

Een voorstudie naar de mogelijkheden de windlast op luchtroosters te berekenen

Citation for published version (APA):

Rienstra, S. W. (1992). *Een voorstudie naar de mogelijkheden de windlast op luchtroosters te berekenen*. (IWDE Report; Vol. 92-10). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1992

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.



Technische
Universiteit
Eindhoven

Instituut Wiskundige Dienstverlening Eindhoven

Report IWDE 92-10

Een voorstudie naar de mogelijkheden
de windlast op luchtroosters te berekenen

S.W. Rienstra



Den Dolech 2
Postbus 513
5600 MB Eindhoven

Oktober 1992

Report IWDE 92-10

Een voorstudie naar de mogelijkheden
de windlast op luchtroosters te berekenen

S.W. Rienstra

Oktober 1992

1. Samenvatting.

Een studie is gemaakt naar de mogelijke mathematische modellering van de luchtstroming om en door een in een muur geplaatst luchtrooster, om de resulterende belasting bij maximale wind te kunnen voorspellen. Na gesprekken met professor J.A. Wisse (Bouwkunde) en dr. A. Hirschberg (Natuurkunde), en een beperkte literatuurstudie is de conclusie dat de wiskunde niet het hoofddeel van het probleem vormt. De waarde en geldigheid van mogelijke mathematische modellen hangen nog sterk af van specifieke fysische kennis op het gebied van turbulente stromingen rond driedimensionale objecten, en noodzakelijke experimenten. Modellen voor deelproblemen als de om- en doorstroming van een rooster bij gegeven aanstroming zijn *wel* mogelijk, en kunnen overwogen worden als vervanging voor of aanvulling op deel-experimenten, maar zonder aanvullende informatie kan nog niet duidelijk zijn of de resultaten hiervan kunnen leiden tot adviezen voor veilige ondergrenzen voor grote klassen configuraties, en aldus DIN of NEN normen kunnen vervangen.

2. Inleiding.

Bovema Konstrukties B.V. (Milsbeek) produceert, onder andere, luchtroosters (typische afmeting $2 \times 3 \text{ m}^2$) met horizontale lamellen (typische afmeting $0.15 \times 3 \text{ m}^2$). Deze lamellen zijn bedoeld om regen e.d. buiten te houden en zijn daarom geplaatst onder een hoek van ongeveer 45° . De luchtroosters worden geplaatst in een buitenmuur van een gebouw, en kunnen fungeren als ventilatierooster voor bijv. een luchtverversingsinstallatie. Bij sommige typen zijn de lamellen verstelbaar waardoor het rooster kan worden afgesloten.

Door de niet ideale vorm van de lamellen kan er bij om- en doorstroming van wind drukverschil over de lamellen ontstaan waarop de constructie voorbereid moet zijn.

De thans gehanteerde ruwe schatting voor de kracht die maximaal op het rooster kan komen te staan als gevolg van windbelasting is de DIN 1055 T4 norm voor gesloten muurdelen. De norm gaat kennelijk niet in op half-open muurdelen. Opgemerkt moet worden dat de nieuwe NEN 6702 (hoofdstuk 8.6) ([1]) moderner is, en in (8.6.4.6) ingaat op open constructies zoals vakwerken.

De voorgelegde vraag is of bovengenoemde schatting gebaseerd op gesloten muurdelen een over- dan wel een onderschatting van de werkelijkheid is, en of de afwijking zo groot is dat het de moeite waard is deze schatting te verbeteren. En tenslotte of een verbetering geheel met wiskundige methoden is te realiseren, dan wel dat experimenten de basis moeten vormen.

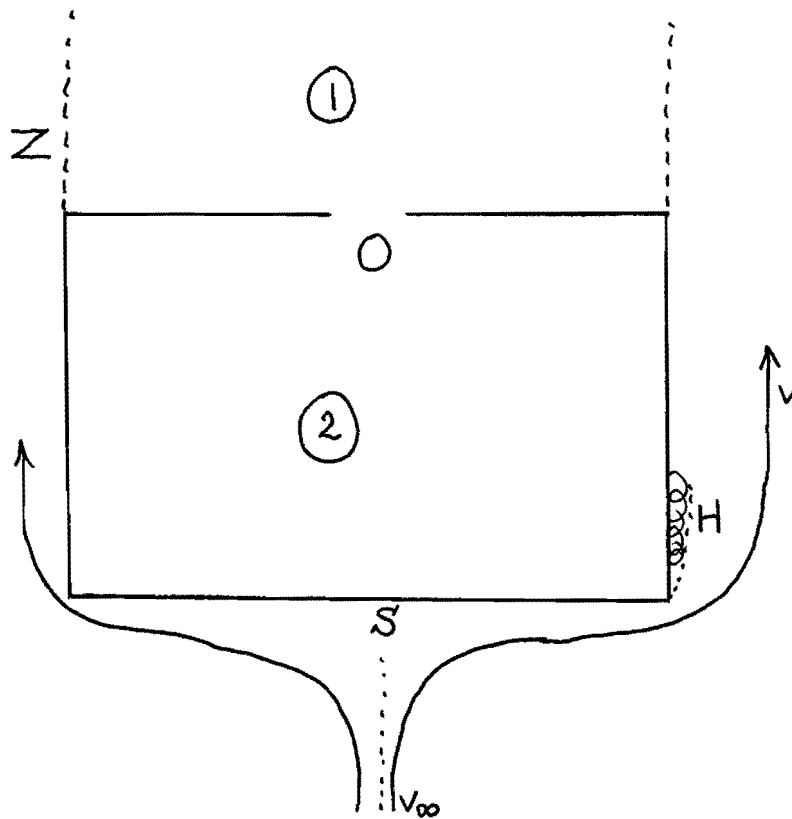
3. Basisbegrippen

De relatie tussen druk p en (absolute) snelheid v op hoogte z in zwaartekrachtveld $-g\vec{e}_z$ in een stationaire wrijvingsloze incompressibele stroming met dichtheid ρ is de wet van Bernoulli:

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z = \text{constant langs een stroomlijn.}$$

Voor atmosferische omstandigheden met turbulente (tijdsafhankelijke) fluctuaties en niet volledige afwezigheid van viscositeit is deze wet niet exact geldig, maar hij fungeert goed om trends aan te geven en verschijnselen kwalitatief te verklaren.

Beschouw figuur 1, voorstellende een gebouw aangestroomd door wind met ~~maxi-~~^{initieel} snelheid v_∞ , druk p_∞ en dichtheid ρ_∞ . Op het stuwpunt S is de snelheid nul en de druk



Figuur 1. Gebouw aangestroomd door wind.

$$p_S = p_\infty + \frac{1}{2}\rho_\infty v_\infty^2 > p_\infty$$

Aan de hoek H is als gevolg van de z.g. oversnelheid v_H de druk gelijk aan

$$p_H = p_\infty - \frac{1}{2}\rho_\infty (v_H^2 - v_\infty^2) < p_\infty.$$

In het zog Z is de snelheid weer gelijk aan v_∞ zodat de druk in ①, en dus ook via opening O in ②, gelijk is aan p_∞ . Het gevolg is een overdruk (resultierend in een naar binnen gerichte kracht) in S en een onderdruk (resultierend in een naar buiten gerichte kracht) in H .

Om één en ander dimensieloos weer te geven wordt de drukcoëfficiënt ingevoerd:

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2}\rho_\infty v_\infty^2}.$$

Deze is (idealiter) initieel gelijk aan 0, in S gelijk aan 1, in H negatief, en in Z , ① en ② weer gelijk aan 0.

Voor gesloten wanden is er aldus wel iets te zeggen over de krachten die kunnen ontstaan bij windbelasting (zie [1]). De maximale windsnelheden op de verschillende hoogten zijn bekend. De lokale snelheden (zoals v_H) zijn afhankelijk van de geometrie, en kunnen geschat worden. Opening O op andere posities delen de lokale druk analoog mee aan het inwendige ②. Desalniettemin moet toch met nogal wat onzekerheden rekening worden gehouden.

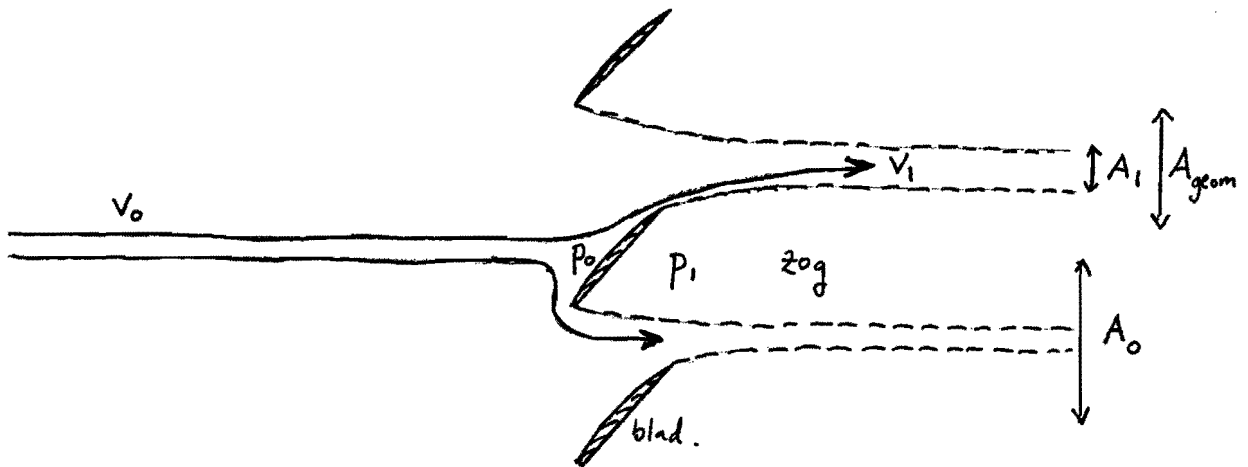
Indien in een wand een rooster wordt geplaatst wordt het aantal onzekerheden nog weer groter. Door het drukverschil ontstaat een stroming door het rooster. Als er geen opening O is, en er geen drukgradient parallel aan de roosterwand staat zal de druk binnen en buiten gelijk worden (drukvereffening) en zal er dus *geen* kracht staan op het rooster. Als er wel een opening O is zal afhankelijk van de effectieve porositeit van het rooster het externe stromingspatroon zich min of meer wijzigen en zal een deel van de stroming binnendoor gaan. In het niet zo waarschijnlijke geval dat de stroming langs de roosterbladen ideaal is (geen loslating) zal de drukval verwaarloosbaar zijn (mogelijk enige lift), en zal er dus *geen* kracht op het rooster staan. In werkelijkheid zal de stroming waarschijnlijk wel loslaten en staat er een drukverschil over de bladen.

Als in een geïdealiseerde configuratie (figuur 2) bij een snelheid v_0 van de ingaande stroming (niet noodzakelijk gelijk aan de snelheid van de langs het gebouw strijkende stroming) de effectieve doorsnede verkleining per doorsnede A_0 gelijk is aan A_1 , dan is daardoor de bereikte snelheid $v_1 = v_0 A_0 / A_1 > v_0$, en dus de zogdruk

$$p_1 = p_0 - \frac{1}{2}\rho_0(v_1^2 - v_0^2) < p_0$$

zodat er een kracht staat over het roosterblad. (Deze kinetische energieverhoging gaat verloren als warmte doordat verderop het zog turbulent wordt en het snelheidsprofiel weer uitmiddelt tot een vlak profiel.) Dit drukverlies heet dimensieloos de drukverliescoëfficiënt [2]

$$K = \frac{p_0 - p_1}{\frac{1}{2}\rho_0 v_0^2} = \frac{A_0^2}{A_1^2} - 1.$$



Figuur 2. Stroming langs en tussen roosterbladen.

en is een functie van geometrie en Reynoldsgetal.

Merk op dat door massa-traagheidseffecten van de stroming (vena contracta - effect) het effectieve doorlatend oppervlak A_1 kleiner is dan het geometrisch opengelaten oppervlak (behalve bij zorgvuldig gestroomlijnde roosterbladen). Met andere woorden, de effectieve porositeit

$$\alpha_{eff} = A_1/A_0$$

is meestal kleiner dan de geometrische porositeit

$$\alpha = A_{geom}/A_0.$$

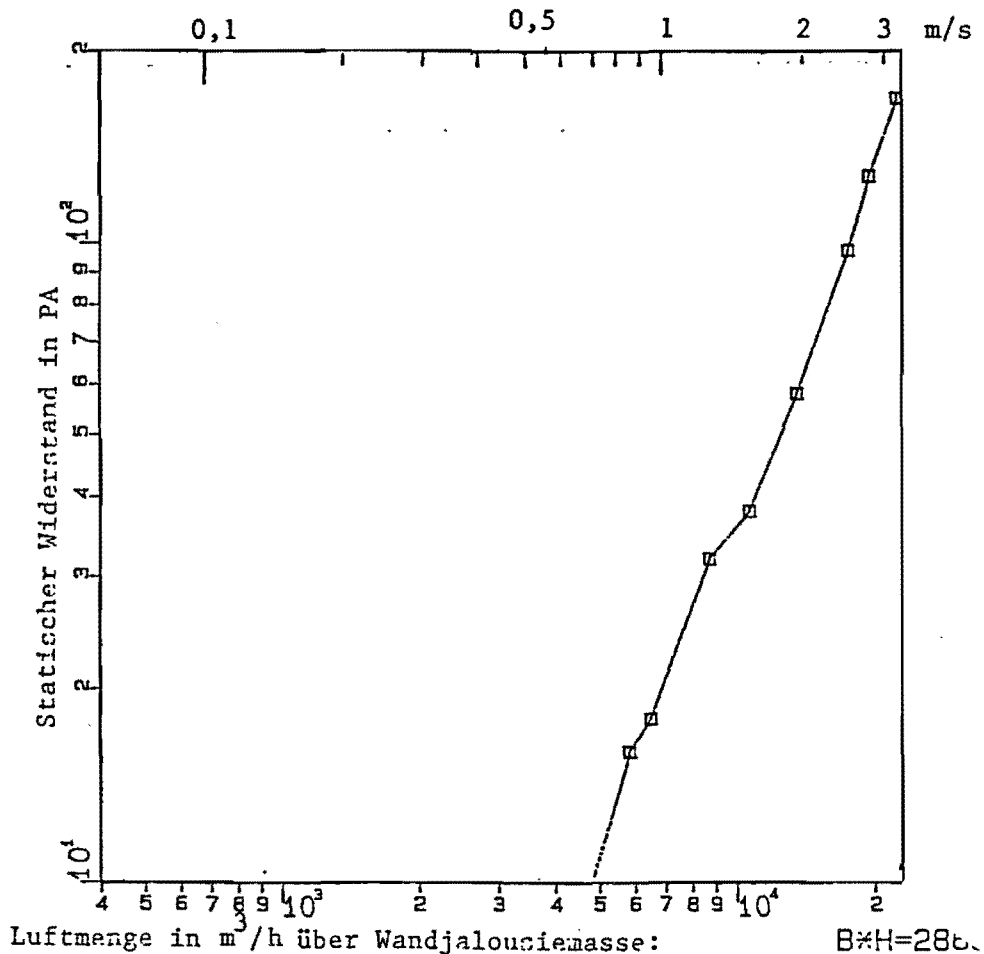
Voor sommige configuraties kan de afhankelijkheid van K van α geschikt worden geschreven analoog aan de exacte vorm in termen van α_{eff} , namelijk

$$K = \frac{1}{\alpha_{eff}^2} - 1 = \beta \left(\frac{1}{\alpha^2} - 1 \right)$$

waarbij β een (niet te sterk) variërende "correctie" factor is. Bijvoorbeeld, voor een scherm bestaande uit (niet te dunne) cilindrische staven is $\beta = 0.52$ (zie [2]).

4. Weerstandmeting Peutz.

Uit de door Adviesbureau Peutz & Associates B.V. uitgevoerde weerstandsmeting ("Berichtnr. A288-1, figuurnr. 3.1") kan de effectieve porositeit worden teruggerekend (figuur 3). Op het interval $v_0 = 1.5 \dots 3$ m/s (met $p_0 - p_1 = 172.4 \dots 39$ Pa) is de



Figuur 3. Drukverlies als functie van doorstromsnelheid.

relatie tussen de drukval $p_0 - p_1$ en doorstromsnelheid v_0 heel netjes kwadratisch, en volgt voor een geschatte waarde van dichtheid $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$ een drukverliescoëfficiënt van $K = 27.4$, en een effectieve porositeit

$$\alpha_{eff} = 0.187$$

Zoals gezegd, deze vrij lage porositeit (weinig doorlaatbaar) betekent nog niet dat het rooster lijkt op een volledig gesloten plaat.

5. Rooster en dichte plaat vergeleken.

De kracht op een dichte plaat ontstaat door een drukverschil tussen *binnen* en *buiten*. Dit verschil kan ontstaan doordat *binnen* in verbinding staat met een ander deel van de stroming waar een andere snelheid en dus druk heerst. Een overdruk buiten ontstaat bijvoorbeeld bij een stuwpunt, een onderdruk buiten ontstaat bij een hoek waar oversnelheden ontstaan.

Als we de plaat doorlaatbaar maken brengen we *binnen* en *buiten* met elkaar in verbinding zodat het drukverschil kan verdwijnen. Als echter *binnen* in vrije verbinding blijft met een reservoir van lagere druk zal er een stroming ontstaan door het rooster heen waarbij door de snelheidstoename gecombineerd met loslating achter de roosterbladen weer een drukverschil (\Rightarrow kracht) over de bladen ontstaat. Dit drukverschil schaalt ruwweg op v_0^2/α_{eff}^2 waarbij v_0 de snelheid door het rooster is en α_{eff} de effectieve porositeit. Deze relatie zegt ons echter nog niets over mogelijk optredende drukverschillen. Het probleem is dat een geringe porositeit niet noodzakelijk leidt tot een groot drukverschil (behalve in de limiet voor $\alpha_{eff} = 0$, maar dan om een andere reden) omdat een geringe porositeit tevens de buitenstroming meer *om* het gebouw doet gaan en dus v_0 *ook* kleiner maakt. Als we, om de gedachten te bepalen, even aannemen dat het inkomende deel van de stroming evenredig is met de porositeit blijft bovenstaande verhouding dus juist constant.

Het is duidelijk dat de koppeling van de externe stroming, de omstroming van het rooster, en de interne stroming in het gebouw buitengewoon ingewikkeld kan zijn.

Turbulente fluctuaties in de stroming kunnen één en ander nog verder compliceren omdat voor frequenties hoger dan, zeg, een paar Hertz de looptijd van een drukgolf door het interne systeem van het gebouw te lang is om de interne stroming zich instantaan te laten aanpassen. Bovendien kunnen flutter en andere aërodynamische instabiliteiten de omstroming om het rooster verder onvoorspelbaar maken.

6. Mogelijke mathematische modellen.

Om het probleem van de optredende krachten op een roosterblad mathematisch op te lossen moeten typische voorkomende stromingen fysisch worden beschreven. Dit is zoals bij vrijwel ieder gecompliceerd stromingsprobleem slechts in bepaalde mate mogelijk.

We kunnen onderscheiden:

- (1) de stroming door het rooster, c.q. om de roosterbladen;
- (2) de buitenstroming om het gebouw;
- (3) de interne stroming in het gebouw;

(4) de onderlinge koppeling;

(5) instationaire effecten.

(1) is waarschijnlijk vrij goed te modelleren met een mathematisch hanteerbaar stationair, niet-visceus vrije stroomlijn model (ref [3]). Dr. A. Hirschberg (Natuurkunde) zegt hiermee bij vergelijkbare gevallen verrassend goede resultaten te hebben.

(2) is alleen zinvol te modelleren met een turbulent model waarbij de atmosferische grenslaag en de geometrie van het gebouw voldoende gerepresenteerd worden. Dit is in het algemeen zeer moeilijk. Er bestaan wel mogelijk geschikte programmapakketten, maar het gebruik ervan leunt zwaar op ervaring en invoer van empirische gegevens, en is dus niet direct geschikt voor de Faculteit Wiskunde en Informatica ([4]). Professor J.A. Wisse (Bouwkunde) heeft hierin ervaring (ref. [5]).

(3) hiervoor kan waarschijnlijk iets heel simpels volstaan.

(4) en (5) zijn waarschijnlijk verder weg gelegen aspecten die pas voor mathematische modellering in aanmerking komen als de hoofdproblemen (1) en (2) goed begrepen en experimenteel gevalideerd zijn.

7. Conclusie.

Een mathematisch model voor probleem (1), de doorstroming door het rooster, is haalbaar binnen de randvoorwaarden van de oorspronkelijke vraag. Hiermee zouden dan bijvoorbeeld resultaten zoals die van het Peutz-experiment theoretisch verkregen kunnen worden.

De vraag die dan echter onopgelost blijft is met welke snelheid het rooster aangestroomd wordt (probleem (2)). Dit moet uit een meer praktisch- of numeriek-experimenteel georiënteerd onderzoek komen.

Bovendien is het waarschijnlijk van belang bij het uiteindelijke ontwerp van het rooster nog andere hieromheen spelende factoren te betrekken. (Zie de appendix met de brief van prof. Wisse).

8. Literatuur

- [1] NEDERLANDS NORMALISATIE INSTITUUT, "NEN 6702 Belastingen en Verformingen", 1e druk, december 1991 (hoofdstuk 8.6).
- [2] BLEVINS, R.D., "Applied Fluid Dynamics Handbook", Van Nostrand Reinhold 1984.
- [3] BIRKHOFF, G. and ZARANTONELLO, E.H., "Jets, Wakes, and Cavities", Academic Press 1957.

- [4] COOK, N.J., "The Designer's Guide to Wind Loading of Building Structures, Part 1 + Part 2", Butterworths, 1985.
- [5] BOTTEMA, M., EGGELS, J.G.M. en WISSE, J.A., Proc. 8th Coll. Ind. Aerodyn., Aachen 1989.

9. Appendix

Brief Professor J.A. Wisse.

Van
Prof.ir. J.A. Wisse

Toestelnummer

Aan
Dr. S.W. Rienstra

Onderwerp

Windbelasting luchtroosters

Datum
3 juli 1992

Nummer
FAGO/JW/NdB/92.242

De vraag kunnen we in twee delen splitsen:

- I. kan de windbelasting geringer worden door een ander ontwerp;
 - II. is de gehanteerde windbelasting van de huidige roosters optimaal.
-
- I. Het ontwerp van een rooster is een afweging van een aantal factoren, onder meer:
 - geringe luchtweerstand voor het luchtdebiet; drukverschil over het rooster bijv. 10 tot 100 Pa;
 - grote demping voor de wind op het rooster. Het luchtkanaal in het gebouw moet geen grote drukfluctuaties door windvlagen hebben. Op een dichte gevel staat bijv. 0 - 500 Pa als uurgemiddelde en bijv. 1000 Pa in een vlaag;
 - opvang van regen; sneeuw zonder verstopping;
 - opvang van zand (bijv. in Arabië);
 - geen verstopping door ijzel;
 - trillingen, instabiliteiten, geluid.

Het ontwerp van een rooster is dus een interessant onderwerp voor onderzoek. We zouden hiervoor een offerte kunnen maken. We hebben ervaring met computermodellen die geschikt zijn voor een pilot-studie. Experimentele faciliteiten lijken in eerste instantie voldoende aanwezig. We beschikken bijv. over een windtunneltje. Zo'n onderzoek is uiteraard veel meer dan een paar dagen werk. We zouden kunnen beginnen met een gesprek met de constructeurs.

- II. Bij de discussie van de windbelasting moeten we onderscheid maken tussen de rekenwaarde en de geschatte belasting.

De rekenwaarde is de belasting die de constructeur gebruikt. De rekenwaarde ontstaat door de geschatte belasting te vermenigvuldigen met een belastingfactor.

De geschatte belasting is afhankelijk van een aantal keuzes:

- welk klimaat? Binnen Nederland en binnen Europa scheelt dit een factor 1,7. Voor Honkong bijv. meer;
- voor welke gemiddelde herhalingsstijd? Wat is de technische leeftijd van het rooster? Dit kan een factor 1,2 schelen;

- de expositie. Men kan het rooster in het midden van de gevel plaatsen of op hoeken. Dit kan een factor 2 of meer verschil maken in belasting;
- de hoogte waarop het rooster wordt geplaatst. Dit kan een factor 4 schelen.

De belastingfactor is bepalend voor de faalkans die de fabrikant en de afnemer overeenkomen. Afhankelijk van de risico's suggereert de Nederlandse norm 6702 een factor 1,2 of 1,5. Na onderzoek kan hiervan worden afgeweken.

Mijn conclusie is dat eerst met de fabrikant besproken moet worden in hoeverre hij verschillende kwaliteitsklassen van roosters wenst te leveren. Wenst hij slechts een klasse te maken voor alle omstandigheden? Dan moeten we een conservatieve schatting maken van de maximale belasting per land of per regio. Wenst hij meerdere klassen, dan is denk ik de eerste vraag hoe dit onderscheid economisch zinvol kan worden gemaakt. Stappen van bijv. 500 Pa.

De geschatte windbelasting op het rooster is opgebouwd uit een aantal factoren:

1. de snelheid van de windvlaag;
2. de drukcoëfficiënt op de plaats van het rooster, waarbij het rooster gesloten wordt gedacht;
3. de luchtdruk aan de binnenzijde;
4. het effectieve oppervlak van het rooster.

De factoren 1 en 2 worden in vele nationale codes beschreven. Bij internationale verkoop zou het beste daaraan gerefereerd kunnen worden. Het is mogelijk een overzicht te maken. Het beste nadat de bovengenoemde kwaliteitsklassen zijn bepaald.

De factoren 3 en 4 zijn specifiek voor het produkt. Er is enig onderzoek gepubliceerd over de windbelasting op hekken, jalouzieën en dergelijke. Zoals in paragraaf I aangegeven, wordt een rooster met een zekere porositeit gekozen. Afhankelijk van de porositeit en de onderlinge afstand van de elementen.

Verdere informatie kan verkregen worden na een literatuurstudie van enkele dagen. Op het eerste gezicht lijkt het dat de windbelasting een factor 2 kleiner kan zijn dan in het geval van een gesloten gevel. Voordat met een dergelijke literatuurstudie begonnen wordt, is het gewenst eerst af te spreken welke roostergeometrieën onderzocht zullen worden.

Een dergelijke literatuurstudie is in ieder geval een noodzakelijke eerste stap als verder onderzoek gewenst is.

Met vriendelijke groet,

io. A.M. de Bruijn

Prof.ir. J.A. Wisse