinder

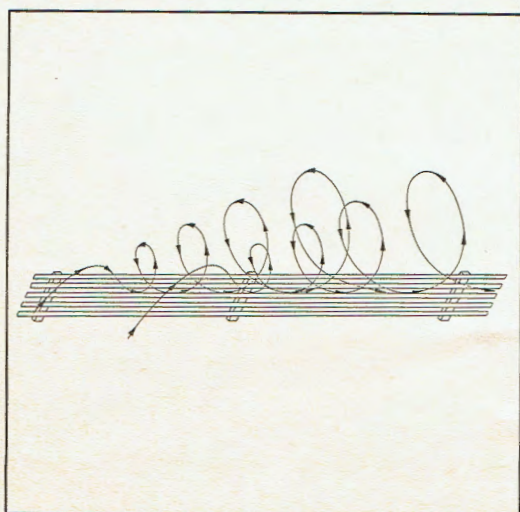
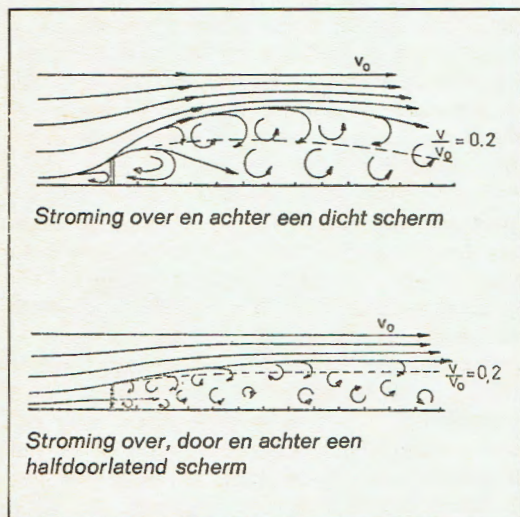
De windhinder op de wegen, binnenplaatsen, plantsoenen, speeltuinen, enz. in de buurt van hoge gebouwen kan bestreden worden door het plaatsen van windschermen, singels, hagen of bosschages. Deze kunstmatige of natuurlijke schermen mogen geen nagenoeg gesloten wanden vormen, waar vrijwel geen lucht doorheen kan stromen, maar dienen juist min of meer doorlatend te zijn (zie afb. 1). Achter een gesloten scherm of wand ontstaan namelijk bij loodrechte aanblazing net als bij andere obstakels in de wind terugstroomgebieden en wervels als gevolg van de loslating van de stroming op de schermbovenrand. Vanaf die bovenrand loopt als het ware een scheidingslijn of -vlak, waarboven de stroming rustig of glad verloopt hoewel met plaatselijk verhoogde snelheden ten gevolge van de verdringing door het scherm. Die scheidingslijn verloopt ongeveer parabolisch en bereikt dikwijls een hoogte van twee- tot vijfmaal de schermhoogte. Onder de

scheidingslijn bevindt zich een gebied met wervels, dat eveneens bij de schermbovenrand begint en zich in stromingsrichting zowel naar boven als naar beneden uitbreidt en na het bereiken van de grond een onrustig zog vormt. Tussen dit wervelgebied en de achterkant van het scherm bevindt zich een gebied met recirculatie, waarbij over de grond een terugstroming optreedt, die meer dan een half maal zo sterk kan zijn als de ongestoorde wind ver vóór de schermbovenrand. De gevormde wervels brengen telkens luchthoeveelheden met grote kinetische energie afkomstig van de rand van het ongestoorde gebied naar de grond, waardoor de snelheid in het zog sterk fluctueert en gemiddeld alweer op vrij korte afstand achter het scherm die van de ongestoorde wind nadert.

Dichte schermen zijn door deze stromingsverschijnselen blijkbaar ongeschikt om een effectieve vermindering van de windhinder te bereiken. Bij min of meer doorlatende schermen ontstaan echter veel gunstiger stromingsbeelden. Door de geringe hoeveelheid lucht welke door zo'n scherm gaat worden namelijk terugstromingen onderdrukt. Bovendien loopt de scheidingslijn van de gestoorde en ongestoorde gebieden minder steil omhoog en zijn de wervels, die op de schermbovenrand worden gevormd minder groot en heftig dan bij een dicht scherm. Daardoor wordt de snelheid in het zog minder snel weer opgevoerd, dat wil zeggen, is het afgeschermd gebied veel langer.

Opgemerkt moet echter worden, dat zodra de wind niet loodrecht maar enigszins schuin op de schermrichting staat, de grootte van dit gebied met verlaagde snelheden sterk afneemt. Dit komt doordat de schuin over een scherm

heen duikende wind dan kurketrekker-wervels vormt, die grote afmetingen hebben en stabiel zijn, waardoor luchtdeeltjes met verhoogde snelheden van buiten het zog naar de grond draaien (zie afb. 2). Om deze reden dienen wegen in de buurt van hoge gebouwen aan beide zijden voorzien te zijn van schermen of hagen, die op afstanden van hoogstens 20 schermhoogten van elkaar staan. Indien slechts aan één zijde een scherm is aangebracht kan vooral aan de lijzijde nog grote hinder ontstaan door de overspoelende kurketrekker-wervels. Tussen twee schermen in ontstaat echter een sterk vertraagde rustige langsstroming, die het verkeer niet hindert. Natuurlijk mogen in dergelijke schermen geen onderbrekingen voorkomen, want die werken als trekpaten waardoor het verkeer daar hevige windstoten kan krijgen.

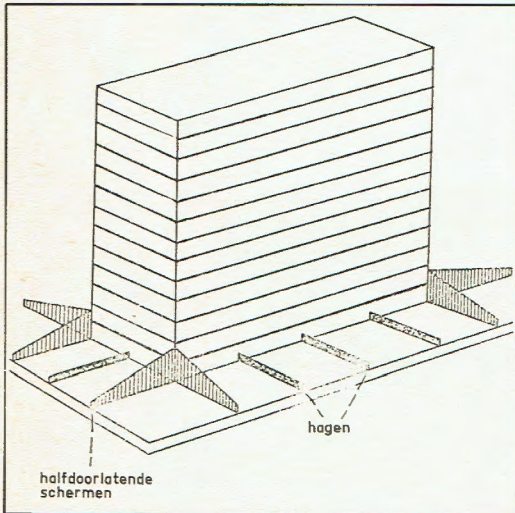
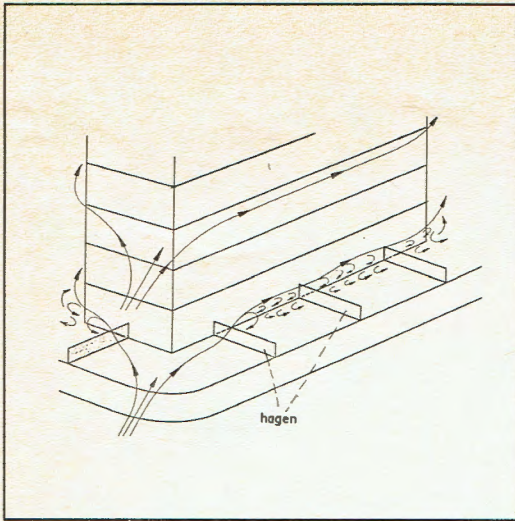


Speelplaatsen, plantsoenen, e.d. tussen hoge flatgebouwen kunnen op dezelfde wijze door hagen of bosschages, die op bepaalde afstanden van elkaar opvolgen, worden afgeschermd. Hierbij dient er wel aan gedacht te worden dat de buitenste bosschages breder en dichter moeten zijn dan de daarop volgende omdat die buitenste de volle windaanval krijgen te verduren. Dat kunnen zij alleen overleven als de planten, struiken of bomen erin zo dicht op elkaar staan, dat ze elkaar als het ware kunnen steunen door gedeeltelijke afscherming. Normaal mogen singels of hagen juist niet te breed zijn; meer dan twee rijen elkaar rakende sparren of drie tot zes rijen dicht op elkaar gezette populieren gaan namelijk als een dicht scherm werken net als bossen en diepe bosschages, die dan ook in het algemeen een slechte afscherming geven.

Ook de sterke windhinder op de wegen en trottoirs langs grote (flat)gebouwen kan door schermen of hagen worden verminderd (zie ook afb. 3 en 4). Deze dienen regelrecht van de gevels van het gebouw naar het wegdek te lopen, zodat zij door de langs de gevels strijkende wind loodrecht worden aangestroomd. Natuurlijk is het aan te raden om wegen en wandelpaden niet vlak langs of dichtbij hoge gebouwen aan te leggen, want de windsnelheidsverhogingen nemen daar zeer sterk toe. Om bij de ingangen van hoge gebouwen zo weinig mogelijk last te hebben van plaatselijke stormwinden, dienen deze ingangen in de eerste plaats in het midden van de lange gevelzijde te worden gesitueerd en niet bij de hoeken of aan de korte gevels, waar zeer grote oversnelheden kunnen optreden.

Verder zullen die ingangen minstens moeten worden voorzien van ver overhangende luifels met daaronder halfdoorlatende schermen loodrecht op de gevel, reikend van de grond tot aan de luifel. Indien dit nog te weinig effect heeft kan eventueel het aanbrengen van een vrij ver buiten de gevel uitstekende abri of pergola met dichte of half open zijwanden noodzakelijk zijn om bezoekers zonder al te veel hinder de ingang te kunnen laten bereiken.

Ook de windhinder op galerijen van flatgebouwen kan door half doorlatende schermen langs die galerijen worden bestreden. Daarbij moet ervoor worden gezorgd dat zij op de hoeken van de gebouwen dicht zijn en dat daar ter plaatse tussen de schermen en de gevels wanden met tochtdeuren (of -sluizen) worden aangebracht omdat anders toch meestal een sterke tocht op de galerijen zal heersen.



Om de ernstige hinder van neertrekkende werfels op dakterrassen, binnenplaatsen e.d. tegen te gaan kunnen het beste op enige meters erboven horizontale roosters met wijde gaten worden aangebracht, die bestaan uit vrij brede op hun kant staande planken. Natuurlijk dienen om dergelijke terrassen ook windschermen te worden geplaatst.

Tochthinder

De hevige tocht in uitritten, inritten, onderdoorgangen, enz. van hoge gebouwen kan het beste worden bestreden door deze enigszins labryntvormig te maken met sterke doorsnede- veranderingen en rechthoekige bochten; bijvoorbeeld door het plaatsen van schotten of schermen die beurtelings van de ene en de andere zijde halverwege in de doorgang steken. Soms kan een oplossing voor het tochtthinderprobleem worden gevonden in het verplaatsen van de toegangen naar andere punten van het gebouw, zodat de drukverschillen kleiner worden, of door het aanbrengen van toevoertunnels of abri's.

Om tocht te voorkomen in hoge gebouwen, die niet luchtdicht en airconditioned zijn, dienen alle gangen en vooral ook de trappenhuizen aan alle kanten door tochtdeuren te zijn afgesloten. Verder moeten ook speciale afdicht- en wentelconstructies (labrynten in de sponningen, tuimelramen met diverse draaiassen, draaideuren enz.) worden toegepast.

Dit is eveneens nodig bij laagbouw, die vaak in de onmiddellijke omgeving van hoge flats wordt gepland.

Indien tochtdeuren o.d. in hoge gebouwen niet wenselijk zijn, dan kunnen geen ramen en bal-

kondeuren worden toegepast en zal het gebouw dus luchtdicht en air-conditioned moeten zijn. Soms blijkt het mogelijk om de drukverdelingen over de gevels enigszins te beïnvloeden door bepaalde profileringen zoals buiten het gebouw uitstekende vloeren, wanden, gevelverspringingen e.d. Hiervoor zijn echter nog geen regels te geven, terwijl de effecten ervan meestal slechts gering zijn.

Ventilatiemoeilijkheden

Door de bijzonder grote verschillen in de winddrukken op hun diverse gevels kan men in zeer hoge gebouwen geen natuurlijke ventilatie toepassen. Ook gedeeltelijk kunstmatige ventilatie is ongeschikt om het interne klimaat te beheersen. Gebouwen van meer dan 40 à 50 meter hoog dienen daarom luchtdicht te zijn en van airconditioning te worden voorzien.

Bij de omgevende laagbouw werkt natuurlijke ventilatie eveneens vaak niet bevredigend als gevolg van de verhoogde windsnelheden met sterke stoten veroorzaakt door de hoogbouw. Daarom dient die laagbouw minstens voorzien te worden van een systeem van luchtafzuiging, zo mogelijk door middel van schoorsteentrekventilatoren om slechte kachelwerking te voorkomen.

Bij de hoge gebouwen zelf moeten voor de gedeeltelijk kunstmatige luchtverversing ventilatieschachten worden aangebracht. Omdat op de bovenste verdiepingen de onderdrukken ten opzichte van de barometerdruk groter zijn dan meer naar beneden, dienen de bovenste bouwlagen aparte schachten te krijgen. Bovendien mogen de verschillende bouwlagen in verband hiermede niet met elkaar in open verbinding staan via trappenhuizen e.d., daar dit tot ongewenste verticale luchtverplaatsingen zou leiden.

Om op de benodigde ventilatorcapaciteit en aandrijf-energie te besparen is het gewenst de ventilatieschachten boven het wervelgebied op het dak van het gebouw te laten uitsteken; de wind kan dan meehelpen aan de ventilatie door middel van de onderdrukken, die zij aan de toppen van de schachten veroorzaakt. Indien dergelijke vrij ver uitstekende schachten onmogelijk zijn en de uitlaatopeningen aan de zijkan- ten van het gebouw of van een dakopbouw zijn gelegen, zal door middel van modelproeven in een windtunnel nagegaan dienen te worden welke drukken bij verschillende windrichtingen en -sterkten op die uitlaatopeningen zullen heersen.

Bij toepassing van volledige kunstmatige lucht-

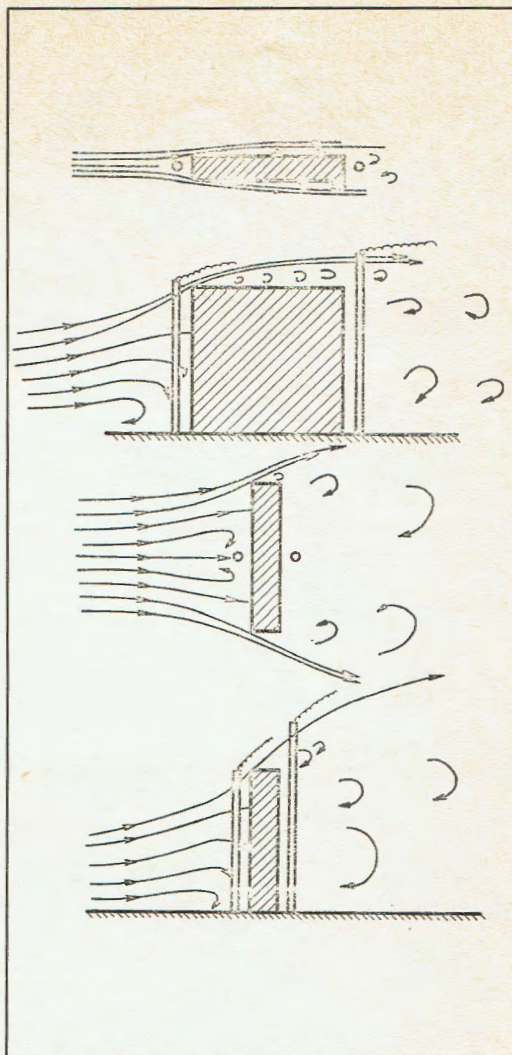
verversing of airconditioning is dit echter ook noodzakelijk in verband met de mogelijke tegenwerkende winddrukken op de aanzuig- en uitblaasopeningen van deze systemen. De beste oplossing is, dat de aanzuigopeningen worden geplaatst op ongeveer halve hoogte midden in een lange gevel aan de windzijde en de uitlaatopeningen op het dak; de wind helpt dan mee om de ventilatieweerstanden te overwinnen. Dit brengt met zich mee dat er aanzuigopeningen aan verschillende zijden van het gebouw moeten zitten, waarbij door middel van omschakelkleppen in de luchtaanzuigkanalen altijd aan de windzijde lucht wordt ingelaten.

Rookhinder

Om rookhinder van en vóór een hoog gebouw te voorkomen, dienen de schoorstenen of luchtschachten boven het door het gebouw veroorzaakte gebied uit te steken. Omdat een schoorsteen zelf ook een obstakel in de stroming is, kan daarachter de rook eveneens neergetrokken worden. De ervaring leert, dat dit gebeurt zodra de windsnelheid aan de top van een schoorsteen groter wordt dan de rookuitblaasnelheid. Achter de schoorsteen kan dan een 'rookvlag' ontstaan van 3 tot 10 schoorsteendiameters hoogte. Als deze vlag aan zijn onderzijde in het gestoorde gebied van het gebouw komt, treedt toch rookhinder op.

Omdat de windsnelheden op het dak van een hoog gebouw zeer groot kunnen zijn, zal het dus meestal noodzakelijk zijn de schoorsteen circa 10 diameters boven het gestoorde gebied te laten uitsteken.

Om geen onnodig lange schoorstenen te behoeven te bouwen zullen ze dáár geplaatst moeten worden, waar het gestoorde gebied het laagste is. Aan welke kant van het gebouw dat is hangt af van de gebouwvorm en moet dus aan een model in een windtunnel worden onderzocht. Meestal kan een schoorsteen het best vóór de kortste gevel staan, zo mogelijk ook aan de zijde, waarop de wind meestal staat. De rook wordt dan door de uitwijkende luchtstroming hoog boven het gebouw heen getild. (zie afb. 5). Een goede rookafvoer van de omgevende laagbouw kan natuurlijk niet door het bouwen van een zeer lange schoorsteen worden verkregen, daar dit architectonisch onaanvaardbaar is. Daarom lijkt het onvermijdelijk dat men bij het toepassen van hoogbouw overgaat op een systeem van stadswijkverwarming, waarbij de benodigde stookinstallaties met hun schoorstenen eventueel gecombineerd worden met hoge gebouwen.



Dit betekent, dat ontworpen stadswijken in hun geheel met de erbij behorende omgeving in windtunnels onderzocht moeten worden, voordat tot de bouw wordt besloten. Verder mogen zeker niet zo maar hoge gebouwen tussen bestaande laagbouw worden gezet. Indien dit toch gebeurt bij zogenaamde sanering van een wijk kan deze daardoor juist zeer ongezond worden, nog afgezien van de daardoor ontstaande wind- en tocht hinder en ventilatieproblemen.

Windbeschadigingen

Om windbeschadigingen te voorkomen zullen hoge gebouwen zo min mogelijk uitstekende delen zoals balkons, open galerijen e.d. dienen te hebben. Dat wil zeggen dat de gevels zo glad mogelijk moeten zijn tenzij men juist door geprononceerde profileringen zou kunnen berei-

- 1 Invloed van de doorlatendheid van een scherm op de hoogte en lengte van het afgeschermd gebied
- 2 Vorming van kurketrekkerwervels achter een scherm bij schuine aanblazing
- 3 Richtend effect van een hoog gebouw op de windstroming erlangs
- 4 Voorstel voor halfdoorlatende schermen op de hoeken van een hoog gebouw gecombineerd met hagen loodrecht op de gevels
- 5 Invloed van plaatsing en windrichting op benodigde schoorsteenhoogte
- 6 Principeschema van de watertunnel

ken dat de drukverdelingen en plaatselijke windsnelheden minder ongunstig worden. Omtrent dit laatste is nog vrijwel niets bekend. Dit is ook het geval met de windbelastingen op uitstekende delen. Voor gevelbekledingen, balkonwanden, windschermen e.d. kan in het algemeen slechts worden gezegd, dat door het aanbrengen van geschikte perforaties de erop werkende windrukken waarschijnlijk minder heftig zullen zijn terwijl hun afscherpende werking eventueel zelfs wordt verbeterd.

Deze dynamische belastingen zullen aan niet te kleine modellen in tunnels met volledige nabootsing van de turbulente atmosferische grenslaagstroming moeten worden onderzocht. Voor bijzondere constructies zoals zadeldaken, paddestoelen e.d. moeten bovendien de windkrachten worden gemeten aan modellen van de diverse bouwfases, daar gebleken is, dat reeds de gemiddelde belastingen dan zo hoog kunnen zijn, dat zij een goede afwerking van het gebouw vrijwel onmogelijk maken.

Slotopmerking en conclusies

Hoewel er in Nederland geregeld ad hoc onderzoeken aan modellen in windtunnels zijn en worden uitgevoerd naar allerlei windproblemen bij de moderne hoogbouw, waardoor een zekere ervaring en inzicht omtrent hun oorzaken en bestrijdingsmogelijkheden zijn verkregen, konden tot nu toe geen richtlijnen worden opgesteld om ze te voorkomen. Dit komt doordat hiernaar geen principiële systematische onderzoeken zijn verricht hetzij uit gebrek aan interesse, hetzij uit onbegrip of tekort aan aerodynamisch inzicht hetzij voornamelijk door het ontbreken van daarvoor geschikte wind- en watertunnels. Omdat deze lacune geleid heeft tot en nog steeds de oorzaak is van grove benadelingen van het windklimaat in onze steden hebben twee TNO-instituten, het IBBC en het CTI vorig jaar (1971) besloten hieraan gezamenlijk grote aandacht te gaan besteden.

Om de verschillende windproblemen aan modellen van torens, schoorstenen, hoge gebouwen, complete woonwijken, grote stadsdelen, weg- en waterbouwkundige werken, enz. op niet al te kleine schaal en met de juiste nabootsing van de natuurlijke wind te kunnen onderzoeken is door het CTI-TNO te Apeldoorn een grote watertunnel ontwikkeld (zie afb. 6) en een plan gereedgemaakt voor een speciale grenslaag-windtunnel.

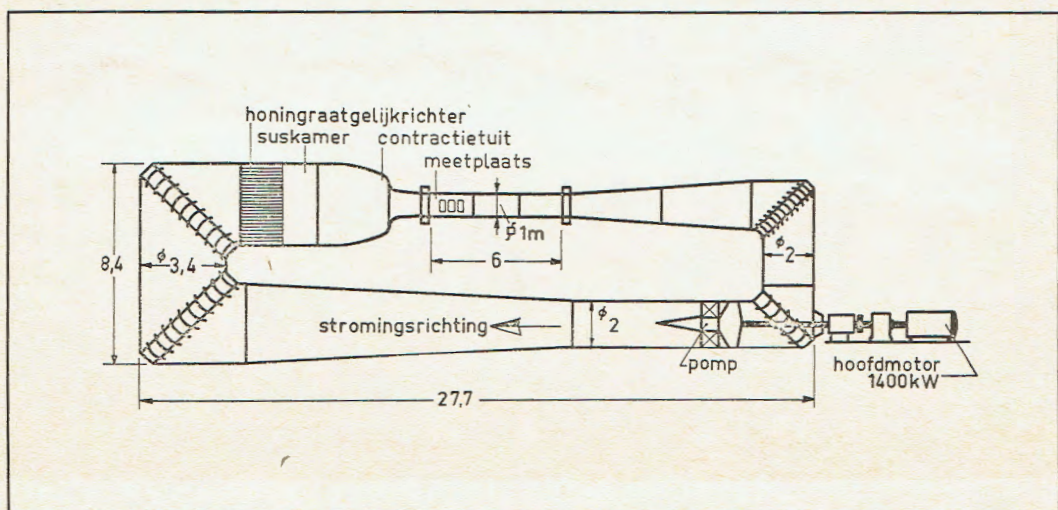
Daar het echter nog wel jaren zal duren voordat in deze tunnels de diverse researchprogramma's zijn uitgewerkt, waaruit duidelijke

richtlijnen of voorschriften voor stedenbouwers en architecten zijn af te leiden, is het van het grootste belang, dat iedere bij de bouw betrokken instantie thans beseft hoe ernstig de diverse windproblemen bij hoge gebouwen in ons klimaat kunnen zijn, en deze reeds in de eerste ontwerpfases aan modellen in tunnels laat onderzoeken. Zoals elk ontwerp wordt beoordeeld volgens esthetische normen en bouwvoorschriften, zal het eigenlijk ook moeten voldoen aan klimaateisen.

Teneinde de huidige ontwerpers en planners van onze steden enige aanwijzingen te geven omtrent de mogelijkheden om geen ongunstig micro-windklimaat te scheppen, zouden uit de hiervoren besproken resultaten van tot nu toe uitgevoerde ad hoc windtunnelonderzoekingen de volgende conclusies kunnen worden getrokken

1. Bij het ontwerpen van hoge gebouwen dient men zeer grote aandacht te besteden aan voorkoming of bestrijding van windhinder in de omgeving.
2. Open galerijen en balkons mogen bij hoogbouw niet worden toegepast.
3. Wegen en paden mogen niet dicht langs hoge gebouwen lopen; maar ook op enige afstand ervan dienen zij beschermt te worden door halfdoorlatende natuurlijke (hagen, singels, boschages) of kunstmatige (hekwerken) wind-
4. Bomen en planten in de buurt van hoge gebouwen hebben bescherming tegen de wind nodig, hetzij door hekwerken e.d. hetzij door hen zo dicht open en in zulke grote groepen of vele rijen te zetten, dat zij elkaar tegen windaanval kunnen steunen.
5. Recreatieterreinen of ruimten, dakterrassen e.d. in de nabijheid van hoge gebouwen moeten altijd extra goed worden beschermt; niet alleen aan de zijanten door windschermen maar ook vaak erboven door roosters.
6. Toegangen van hoge gebouwen moeten op flinke afstanden van de gebouwhoeken worden geprojecteerd; bij voorkeur dus niet aan de korte zijden. Meestal dienen zij voorzien te zijn van breed overhangende luifels met daaronder windschermen, of vanabri's, of natuurlijke of kunstmatige halfdoorlatende schermen, lopend vanaf de gebouwgevels tot aan de wegen.
7. Bij het ontwerpen van hoge gebouwen dient men steeds rekening te houden met mogelijke tochtvinder.
8. Zeer hoge gebouwen moeten altijd luchtdicht en airconditioned zijn.
9. Indien een hoog gebouw niet luchtdicht is uitgevoerd, dienen aan de afdichtingen en con-

6



structies van deuren en ramen zeer hoge eisen te worden gesteld. Dit geldt ook voor laagbouw in de buurt van hoge gebouwen.

10. Indien een hoog gebouw niet luchtdicht is uitgevoerd, dient ervoor gezorgd te worden dat er geen inwendige kortsluitingen voor luchtbewegingen kunnen optreden. Om trappenhuisen en op gangen moeten daarom tochtdeuren worden aangebracht.

11. Directe open verbindingen tussen verschillende gebouwsijden via onderdoorritten, parkeerruimten, doorlopen, vide's e.d. mogen bij hoge gebouwen niet voorkomen. Indien zij niet te vermijden zijn, dienen zij labyrintvormig te worden uitgevoerd of van halfdoorlatende schermen te zijn voorzien.

12. Bij hoogbouw kan natuurlijke ventilatie niet goed werken evenmin als bij de omgeven- de laagbouw, zodat minstens gedeeltelijke kunstmatige ventilatie (afzuiging van afgewerkte lucht) dient te worden toegepast.

13. Bij gedeeltelijke kunstmatige ventilatie moet rekening worden gehouden met de onderdrukken, welke in gebouwen door de wind worden gezogen en die aan gebouwtoppen groter zijn dan op lagere hoogten.

14. Bij volledige kunstmatige ventilatie (airconditioning) moeten de plaatsen van de lucht- aanzuig- en uitblaasopeningen zorgvuldig worden gekozen eventueel op grond van modelproeven in windtunnels.

15. De uitblaasopeningen van kunstmatige ventilatiesystemen kunnen het best hoog boven het dak aan de topeinden van vrij ver uitstekende ventilatieschachten worden aangebracht.

16. De aanzuigopeningen van kunstmatige ventilatiesystemen dienen bij voorkeur in het midden van de gevels te worden geplaatst, waarbij automatisch werkende klepsystemen moeten zorgen, dat de lucht alleen aan de windzijde van het gebouw wordt aangezogen.

17. Hoogbouw gecombineerd met laagbouw geeft voor de laagbouw meestal extra stookproblemen en veroorzaakt tevens rookhinder. Daarom zijn bij de omgeven- de laagbouw goede schoorsteentrekventilatoren noodzakelijk. Feitelijk is echter stadswijkverwarming voor dergelijke wijken de enig juiste oplossing.

18. Schoorstenen in de buurt van hoogbouw dienen zeer zorgvuldig ontworpen te worden zowel wat betreft hun plaatsing als hun hoogte. Dit kan slechts aan de hand van modelonderzoekingen in wind- en watertunnels gebeuren.

19. Gezien alle nadelen van hoogbouw gecombineerd met laagbouw moet in het algemeen worden gesteld dat dit niet mag worden toe-

gepast in woonwijken. Alleen indien door zorgvuldige modelonderzoekingen in windtunnels zou zijn aangetoond, dat het windklimaat in een ontworpen gecombineerde hoog-laagbouw- woonwijk in alle opzichten aan bepaalde minimale eisen zou voldoen, zou toestemming voor de realisatie van het project gegeven mogen worden. Het plaatsen van hoge gebouwen, meer dan 30 meter hoog, temidden van of vlakbij bestaande woonwijken, hoofdverkeers- wegen, parken en bossen, is in Nederland in vele gevallen te beschouwen als vragen om on- gelukken.

20. Zeer hoge gebouwen mogen alleen geplaatst worden in industrie-, regerings- of handelswijken. Door bepaalde groepering van dergelijke gebouwen en andere maatregelen is het misschien mogelijk daarbij het windklimaat (op wegen, parkeerplaatsen e.d.) aanvaardbaar te houden. Dit kan echter alleen door modelproeven in windtunnels worden vastgesteld.

21. Bij hoge gebouwen kunnen door dynamische windbelastingen, zowel tijdens de bouw als na het gereedkomen, beschadigingen van pu- en, gevelbekledingen, ramen, dakbedekkingen, enz. optreden met eventueel rampzalige gevolgen. Daarom moet dringend worden aangeraden van tevoren aan modellen in windtunnels onderzoekingen omtrent mogelijke windbelastingen te doen uitvoeren.

22. Het is uiterst raadzaam om reeds bij de eerste schetsontwerpen van hoogbouwprojecten adviezen in te winnen van aerodynamici, ervaren op het gebied van windproblemen.