

STEDENBOUWFYSIKA gc49

Prof. Ir. A.C. Verhoeven  
Ir. B. Feitsma  
Ir. A.J. Hansen  
Ir. N. Feis

1973.



College stedenbouwfysica gc49 (16 uur)

Het college wordt in het 3e trimester (2 uur per week) gegeven voor bouwkundigen. Het is een keuzevak voor het K1-, K2- of K3-examen. In de "papieren patroon" is het college te vinden onder "fysische, chemische en biologische aspecten van het bouwen 2".

Punten: 30.

Docent: Prof.ir. A.C. Verhoeven

Tentamendatum: 12 juni 1973, 14.00 - 16.00 uur, gebouw Nieuwelaan.

INHOUD:

college-uren:

1. Akoestische aspecten bij stadsontwikkeling

- Theoretische grondslagen: lucht- en contactgeluidisolatie, theoretische en praktische massawet, coïncidentie, resonantie, eigenschappen van glasconstructies. 3
- Fysische en psychische aspecten geluidhinder: geluidhinderkrommen, standaardverkeerskrommen; objectieve en subjectieve lawaaimetingen; eenheden, dB(A), dB(B), dB(C), PN(dB), N.N.I., T.N.I., enz.; mediaanniveau, geluidsniveaunormen. 2
- Verkeer- en vliegtuiglawaai: invloedfactoren op verkeerlawaai (wegdek, snelheid, uur van de dag, afstand tot de weg, bodembegroeiing, enz.); beoordeling van vliegtuiglawaai, grenzen van toelaatbaarheid. 1
- Lawaaibestrijding: bouwkundige maatregelen (isolatie aan de gevel, bouwvormen), stedenbouwkundige aspecten (wegenpatroon, plaatsing woonblokken, schaduwwerking schermen, tunnels). 2

2. Windinvloed in steden: Wind, een meteorologische grootheid, windprofielen, klimatologische informatie, modelonderzoek, windtunnels, stromingsbeelden bij hoge gebouwen; bouwvormen, invloed van plaatsing en windrichting op benodigde schoorsteenhoogte; ventilatieproblemen bij de hoogbouw. 4
3. Bezinning: criteria voor bezinning; bezonningsonderzoek aan maquettes, ethnoscoop, bezonningschijf. 4

---

Totaal 16 uur

Inlichtingen: ir. C.M.P. Straatman of ir. E.H. Tumbuan,  
Oostplantsoen 25, kabinet 107, toestel 5063,  
alleen op dinsdagochtend.

februari 1973

In dit kollege gaat het om de behaaglijkheid in en om gebouwen. Hiervoor zullen de drie volgende aspecten verder uitgerafeld worden:

- GELUID EN GELUIDHINDER door Prof. Ir. A.C. Verhoeven.
- WIND IN STEDEN door Ir. N. Feis.
- BEZONNING door Ir. B. Feitsma en Ir. A.J. Hansen.

### G E L U I D.

Voor een goed begrip worden eerst wat formules en grootheden uit het kollege gc40, inleiding in de bouwfysika, aangehaald.

Geluiddrukkniveau:  $L_p = 10 \cdot \log(p_{\text{eff.}}/p_0)^2$  (/dB./)  
 $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$

Intensiteitsniveau:  $L_I = 10 \cdot \log(I/I_0)$  (/dB./)  
 $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

Vermogensniveau:  $L_P = 10 \cdot \log(P/P_0)$  (/dB./)  $P_0 = 10^{-12} \text{ W}$

Afname van het geluid bij afstandsvergroting:

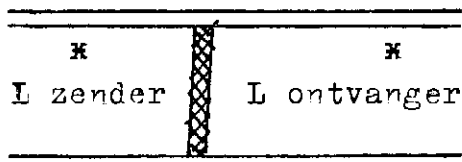
- Bij puntbron: geluiddrukkniveau  $L_p = L_p - 10 \cdot \log(4 \cdot \pi \cdot R^2)$  (/dB./)  
afname 6 dB. per afstandsverdubbeling.
- Bij lijnbron:  $L_p = L_p - 10 \cdot \log(2 \cdot \pi \cdot R)$  (/dB./)  
afname 3 dB. per afstandsverdubbeling.

Intensiteit:  $I = p_{\text{eff.}}^2 / q \cdot c$  (/W/m<sup>2</sup>/)  $q \cdot c = (RO) \cdot c = \pm 410 \text{ SI}$   
dit geldt voor een vlakke lopende golf.  
Bij een diffuus veld wordt het:  
 $I = p_{\text{eff.}}^2 / 4 \cdot q \cdot c$  (/W/m<sup>2</sup>/)

De vraag is nu: Wat is toelaatbaar voor de mens, uit medisch oogpunt en uit leefbaarheidsoogpunt.

Welke eisen moeten we stellen aan de gevel (afscheiding, isolatie) en aan verdere afscherming of verstrooiing van het geluid.

We bekijken nu eerst nog de verschillende uitdrukkingen om een geluidsisolatie van een konstruktie vast te leggen.

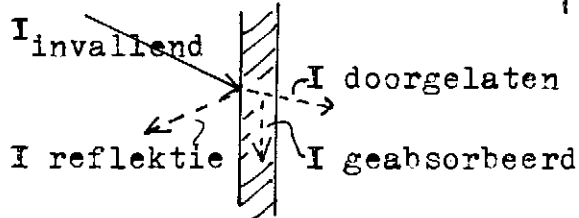


De isolatie van de wand zouden we uit kunnen drukken als het verschil in geluiddrukkniveau in de zendruimte en de ontvangruimte.

Dus  $R = L_{\text{zender}} - L_{\text{ontvanger}}$  Dit is echter niet juist. Stel het oppervlak van de wand  $S \text{ m}^2$ , als de wand voor de helft oneindig goed geïsoleerd zou zijn, wordt  $S$  met de helft verminderd. dan komt ook in de ontvangruimte maar de helft van het geluid aan, dan wordt de isolatie 3 dB. groter, en dat is niet de bedoeling, de isolatie van een bepaalde constructie moet konstant zijn. Daarom wordt de term  $10 \cdot \log S/A$  toegevoegd. Waarin  $S$  weer de oppervlakte van de scheidingsconstructie is, en  $A$  de totale absorptie in het ontvangvertrek.

Zodat:  $R = L_{\text{zender}} - L_{\text{ontvanger}} + 10 \cdot \log S/A$  (/dB./)  
dit is dus de luchtgeluidisolatie.

### REFLEKTIE, DOORLATING, ABSORPTIE



$$I_{\text{inv.}} = I_{\text{refl.}} + I_{\text{doorl.}} + I_{\text{abs.}}$$

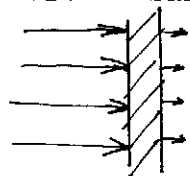
$$1 = I_r/I_i + I_d/I_i + I_a/I_i$$

$$1 = r + d + a \quad \text{resp. reflectie,}$$

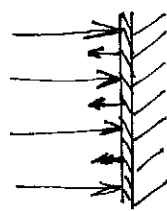
doorlatings, en absorptiecoëfficiënt.

Als we de waarden voor de doorlatingscoëfficiënt bekijken vinden we voor een gewone deur  $d = 0,01$  en voor een woningscheidende wand  $d = 0,0001$  we kunnen dan stellen  $1 = r + a$  of  $a = 1 - r$ . We moeten echter naar  $A$  toe, de totale geluidsabsorptie. We gaan hiervoor vergelijken met een open raam. Dit absorbeert alles, dat wil zeggen het laat alles door, maar aangezien we gesteld hebben  $a = 1 - r$  en het open raam niets reflecteert, zeggen we  $a = 1$  zodat:  $A = \text{SOM } a \cdot S$  (/m<sup>2</sup> O.R./)

Verder kunnen we stellen dat:

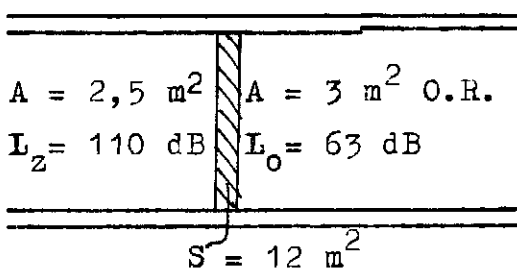


geluidsisolatie  
belangrijk is voor  
de buurman



geluidsabsorptie  
belangrijk is voor  
de ruimte zelf.

We vergelijken een ongestoffeerde flat met een gestoffeerde.



Lege flats:

$$R = 110 - 63 + 10 \cdot \log 12/3 = 53 \text{ dB}$$

Wordt de flat nu gestoffeerd, dan daalt in de eerste plaats al het geluidsniveau in de zendruimte, door de grotere absorptie, en natuurlijk ook  $L_{\text{ontvangruimte}}$ .

Stel  $A$  wordt 8 resp. 10 m<sup>2</sup> O.R. en  $L_z$  wordt 105 dB.

De isolatie van de scheidingsconstructie blijft natuurlijk het

zelfde, zodat we uit  $53 = 105 - L_{ontv.} + 10 \cdot \log 12/20$  kunnen vinden dat  $L_{ontv.}$  wordt 50 dB.

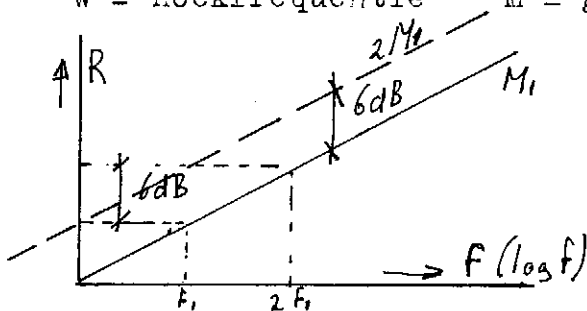
We kunnen stellen dat  $dL = 10 \cdot \log A_{na\text{ behandeling}}/A_{voordien}$

-o-o-o-o-o-

Massawet (theoretische) 1896 Lord Raileigh.

Bij loodrechte inval geldt:  $R = 20 \cdot \log w \cdot M / 2 \cdot q \cdot c$ .

w = hoekfrequentie M = gewicht(massa) van de konstruktie per  $m^2$



Daar de elastische eigenschappen van de wand worden verwaarloosd klopt deze theoretische massawet niet helemaal.

Er is een aangepaste wet voor wanden met M groter dan  $100 \text{ kg/m}^2$  voor de

gemiddelde isolatie bij 500 Hz.  $R' = 17,5 \cdot \log(M) + 3$  (/dB./)

Een één steens muur met een pleisterlaag aan weerszijden heeft een massa van  $M = 344 + 32 = 376 \text{ kg/m}^2$

zodat  $R' = 17,5 \cdot \log(376) + 3 = 48 \text{ dB}$ .

Een goede/goedkope deur heeft een  $R'$  van 20 dB.

Een goede woningscheidende wand een  $R'$  van 50 dB.

Voor muren met een massa van minder dan  $100 \text{ kg/m}^2$  zijn er verschillende formules te geven: a.  $R' = 17,5 \cdot \log(M) + 4$  (/dB./)

b.  $R' = 11,0 \cdot \log(M) + 14$  (/db./)

Het verschil, respectievelijk de overeenkomst zien we in onderstaande tabel:

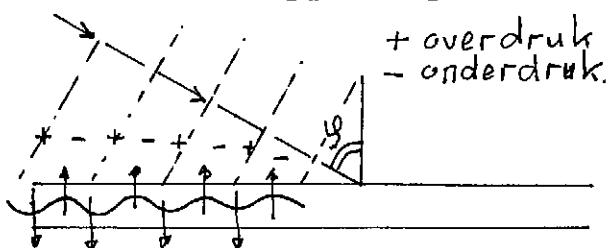
M	10	20	30	40	50	60	70	80	(/kg./)
$R'$ (a)	21	26	29	31	33	34			(/dB./)
$R'$ (b)	25	28	30	31 <sup>5</sup>	32 <sup>5</sup>	33 <sup>5</sup>			(/dB./)

Als vuistregel kunnen we onthouden  $R' = 30 \text{ dB}$  bij  $M = 30 \text{ kg/m}^2$

Effekten bij een ENKELVOUDIGE WAND.

COINCIDENTIE: Hieronder verstaan we het effect dat optreedt als de frequentie die de wand opgedrongen krijgt door de geluiddruk, overeenkomt (coïncideert) met de eigenfrequentie van de wand.

Dit kan optreden bij een vlakke lopende golf, die onder een bepaalde hoek invalt op de wand. Met de hoek wisselt ook de frequentie van de opgedrongen trilling. Door de boven- en onderdruk op



de oppervlakte van de wand ontstaat een golfbeweging in de plaat. (opgedrukte golfbeweging)

Coïncidentie frequentie  $f = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \left( \frac{c_L}{\sin \varphi_i} \right)^2 \cdot \frac{1}{d} \cdot \text{SQRT}(12 \cdot g/E)$  Hz.

Hierin is  $c_L$  de voortplantingssnelheid van geluid in lucht,  $g$  de soortelijke massa van de wand,  $E$  de elasticiteitsmodulus van het materiaal,  $\varphi_i$  de invalshoek van de golf en  $d$  de dikte van de plaat.

Bij loodrecht inval ( $\varphi_i = 0$ ,  $\sin \varphi_i = 0$ ) krijgen we  $f =$  oneindig

Bij een golf evenwijdig aan de wand, scherend geluid dus, bij  $\varphi_i = 90^\circ$  en  $\sin \varphi_i = 1$  krijgen we  $f_{gr.} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot c_L^2 \cdot \frac{1}{d} \cdot \text{SQRT}(12 \cdot g/E)$

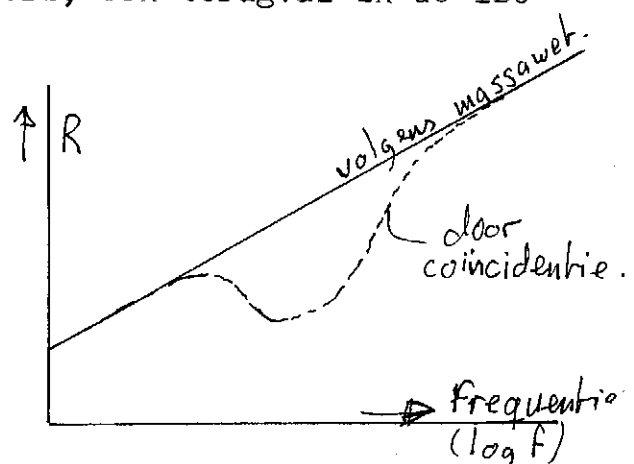
beneden deze grensfrequentie is geen coïncidentie mogelijk.

Door deze coïncidentie is er in een bepaald frequentie gebied, afhankelijk van de genoemde parameters, een terugval in de isolatie die gevonden wordt uit de

theoretische massawet. Als de grensfrequentie in het gebied van de menselijke spraak valt, zoals bijvoorbeeld bij wanden van 6 cm. gips het geval is, is dat natuurlijk erg hinderlijk.

Dat de teruggang in isolatie in een tamelijk breed gebied merkzaam is, komt doordat het geluid

veelal van alle kanten invalt. (Denk hierbij bijvoorbeeld aan het verkeerslawaaï; een auto die in de verte aankomt, en scherend geluid op de gevel aan doet komen, hoort men goed binnen, terwijl men praktisch niets hoort als hij langs het raam rijdt.)



Voor één bepaald materiaal hangt de grensfrequentie alleen af van  $1/d$  ( $d$  vergroten geeft een verlaging van  $f_{gr.}$ )

zodat:  $f_{gr.} = \text{Konstante}/\text{dikte}$  (dikte b.v. in mm.)

Hiernaast geven we die konstante voor verschillende materialen:

beton	23.000
gips	25.000
h.w.c.	13.000
glas	) 12.000
aluminium	
staal	
lood	70.000

SPOUWKONSTRUKTIES: het is duidelijk, dat men bij spouwkonstrukties op moet letten dat de grensfrequenties van de beide spouw-

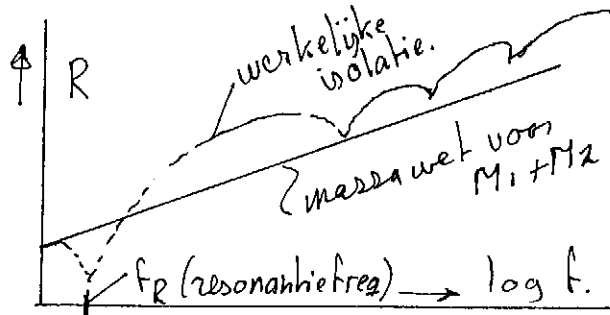
bladen niet samenvallen. Eenvoudig is dit te bereiken, door ze niet even dik te maken. Dubbele ruiten dus b.v. 4 en 6 mm. dik en niet 5 en 5 mm.

RESONANTIE.

Een ander effect is de resonantie. Voor ieder massa-veer systeem is er een resonantiefrequentie aan te duiden. Dus ook voor een glas-lucht-glas (massa-veer-massa) systeem.

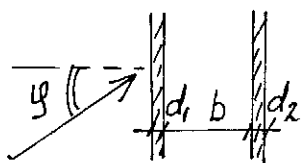
Het blijkt dat een luchtspouw, gunstige invloed heeft op de geluidsisolatie, zolang we boven een zekere resonantiefrequentie blijven.

Voor onze konstrukties moeten we zorgen dat deze resonantiefrequentie ligt onder de 85 Hz, en zeker niet boven de 100 Hz. Verkeerslawaaï bijvoorbeeld is maximaal bij zo'n 100 - 200 Hz.



Voor glas, let wel, alleen voor glas, volgt de  $f_r$  uit

$$f_r = 2400 / \cos(\phi_i) \cdot \text{SQRT}((d_1 + d_2) \cdot b) \quad d \text{ en } b \text{ in mm.}$$



Bij  $d_1 = 6 \text{ mm}$ ,  $d_2 = 8 \text{ mm}$ , en  $b = 8 \text{ mm}$ ,  $\phi_i = 0^\circ$  krijgen we voor  $f_r$  de waarde 229 Hz.

Dit is duidelijk te hoog. Willen we voldoen aan de eis,  $f_r$  kleiner dan 85 Hz. dan zou de spouw zo'n 42 mm. breed moeten worden. Een thermisch goede verglazing van (6-12-6) is dus slecht voor de geluidsisolatie.

-o-o-o-o-o-o-o-o-o-

Stedebouwfysika gc 49.

23/3/73

De geluidsisolatie voor enkel glas, kunnen we vinden uit de massa-wet, waarin enkele voor glas geldende parameters al zijn ingevuld, uit  $\bar{R} = 10,5 \cdot \log(d) + 19,3$  (/dB./) (d in mm.)

Dit is ongeveer de gemiddelde isolatie bij  $f = 100 - 3200 \text{ Hz}$ . Deze formule geldt voor alzijdig invallend geluid en klopt ook ongeveer voor een invalshoek van  $45^\circ$ .

d (in mm.)	3	4	5	6	8	10	12
$\bar{R}$ (in dB.)	24,3	25,6	26,7	27,5	28,8	29,8	30,7

De coïncidentie is echter meestal bepalend:  $f_c = 12000 / d \cdot \sin^2 \phi_i$

In de onderstaande tabel geven we de coïncidentie frequentie in afhankelijkheid van de dikte van de ruit en de invalshoek van het geluid, waarbij we stellen dat een coïncidentiefrequentie van kleiner dan 3000 Hz. werkelijk te gek is.

dikte	invalshoek				
	0	30°	45°	60°	±90°
4 mm.	∞	12000	6000	4000	3000
6 mm.	∞	8000	4000	2700	2000
8 mm.	∞	6000	3000	2000	1500
10 mm.	∞	4800	2400	1600	1200
12 mm.	∞	4000	2000	1300	1000

} Hz

} < 3000 Hz.

DUBBEL GLAS. Voor dubbel glas geldt de volgende formule voor de resonantie frequentie:  $f_r = \frac{1200}{\cos(\alpha)} \cdot \text{SQRT}((d_1+d_2)/d_1 \cdot d_2 \cdot b)$

stellen we als vereenvoudiging  $\text{SQRT}((d_1+d_2)/d_1 \cdot d_2) = 2/\text{SQRT}(d_1+d_2)$  en bekijken we alleen loodrechte inval, dan vereenvoudigt zich de formule tot:  $f_r = 2400/\text{SQRT}((d_1+d_2) \cdot b)$

Bij een goede konstruktie blijft de  $f_r$  beneden de 80 Hz.

daaruit volgt dat  $(d_1+d_2) \cdot b$  groter dan 900 moet zijn.

b.v.  $d_1=8$  mm.  $d_2=6$  mm. geeft dat  $b$  groter moet zijn dan 64 mm.

Onderstaand geven we voor verschillende glasdikten en spouwbreedten de resonantie frequentie:

6-10-8	$f_r = 309$ Hz	inval. onder 45°
6- 8-12	$f_r = 266$ Hz	inval. onder 45°
6-10-12	$f_r = 254$ Hz	" " "
6- 8-8	$f_r = 324$ Hz	" " "

De winst aan isolatie hangt af van de spouwbreedte, gedeeltelijk vanzelfsprekend.  $b = 40$  mm. geeft  $dR = 8$  dB.

$b = 50$  mm.  $dR = 9$  dB.

$b = 60$  mm.  $dR = 10$  dB.

STAANDE GOLVEN. Bij een spouwkonstruktie kunnen ook staande golven in de spouw een teruggang in de geluisisolatie geven. Dit kan men vermijden door in de spouw absorbtie materiaal aan te brengen.

#### SAMENVATTING DUBBEL GLAS.

1. spouwkonstruktie is zeer nuttig.
2. spouwbladen moeten wel van verschillende dikte zijn. (coïnc.)
3. het glas moet niet te dun zijn. (massawet)
4. brede spouw is belangrijk (resonantie)
5. in de spouw moet absorbtie materiaal aangebracht worden (tegen staande golven)
6. een prima kierdichting is een vereiste. (lekken veroorzaken een afname van de geluidisolatie van b.v. 5 dB.)



Een akoestisch goed raam geeft ventilatie moeilijkheden, het mag namelijk niet open, en eenvoudige roosters laten natuurlijk ook geluid door. In duitse scholen zijn ramen toegepast waarbij onder het kozijn en erboven ventilatie kanalen aangebracht zijn. Deze kanalen zijn dan voorzien van bochten en veel absorbtie materiaal, terwijl de lucht er doorheen gezogen wordt door een ventilator die ook weer goed geïsoleerd moet zijn. Zo'n konstruktie is vanzelfsprekend erg duur, maar wel goed.

MEETGEGEVENS DUBBELE BEGLAZING.

Door T.N.O. zijn enkele merken dubbele beglazing onderzocht. Er werd gemeten bij alzijdig invallend geluid, en bij verschillende frequenties. (de getalwaarden zijn de R in dB.) en d en b in mm.

frequentie						R̄	afmetingen.			opmerkingen.
100	250	500	1000	2000	4000		d <sub>1</sub>	b	d <sub>2</sub>	
22	21	28	36	30	32	28	6,2	11	6,2	sealed unit (thermopane)
23	27	34	38	35	39	32	6,1	11,5	9,4	sealed unit
27	29	36	38	34	39	33	6,1	27	9,1	sealed unit
29	36	38	41	42	46	38	19	70	6,25	zonder randabs.
30	39	41	43	44	48	40	19	70	6,25	met randabsorbctie

-o-o-o-o-o-o-o-o-

VERKEERSLAWAAI EN HET BEOORDELEN HIERVAN.

Een getalwaarde voor verkeerslawaai kunnen we vinden door bijvoorbeeld in opeenvolgende oktaafbanden het geluiddrukkniveau te meten. En als we de gemiddelde geluiddruk willen weten kunnen we deze gevonden waarden logaritmisch middelen.

De gevonden waarde zegt dan echter nog niet veel over de mate van hinder die de mens van het geluid zal ondervinden, omdat het menselijk oor geluiden van verschillende frequentie anders waardeert. Belangrijk is dus de zogenaamde subjektieve waarde van de geluidsterkte. Internationaal is daarom een aangepaste eenheid in gebruik de zogenaamde dB(A), dat is het geluiddrukkniveau in een bepaalde oktaafband, waarop een bepaalde korrekctie toegepast is, naar aanleiding van de waardering van de mens van deze geluidssterkte, afhankelijk van de frequentie.

Deze korrekctie ziet er als volgt uit:

oktaafband in Hz.	31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
korrekctie in dB.	-39	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1	+1

Waarden in dB(A) van verschillende geluiden.

zacht fluisteren op 1,5 meter afstand	35 dB(A)
binnenshuis in stil dorp en 's nachts	25 dB(A)
zacht praten op 1,5 meter afstand	55 "
normaal praten op 1,5 meter afstand	65 "
bromfiets op 5 meter afstand	75 "
vrachtauto op 5 meter afstand	85 "
trein op 15 meter afstand	95 "
straalvliegtuig op 300 meter hoogte	105 "

### BEOORDELINGSKRITERIA:

Door een groot aantal mensen is al een veelheid van criteria opgesteld ter beoordeling van vliegtuig- en verkeerslawaai.

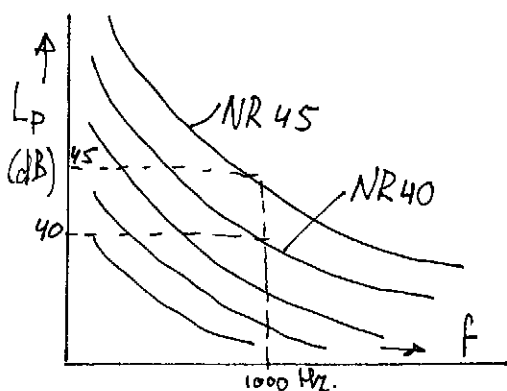
Doofheid treedt op als gedurende de werktijd een niveau van 80 dB(A) of meer heerst. (gemiddeld)

Spraakcommunicatie: tweespreek is moeilijk mogelijk bij 75 dB(A) terwijl voor normaal spreken hooguit 65 dB(A) aanwezig mag zijn. Onderwijs wordt al gestoord bij 50 dB(A).

Naast de dB(A) bestaan ook nog een dB(B) en dB(C), maar hierop wordt in dit kollege niet verder ingegaan.

Rechtstreeks meten van de hoeveelheid dB(A) is mogelijk door na de mikrofoon en voor het meetapparaat een filter in te bouwen, dat overeenkomt met de gevoeligheid van het menselijk oor voor geluid van verschillende frequenties.

Internationaal zijn geluidhinder krommen samengesteld, die genoemd worden naar hun geluidsdrukniveau bij 1000 Hz in dB. en die dan verder het verband aangeven tussen de frequentie en de geluidsdruk die eenzelfde geluidsstrekteindruk voor de mens geven.



Voor konsertzalen bijvoorbeeld is een geluidhinderkromme NR20 of NR25 maximaal toelaatbaar.

Andere criteria zijn PN(dB) ofwel de "Perceived Noisiness", wat we kunnen vertalen met "waargenoemen luidruchtigheid".

Een andere eenheid is de PNL "perceived noisiness level", deze wordt gebruikt voor continue geluidspektra, en is gebaseerd op de mate van ongewenstheid van het geluid. Uit psycho akoestische experimenten is gebleken dat hoge frequenties meer hinderlijk zijn dan lage, ook een kort optredend geluid is hinderlijker.

Een ander goed criterium is de "Kosten eenheid". Deze is speciaal bedoeld voor vliegtuiglawaai. De lawaai-belasting is:

$$B = 20 \cdot \log(SOM(n \cdot 10^{L/15})) - 157 \quad (SOM = \text{gesommeerd over 1 jaar})$$

Hierin is L het maximaal gemeten geluidsdruk-niveau in dB(A) bij een passerend vliegtuig, n is een korrektiefactor die afhankelijk is van het tijdstip waarop het lawaai optreedt. 's Nachts is het lawaai hinderlijker. De grens is voorlopig gesteld op

tijdstip in uren	n
0- 6	10
6--7	8
7- 8	4
8-18	1
18-19	2
19-20	3
20-21	4
21-22	6
22-23	8
23-24	10

45 Kosten eenheden. Dit is echter nog lang niet streng genoeg, daar bij deze hoeveelheid geluid nog 58 % van de mensen zich gestoord voelt tijdens een gesprek, 33 % wordt in de slaap gehinderd en bij 66 % veroorzaakt het van tijd tot tijd angstgevoelens.

Belangrijke punten bij de beoordeling van het geluid zijn:

sterkte, regelmaat, nooit volledige

gewenning van de mens aan het geluid, verschillende typen vliegtuigen die verschillende soorten en hoeveelheden lawaai produceren. Verder veroorzaakt het landen van de vliegtuigen extra hinder omdat de laatste 12 kilometer recht op de landingsbaan afgevlogen wordt, op geringe hoogte, en dat ook over wooncentra. Het opstijgen geeft minder last, daar de vliegtuigen direkt in een bepaalde hoek weg kunnen draaien. Verder veroorzaken straalvliegtuigen veel hoge, zuivere tonen tussen 1000 en 6000 Hz.

In "TROUW" van 15 augustus 1972 werden enkele geluidmetingen bij verschillende vliegtuigtypen gepubliceerd bij baan 06.22 bij Schiphol, op 2 kilometer afstand.

DC 8	101 dB(A)
Boeing 707	110,5
DC 9	96,5
Caravelle	90
Tristar	89

Van belang is nu de toekomstige ontwikkeling van de vliegtuig-techniek. Hoe verandert deze m.b.t. grootte van de vliegtuigen, snelheid van opstijgen etc.

Een mogelijkheid voor het terugbrengen van de geluidshinder door de vliegtuigen zou wellicht ook kunnen liggen in het, tijdens een bepaalde periode en in een bepaald gebied, weren van bepaalde typen vliegtuigen, die veel lawaai maken o.i.d.

## LAWAAI OP STRAAT.

T.N.I. "traffic noise index"

Dit is een index om de geluidshinder van een verkeersstroom in een stad te beoordelen.

Er wordt gemeten op 1 meter voor de gevels, waarbij de microfoon zich op 1,20 meter boven het peil van de straat moet bevinden. Er wordt gemeten gedurende een gehele werkdag van 24 uur. Er kan dan bepaald worden een  $L_{90}$  niveau en een  $L_{10}$  niveau. Dat wil zeggen: het geluidniveau, in dB(A), dat gedurende 90% respektievelijk 10% van de tijd overschreden wordt. Ook kan er een  $L_{50}$  niveau bepaald worden, maar dat valt buiten het kader van de TNI.

Het gemiddelde van de 24 waarnemingen, die voor ieder uur gedaan zijn, geeft dan het  $L_{90}$  en  $L_{10}$  niveau voor de gehele 24 uur.

$$L_{90} = \sqrt[24]{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3 \cdot \dots \cdot L_{24}} \quad \text{evenzo voor het } L_{10} \text{ niveau.}$$

We kunnen nu stellen dat het  $L_{90}$  niveau een maat is voor het gemiddelde achtergrondslawaai en het  $L_{10}$  niveau een maat voor het gemiddelde pieklawaai. De Traffic Noise Index vinde we dan uit:  $TNI = 4 \cdot (L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30 \quad (/dB(A)/)$  Hierin is de eerste term een maat voor de wisselvalligheid van het geluid, de tweede term een maat voor de grootte van het geluid en de derde term, de 30, een korrektie ter verkrijging van een numerieke vergelijkbaarheid van de TNI met andere criteria in dB(A).

Uit meetgegevens blijkt dat de TNI voor een drukke straat zo'n 100 dB(A) kan bedragen, terwijl volgens enquêtes de TNI toch echt lager dan 74 zou moeten zijn.

Moeilijke punten bij deze geluidsindex zijn oa. de afstand van de verkeersstroom tot het meetpunt, welke niet eenduidig vastligt, ook wordt niet achter de huizen gemeten, of op de verdieping etc. De TNI is ook niet bruikbaar als er obstakels tussen de verkeersstroom en de gevel aanwezig zijn.

Er bestaat ook nog een NNI, een Noise Number Index, maar daarop wordt hier niet verder ingegaan.

## STATISTISCHE INDICES.

Voor buitenwegen kennen we het zogenaamde mediaanniveau.

$$L_{50} = 10 \cdot \log N + 30 \cdot \log V - 10 \cdot \log D + P/10 - 5 \quad dB(A)$$

Hierin is: N het aantal auto's per uur en in beide richtingen  
V de gemiddelde snelheid in km/uur

D de afstand van het meetpunt tot de as van de dichtsbijzijnde rijbaan



P het percentage zwaar verkeer  
5 een konstante

Zo komen we bijvoorbeeld bij  $N = 10000$  auto's/uur,  $V = 100$  km/uur  
 $D = 10$  meter en  $P = 30\%$  tot een  $L_{50} = 78$  dB(A).

Uit de formule zien we dat:

verdubbeling van het aantal auto's 3 dB(A) extra geeft  
verdubbeling van de snelheid 9 dB(A) extra geeft  
verdubbeling van de  $\%$  zwaar verkeer 3 dB(A) extra geeft  
en verkleining van de afstand tot de helft ook 3 dB(A) extra geeft.  
We zien dus dat reduceren van de snelheid een aanzienlijke verbetering van de geluidhinder kan betekenen. Verder is het duidelijk dat stoplichten, waar auto's stoppen en optrekken extra hinder geven. Een ander belangrijk punt zijn de reflecties, die op kunnen treden bij hoge gebouwen aan weerszijden van de weg.

#### EISEN voor Nederlandse WONINGEN.

Voor het continue stoorgeluid geeft de onderstaande tabel eisen voor het geluidniveau buiten en binnen, in woon- en slaapkamers, onder verschillende woonomstandigheden. Alles in dB(A)

woonplaats	overdag		's nachts	
	buiten	binnen	buiten	binnen
zeer stille voorstad	40	30	35	25
voorstad	45	35	40	30
stadswijk	50	40	45	35
lichte industriewijk	55	45	50	40
industriewijk	60	50	55	45

-o-o-o-o-o-o-o-

Stedebouwfysika gc 49

30/3/73

Door TMO zijn metingen verricht op 10 meter afstand van de as van de dischtsbijzijnde rijbaan van een weg in het vrije veld. Om te zien hoeveel lawaai het verkeer nu eigenlijk maakt, kijken we hoeveel er overblijft, na een reductie van 3 dB wegens afstandsverdubbeling, 20 meter tussen weg en gevel, en een reductie wegens de isolatie van de gevel, benevens nog een korrektie. Tenslotte vergelijken we de gevonden waarden met de geluidhinder krommen NR 35 en NR 40.

Er blijkt dan dat er, zeker in de frequentieband van 250 HZ, die van het verkeerslawaai, ternauwernooft voldaan wordt aan de NR 40. De korrektie is voor de absorbtie die in de huizen aanwezig is, de isolatie van de gevel is gebaseerd op die van dubbelglas met 12 mm. spouw.

frequentieband	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
S 50% op 10 m.	79	80	75	75	72	68	63	61
op 20 m.	76	77	72	72	69	65	60	58
R van de ruit.	23	22	21	28	36	30	32	43
restant	53	55	51	44	33	35	28	15
korrektie	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-3
niveau in huis	51	53	49	42	30	32	29	12
NR 35	63,1	52,4	44,5	38,9	35,0	32,0	29,0	28,0
NR 40	67,1	56,8	49,2	43,8	40,0	37,1	34,9	33,2
korrektie voor overgang op dB(A)	+26	-16	-9	-3	0	+1	+1	-1
niveau in dB(A)	25	37	40	39	30	33	26	11

Gemiddeld komt dit neer op 43 à 44 dB(A) overdag is binnen een stadswijk 40 dB(A) toegestaan. Hieraan kan dus niet worden voldaan, in een lichte industriewijk zou het net wel gaan.

Door de jaren heen is het verkeerslawaaï overdags in een grote stad trouwens aanzienlijk gestegen en wel van ongeveer 50 dB(A) in 1900 tot 70 dB(A) in 1939 tot 80 dB(A) in 1968 Dit houdt in een verachtvoudiging van het niveau.

#### Invloed van technische condities op het geluidniveau.

Uit Amerikaanse metingen is gebleken dat tot een snelheid van 70 km/uur het geluid voornamelijk afkomstig is van de motoren van de voertuigen; hierboven wordt het voornamelijk geluid van het voertuig zelf.

Aaneensluitend hierop is het gegeven dat ruw of glad asfalt een verschil van 5 dB(A) kan veroorzaken, terwijl het verschil tussen nat en droog asfalt zo'n 8 à 15 dB(A) kan bedragen.

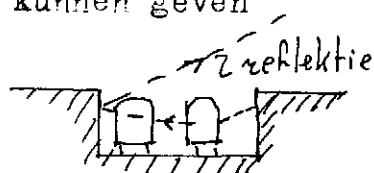
Door temperatuur en wind invloeden kunnen geluidgolven ook van de aarde af of naar de aarde toe buigen.

#### AANBEVELINGEN:

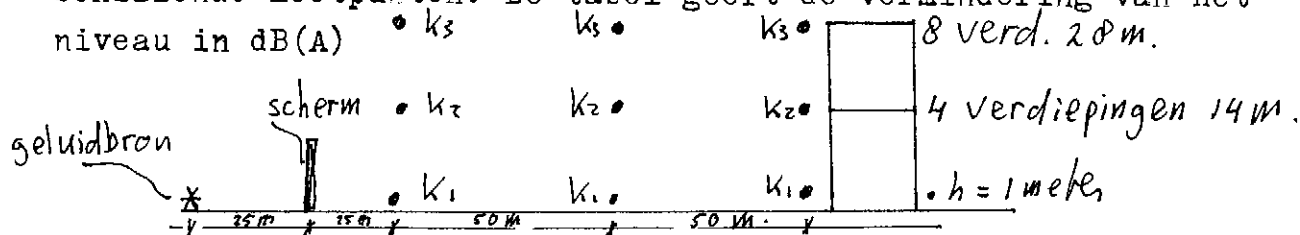
- Om de geluidhinder te beperken kunnen er heel wat dingen gedaan worden:
- a. verkeersintensiteit verminderen
  - b. zorgen voor een vlotte doorstroming, geen ingewikkelde kruispunten met verkeerslichten
  - c. een snelheidsbeperking invoeren
  - d. het elimineren van wind en temperatuur effecten
  - e. een optimaal wegdek kiezen, dus geen klinkers etc.
  - f. afschermen van het geluid, hierop gaan we nu verder in

)  
BEPLANTINGEN. Het effect van beplantingen wordt veelal overschat. Voor een duidelijk resultaat is een grote breedte nodig; toch minstens 10 meter en dan nog op speciale wijze beplant. Het beste voldoen evenwijdig aan de weg lopende regels van beplantingen die ieder een oplopende hoogte hebben. Een goed effect wordt bereikt met minimaal 3 regels van 10 meter breedte met een tussenruimte van 8 meter, zodat er toch nog een flinke breedte mee gemoeid is.

SCHERMEN. Ook afschermen van het geluid kan veel helpen. De schermen moeten echter vrij hoog zijn, daar lage frequenties, golven af kunnen buigen om het scherm heen. Met een scherm is een reductie van 10 à 15 dB te bereiken, het scherm zelf moet dus in ieder geval ook deze isolatie hebben. De afscherming kan ook verkregen worden door een dijklichaam of door andere bouwwerken, welke minder last van het geluid hebben, garages etc. In Zwitserland worden bijvoorbeeld spoorwegen verdiept aangelegd, hierbij zijn schuine taluds het beste, daar rechte reflecties kunnen geven



Hieronder wordt weergegeven het effect van een scherm met een hoogte H voor een geluidbron 25 meter achter het scherm, in verschillende meetpunten. De tabel geeft de vermindering van het niveau in dB(A)



Hoogte scherm	afstand en meetp.							
	25 meter		75 meter			125 meter		
	k1	k2	k1	k2	k3	k1	k2	k3
1 m.	6		6			6		
2 m.	10		9,5			9		
3 m.	14		13			12,5		
4 m.	16,5		15,5			15		
5 m.	18,5		17,5	8,5		17	12	
6 m.	20,5		19	12		18,5	14,5	7,5
7 m.	22		20,5	14,5		20	16,5	11
8 m.	23,5	8	21,5	15	6,5	21	18	14

TUNNELS. In tunnels moet men zorgen voor voldoende absorbtie, zodat de nagalmtijd niet al te groot is. In de Maastunnels bedraagt deze zo'n 10 sec, althans de top bij ongeveer 800 Hz. In de Velsertunnel, die veel nieuwer is, zijn de wanden onder een geringe hoek geplaatst, zodat door reflecties het geluid alleen maar naar boven gereflekteerd wordt. In het plafond is 55 mm. glas en steenwol aangebracht. De nagalmtijd is in deze tunnel zo'n 1 sec. alleen in de lagere frequenties iets meer.

### SAMENVATTING EN ENIGE GETALLEN.

Geluid is tegen te houden door de bouwkundige konstrukties aan te passen, maar het is natuurlijk beter om het bij de bron al in te perken, door snelheidsbeperkingen, afschermingen, goed doen verlopen van het verkeer etc.

Een redelijk goed met de subjektieve geluidniveau waardering korrelerende grootheid is het equivalente continue niveau. Hiervoor hebben we nodig de mvt/h en de pae/h. Dit betekent motorvoertuigen per uur respektievelijk personenauto eenheden per uur.

1 personenauto	komt overeen met 1 pae
1 autobus	komt overeen met $2\frac{1}{2}$ pae
1 fiets	komt overeen met 0,13 pae
1 mvt	komt overeen met 1,15 pae

De eisen die aan diverse voertuigen gesteld worden vinden we in onderstaand staatje:

bromfietsen	73 dB(A)
motorvoertuigen met 4 wielen	
bij wegstest	84 dB(A)
bij typekeuring	82 dB(A)
goederenvervoer bij meer dan 3500 kgf.	89 resp. 91 dB(A)
bij meer dan 200 DIN PK 91	" 93 dB(A)

Methode van Iamure en Auzou, zij berekenen het L50% niveau.

$$L_{50} = 40,4 + 10 \cdot \log N \quad \text{of} \quad L_{50} = 39,8 + 10 \cdot \log N'$$

N in mvt/h en N' in pae/h

Hierbij geldt de formule voor enkele rijbanen op 3 meter naast de weg, voor tweebaanswegen op 6,75 meter uit de as van de weg, voor vierbaanswegen op 15 à 16 meter uit de as van de weg.

Voor afstanden kleiner dan 100 meter geeft verdubbeling van de afstand 6 dB(A) reductie.



Voor afstanden groter dan 100 meter geeft afstandverdubbeling een reductie van 3 dB(A)

Terwijl verder voor het bepalen van het L50% niveau op afstanden tot 100 meter kan gebeuren met reductie  $dL = 20 \cdot \log(r/6,75)$  waarbij die 6,75 ook 3,00 of 15,00 à 16,00 kan zijn afhankelijk van het type weg (zie vorige blz.)

<u>Bodemeffekt</u> per 100 meter: vlak grasland	2 dB(A)
<u>Begroeiing</u> lichte begroeiing	5 dB(A)
dicht bos met onder begroeiing	10 dB(A)

<u>Wegdekeffekt:</u> toeslag voor asfalt wegdek	0 dB(A)
voor beton of klinker wegdek	5 dB(A)
voor nat wegdek	13 dB(A)

Gevelweerkaatsing: hiervoor rekenen op een extra geluidhinder van  $\pm 5$  dB(A)

<u>Gevelisolatie:</u> geheel open raam	5 dB(A)
dicht raam enkel glas	20 dB(A)
dubbel glas afhankelijk van de spouwbr.	20-30 dB(A)
steensmuur	50 dB(A)

Voorbeeld: Stel verkeersintensiteit 600 mvt/h  
dan is  $L_{50} = 40,4 + 10 \cdot \log 6000 = 67,5$  dB(A)

Stel dubbele weg, dus  $L_{50}$  geldt op 6,75 meter afstand.

Afstand gevel 15 à 25 meter, gevel isolatie 15 dB(A)

Afstandreductie 10 In woning  $67,5 - 25,5 = 42$  dB(A)

bodemeffekt 0,5 en dat is vrij veel.

gevelisolatie	15
	<hr/>
	25,5 dB(A)

Het is moeilijk om de juiste waarden in te vullen, ofwel, het is moeilijk de werkelijkheid in de juiste cijfers uit te drukken. Naar methoden als hierboven beschreven moeten we echter wel toe. We kunnen dan stedenbouwkundige ontwerpen vanaf de tekening op hun kwaliteit m.b.t. de geluidhinder beoordelen.

-o-o-o-o-o-o-o-o-

*Like-  
Ma-  
tuur* { Meer over deze zaken vinden we in publikaties als:  
Geluidhinder in het wegverkeer van de Ned. Stichting Geluidhinder  
Geluidhinder in het wegverkeer door Ir. H. Mast uitg. ANWB  
Geluidhinder van wegverkeer in woonwijken door Gianotte, uitge-  
geven door de provinciale planologische dienst.  
Syllabus PDOB cursus "Behaaglijkheid in en om gebouwen"

Stedebouwfysika gc 49

6/4/73 tweede uur.

Inleiding in het thema "Bezonnig" door Ir. A.J. Hansen.

Stedebouwfusika gc 49

13/4/73

Het bepalen van de bezonningsduur met een radiaaldiagram en een bezonningsdiagram ( $52^{\circ}$  NB) door Ir. B. Feitsma van het Instituut voor gezondheidstechniek TNO.

Stedebouwfysika gc 49

4/5/73

Bezonnig van steden. Ir. A.J. Hansen.

Stedebouwfysika gc 49

11/5/73

Invloed van de wind op het klimaat in de moderne stad. door Ir. N. Feis, afdeling stromingstechniek CTI/TNO.

Stedebouwfysika gc 49

18/5/73

zie 11/5/73.

Het op deze kolleges besrpokene staat in de hierna opgenomen stencils en overdrukken.

Tevens is één en ander te vinden in de syllabus van de leergang "Behaaglijkheid in en om gebouwen" van de Stichting PDOB van 22 en 23 mei 1973.

13/4/73

BEZONNING EN BESCHADUWING  
van gebouwen

---

HET BEPALEN VAN DE BEZONNINGSDUUR  
MET EEN RADIAALDIAGRAM EN EEN  
BEZONNINGSDIAGRAM ( $52^{\circ}$  NB)

B. Feitsma

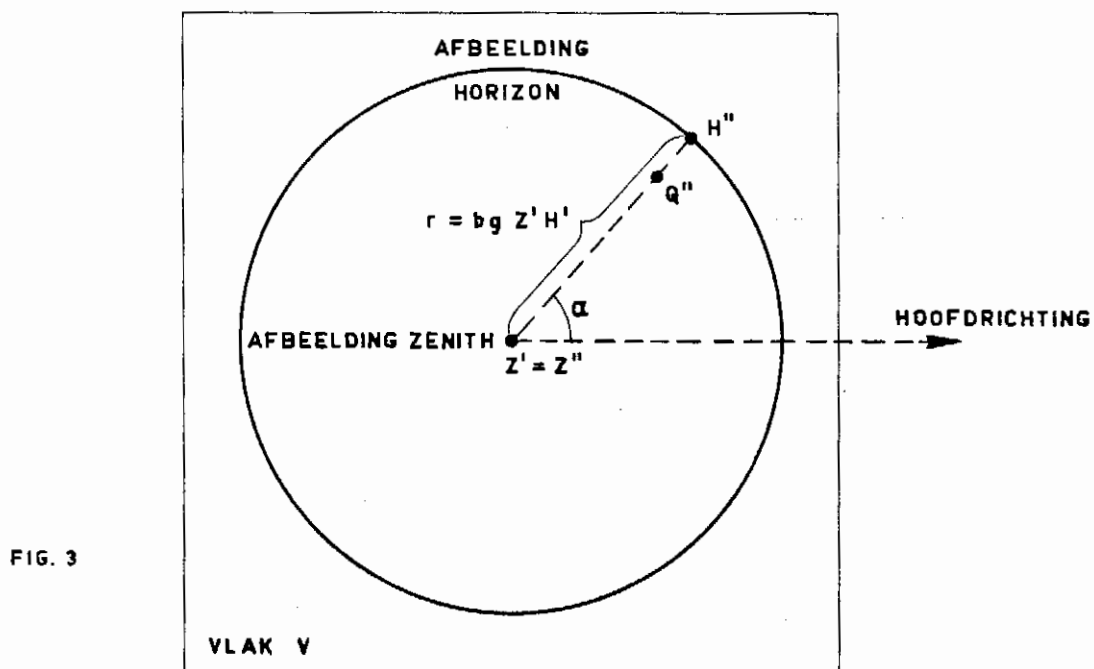
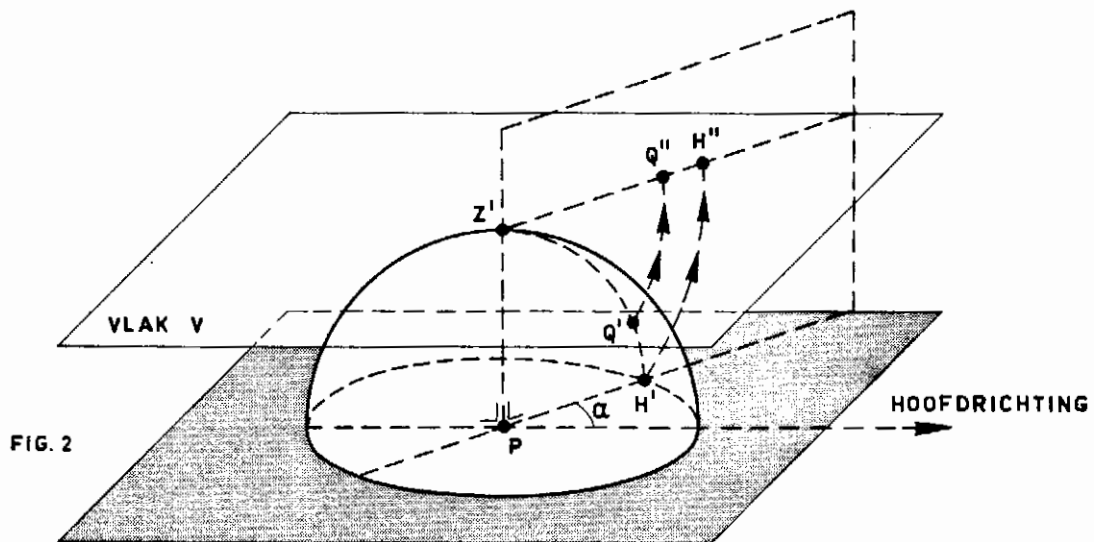
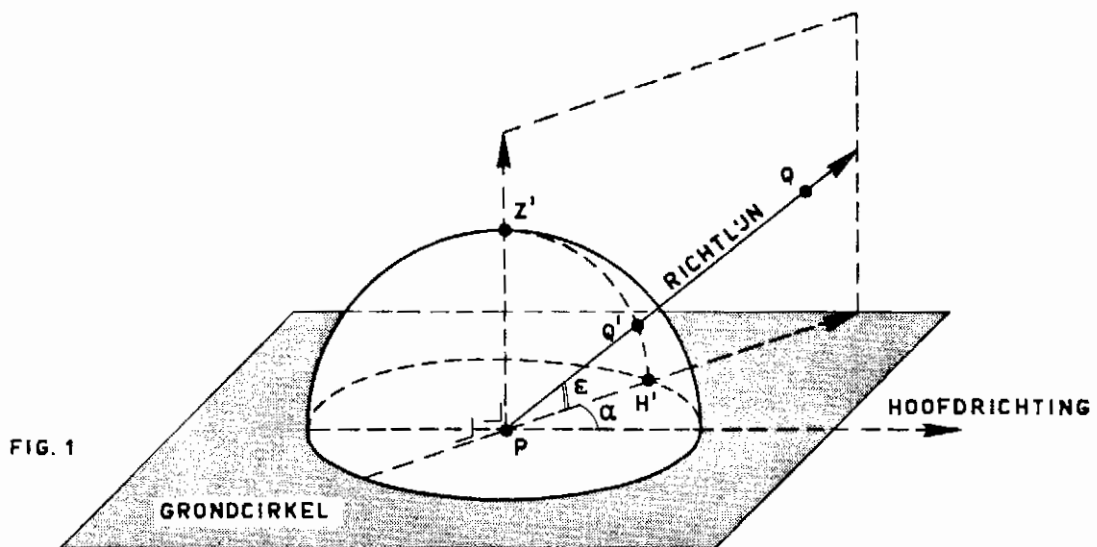
Instituut voor Gezondheidstechniek TNO, Delft





## Inhoud

	blz.
PRINCIPE VAN HET RADIAALDIAGRAM	3
Projectie in een plat vlak van punten in de ruimte	
Projectie van horizontale en verticale lijnen	
BEPALEN VAN DE BEZONNINGSDUUR	7
VOORBEELDEN	8-11



## PRINCIPE VAN HET RADIAALDIAGRAM

a. projectie in een plat vlak van punten in de ruimte

Beschouwen we twee punten P en Q in de ruimte (fig. 1) en denken we ons om P als middelpunt een halve bol met willekeurige straal. Het vanuit P zichtbare punt Q kan men op het oppervlak van de bol afbeelden door een richtpunt Q', dat het snijpunt voorstelt van het boloppervlak met de richtlijn waarlangs men vanuit P het punt Q ziet. Het punt Q' ligt op de doorsnijding (boog Z'H') van het boloppervlak met het verticaalvlak door P en Q. De richtlijnen van de horizon komen dus te liggen op de grondcirkel. Het richtpunt van het zenith valt samen met het snijpunt van de verticaal in P en het oppervlak.

De op het boloppervlak gelegen richtpunten kunnen we nu afbeelden in een plat vlak door als volgt te werk te gaan.

We denken ons een hulpvlak V door het richtpunt Z' evenwijdig aan de grondcirkel (fig. 2).

Vanuit Z' rollen we nu in het verticaalvlak door P en Q de boog Z'H' uit tot een rechte lijn Z''H'' in vlak V. Het richtpunt Q' wordt dan in het vlak V afgebeeld als een punt Q'', gelegen op de lijn Z''H''.

Punten van de horizon komen dan te liggen op een cirkel in vlak V met straal  $r = \text{boog } Z'H' = \text{lijn } Z''H''$ , en middelpunt Z' (fig. 3).

Het zenith valt samen met Z', alle andere punten in de ruimte worden afgebeeld binnen de cirkelomtrek in het vlak V.

De ligging van het punt Q'' in vlak V kan gemakkelijk worden bepaald uit:

- de hoek  $\alpha$ , die het verticaalvlak door P en Q maakt met een vooraf te kiezen hoofdrichting in het horizontale vlak;
- de afstand Q''H'', die wordt berekend uit de formule

$$Q''H'' = Q'H' = \frac{\epsilon}{90} \times r$$

waarin

$\epsilon$  = de hoek die PQ maakt met het horizontale vlak  
 en  $r = \text{bg } Z'H'$ .

b. projectie van horizontale en verticale lijnen

Bij het afbeelden van bouwkundige gegevens hebben we vaak te maken met horizontale en verticale begrenzingen van gevels, balkons, luifels, ramen, enz. Deze kunnen worden beschouwd als verzamelingen van punten, die elk afzonderlijk kunnen worden afgebeeld op de eerder genoemde wijze. De projectie van een verticale lijn komt daarbij te liggen op de straal van de cirkel (fig. 4), die van een horizontale lijn op een boog binnen de cirkel (fig. 5).

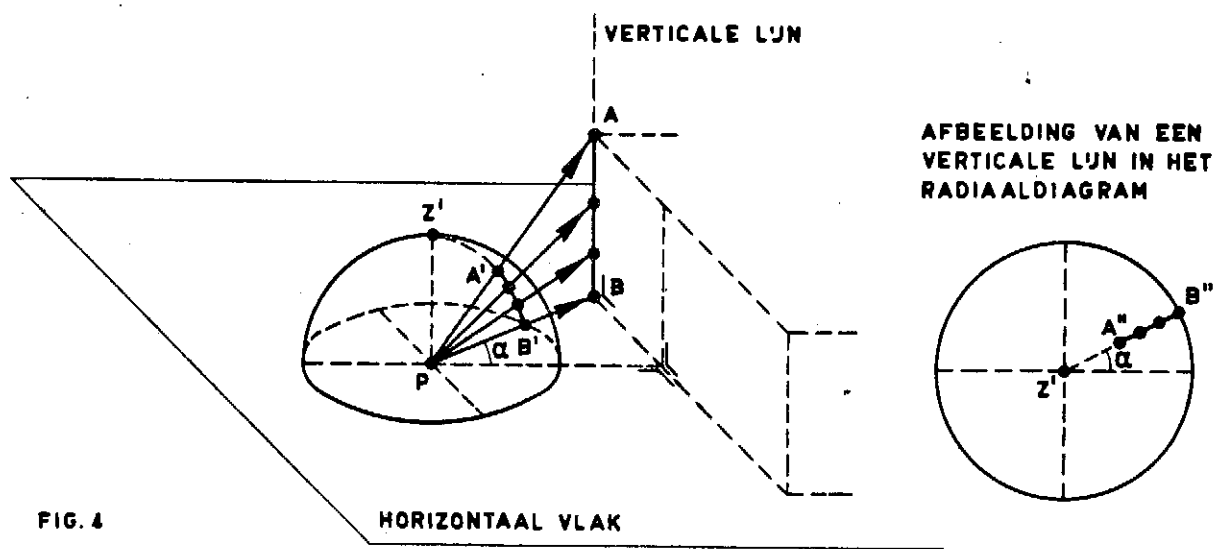


FIG. 4

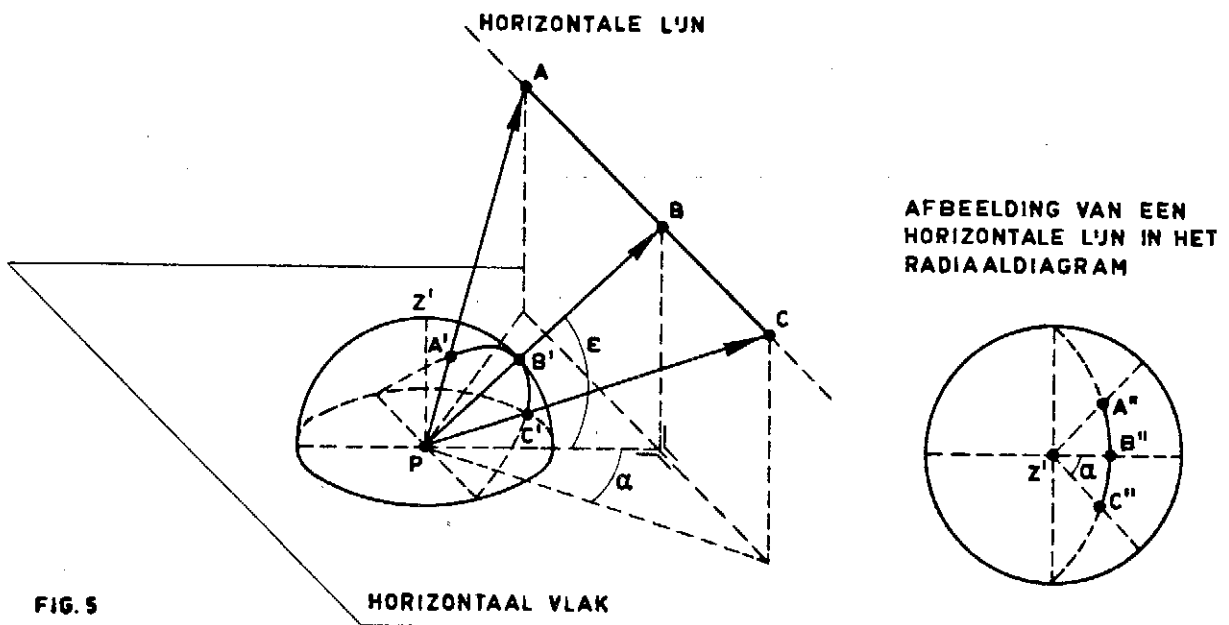


FIG. 5

Om het afbeelden van verticale en horizontale begrenzingen te vergemakkelijken is een zgn. radiaaldiagram voor belemmeringen ontworpen (fig. 6). In dit diagram zijn de projecties van horizontale en verticale begrenzingen in afhankelijkheid van de hoeken  $\alpha$  en  $\epsilon$  reeds uitgezet.

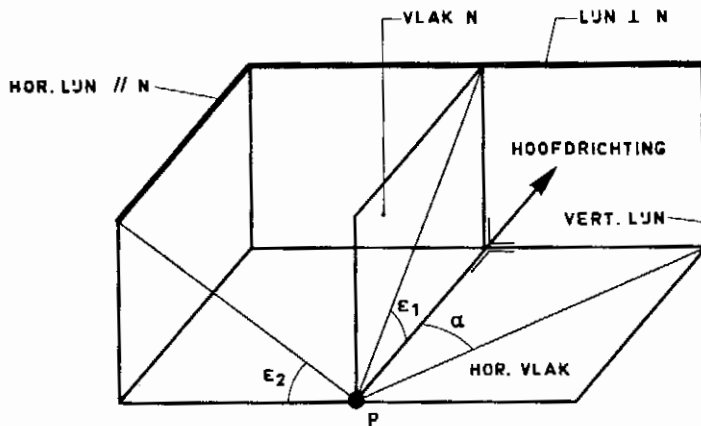
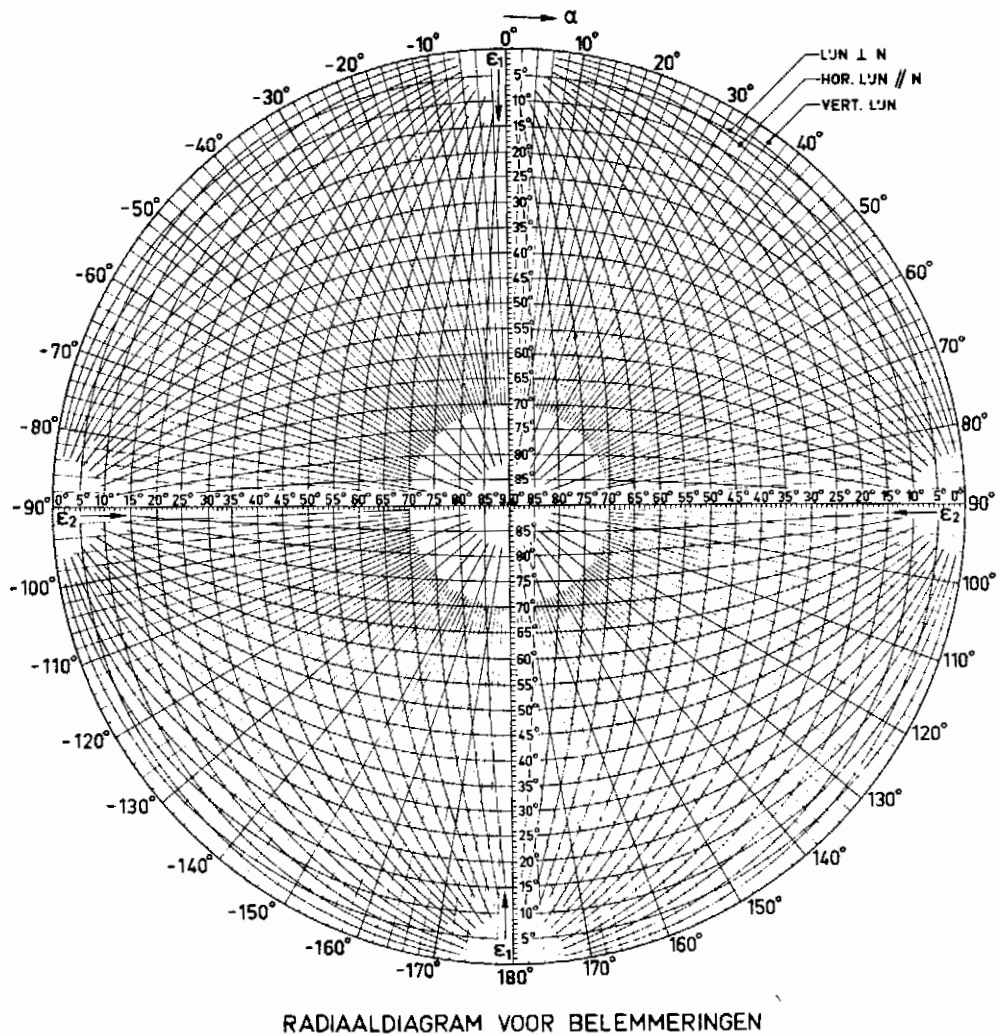


FIG. 6



## BEPALEN VAN DE BEZONNINGSDUUR

De bezonningsduur van een punt in een vertrek kan als volgt worden bepaald. De vanuit het punt zichtbare raambegrenzungen, belemmeringen, delen van de hemel, e.d. worden in het radiaaldiagram ingetekend. De gegevens hiervoor kunnen worden ontleend aan de ontwerptekeningen.

Indien we nu bovendien de vanuit het punt zichtbare zonnebanen voor ongeveer de 21e van iedere maand in het radiaaldiagram intekenen, dan zouden de bezonningstijdstippen voor deze data rechtstreeks kunnen worden afgelezen, waarmee ook de bezonningsduur bekend zou zijn.

Teneinde de werkwijze te vereenvoudigen is een apart zonnebanendiagram op transparant vervaardigd (bijlage).

Op dit transparant zijn 7 zonnebanen met uurmarkering voor ongeveer de 21e van iedere maand in projectie afgebeeld (fig. 7).

Voor het bepalen van de bezonning wordt dan het transparant - met inachtneming van de juiste oriëntatie - over het radiaaldiagram gelegd.

Met enkele voorbeelden zal dit nader worden toegelicht.

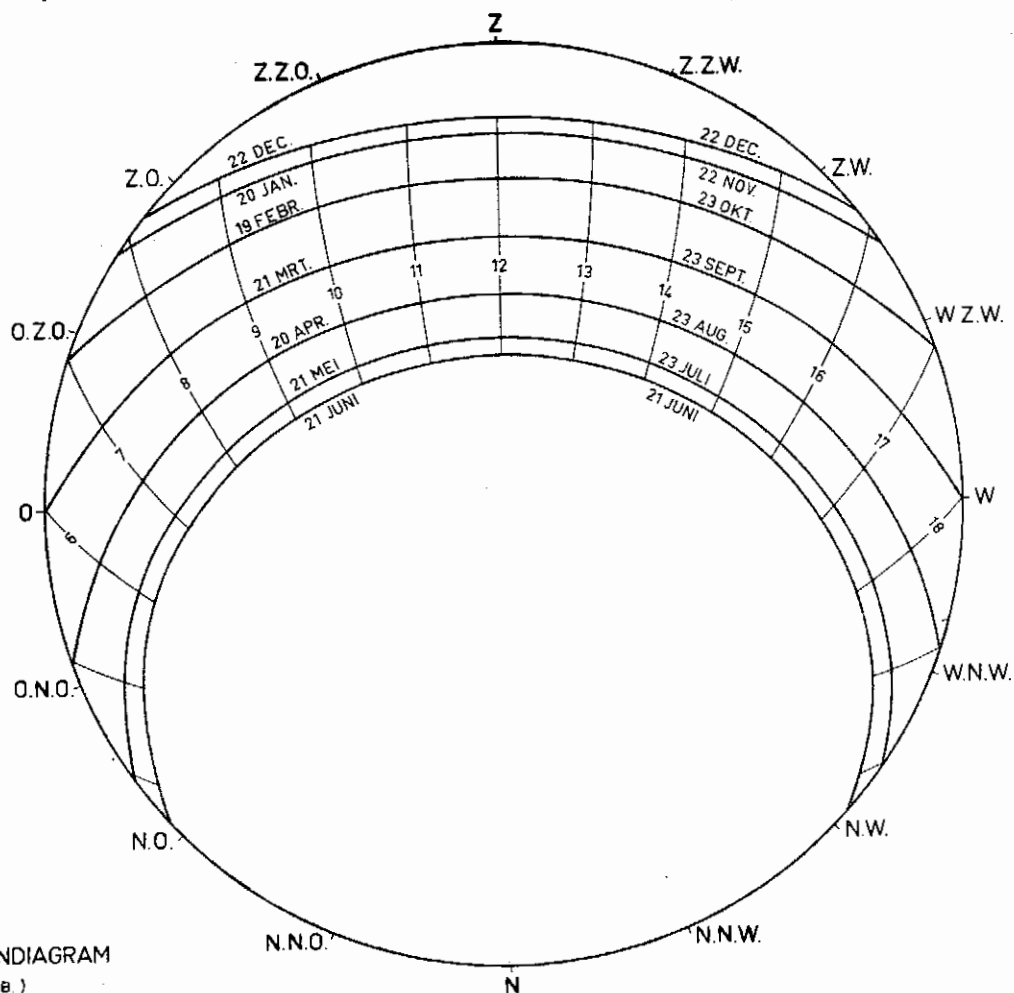


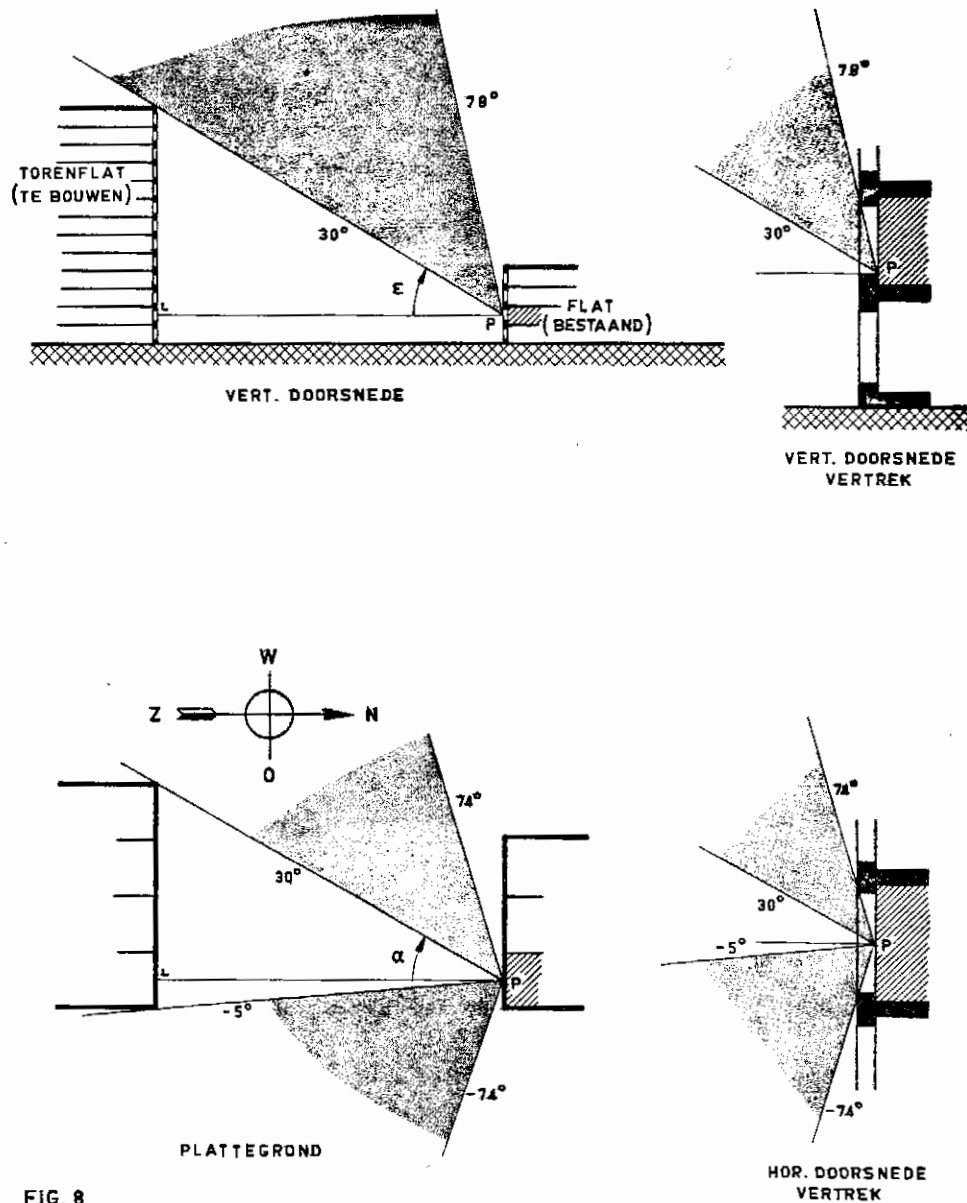
FIG. 7

ZONNEBANENDIAGRAM  
(52° N B.)

## VOORBEELD 1

Gegeven:

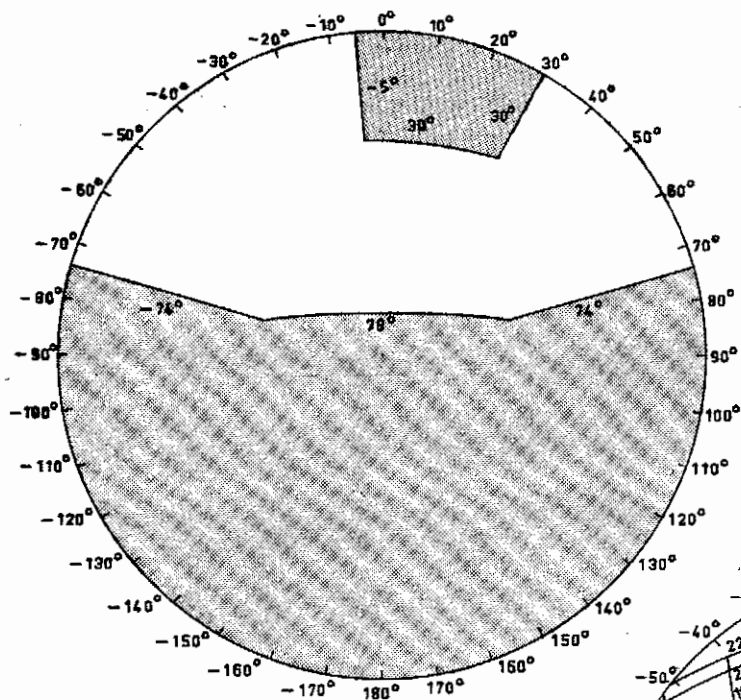
Een vertrek in een flat met een raam op het zuiden, waartegenover een nog te bouwen torenflat (fig. 8)



Gevraagd:

Wat is op ongeveer de 21e van iedere maand de mogelijke bezonningsduur van een punt P, gelegen op het midden van de vensterbank, indien de torenflat overeenkomstig de situatietekening zou worden gebouwd.

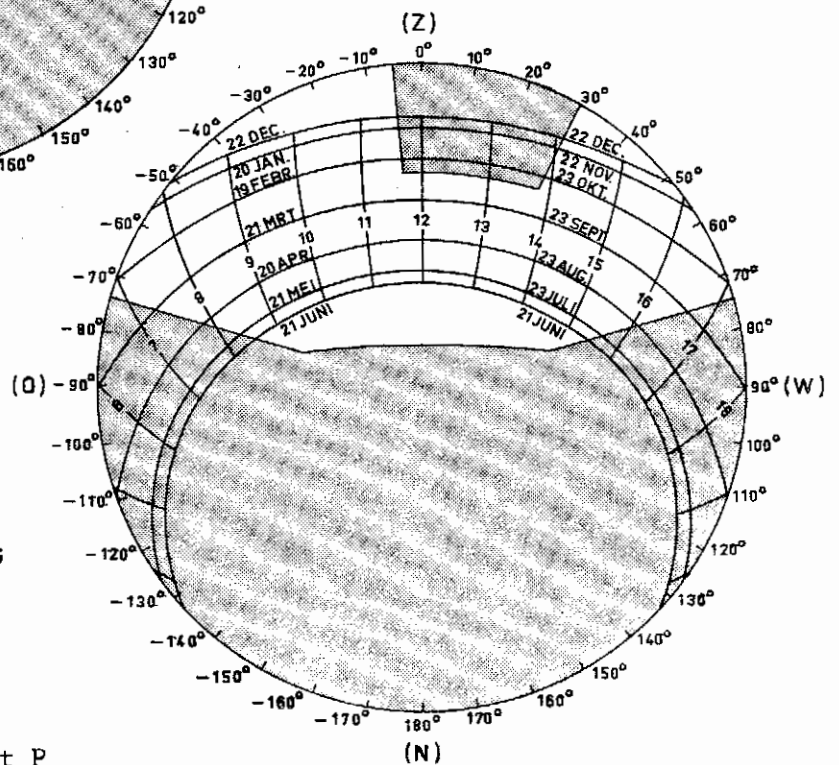




INGETEKENDE BELEMMERING

FIG. 9

BEPALING BEZONNING



Uitkomsten:

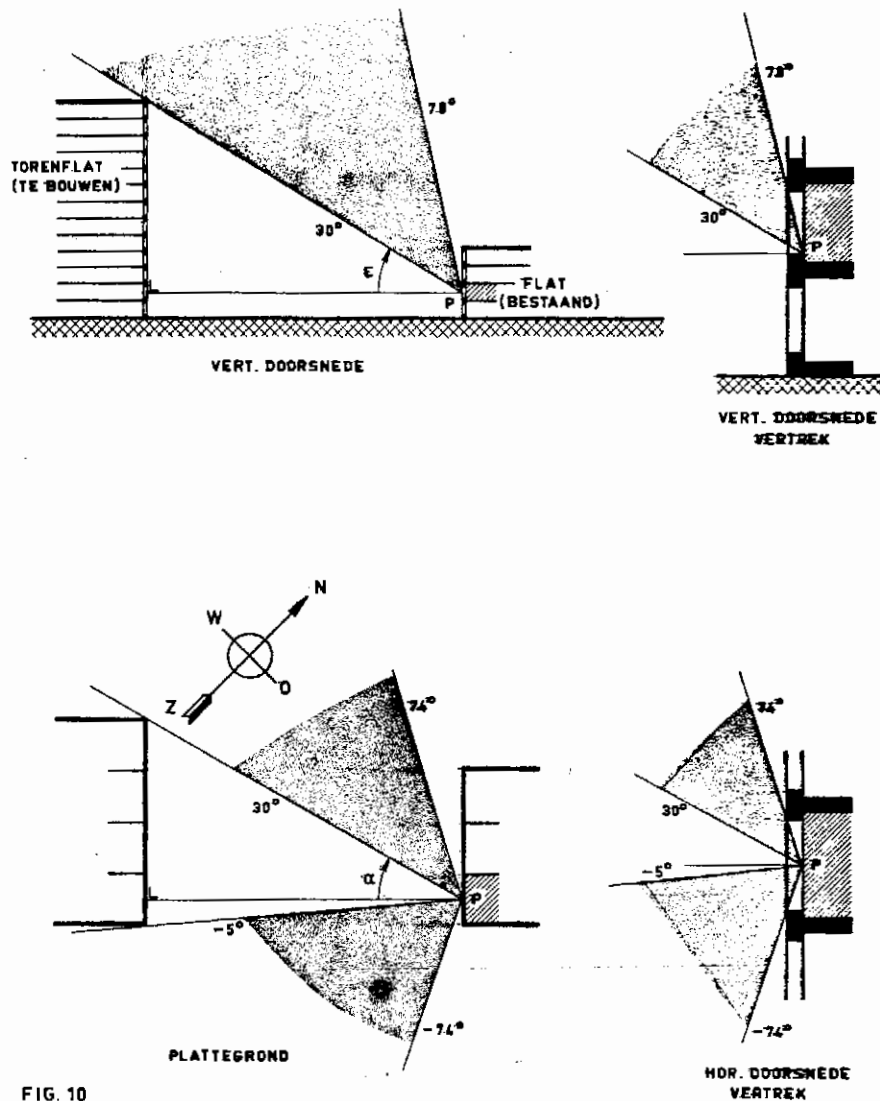
mogelijke zonbestraling in punt P

datum	tijdstippen	totale duur
22 december	8.20-11.35 14.10-15.40	4 uur 45 min.
20 jan. en 22 nov.	7.55-11.35 14.00-16.05	5 uur 45 min.
19 feb. en 23 okt.	7.00-11.40 13.50-17.00	7 uur 50 min.
21 mrt. en 23 sept.	7.20-16.40	9 uur 20 min.
20 apr. en 23 aug.	7.55-16.05	8 uur 10 min.
21 mei en 23 juli	8.20-15.40	7 uur 20 min.
21 juni	8.30-15.30	7 uur 0 min.

## VOORBEELD 2

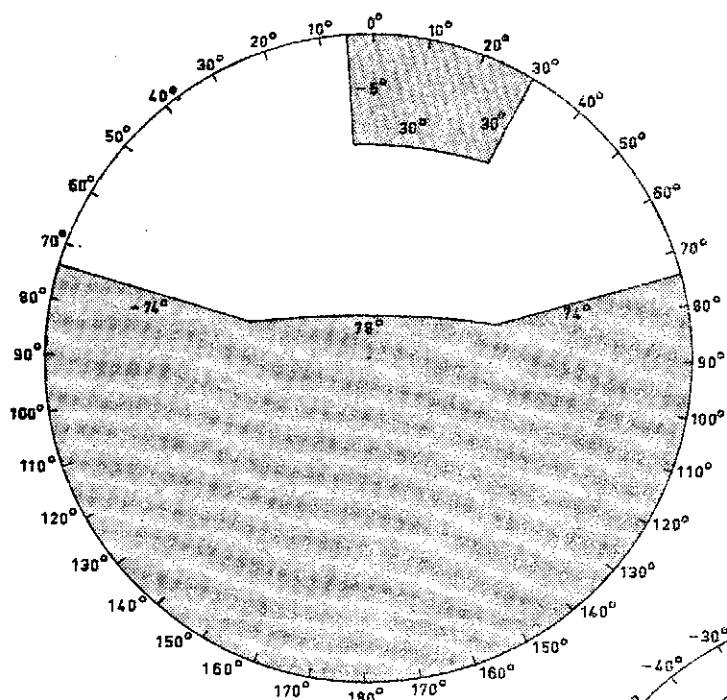
Gegeven:

Dezelfde situatie als in het voorgaande voorbeeld, het raam is echter op het zuid-westen gelegen (fig. 10).



Gevraagd:

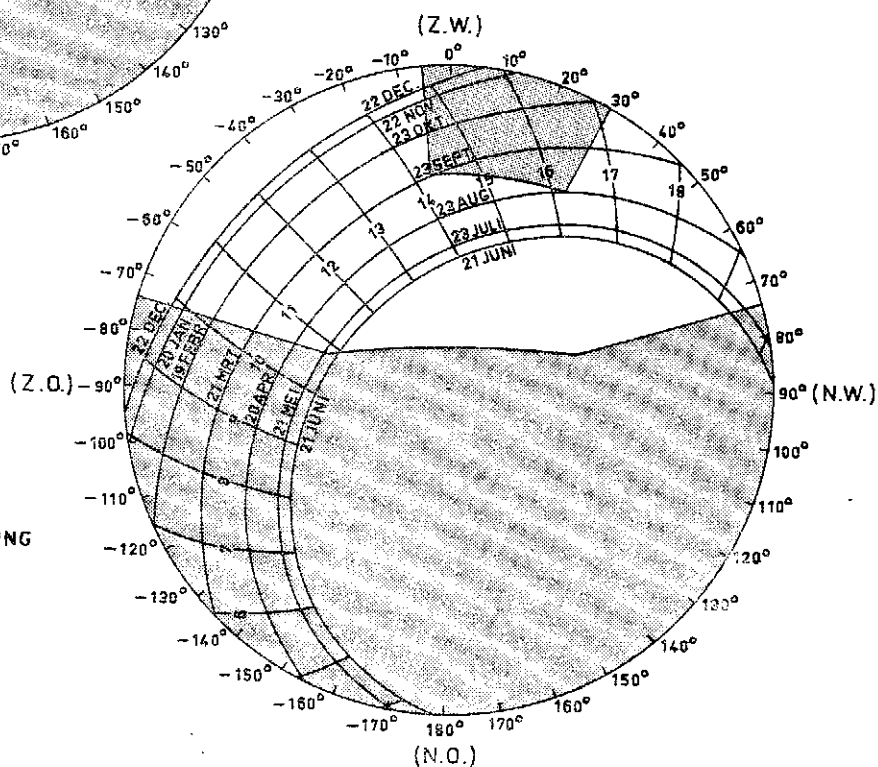
Wat is op ongeveer de 21e van iedere maand de mogelijke bezonningsduur van een punt P, gelegen op het midden van de vensterbank, indien de torenflat overeenkomstig de situatietekening zou worden gebouwd.



INGETEKENDE BELEMNERING

FIG. 11

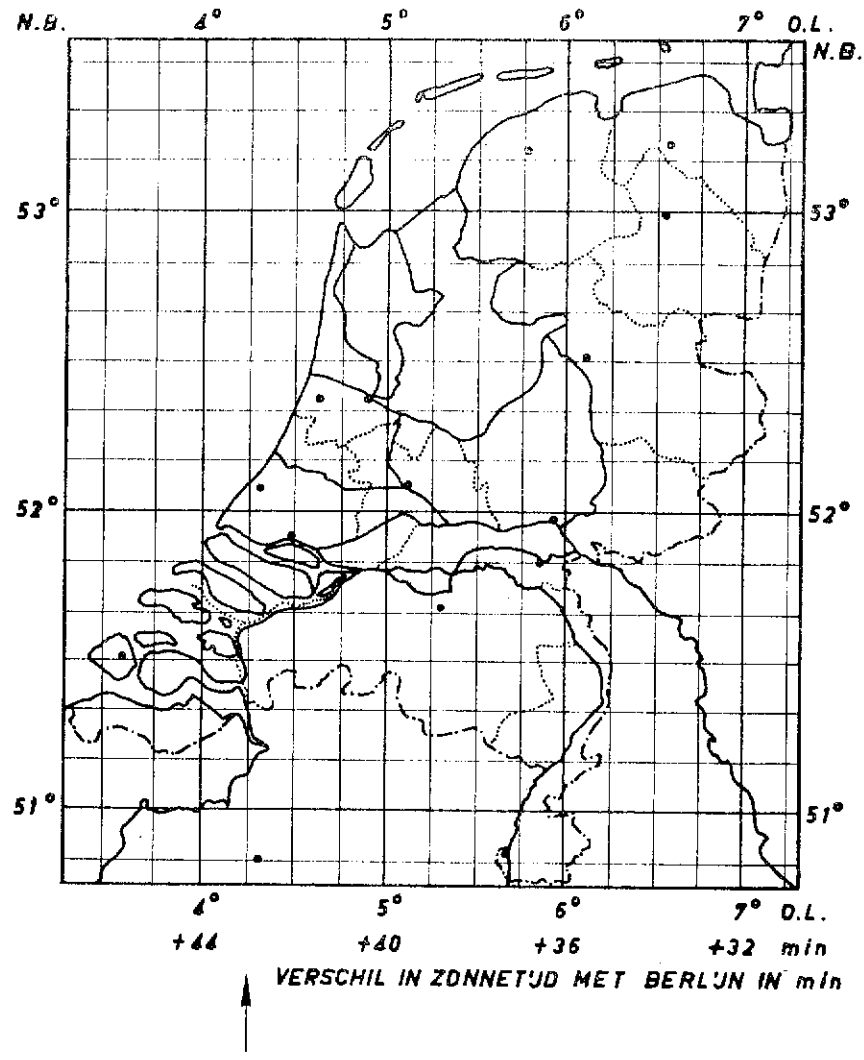
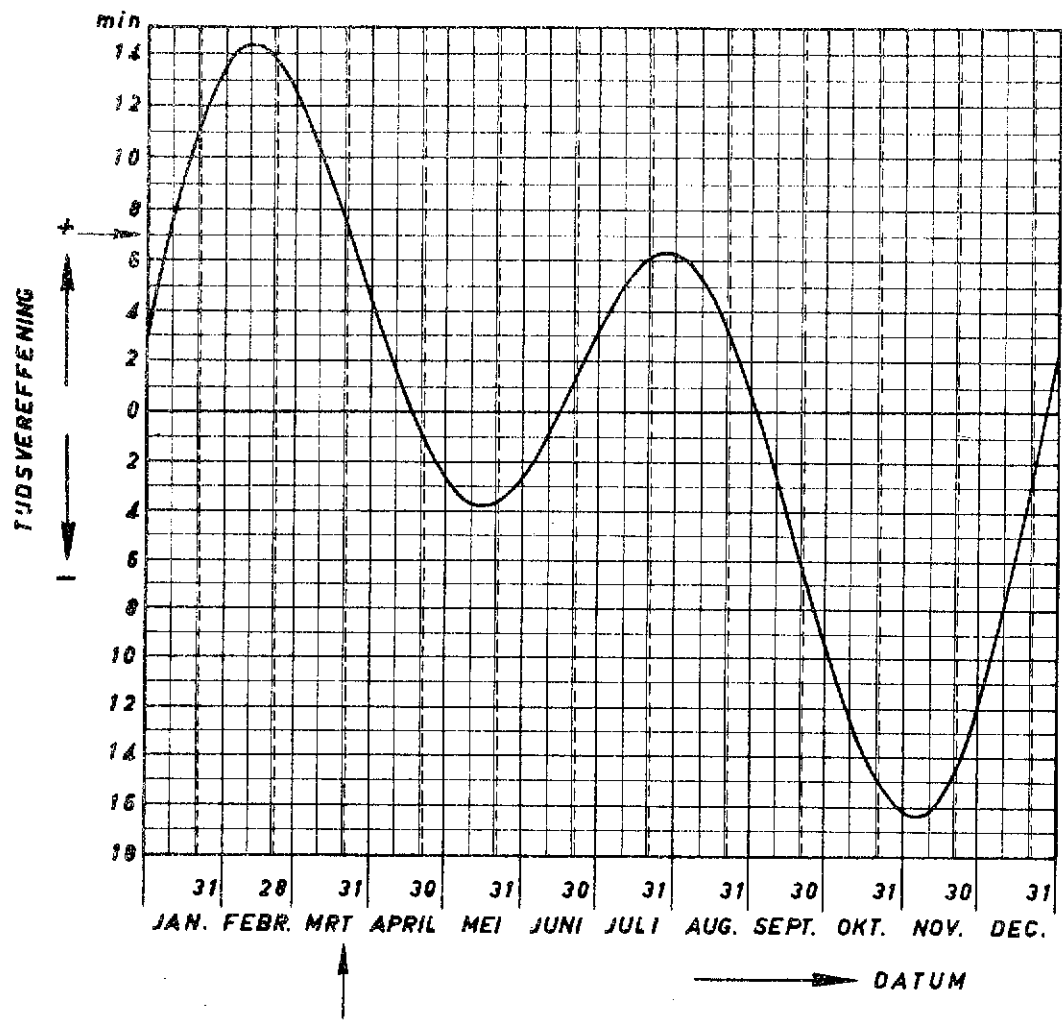
BEPALING BEZONNING



Uitkomsten:

mogelijke zonbestraling in punt P

datum	tijdstippen	totale duur
22 december	9.50-14.55	5 uur 5 min.
20 jan. en 22 nov.	9.55-14.50	4 uur 55 min.
19 feb. en 23 okt.	10.10-14.30	4 uur 20 min.
21 mrt. en 23 sept.	10.25-14.30 16.40-18.00	5 uur 25 min.
20 apr. en 23 aug.	10.35-19.00	8 uur 25 min.
21 mei en 23 juli	10.50-19.55	9 uur 5 min.
21 juni	11.00-20.15	9 uur 15 min.



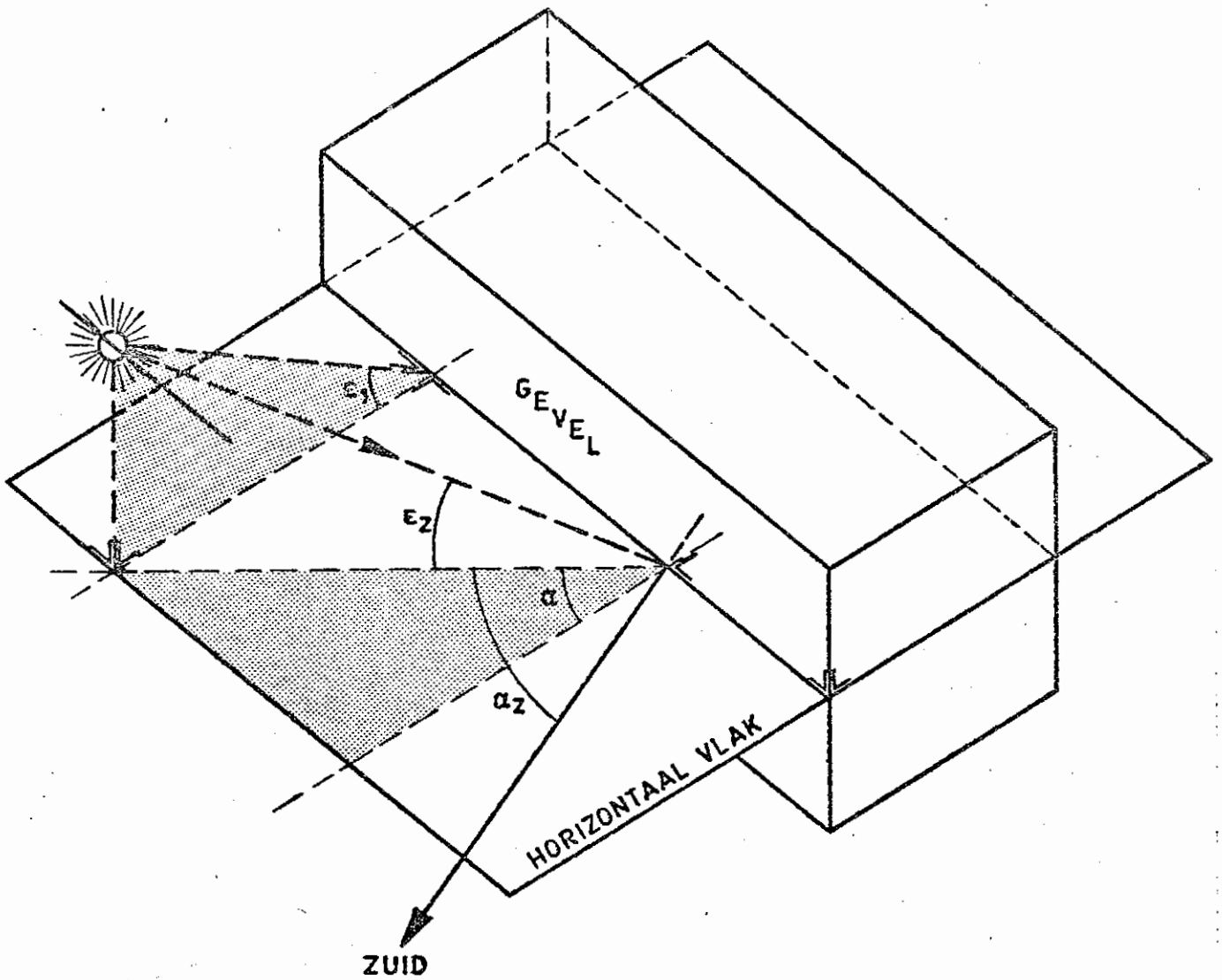
KLOKKETJD IN NEDERLAND (M.E.M.T.) = ZONNETJD TER PLAATSE + VERSCHIL IN ZONNETJD MET BERLJN + TIJDSVEREFFENING.

HET VERSCHIL IN ZONNETJD MET BERLJN IS AFHANKELJK VAN HET LENGTE-VERSCHIL (ZIE FIG. 2)

DE TIJDSVEREFFENING IS AFHANKELJK VAN DE DATUM (ZIE FIG. 1)

VOORBEELD: GEGEVEN DE ZONNETJD IN DELFT OP 21 MRT = 9.30 DE KLOKKETJD ZOU DAN ZJN : 9.30 + 7 min + 43 min = 10.20 uur

13/4/43



$\alpha_2$  = zonsazimuth in graden t.o.v. zuiden (gemeten in het horizontale vlak)

$\epsilon_2$  = zonshoogte in graden (gemeten in het verticale vlak)

$\alpha$  = zonsazimuth in graden t.o.v. de normaal op de gevel (gemeten in het horizontale vlak)

$\epsilon_1$  = zonshoogte in graden, gezien in loodrechte projectie op de gevel (gemeten in het verticale vlak)

$$\text{tg } \epsilon_1 = \frac{\text{tg } \epsilon_2}{\cos \alpha}$$

ZONSAZIMUTH EN ZONSHOOGTE INVERBAND MET BESCHADUWING

# 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 Stromingstechniek 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 stedenbouwkundigen 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 stedenbouw, 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 stedenbouwkundigen 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 stedenbouwkundige 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 verstoring 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

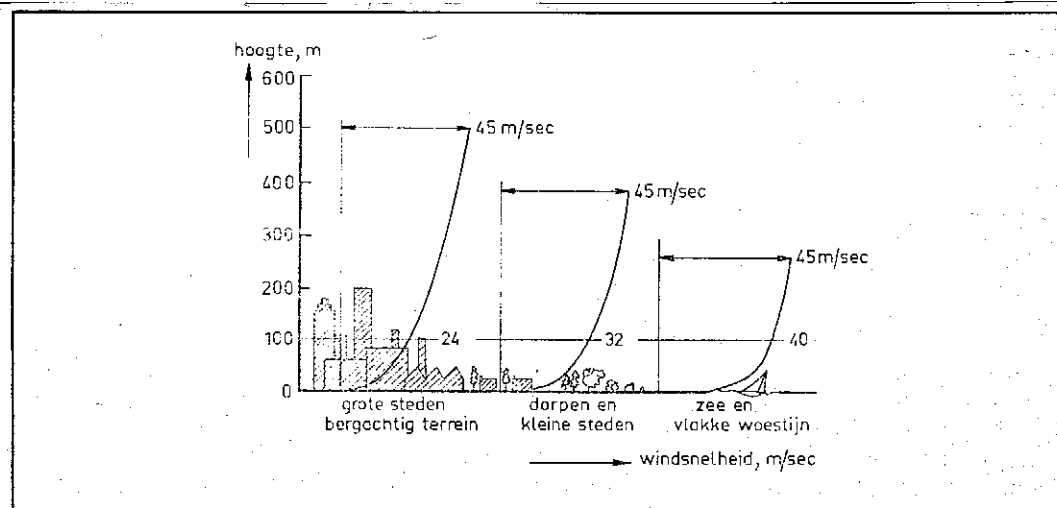
heeft tot gevolg, dat de snelheid bij de grond erdoor onregelmatig zowel vertraagd als versneld, als van richting veranderd wordt, zodat vlagen of rukwinden ontstaan. Boven zee en vlak terrein is de wind veel constanter dan boven steden en begroeide heuvelachtige landschappen, omdat de obstakels in het 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.

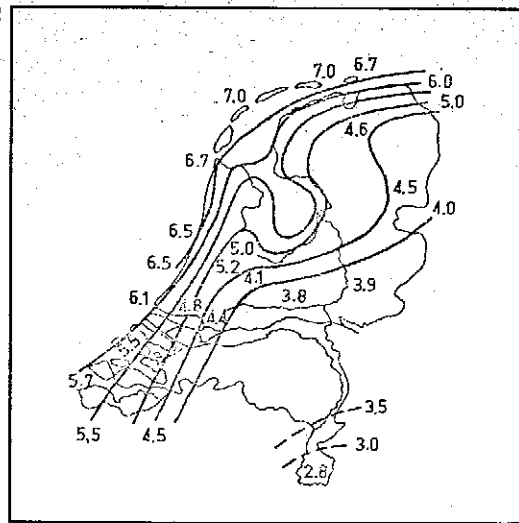
De invloed van deze wervels op de luchtstroming is hier te lande zodanig, dat in verticale zin windrichtingsafwijkingen tot  $\pm 6^\circ$  kunnen voorkomen en in dwarsrichting tot  $\pm 12,5^\circ$ , terwijl de windsnelheid variaties van  $\pm 25$  pct. ten opzichte van de gemiddelde snelheid kan vertonen.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

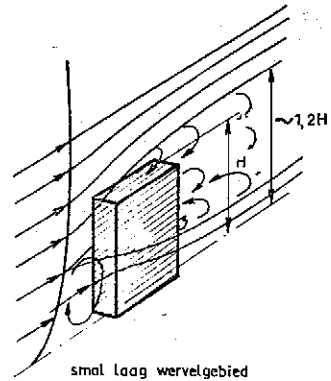




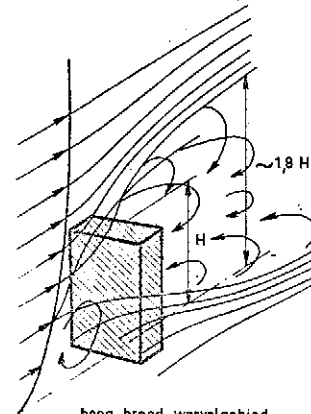
Daar de plaatselijke windsnelheden langs de gevels en om de hoeken van een gebouw direct afhangen van die drukverschillen, zijn de verhoogde snelheden die door de verdringing van de luchtstromingen om een gebouw ontstaan, bij de grond bijna even groot als op tweederde van de gebouwhoogte. Door het verticale 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 bovenzijden 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

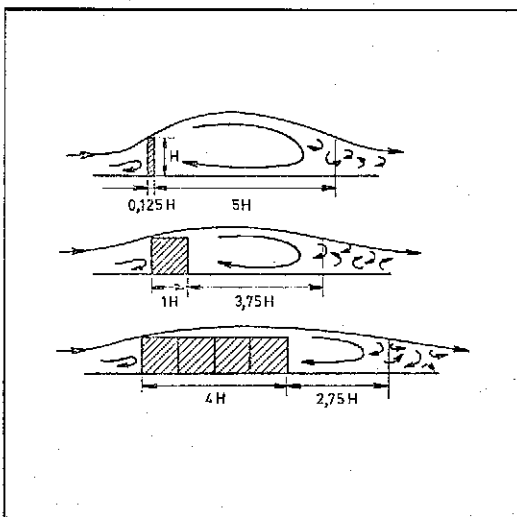


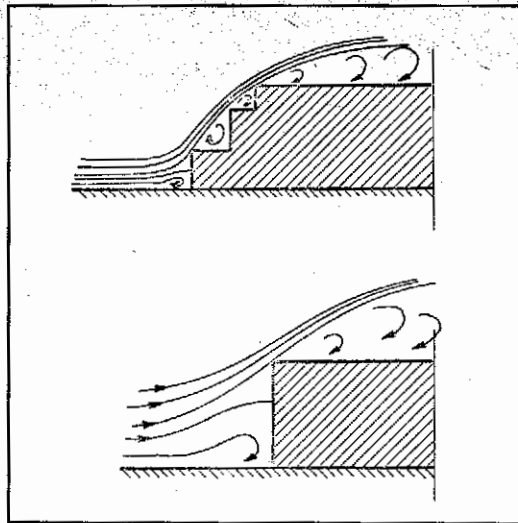
hoog breed wervelgebied

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 stroomlijnform. 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 getrapte 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  $1,5 \times 1,5 \times 15 \approx 35$  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  $30^\circ$  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 lichtstraal die aan de lijzijde van het gebouw uit zo'n trekpat 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

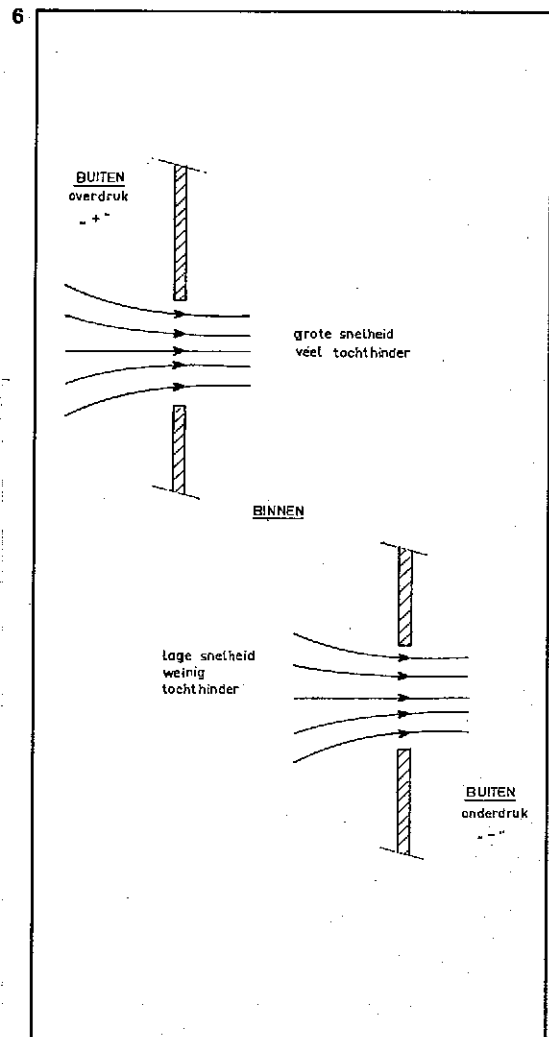
Hinderlijke tochtverschijnselen – dat zijn min of meer gerichte luchtstromingen – zullen zich in een gebouw voordoen, indien er aan verschillende zijden grote openingen zijn zoals openstaande deuren en ramen, in- en uitritten voor auto's en fietsers e.d. en wanneer er weinig weerstanden tegen de luchtstroming 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).

#### Ventilatiemoelijkheden

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, O<sub>2</sub>-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 dakhöhe.

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 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/m<sup>2</sup>. 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 bouwdelen 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 geweldige 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.

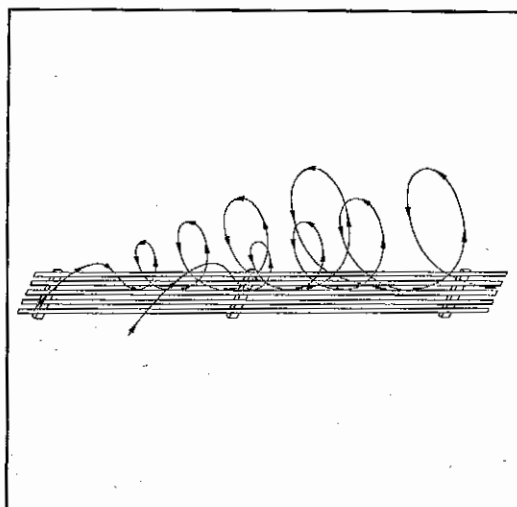
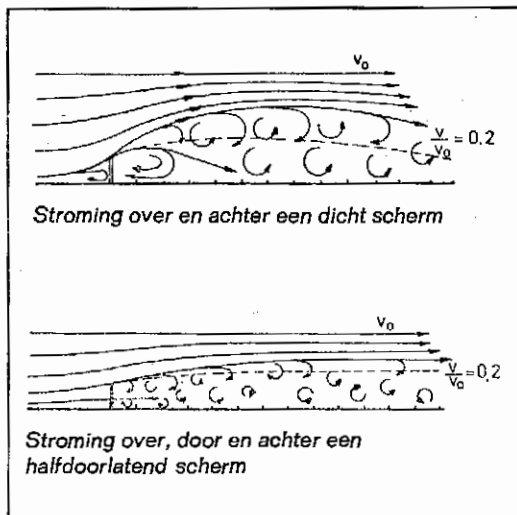
### Windhinder

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.

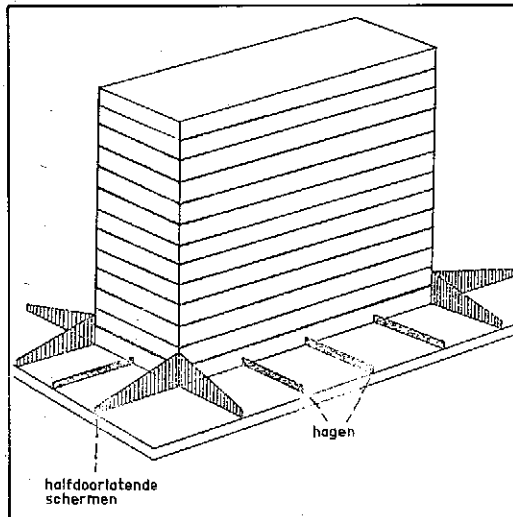
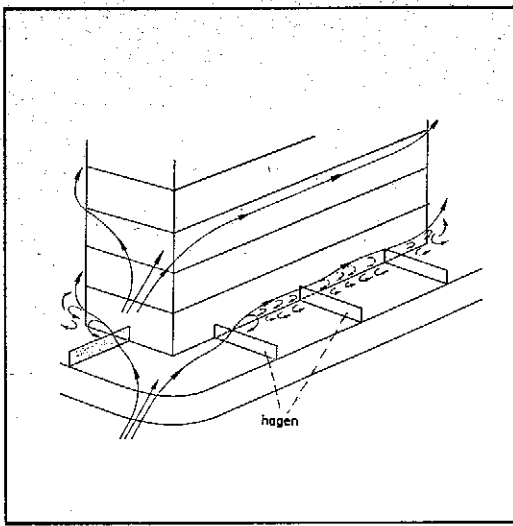


Speelplaatsen, plantsoenen, e.d. tussen hoge flatgebouwen kunnen op dezelfde wijze door hagen of bosschages, die op bepaalde afstanden van elkaar opvolgen, worden afgeschermd. Hierbij dient er wel aan gedacht te worden dat de buitenste bosschages breder en dichter moeten zijn dan de daarop volgende omdat 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 tochthinderprobleem 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 trappenhuisen aan alle kanten door tochtdeuren te zijn afgesloten. Verder moeten ook speciale afdicht- en wentelconstructies (labrynten in de spouwen, tuimelramen met diverse draaiassen, draai- deuren 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, gevelver-springingen 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 wind-drukken op hun diverse gevels kan men in zeer hoge gebouwen geen natuurlijke ventilatie toe-passen. Ook gedeeltelijk kunstmatige ventilatie is ongeschikt om het interne klimaat te beheer-sen. 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 schoorsteentrek-ventilatoren om slechte kachelwerking te voor-komen.

Bij de hoge gebouwen zelf moeten voor de ge-deeltelijk kunstmatige luchtverversing ventila-tieschachten worden aangebracht. Omdat op de bovenste verdiepingen de onderdrukken ten opzichte van de barometerdruk groter zijn dan meer naar beneden, dienen de bovenste bouw-lagen aparte schachten te krijgen. Bovendien mogen de verschillende bouwlagen in verband hiermede niet met elkaar in open verbinding staan via trappenhuisen e.d., daar dit tot on-gewenste verticale luchtverplaatsingen zou lei-den.

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 onmo-gelijk 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-

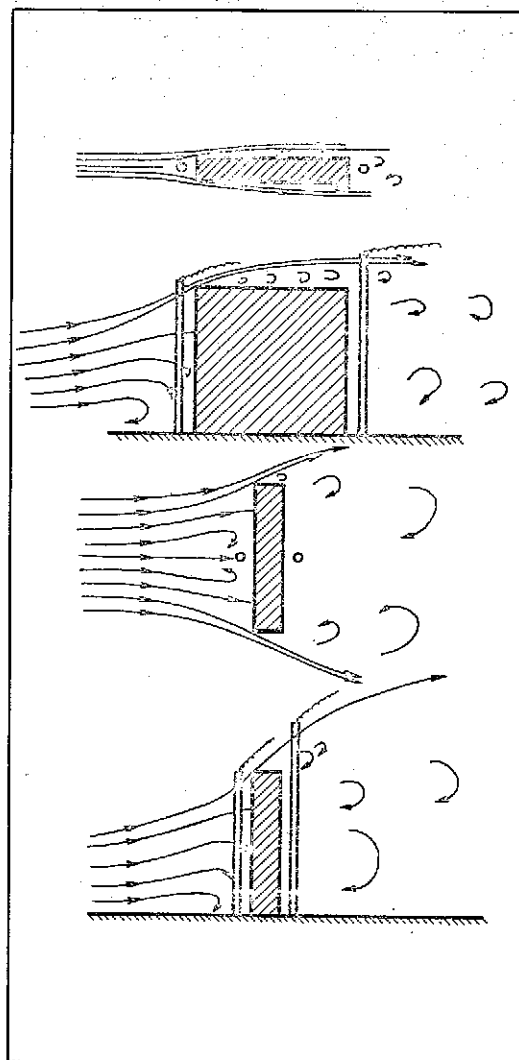
verversing of airconditioning is dit echter ook noodzakelijk in verband met de mogelijke tegenwerkende winddrukken op de aanzuig- en uitblaasopeningen van deze systemen. De beste oplossing is, dat de aanzuigopeningen worden geplaatst op ongeveer halve hoogte midden in een lange gevel aan de windzijde 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 rookuitblaas-snelheid. Achter de schoorsteen kan dan een 'rookvlag' ontstaan van 3 tot 10 schoorsteen-diameters 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 geprofileerde 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 mindert 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 bouwfasen, 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.

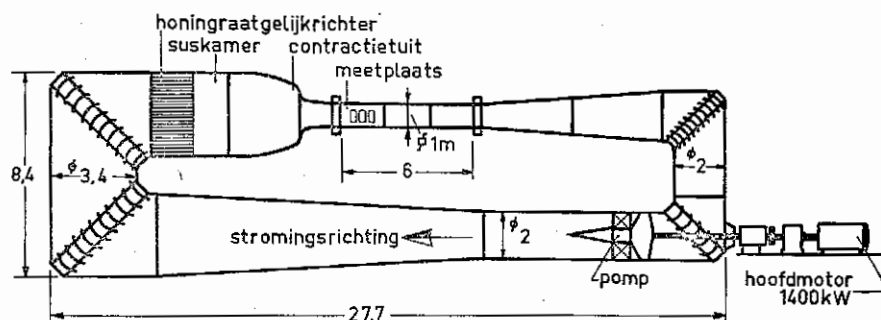
Daar het echter nog wel jaren zal duren voordat in deze tunnels de diverse researchprogramma's zijn uitgewerkt, waaruit duidelijke

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 ontwerpfasen 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 beschut 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 opeen 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 beschut; niet alleen aan de zijkanten 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 toechthinder.
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 gebouwszijden 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 ongelukken.

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 puin, 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.



