



Ref.nr. : 89-322
Dossiernr. : 8724-11462
Publ.nr. : CB/322
Datum : oktober 1989

Titel
WINDHINDER: CRITERIA

Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten TNO', dan wel de betreffende
terzake tussen partijen gesloten
overeenkomst.

© TNO

Publikatie

Auteur(s):
G.Th. Visser

Trefwoord(en):
- **windhinder**
- **criteria**

St-code:
H7

Voordracht te houden op Symposium
"Windhinder", 14 november 1989
MT-TNO Apeldoorn



WINDHINDER: CRITERIA

door G. Th. Visser

MT-TNO Apeldoorn

1. INLEIDING

Zoals bekend veroorzaken hoge gebouwen verhoogde windsnelheden op de begane grond. Dit kan leiden tot windhinder voor passanten. Er zijn extreme gevallen bekend waarbij bijvoorbeeld mensen zich aan lantarenpalen moesten vastklemmen om niet omver geblazen te worden. Brandweerlieden moesten er dan aan te pas komen om ze uit hun benarde positie te bevrijden.

Ten einde eventuele problemen al in een vroeg stadium te onderkennen, zodat er tijdig maatregelen tegen genomen kunnen worden is windtunnelonderzoek aan een model van het gebouw in zijn omgeving de meest aangewezen weg.

Hiermee kan het te verwachten windklimaat bij een geprojecteerd gebouw voorspeld en in kaart gebracht worden.

Op het moment dat dit gebeurd is staan we echter voor de vraag hoe het windklimaat beoordeeld moet worden. Bij een bestaand gebouw met klachten over windhinder is dit eenvoudig, omdat de beleving van het windklimaat juist de aanleiding was voor het windtunnelonderzoek. De metingen aan de oorspronkelijke situatie leggen dan het referentiekader vast. De metingen met windafschermende voorzieningen dienen dan tot verbetering te leiden. Bij een geprojecteerd gebouw ligt dit duidelijk lastiger. Van uw windtechnisch adviseur zult u verwachten dat hij u adviseert over de noodzaak tot het nemen van maatregelen.

Het probleem is echter dat er geen algemeen erkende normen zijn waaraan het via windtunnelonderzoek bepaalde windklimaat getoetst kan worden. Toch staan we niet helemaal met lege handen. Het via windtunnelonderzoek voorspelde windklimaat kan op een viertal manieren beoordeeld worden, namelijk:

1.- Vergelijken met het vrije veld.

Over het algemeen zal een bebouwde omgeving afscherming geven ten opzichte van het vrije veld, ofwel de open situatie bij een meteorostation. Bij een aantal windrichtingen zal er als gevolg van het

hoge gebouw sprake zijn van een forse windversterking. Bij de meeste windrichtingen zal er echter, zeker wat gemiddelde snelheden betreft, sprake zijn van afscherming. De vlagerigheid van de wind neemt in een bebouwde omgeving wel toe.

Indien hier rekening mee gehouden wordt is een zinvolle vergelijking mogelijk; indien dit niet het geval is geeft een vergelijking met het vrije veld een onrealistisch optimistisch beeld.

2.- Vergelijken met een bekend windklimaat bij naburig gebouw.

Soms kan een bekende windhindergevoelige situatie in een bepaalde studie worden meegemeten. Dit geeft dan een bruikbaar referentiekader. In verreweg de meeste gevallen is dit echter niet mogelijk.

3.- Vergelijken met de oorspronkelijke situatie (zonder geprojecteerd gebouw).

Hierbij zou als eis gesteld kunnen worden dat het huidige windklimaat niet (te veel) mag verslechteren. Deze toetsing kan echter problemen geven omdat over het algemeen bij de realisering van een hoog gebouw in een bestaande omgeving er meer windhinder verwacht mag worden.

Indien het windklimaat er nu goed is, is een toename van de windhinder binnen zekere marges best aanvaardbaar, zonder dat dit aanleiding tot klachten hoeft te geven. Het is bij deze toetsing echter niet te zeggen welke toename van de windhinder nog aanvaardbaar is.

4.- Vergelijken met windhindercriteria.

Noch in Nederland, noch in het buitenland zijn er normen voor windhinder. In het buitenland maken de diverse onderzoekers vaak gebruik van eigen windhindercriteria, die uiteraard geen officiële status bezitten. Hun criteria zijn vaak gebaseerd op een klachtenpatroon, metingen/observaties bij hoge gebouwen of intuïtie en hierdoor enigszins subjectief. Ook de filosofie die aan de verschillende criteria ten grondslag ligt verschilt vaak.

Toch zijn windhindercriteria, mits goed onderbouwd en gevalideerd, de enig mogelijke objectieve methode ter beoordeling van het windklimaat.

Er worden in Nederland op dit moment echter door de verschillende onderzoekinstellingen en adviesbureaus al verschillende criteria gehanteerd. Dit zou in principe kunnen leiden tot verschillende beoordelingen van dezelfde situatie. Dit is uiteraard bijzonder verwarrend en ongewenst. Er is dus duidelijk behoefte aan éénduidige, aan het Nederlandse klimaat aangepaste en getoetste normen of richtlijnen. Zowel voor de vergunningverlenende instanties als voor projectontwikkelaars en architecten is dan éénduidig en helder vastgelegd waaraan het windklimaat moet voldoen om problemen te voorkomen.

In deze richtlijnen zou ook opgenomen kunnen worden boven welke gebouwhoogte windtunnelonderzoek gewenst, dan wel noodzakelijk is. In een aantal landen dient al een windtunneltestrapport overlegd te worden bij overschrijding van een bepaalde gebouwhoogte.

De belangrijkste aspecten met betrekking tot windhinder en criteria, alsmede een eerste aanzet naar éénduidigheid zullen nu in het kort worden belicht.

2. EFFECTEN VAN WIND OP VOETGANGERS

Er kan van hinder door wind ("windhinder") gesproken worden indien het windklimaat als negatief wordt ervaren. Dit kan veroorzaakt worden door twee (of een combinatie van twee) effecten; namelijk:

- a. Mechanische effecten
- b. Thermische effecten

Beide effecten zullen nader worden toegelicht.

Mechanische effecten

Dit zijn de effecten als gevolg van de (wisselende) windkrachten, de in de wind aanwezige turbulentie en deeltjestransport. Ieder kent uit zijn directe omgeving wel de extreme effecten van dit fenomeen, zoals: deurportieren van auto's die plotseling uit de handen gerukt worden, het nauwelijks tegen de wind in kunnen fietsen of lopen of plotseling evenwichtsverlies bij het passeren van gebouwhoeken.

Ook bij lagere windsnelheden kunnen de effecten echter al behoorlijk hinderlijk zijn, zoals het omslaan van paraplu's en het irriterend in de ogen waaien van stof.

Naarmate het activiteitsniveau afneemt worden de effecten bij lagere

windsnelheden al als hinderlijk beschouwd.

Op een terras, balkon of in de tuin kan het bijzonder vervelend zijn als het lezen van een krant door de optredende windvlagen bijna onmogelijk wordt gemaakt.

Iedereen kent ook uit zijn omgeving wel de voorbeelden van opéénhoping van papier en ander straatvuil in de circulatiegebieden van gebouwen. Ook dit is een hinderaspect dat toe te schrijven is aan mechanische effecten.

Het eerste onderzoek naar windeffecten is uitgevoerd door admiraal Sir Francis Beaufort in 1805. Hij stelde vast dat zijn ongeschoolde zeelui de grootste moeite hadden om voldoende nauwkeurig de windsnelheid te schatten. Hij verdeelde de windsnelheid daarom in gebieden, die elk op een verschillende manier het schip of de zee beïnvloeden, zodat zijn zeelieden alleen maar naar de zee of naar het schip behoefden te kijken om de windsnelheid te bepalen in termen van Beaufortkrachten.

Hoewel de zogenaamde Beaufortschaal dus oorspronkelijk ontworpen is voor gebruik op zee (en daar nog steeds in gebruik is), is zij sindsdien uitgebreid en herzien voor gebruik op land.

De windeffecten die optreden bij de diverse Beaufortklassen zijn ontleend aan windtunnelproeven, observaties bij hoge gebouwen en literatuur. Evenals de originele Beaufortschaal geeft de Beaufortlandschaal lange duur gemiddelde windsnelheden (10 minuten tot 1 uur) voor open terrein op 10 m hoogte.

Om deze schaal bruikbaar te maken voor windhinderstudies zijn de Beaufortsnelheidsklassen herleid naar windsnelheden op hoofdhoogte (tabel 1).

De Beaufortlandschaal kan hierdoor zinvol gebruikt worden om de optredende windeffecten bij hoogbouw duidelijk te maken.

Een deel van de in tabel 1 beschreven effecten worden veroorzaakt door een continue windsnelheid, terwijl een ander deel veroorzaakt wordt door plotselinge onverwachte windvlagen.

Thermische effecten

Windhinder door thermische effecten wordt veroorzaakt door een verstoring van het thermisch evenwicht van het menselijk lichaam. Het treedt op als de door de lucht afgevoerde warmte als gevolg van wind (lokaal) groter wordt dan de door het menselijk lichaam geproduceerde warmte (afkoeling).

Bij thermische effecten spreekt men bij voorkeur over behaaglijkheid. De door de lucht afgevoerde warmte is niet alleen afhankelijk van de windsnelheid, maar ook van de luchttemperatuur, zonnestraling, luchtvochtigheid en isolerende werking van de kleding, terwijl de geproduceerde warmte onder meer afhangt van de activiteit (bezigheid), leeftijd, geslacht en gezondheidstoestand van de persoon als ook weer van de isolerende werking van de kleding. In beide gevallen is verder de expositietijdsduur belangrijk, dat wil zeggen hoe lang men bepaalde omstandigheden ondergaat.

Voor binnenklimaten bestaat er een aanzienlijke hoeveelheid literatuur over de warmtebalans van het menselijk lichaam en de hieraan gerelateerde gevoelens van thermische behaaglijkheid. Voor buitenklimaten is dit niet zo. De situatie is ook duidelijk veel complexer, gezien de gevarieerde meteorologische omstandigheden, het grote scala aan activiteiten en de grote variëteit in kleding.

In een poging wat duidelijkheid te brengen in de mate waarin rekening gehouden zou moeten worden met thermische effecten heeft Penwarden [1] het verband berekend tussen windsnelheid, luchttemperatuur, zonnestraling, kleding en lichamelijke reacties, uitgaande van de warmtebalans van het menselijk lichaam. Hij heeft hierbij vergelijkingen voor het binnenklimaat, uitgebreid met een term voor zonnestraling, toegepast voor het buitenklimaat:

De resultaten van deze rekenexercitie worden gegeven in figuur 1. Hieruit blijkt dat bij windsnelheden groter dan ca. 5 m/s de luchttemperatuur die nodig is voor behaaglijkheid nagenoeg onafhankelijk is van de windsnelheid.

Vanwege onvoldoende bekendheid met een aantal essentiële factoren (zoals kledingisolatie, windpenetratie, invloed vocht op de kledingisolatie en invloed turbulentie en schaal van de turbulentie) op het koelend effect van de wind moeten de behaaglijkheidscurven van Penwarden alleen maar gezien worden als een illustratie van het soort verband dat zou kunnen bestaan. De betrekkelijkheid van de behaaglijkheidscurven wordt overigens ook door Penwarden zelf in [1] onderschreven.

Toch kan wel als voorzichtige conclusie gesteld worden dat bij windsnelheden groter dan 5 m/s de mechanische effecten waarschijnlijk voor de beleving van wind doorslaggevend zijn.

3. WAT IS ER BEKEND

3.1 Achtergrond

Er zijn de afgelopen jaren vele windhindercriteria gepubliceerd. De meeste zijn gebaseerd op persoonlijke, dus subjectieve, waardeoordelen over wat acceptabel is of niet en hoe vaak dat dan mag voorkomen. Toch blijkt er een opvallende consensus te zijn over de aspecten gevaar en hinder.

Gevaar

Windsnelheden worden gevaarlijk indien passanten door plotselinge windstoten omver geblazen kunnen worden. Deze situaties kunnen ontstaan bij hevige kortdurende (2 à 3 sec.) vlagen of bij plotselinge zeer snelle wisselingen van vlaagsnelheden in plaats of van richting. Er kan hierbij bijvoorbeeld gedacht worden aan gebouwhoeken. Lopende in de luwte van een gebouw kan de voetganger in de nabijheid van de gebouwhoek geconfronteerd worden met een zeer snelle plotselinge toename van de windsnelheid over een afstand van slechts enkele meters en een omkering van de windrichting (fig. 2). De hieruit voortvloeiende plotselinge windkrachtsveranderingen op het lichaam zijn boven een bepaalde windsnelheid niet meer te corrigeren, evenwichtsverlies volgt en men valt. In dagbladen wordt zo nu en dan melding gemaakt van ongelukken in de bebouwde omgeving die toe te schrijven zijn aan wind bij hoogbouw. De maximale vlaagsnelheden in het dichtstbijzijnde meteo-station was bij de in de dagbladen beschreven ongelukken steeds groter dan 28 m/s ofwel ca. 20 m/s op hoofdhoogte. Dit zegt echter nog niets over de windsnelheden die daadwerkelijk lokaal hebben opgetreden.

Uit observaties van het loopgedrag bij hoge gebouwen kan afgeleid worden dat bij windvlagen groter dan 15 m/s de veiligheid bij het lopen in het geding begint te komen, indien de wind over korte afstand (of in korte tijd) heel snel van grootte en richting verandert. Dit geldt met name voor ouderen. Een plotselinge toename van de windsnelheid van 12 naar 23 m/s binnen 2 à 3 seconden is zelfs in staat om jonge mensen op de knieën te krijgen [2].

Ook onderzoek met mensen in windtunnels wijst uit dat met name bij plotselinge zeer snelle wisselingen van windsnelheid en windrichting (ordergrootte een paar seconden) een vlaagsnelheid van ca. 20 m/s al gevaarlijk is [3, 4].

Samenvattend kan gesteld worden dat om echt gevaarlijke situaties te vermijden de vlaagsnelheid ($\bar{U}$) beneden de ca. 20 m/s moet blijven, ofwel:

$$\bar{U} < 20 \text{ m/s}$$

Het zal duidelijk zijn dat een overschrijding van deze windsnelheid maar bij hoge uitzondering (zeg 1 x per jaar) acceptabel is.

Hinder

Voor windhinderstudies is het echter minstens zo belangrijk om de effecten van lagere windsnelheden op de beleving van het windklimaat te kennen. Voor de meeste situaties is het aspect gevaar niet aan de orde en gaat het alleen om "hinder" of "behaaglijkheid".

We moeten hierbij denken aan haren die in de war raken, kleren die gaan fladderen, opwaaiend stof dat in de ogen kan komen etc. (tabel 1). De mate waarin deze effecten als hinderlijk worden ervaren is afhankelijk van de activiteit die men pleegt. Het hinder- of behaaglijkeheidsaspect is in het buitenland in windtunnels onderzocht, waarbij gekeken is naar het loopgedrag van mensen en het uitvoeren van allerlei alledaagse taken als het aantrekken van een regenjas, het opzetten van een hoedje, lezen van een krant, inschenken van een kopje thee etc.

Hierbij is naar voren gekomen dat de beleving van wind door voetgangers niet alleen bepaald wordt door de gemiddelde windsnelheid, maar ook door de vlagerigheid (turbulentie) van het windveld. Er blijkt dan een equivalente constante windsnelheid ($\bar{U}_{eq}$) gedefinieerd te kunnen worden die qua beleving dezelfde mate van hinder geeft als een turbulente windsnelheid.

$$\bar{U}_{eq} = \bar{U} (1+k.TI) \quad (1)$$

hierin is $\bar{U}_{eq}$ = de equivalente constante windsnelheid, $\bar{U}$ = de gemiddelde windsnelheid, k = een empirisch bepaalde coëfficiënt en TI = de turbulentie-intensiteit (als fractie). Voor de k -waarde, de weegfactor voor de turbulentie-intensiteit, ofwel de waarde die men toekent aan de wind-

snelheidsfluctuaties, worden in de literatuur waarden gegeven tussen 0 en 4. De verschillen zijn niet zo groot als ze lijken omdat de verschillende onderzoekers rekening houden met de k-waarde bij het specificeren van de bijbehorende gemiddelde snelheid.

De turbulentie-intensiteit in het vrije veld bedraagt 15 à 20%. In een bebouwde omgeving en in de omgeving van gebouwen kunnen deze waarden veel hoger zijn (fig. 3). Uit onderzoek blijkt dat het gedrag van mensen door wind beïnvloed gaat worden bij equivalente windsnelheden (of vlaagsnelheden) van ca. 9 à 10 m/s [o.a. 3, 4].

Met behulp van (1) kan afgeleid worden dat dit in stedelijke gebieden overeenkomt met een gemiddelde windsnelheid van ca. 5 m/s (bijvoorbeeld $k=2$; $Tl=40\%$). Over het algemeen wordt deze snelheid als grenswaarde voor windhinder beschouwd. Bij lagere windsnelheden kan het windklimaat voor veel dagelijkse bezigheden als voldoende behaaglijk beschouwd worden. Bij een langdurig passief verblijf in de buitenlucht (zitten, liggen) ligt de behaaglijkheidsgrens echter lager. Hierbij gaan dan ook nadrukkelijk allerlei thermische effecten een rol spelen.

Ter oriëntatie kan de gevarengrens van 20 m/s ook omgerekend worden naar een gemiddelde windsnelheid, rekening houdend met de relatief lage turbulentie-intensiteit in gebieden met hoge windsnelheden (fig. 3).

Vaak wordt er tussen de categorieën hinder en gevaar nog een tussencategorie ingevoegd, die betrekking heeft op het onder controle kunnen houden van het lopen [2, 3, 4]. Samengevat en afgerond kan dan de volgende globale hindergevaartabel samengesteld worden:

	hinder		gevaar
gemiddelde windsnelheid ($\bar{U}$)	5	8-10	12-15
vlaagsnelheid ($\hat{U}$) of	10	15	20
eq. windsnelheid ($\bar{U}_{eq}$)			

Beoordeling

Voor de beoordeling van het windklimaat op de begane grond is het niet voldoende om de beschikking te hebben over windsnelheidsgrenzen. We zullen ook moeten weten hoe vaak een bepaalde windsnelheid overschreden mag worden alvorens tot klachten aanleiding te geven.

Figuur 4 geeft een illustratie hoe daggemiddelde windcondities rondom een hoog appartementengebouw (ca. 40 m) in een bebouwde omgeving in Japan beleefd wordt.

Er zijn een aantal beoordelingsklassen onderscheiden:

- I zwakke wind
- II aangename windsnelheid
- III minder aangename windsnelheid
- IV harde wind

Het blijkt dat klasse III een dominante frequentie heeft bij een maximale dagelijkse windsnelheid van ca. 4 m/s en bij een maximale vlaagsnelheid van 10 m/s. Bij hogere windsnelheden neemt de hinder als gevolg van harde wind snel toe. Het probleem is echter om uit dit soort onderzoek af te leiden hoe vaak een bepaalde wind of vlaagsnelheid overschreden mag worden. Hier gaat de persoonlijke interpretatie van de onderzoeker meespelen.

Over het algemeen kan gesteld worden dat de theoretische en empirische achtergrond van de door de diverse onderzoekers geformuleerde criteria, wat toelaatbare overschrijdingsfrequenties betreft, slecht onderbouwd zijn.

Naast bovenstaande beschouwing vanuit het belevingspatroon is ook economisch belang een belangrijk aspect. Uit onze eigen onderzoekservaring is bekend dat bij winkelcentra en hotels vaak tot windtunnelonderzoek wordt besloten indien economische belangen door een slecht windklimaat geschaad (kunnen) worden.

Uit bestudering van een groot aantal in de loop der jaren onder de aandacht van het Building Research Establishment (GB) gebrachte probleemgebieden (veelal winkelcentra) komt Penwarden [1] tot de conclusie dat eigenaren of winkeliers bereid zijn geld uit te geven voor het doen uitvoeren van windafschermende voorzieningen indien lokaal een gemiddelde windsnelheid van 5 m/s meer dan 20% van de tijd wordt overschreden. Bij overschrijdingsfrequenties tussen 10 en 20% zijn er wel klachten, worden

er ook wel windafschermende voorzieningen overwogen, maar komen ze niet tot uitvoering. Bij minder dan 10% overschrijding zijn er over het algemeen geen problemen. Penwarden laat dus in feite zien dat er een correlatie is tussen economische noodzaak tot het nemen van maatregelen en toelaatbare overschrijdingsfrequenties van de windsnelheid van 5 m/s.

3.2 Vergelijking criteria

Het is niet zonder meer mogelijk de diverse in het buitenland gepubliceerde windhindercriteria met elkaar te vergelijken. De één heeft betrekking op vlaagsnelheden, de ander op gemiddelde snelheden of Beaufortklassen. Ook de toelaatbare overschrijdingsfrequenties zijn vaak verschillend gespecificeerd (percentage van de totale tijd of daglichturen, aantal gebeurtenissen in een bepaalde tijdsperiode etc.).

Voor een correcte vergelijking zullen de diverse criteriabeschrijvingen onder één noemer gebracht moeten worden. Dit is onder andere gedaan door Melbourne [2]. Op het eerste gezicht lijkt een aantal criteria aardig overeen te stemmen (figuur 5). Het logaritmisch uitzetten van de overschrijdingskans geeft echter een vertekening.

Voor windhinderonderzoekers is het met name interessant om te weten hoe de voorspellingen van de verschillende criteria in de praktijk uitvallen. Dit wordt aardig geïllustreerd door figuur 6.

Op een aantal plaatsen rondom twee gebouwen in Tokyo zijn gedurende drie jaar gemiddelde windsnelheden en vlaagsnelheden gemeten [5]. De gebouwen zijn ca. 48 en 60 m hoog. De metingen zijn vervolgens vergeleken met een viertal windhindercriteria voor wat betreft de aanvaardbaarheid als winkelgebied.

De criteria van Melbourne en Penwarden blijken voor deze situatie het strengst te zijn. Op vier van de achttien meetpunten is het windklimaat zonder maatregelen ongeschikt als winkelgebied.

Volgens het criterium van Davenport is echter nagenoeg het hele gebied geschikt als winkelgebied. Het criterium van Murakami zit er tussen in. Dit voorbeeld raakt de kern van het probleem.

Bij toepassing van het ene criterium worden windafschermende maatregelen wel en bij het andere criterium juist niet nodig geacht.

Een jaar of tien geleden zijn er daarom door MT-TNO ten behoeve van de beoordeling van windhinderonderzoeken eigen criteria ontwikkeld, die de afgelopen 10 jaar de basis hebben gevormd voor de sindsdien toegepaste beoordeling van windhinderonderzoeken.

4. TNO CRITERIA

4.1 Achtergrond

Bij MT-TNO wordt vanaf het midden van de jaren zeventig gebruik gemaakt van windhindercriteria om het gemeten windklimaat aan te toetsen [6]. Deze criteria waren ontleend aan een vergelijkend literatuuronderzoek en konden beschouwd worden als het gemiddelde van alle tot dan toe bekende criteria uit de literatuur, omgerekend naar een windhindergrens van 5 m/s op hoofdhoogte.

In de loop van de tweede helft van de jaren zeventig zijn deze criteria verder uitgesplitst en verfijnd, waarbij gebruik gemaakt kon worden van nieuwe literatuur. Hieruit zijn eind jaren zeventig nieuwe, standaard door de afdeling Stromingstechniek van MT-TNO te hanteren, windhindercriteria geformuleerd. Deze worden nog steeds toegepast en zijn in de beoordeling van het windklimaat goed bruikbaar gebleken.

De TNO-windhindercriteria zijn afgeleid uit alle tot 1980 bekende windhindercriteria en ervaringen bij bestaande gebouwen en vervolgens uitgebreid naar overdekte winkelcentra en onderdoorgangen.

Een criterium is alleen zinvol indien het aansluit op de gebruikte meetmethode. Bij windhinderonderzoek wordt in Nederland over het algemeen gebruik gemaakt van metingen van gemiddelde snelheden via thermistormeetsondes. Incidenteel worden er ook fluctuerende snelheden gemeten. Deze metingen lenen zich echter niet voor een routinematige inzet op een groot aantal verschillende lokaties.

Alle bekende criteria zijn daarom, rekening houdend met de gegeven formulerings, herleid naar toelaatbare overschrijdingsfrequenties van uur-gemiddelde windsnelheden op hoofdhoogte.

Er waren in de zeventiger jaren diverse windhinderstudies uitgevoerd aan bestaande gebouwen, omdat er klachten waren over windhinder. Omdat het windklimaat rondom deze gebouwen nu ook in de windtunnel bepaald werd en de mate van door bewoners of gebruikers beleefde windhinder bekend was

konden deze data, samen met de uit de literatuur bekende criteria gebruikt worden voor het bepalen van de aanvaardbaarheidsbanden, als onderdeel van de windhindercriteria (fig. 7).

Er zijn vier activiteitengebieden onderscheiden, namelijk doorloopgebieden, slentergebieden en verblijfgebieden voor korte of lange duur.

Figuur 7 biedt de mogelijkheid om voor elke gewenste windsnelheidsgrens de toelaatbare overschrijdingsfrequentie te bepalen. Het is hierdoor mogelijk om voor de diverse activiteitengebieden één toelaatbare overschrijdingsfrequentie te kiezen. Elk activiteitengebied heeft dan een andere windsnelheidsgrens. Daarnaast is het ook mogelijk om één windsnelheidsgrens te kiezen. Elk activiteitengebied heeft dan een andere toelaatbare overschrijdingsfrequentie. Bij TNO wordt meestal gebruik gemaakt van deze laatste benadering, waarbij 5 m/s als windhindergrens wordt gekozen, omdat dit éénduidig en overzichtelijk is en het aantal berekeningen (en dus de hoeveelheid papier) beperkt. Afhankelijk van de situatie wordt echter ook incidenteel voor de eerste benadering gekozen. Tabel 2 geeft een doorsnede van de criteria bij een windsnelheidsgrens van 5 m/s voor het westen van het land. Voor de rest van Nederland gelden strengere eisen met betrekking tot het windklimaat, omdat de beleving van het windklimaat daar, als gevolg van de lagere gemiddelde windsnelheden, op een ander niveau ligt.

Om het geheel overzichtelijk te maken zijn de overschrijdingsfrequenties uitgedrukt in windhinderdagen. Deze zijn gedefinieerd als de frequentie van voorkomen van de gekozen windsnelheidsgrens maal het aantal dagen in een jaar.

De beoordeling van het windklimaat verloopt via een drietal categorieën, namelijk: goed, matig, slecht (per activiteitengebied). Bij een goed windklimaat is er geen en bij een slecht windklimaat wel sprake van hinder. Bij de beoordeling matig is de mate van hinder afhankelijk van het aantal windhinderdagen. Aan deze categorieën kunnen de volgende praktische consequenties verbonden worden:

goed = geen windafschermende maatregelen nodig;

matig = windafschermende maatregelen te overwegen. De noodzaak hiertoe neemt toe naarmate het aantal windhinderdagen dichterbij de volgende band ligt;

slecht = windafschermende voorzieningen nodig om het windklimaat qua beleving aanvaardbaar te houden.

Er is tevens aangegeven voor welke toepassingen de diverse activiteiten-gebieden geschikt zijn.

Bij geheel of gedeeltelijk overdekte winkelcentra en onderdoorgangen hebben we te maken met een tussenvorm van buiten- en binnenklimaat, waarbij ook psychologische en thermische factoren een rol spelen. Onder psychologische factoren wordt verstaan dat de mensen min of meer een binnenklimaat verwachten als ze overdekt lopen. Er wordt dus een bepaald verwachtingspatroon geschapen, waardoor men het windklimaat strenger zal beoordelen.

Bij thermische effecten moeten we denken aan het ontbreken van directe of indirecte (via een wolkendeck) zoninstraling, waardoor een bepaalde windsnelheid sneller als onbehaaglijk wordt ervaren.

Gezien de grote praktische betekenis van overdekte winkelcentra en onderdoorgangen zijn via eenvoudige modelbeschouwingen de criteria ook toepasbaar gemaakt voor deze gebieden.

Bij het toepassen van deze criteria moet bedacht worden dat ze afgeleid zijn voor een gemiddelde waarde van de turbulentie-intensiteit voor een bebouwd gebied.

In gebieden met een hoge turbulentie-intensiteit, in het zog van grote omvangrijke gebouwen, op pleinen etc., zullen de criteria te licht en in gebieden met een lage turbulentie-intensiteit (op hoeken van gebouwen, doorgangen) te zwaar zijn. De oriëntatie van het beschouwde gebouw op de overheersende windrichting bepaald dan of er met dit soort effecten rekening gehouden dient te worden.

In ieder geval moeten de in tabel 2 genoemde grenzen niet te absoluut beschouwd worden. Er is uiteraard een vloeiende overloop van de ene naar de andere band, zoals hieronder bijvoorbeeld geschetst voor doorloop-gebieden.



*Schematische weergave windhinder criterium voor doorloopgebieden
(aantal dagen met $U > 5$ m/s)*

Een windhinder criterium kan op dit moment niet anders gezien worden dan als hulpmiddel bij het beoordelen van het in de windtunnel bepaalde

windklimaat. Als hulpmiddel bij het beantwoorden van de vraag of er al dan niet windafschermende maatregelen genomen moeten worden.

4.2 Toepassingsvoorbeeld

Figuur 8 laat een situatie in het westen van het land zien waarbij een 46 m hoog gebouw geprojecteerd is vlak naast een bestaande 42 m hoge flat. Bij de bestaande flat waren al klachten over windhinder en men was bang dat het windklimaat na realisatie van het geprojecteerde gebouw nog verder zou verslechteren. Tevens moest het windklimaat bij het geprojecteerde gebouw zelf bepaald worden. Dit is dus een situatie waarin het windklimaat in principe beoordeeld kan worden volgens alle vier in hoofdstuk 1 beschreven methoden.

Als beoordelingscriterium werd voor het begin van het onderzoek afgesproken dat het windklimaat na realisatie van het geprojecteerde gebouw beslist niet mocht verslechteren en uit psychologische overwegingen zelfs beter moest worden dan in de bestaande situatie.

Het windklimaat in de bestaande situatie is geschetst in figuur 9a.

Indien het windklimaat getoetst wordt aan de in tabel 2 gegeven windhindercriteria, dan moet het windklimaat ten noorden van de flat als slecht beoordeeld worden. Dit komt zowel qua lokatie van het gebied met windhinder als qua beleving overeen met de ervaringen van de bewoners.

In vergelijking met het vrije veld (ca. 100 windhinderdagen) zou het windklimaat bij de bestaande flat als gunstig beoordeeld moeten worden. Hieruit blijkt al, gezien de windklimaatbeleving door de bewoners, dat een vergelijking met het vrije veld op deze manier geen realistisch beeld geeft.

Na realisatie van het geprojecteerde gebouw ontstaat het windklimaat zoals geschetst in figuur 9b.

Hieruit blijkt dat het windklimaat, behalve lokaal in een onderdoorgang bij het geprojecteerde gebouw, niet echt verslechtert. Het gebied met een slecht windklimaat heeft zich alleen verplaatst. Hiermee voldoet de situatie wel aan het eerste deel, maar niet aan het tweede deel van het gestelde criterium (verbetering).

Er moesten dus nog windafschermende maatregelen genomen worden om het windklimaat aanvaardbaar te maken. Het effect van de beproefde maatregelen is weergegeven in figuur 9c. Hieruit blijkt dat de gebieden met een slecht windklimaat rondom de bestaande flat volledig verdwenen zijn. Het

voldoet hiermee ook automatisch aan het windhindercriterium van tabel 2. (Het windklimaat in de onderdoorgang was met specifieke lokale maatregelen ook voldoende te verbeteren).

5. WINDKLIMAATBEPALING

Het heeft pas zin om het windklimaat aan een bepaald criterium te toetsen als men zeker weet dat het windklimaat via het windtunnelonderzoek correct bepaald is.

Dit zal het geval zijn indien:

1. de gebruikte meetmethode goed reproduceerbaar is;
2. het meetpuntrooster dicht genoeg is (om toevallige effecten voldoende mee te wegen);
3. het model en zijn directe omgeving voldoende nauwkeurig is gemodelleerd (het windveld bij het beschouwde gebouw wordt anders niet juist gesimuleerd);
4. de op het model aankomende stroming overeenkomt met de werkelijkheid;
5. er een representatief meteostation wordt gekozen;
6. de windtunnelmetingen op de juiste wijze gekoppeld worden aan het meteostation.

De eerste vijf punten behoeven niet nader te worden toegelicht. Het laatste punt wordt echter nogal eens onderschat en vraagt daarom om een nadere uitleg.

Bij windhinderonderzoek is het niet voldoende om te bepalen waar het bij een gebouw hard waait. Het gaat er juist ook om te voorspellen hoe vaak het zo hard waait. Dit betekent dat gebruik gemaakt moet worden van statistische windsnelheidsgegevens van meteorologische stations. Van deze gegevens kan alleen gebruik gemaakt worden als de relatie bekend is tussen de windsnelheid op 10 m in het weerstation en de windsnelheid in de omgeving van het te onderzoeken gebouw.

Als in de windtunnel het hele gebied tussen meteostation en gebouw op schaal nagebootst zou worden dan zou deze relatie direct gemeten kunnen worden.

Dit is echter niet mogelijk, omdat het meteostation vrijwel altijd op een dusdanige afstand van het te onderzoeken gebouw ligt, dat het tussenliggende gebied niet in de windtunnel meegemodelleerd kan worden.

Tussen meteostation en te onderzoeken gebouw liggen meestal diverse gebieden met een verschillende terreinruwheid. Dit kunnen weilanden, dorpen, meren, bossen etc. zijn. Bij elke ruwheidsovergang ontstaat een zogenaamde interne grenslaag waar de stroming zich geleidelijk aanpast aan de veranderde ruwheid (figuur 10). Bij verschillende ruwheidsovergangen vlak na elkaar, zoals bijvoorbeeld bij grote steden met wijken met verschillende hoogten en bebouwingsdichtheden, ontstaat er dan een complexe interactie van verschillende ruwheidsovergangen.

Het meteostation bevindt zich in open terrein met een lage terreinruwheid. Indien het te onderzoeken gebouw zich in een stedelijke omgeving bevindt zal de windsnelheid hier, als gevolg van de grote terreinruwheid van een stedelijk gebied (weerstand), afnemen.

Figuur 11 geeft een treffende illustratie van het windsnelheidsverloop op 20 m hoogte boven diverse terreinruwheden [7]. Ruwheidsklasse 7 staat voor voorsteden en kleinere steden, ruwheidsklasse 4 staat voor bouwland.

De windsnelheid boven een bebouwde omgeving neemt bij aanstroming uit het vrije veld fors af.

Indien het te onderzoeken gebouw in zo'n bebouwde omgeving staat, dan dient het ook als zodanig in de windtunnel gesimuleerd te worden (zie de punten 3 en 4). De gemeten windsnelheden ($\bar{U}$) worden dan dimensieloos gemaakt met de windsnelheid op 10 m hoogte in het meteostation ($\bar{U}_{10}$). De zo ontstane windsnelheidscoëfficiënten ($C_u = \frac{\bar{U}}{\bar{U}_{10}}$) vormen dan de basis

voor het berekenen van overschrijdingsfrequenties van windsnelheidsgrenzen met behulp van de windstatistiek van het meteostation.

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn dat voor $\bar{U}_{10}$ niet zonder meer de gemeten windsnelheid in de windtunnel gebruikt kan worden. De snelheid op 10 m bij het weerstation kan aanzienlijk hoger zijn dan de snelheid op 10 m hoogte op de bouwplaats. Gebruikmaking van de in de windtunnel gemeten referentiesnelheid zou dan in dit voorbeeld kunnen leiden tot te hoge windsnelheidscoëfficiënten, ofwel een overschatting van de windhinder. De omgekeerde situatie kan uiteraard ook optreden.

Dit betekent dat er alleen een realistische voorspelling over het windklimaat gedaan kan worden als bij de vertaling van windtunnelmetingen naar windklimaat per windrichting rekening gehouden wordt met de ruwheidsovergangen tussen bouwplaats en meteostation.

In een onderzoekrapport zal dan ook altijd vermeld moeten worden hoe de windtunnelmetingen gekoppeld zijn aan het meteostation, omdat het raakt aan de essentie van het gebruik van windhindercriteria.

6. NIEUWE ONTWIKKELINGEN

Zoals gezegd zijn de tot nu toe door TNO gehanteerde criteria zo'n 10 jaar geleden ontwikkeld. Een actualisatie heeft daarna niet meer plaatsgevonden. Afgezien van incidentele informatie over praktijkervaringen bij in de windtunnel beproefde situaties, zijn deze criteria, net als alle andere criteria, nooit echt gevalideerd.

Toch is hier nu meer dan ooit behoefte aan. De terughoudendheid ten opzichte van hoogbouw van een decennium geleden, als reactie op de hausse van de zestiger jaren, is verdwenen. Hoogbouw mag weer en wordt ook weer geaccepteerd.

Alleen wordt de introductie van hoogbouw in de bebouwde omgeving, in tegenstelling tot de zestiger jaren, nu zowel door de overheid als de beleggerswereld, voor wat betreft de hierdoor opgewekte windproblemen beter begeleid.

Een gevolg hiervan is dat de windproblematiek op vele niveau's als aandachtspunt wordt onderkend.

Dit betekent dat de noodzaak tot éénduidige interpretatie van de resultaten van windtunnelmetingen via windhindercriteria toeneemt. Als dat niet gebeurt bestaat straks de kans dat twee verschillende adviseurs uit dezelfde windtunnelmetingen verschillende conclusies kunnen trekken.

Om hierop in te spelen is MT-TNO dit jaar in samenwerking met de RGD een gefaseerd onderzoek gestart, dat uiteindelijk zal moeten leiden tot goed onderbouwde richtlijnen voor windhinder bij gebouwen. In de eerste fase van dit onderzoek zal de huidige kennis met betrekking tot windhindercriteria geïnventariseerd, beoordeeld en geanalyseerd worden. Dit zal moeten resulteren in een overzicht van de huidige kennis met betrekking tot windhindercriteria, waarin de leemten in onze kennis kunnen worden aangegeven. Er zal ook gekeken worden naar de best mogelijke formulering van windhindercriteria (in termen van gemiddelde snelheden, equivalente snelheden, vlaagsnelheden etc.) en de eventuele consequenties hiervan voor de windklimaatbepaling via windtunnelmetingen.

Het onderzoek in deze fase is veel te beperkt om gebieden waar al windhindercriteria voor geformuleerd kunnen worden te valideren. Ten einde echter toch in deze fase reeds inzicht te krijgen in de praktische waarde van de geformuleerde criteria is er een beperkte oriënterende validatie voorzien.

De definitieve formulering van de criteria, zo nodig na aanvullend onderzoek, zal in fase 2 plaatsvinden. In deze fase zullen de criteria ook gevalideerd moeten worden. De uit dit onderzoek resulterende gevalideerde windhindercriteria zouden dan de basis moeten vormen voor het gebruik van éénduidige windhindercriteria in Nederland.

REFERENTIES

- [1] Penwarden, A.D., Wise, A.F.E.; Wind environment around buildings. BRE-report, 1975.
- [2] Melbourne, W.H.; Criteria for environmental wind conditions. J of IA 3 (1978), 241-249.
- [3] Murakami, S.; Wind tunnel modeling applied to pedestrian comfort. Wind Tunnel Model for Civil Eng. Appl., Gathersburg, 1982.
- [4] Hunt, J.C.R. et al.; The effects of wind on people. Building and Environment, 11, 1976.
- [5] Ohba, M. et al.; Study on the assessment of environmental wind conditions at ground level in a built-up area. J of IA 28 (1988), 129-138.
- [6] Visser, G.Th.; Uitvoering en presentatie van een windtunnelonderzoek naar windhinder rond gebouwen. PT-B 33 (1978), nr. 7, 371-376.
- [7] De Jong, T.M., Visser, G. Th.; Wind weren: de effecten van stede-bouwkundige maatregelen op het warmteverlies door ventilatie op verschillende stedelijke niveaus. S en V, 1 (1988), 3 - 9.

Tabel 1

Benaming	Beaufort	Windsnelheid	Windsnelheid	Effect
		$\bar{U}_{10}$ (m/s)	$\bar{U}_{1.75}$ (m/s)	
Windstil	0 - 1	0 - 1,5	0 - 1,1	Geen merkbare wind
Zwakke wind	2	1,6 - 3,3	1,1 - 2,3	Wind voelbaar aan gezicht
Matige wind	3	3,4 - 5,4	2,4 - 3,8	Haar raakt in de war, kleren gaan fladderen
Matige wind	4	5,5 - 7,9	3,9 - 5,5	Stof, droog zand en papier dwarrelt op
Vrij krachtige wind	5	8,0 - 10,7	5,6 - 7,5	Windkracht voelbaar op lichaam
Krachtige wind	6	10,8 - 13,8	7,6 - 9,6	Gebruik paraplu's moeilijk, kortstondig evenwichtsverlies bij plotselinge veranderingen in windsnelheid en windrichting
Harde wind	7	13,9 - 17,1	9,7 - 12,0	Wandelingen is moeilijk, evenwichtsverlies bij plotselinge windstoten of windrichtingsveranderingen
Stormachtige wind	8	17,2 - 20,7	12,1 - 14,5	Maakt voortgang moeilijk, gevaarlijk voor oudere personen
Storm	9	20,8 - 24,4	14,6 - 17,1	Mensen worden omver geblazen door windstoten
Zware storm	10	24,4 - 28,8	17,2 - 20,2	Bomen worden ontworteld
Zeer zware storm	11	28,6 - 32,6	20,3 - 22,8	Schade aan gebouwen
Orkaan	12	> 32,7	> 22,8	Aanzienlijke schade

Tabel 2 Het aantal dagen dat de uurgemiddelde windsnelheid van 5 m/s op hoofdhoogte gemiddeld per jaar mag worden overschreden.

activiteitgebied	toepasbaar voor	Westen van het land		
		goed	matig	slecht
doorloopgebied	parkeerplaatsen, trottoirs, openbare wegen en fietspaden	< 35	35 - 75	> 75
slentergebied; overdekt doorloopgebied	winkelcentra, parken, gebouwingangen, voetpaden, overdekte openbare wegen en fietspaden e.d., bus- en treinperrons	< 5	5 - 35	> 35
verblijfgebied, korte duur; overdekt slentergebied	sportvelden, winkelcentra, pleinen, overdekte winkelcentra en voetpaden	< 0,1	0,1 - 5	> 5
verblijfgebied, lange duur; overdekt verblijfgebied	terrassen, openlucht theaters, zwembaden overdekte pleinen en winkelcentra	-	0 - 0,1	> 0,1

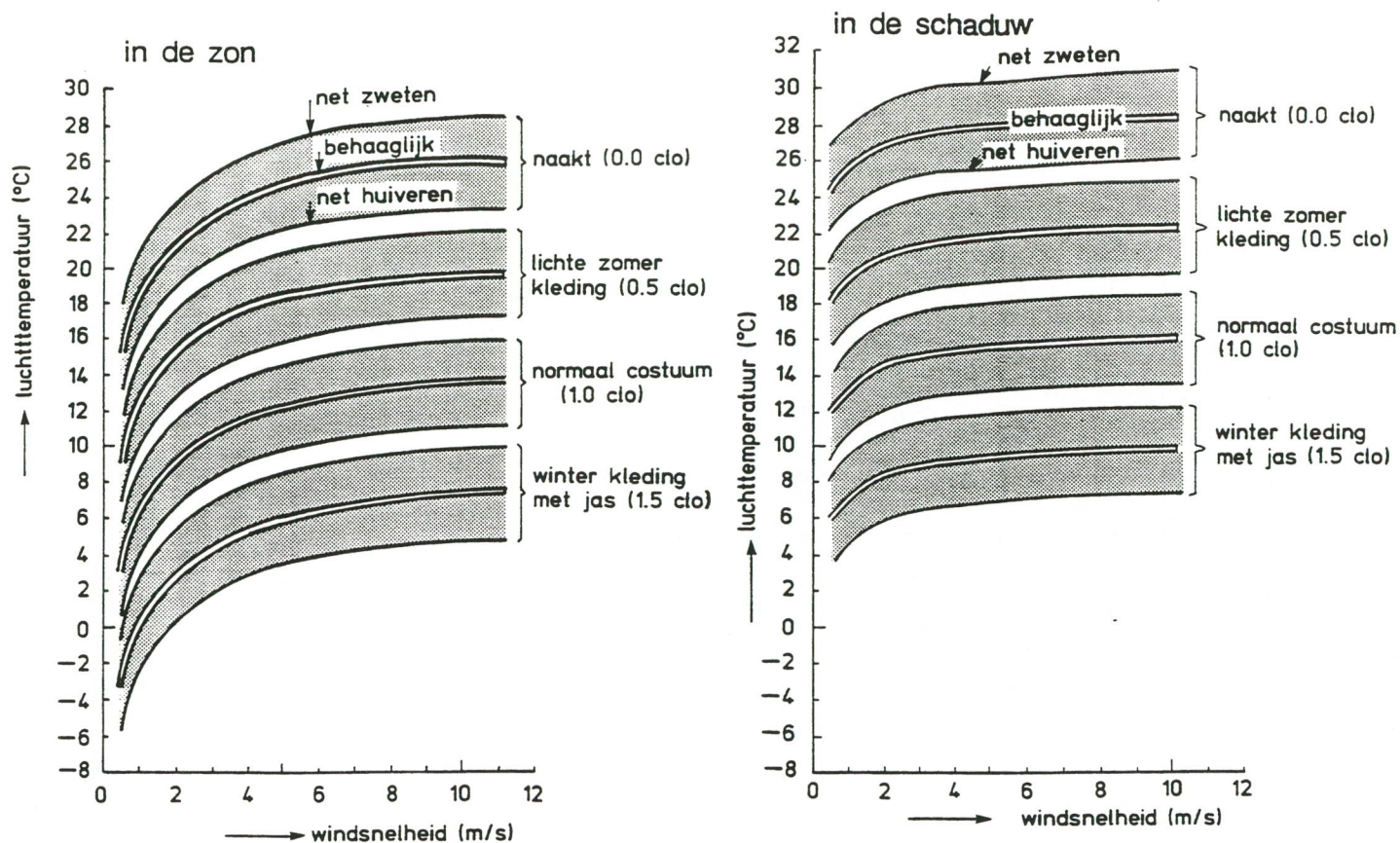


Fig. 1 Behaaglijkheidscurven voor slenteren

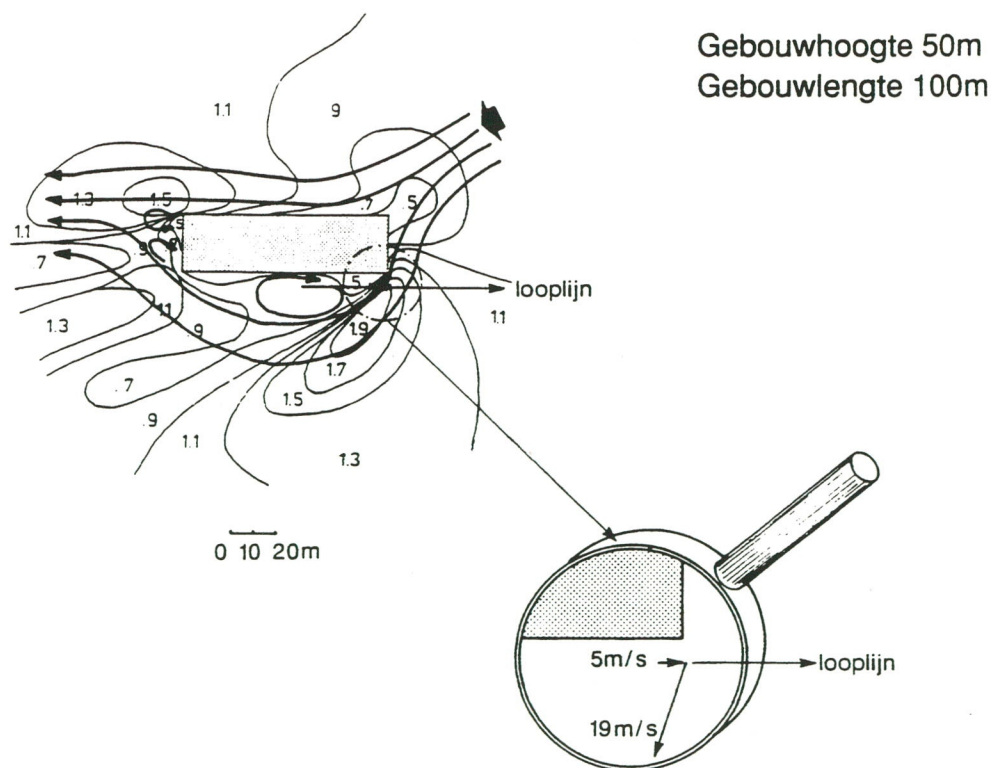
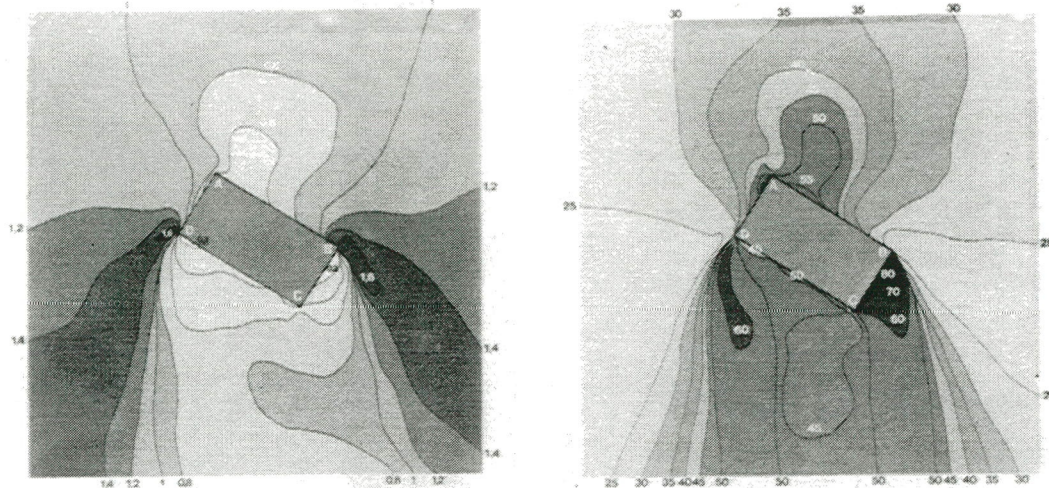


Fig. 2 Plotselinge verandering windsnelheidsvector op een gebouwhoek bij een windsnelheid van 10 m/s op hoofdhoogte bij afwezigheid van het gebouw. (windkracht 6 a 7)



a) Versterkingsfactoren van de wind t.o.v. de situatie zonder gebouw ($\bar{U}/\bar{U}_0$)

b) Turbulentie-intensiteiten (%)

Fig. 3 Windsnelheden en turbulentie-intensiteiten rondom een eenvoudig rechthoekig gebouw bij schuine aanstroming.

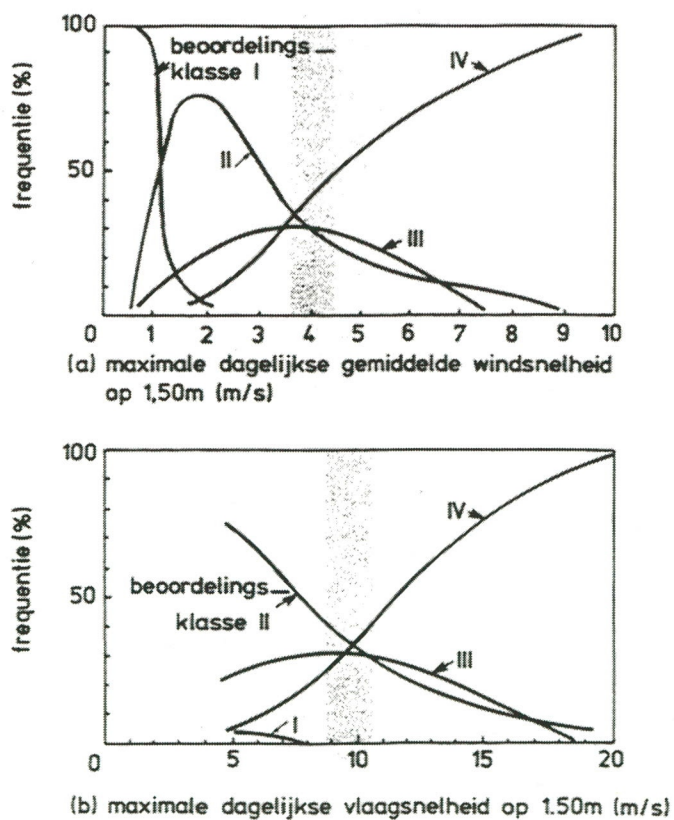


Fig. 4 Beoordeling windsnelheidsklassen [3].

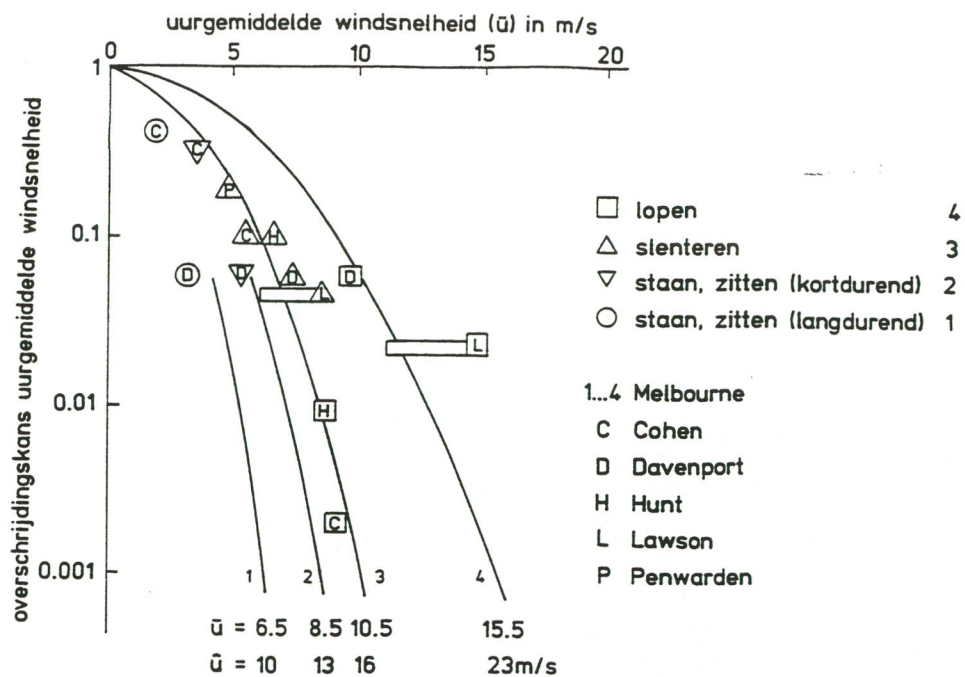


Fig. 5 Vergelijking windhinderkriteria volgens Melbourne [2].

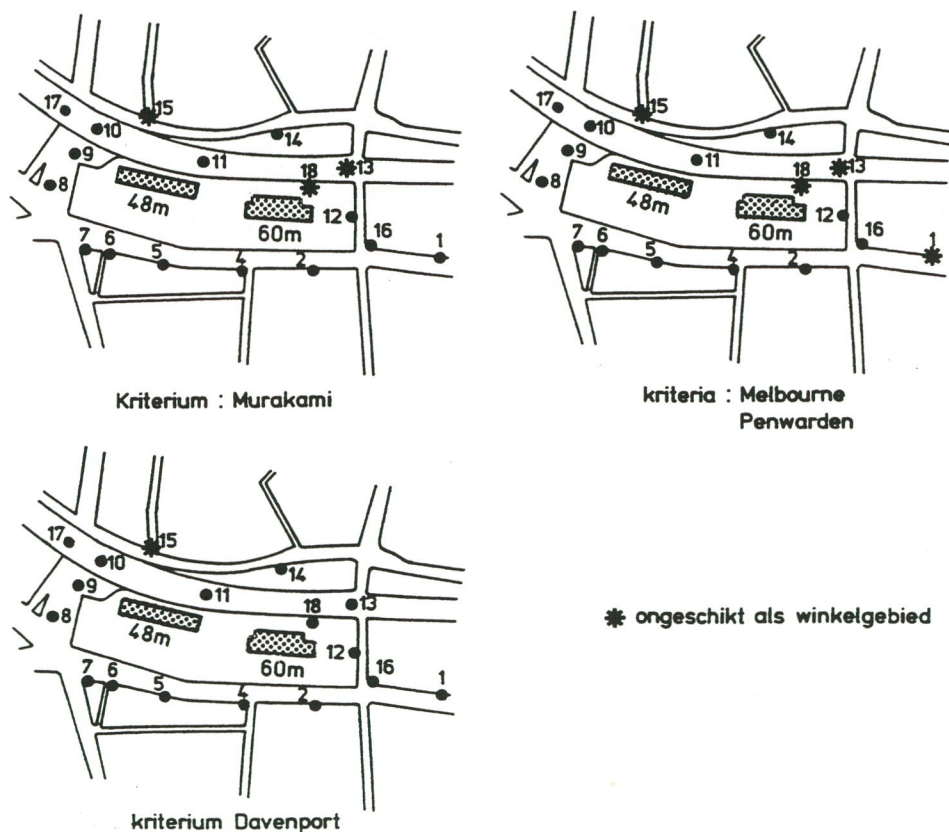


Fig. 6 Beoordeling windklimaat rondom twee gebouwen volgens vier windhinderkriteria [5].

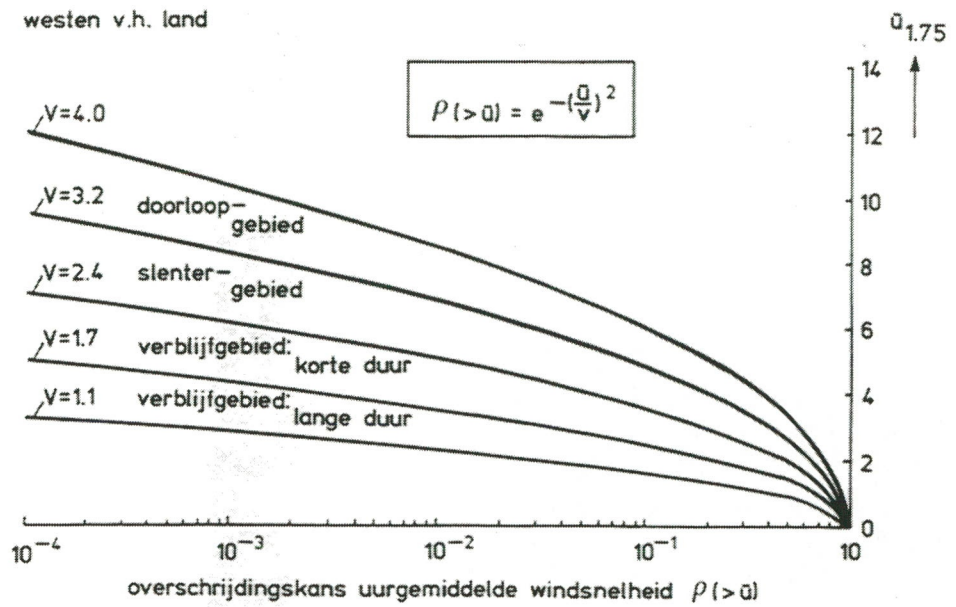


Fig. 7 Aanvaardbaarheidsbanden windhinderkriteria.
 (bovenste curve is steeds per band de onaanvaardbaarheidsgrens
 en de onderste curve de aanvaardbaarheidsgrens).

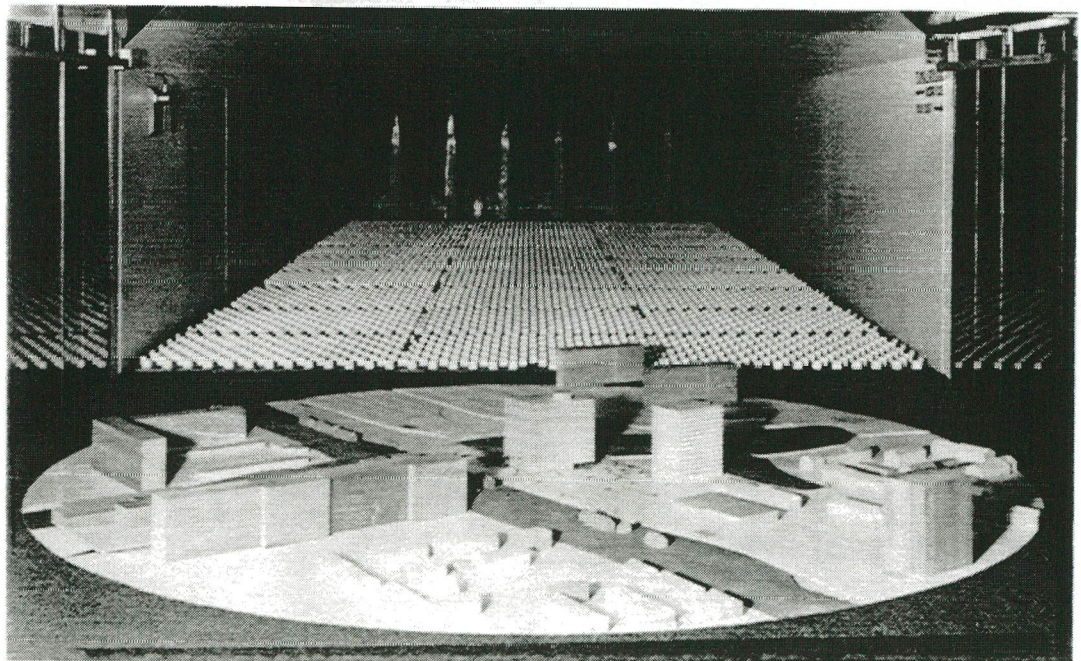


Fig. 8

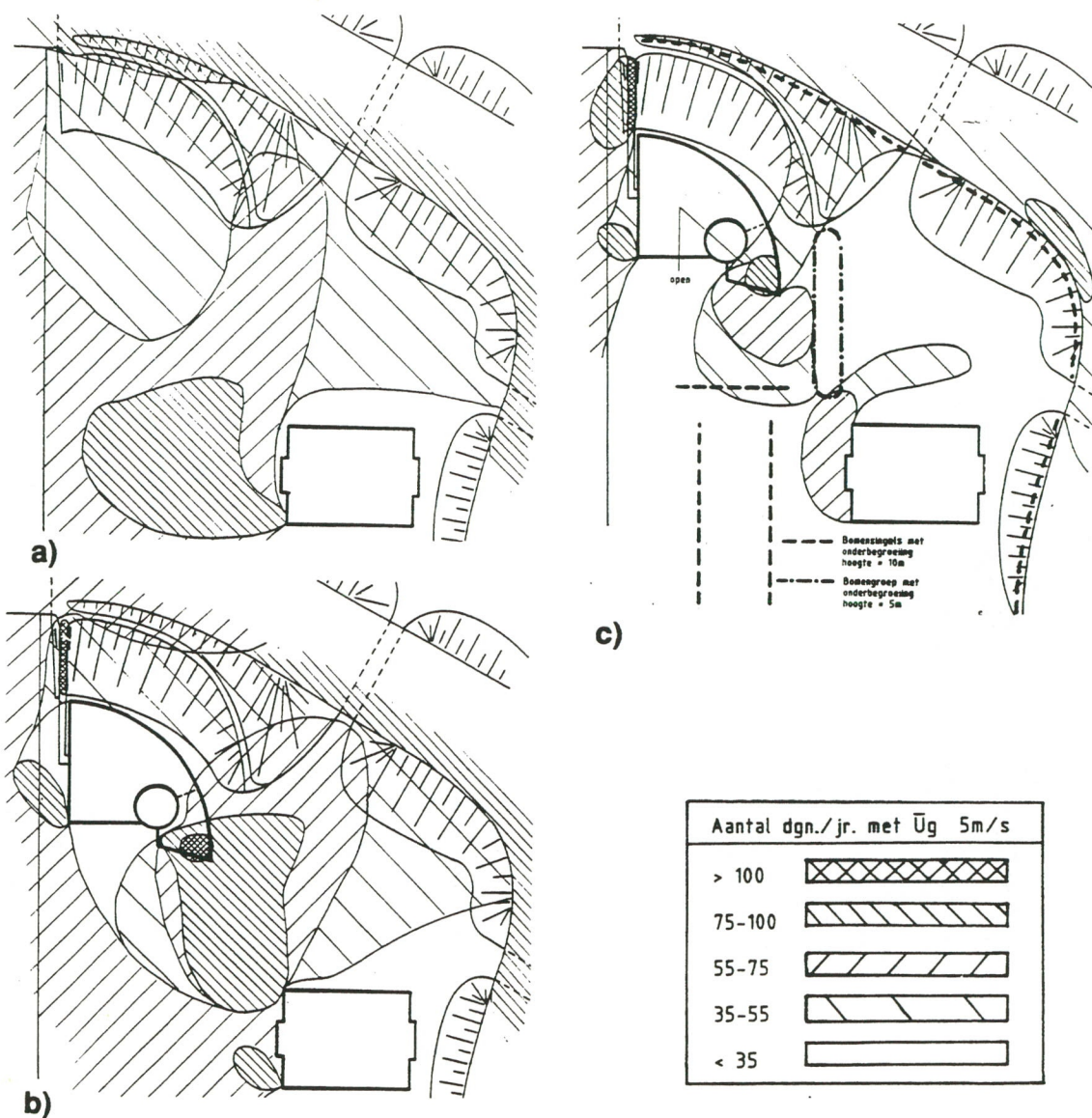


Fig. 9 Windklimaten bij:

- a) bestaande situatie
- b) geprojecteerde situatie
- c) verbeterde geprojecteerde situatie

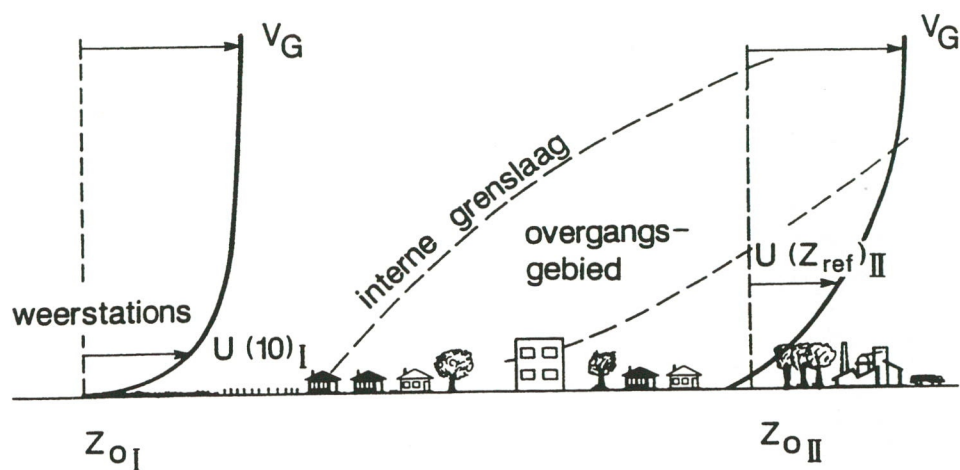


Fig. 10 Verandering van het snelheidsprofiel bij een ruwheidsovergang.

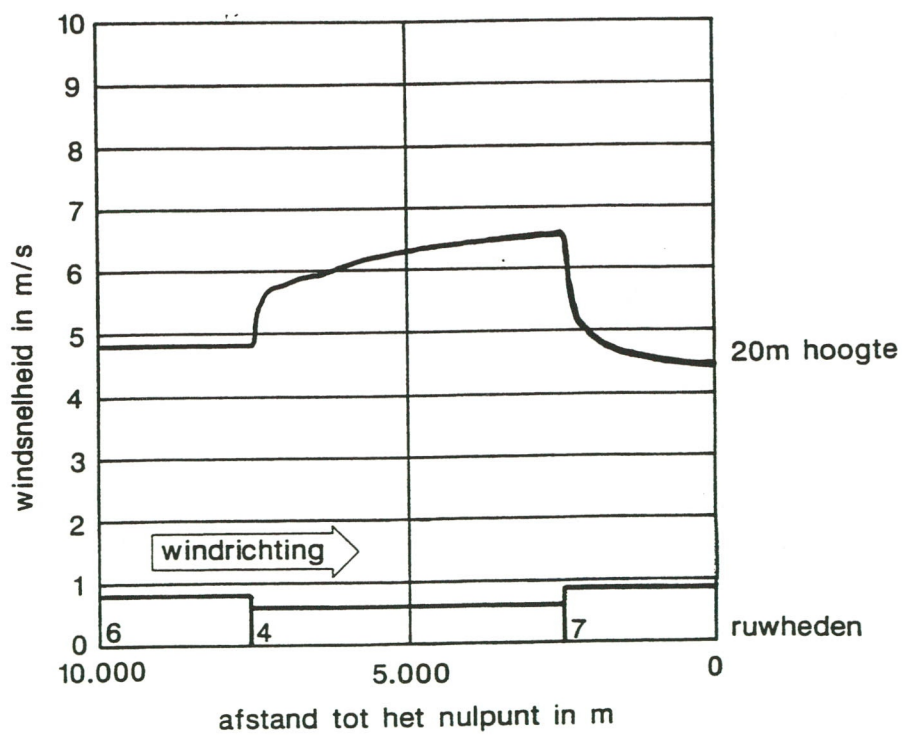


Fig. 11 Het snelheidsverloop over diverse ruwheden op een hoogte van 20 m.