

Rapport

R 22:

**Vindbelastning på hus-
kroppar av allmän form
– modellprov**

Bo Göran Hellers & Stig Lundgren

Byggforskningen

Vindbelastning på huskroppar av allmän form – modellprov

Bo Göran Hellers & Stig Lundgren

Byggforskningen Sammanfattningar

R22:1974

Under det senaste decenniet har vindlastkoefficienterna höjts – i vissa fall drastiskt. Skälet har varit ökad kunskap om faktiska vindbelastningar i förening med konstaterade vindskador på modern bebyggelse med produktionsanpassad, och därmed delvis ny, form. I synnerhet gäller detta för flacka tak, som tillhör en relativt sen byggnadsperiod och ofta skadats vid stormtillfällen.

Rapporten redovisar belastningen i detalj på enstaka huskroppar vid olika anblåsningsriktning och varierande våningshöjd.

Blåsighet kring enstaka byggnader och i passager redovisas i Byggeforskningens Rapport R21:1974, Bo Göran Hellers och Stig Lundgren.

Numera grundas alla föreskrifter inom vindområdet på försök i vindtunnel med hastighetsprofil. Detta betyder att man i vindtunneln försöker efterbilda, i skala, den medelhastighetsprofil som råder i naturen. För denna undersökning har använts en mindre vindtunnel med rektangulär mätsträcka $0,4 \times 1,0 \text{ m}^2$ och med profil enligt FIG 1.

För mycket frekventa husformer saknades systematiska vindtunnelprov av modernt snitt. Därför genomfördes försök med huskroppar av traditionell form, med sidoförhållandena 3:1 och 6:1, med taklutningen 14° och med 2, 3,

4 och 8 våningars höjd, se FIG 2.

Syftet var att kartlägga tryckförhållandena i detalj för hela huskroppen. Därutill behövs ett stort antal mätsektioner och ett stort antal mätpunkter i varje sådan sektion. Mätsektionerna visas för den ena konfigurationen (sidoförhållandet 3:1) i FIG 3. Anblåsningsriktningen varierar inom en kvadrant, vilket är tillräckligt i ett dubbelsymmetriskt fall. Med högt uppdriven automatik kan registreringar göras för alla mätpunkter, ett exempel på resultat visas i FIG 4. Mätvärdena redovisas på dimensionslös form som $s_k c_p$ -koefficienter där takfoten valts som referenshöjd.

De mätresultat som föreligger som tryckkoefficienter i enstaka punkter kan omvandlas till isobarer med hjälp av två-dimensionell interpolering. En sådan är gjord med s_k splinesförfarande för samtliga fall. Ett exempel på resultat visas i FIG 5.

På varje delyta anges max- och min-punkter. Dessas absoluta nivå kan för varje fall relateras till anblåsningsriktningen. Därvid visar det sig att man får en relativt sammanhållen kurvskara, såväl för maximum som för minimum, se FIG 6, som visar förhållandena för tak. I skaran ingår således alla variationer i husets planform och antal våningar.

Övre och undre begränsningar kan ges på enkla former.

Nyckelord:

vindtunnelförsök, hastighetsprofil, bostadshus, tryckkoefficienter, isobarer

Rapport R22:1974 hänför sig till projekt 275 vid Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm. Projektet har bekostats med medel från Statens råd för byggnadsforskning och Flygtekniska försöksanstalten, Stockholm.

UDK 624.042.4
533.6
SfB A
ISBN 91-540-2369-6

Sammanfattning av:

Hellers, B G & Lundgren, S, 1974. *Vindbelastning på huskroppar av allmän form – modellprov.* (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R22:1974, 52 s, ill. 16 kr exkl moms.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403, 111 84 Stockholm
Telefon 08-24 28 60

Grupp: konstruktion

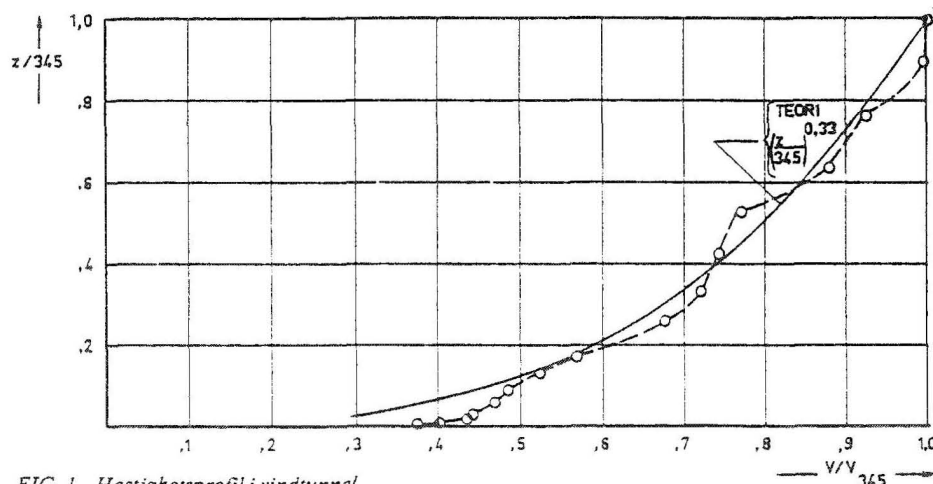


FIG. 1. Hastighetsprofil i vindtunnel.

Wind loads on generally shaped house bodies – Model tests

Bo Göran Hellers & Stig Lundgren

During the last decade the wind load coefficients have been increased – in some cases drastically. The reason has been extended knowledge about real wind loads in combination with realized wind damages on modern buildings with a partly new form adapted to production conditions. This applies especially to low-pitch roofs which belong to a late period of construction and have often been damaged in storms.

The report accounts for the load distribution on single house-bodies in great detail at different wind directions and different number of storeys.

Windiness around single buildings and in passages is accounted for in the report R21:1974 by Bo Göran Hellers and Stig Lundgren from the National Swedish Institute for Building Research.

Nowadays all codes on wind loads are based on tests in wind-tunnels which have velocity profiles. This means that in a wind-tunnel it is tried to simulate, on a scale, the average velocity profile that prevails in nature. For this investigation a smaller wind-tunnel is used with a rectangular test-section of $0.4 \times 1.0 \text{ m}^2$ and with a profile as shown in FIG 1.

Even for very frequent house forms methodical tunnel tests of modern kind were missing. Therefore, tests were made with house-bodies of traditional form, with side relations 3:1 and 6:1, with roof pitch 14° and with the height

of 2, 3, 4 and 8 storeys, see FIG 2.

The purpose was to map the pressure conditions in detail on the entire house body. To that end a great number of measuring sections is needed and a considerable number of measuring points at each such section. The measuring sections of one configuration (side relation 3:1) are shown in FIG 3. The wind direction is varied within a quadrant which is sufficient in a case with double symmetry. With a highly developed recording technique the measurements can be done with ease for all points; an example of recording is shown in FIG 4. The recorded values are in dimensionless form as so called c_p -coefficients for which the velocity at eaves is taken as reference.

The results as pressure coefficients at single points may be transformed into isobars by use of two-dimensional interpolation. This is done in all cases using so called spline-technique. The results are illustrated by the example in FIG 5.

On every main-surface the optimum points (max and min) are denoted. The optimum levels may be related to the wind direction. Gathering the relations for all cases, including all variations of the horizontal section as well as number of storeys, it is evident that such families of curves are relatively concordant on both the maximum and the minimum side. See the conditions for roofs which are shown in FIG 6.

Upper and lower bounds may be given on simple forms.

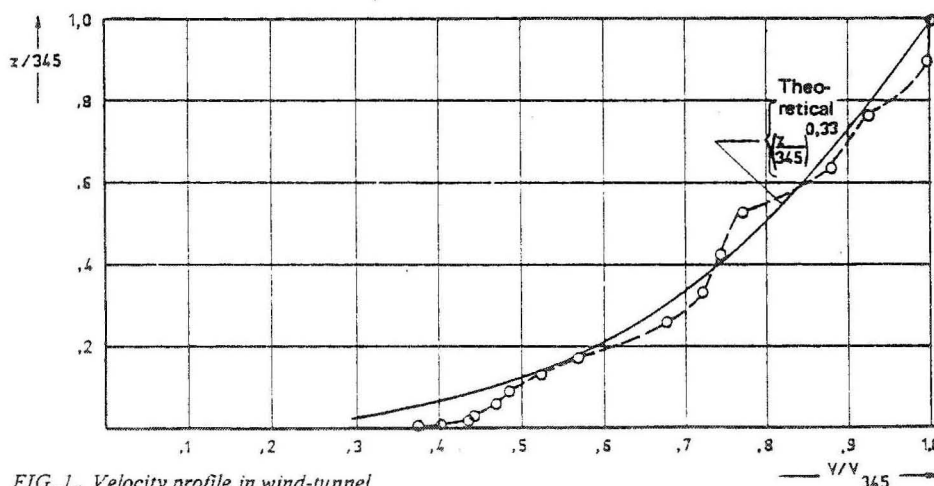


FIG. 1. Velocity profile in wind-tunnel

National Swedish Building Research Summaries

R22:1974

Key words:

wind-tunnel tests, velocity profile, residential house, pressure coefficients, isobars

Report R22:1974 refers to Research Project 275 at the National Swedish Institute for Building Research. This project was financed by the Swedish Council Building Research and the Aeronautical Research Institute of Sweden.

UDC 624.042.4
533.6
SfB A
ISBN 91-540-2369-6

Summary of:

Hellers, B G & Lundgren, S, 1974. *Vindbelastning på huskroppar av allmän form – modellprov*. Wind loads on generally shaped house bodies – Model tests. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Report R22:1974, 52 pp., ill. Sw Cr 16.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst
Box 1403,
S-111 84 Stockholm
Sweden

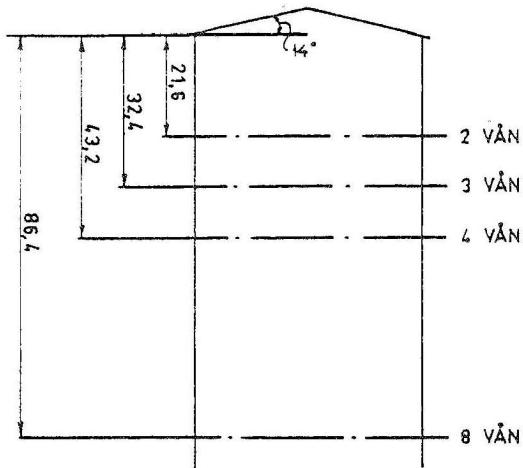
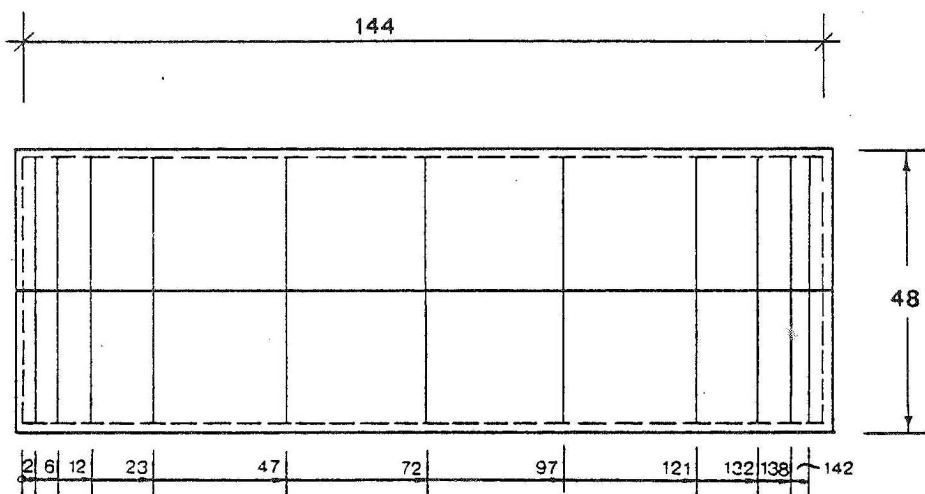


FIG. 2. Modellsektion. Mått i mm. Modellskala 1:250.



HUSKONFIGURATION 1

FIG. 3. Huskonfiguration 1. 2 trapphus. Mått i mm i modellskalan. Mätsektionernas lägen.

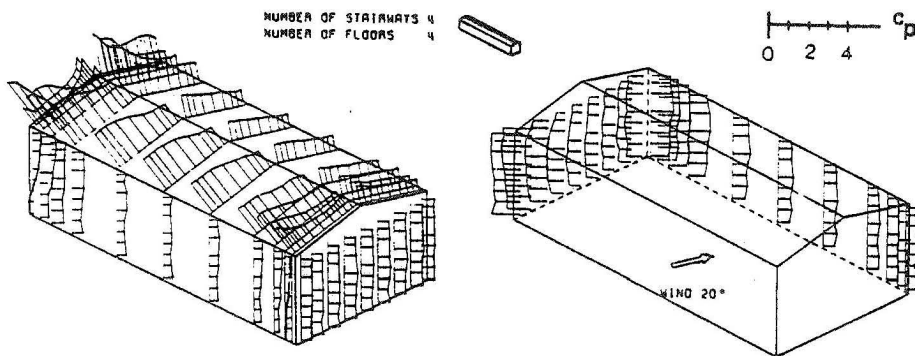


FIG. 4. Exempel på mätresultat från vindtunnelprov. Tryckkoefficienter.

FIG. 5. Exempel på bearbetade mätresultat från vindtunnelprov. Jfr FIG 4. Iso-barer.

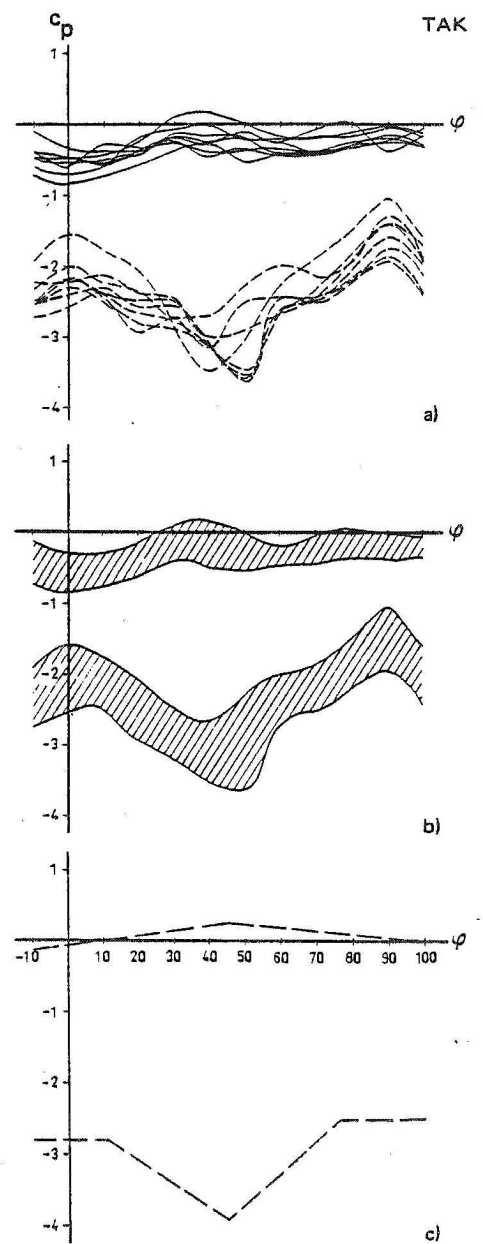
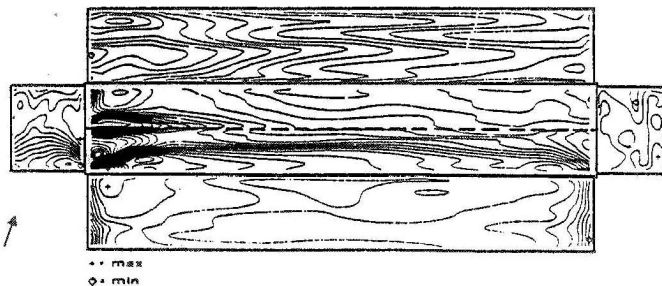


FIG. 6. a) Max- och minvärden av tryckkoefficienten som funktion av anblåsningvinkeln. Samtliga hushöjder från såväl huskonfiguration 1 som 2. b) Områden för max respektive min av tryckkoefficienten. c) Enkla begränsningar av områdena för max respektive min av tryckkoefficienten.

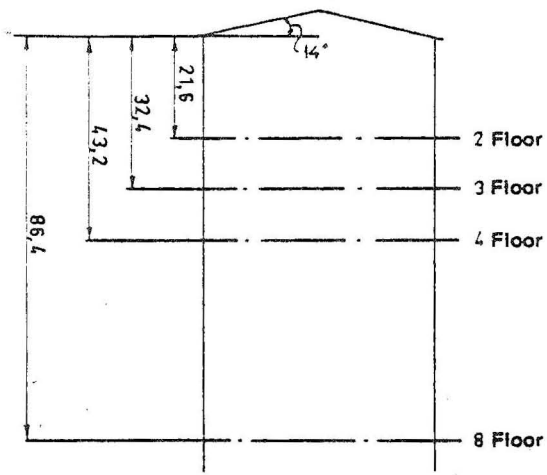
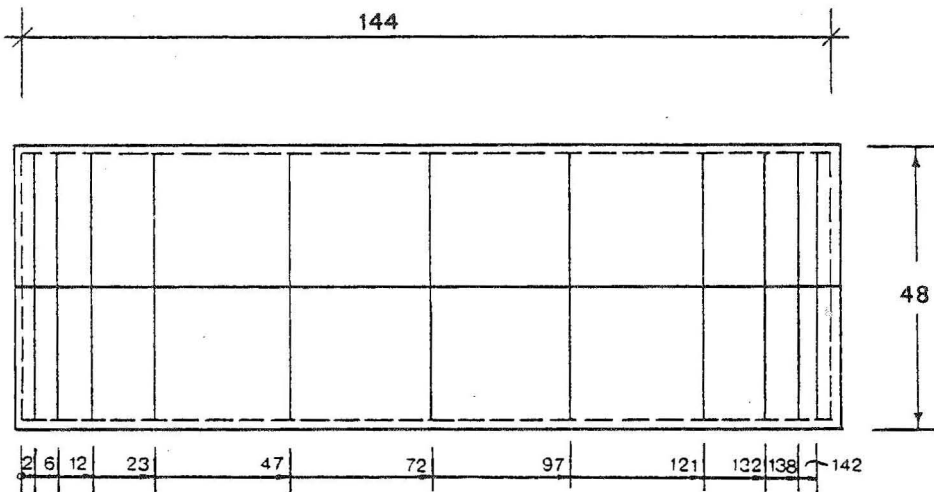


FIG. 2. Model section. Dimension mm. Model scale 1:250.



HOUSE CONFIGURATION 1

FIG. 3. House configuration 1. 2 stair-case-wells. Dimension mm in model scale. The positions of the measuring sections.

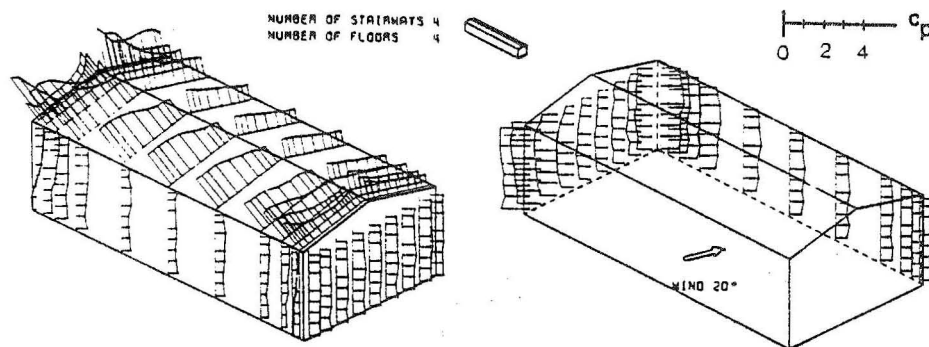


FIG. 4. An example of results from the wind-tunnel test. Pressure coefficients.

FIG. 5. An example of transformed results from the wind-tunnel test. Cf. FIG 4. Iso-bars.

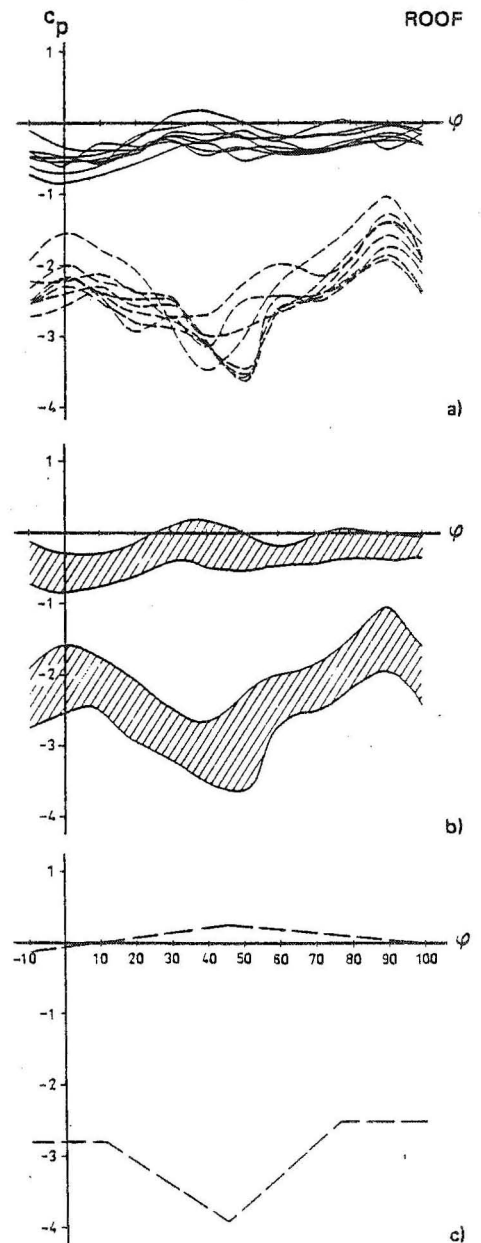
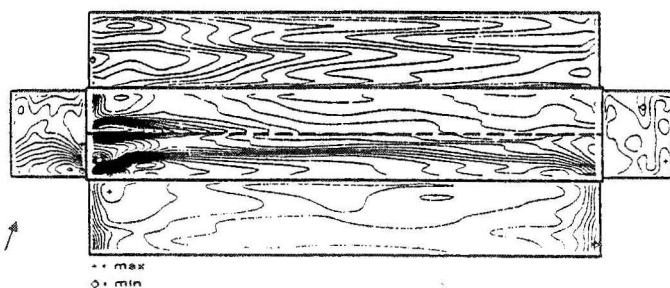


FIG. 6a. Optimum values (max and min) of the pressure coefficient versus the wind direction. All heights from both house configuration 1 and 2.

FIG. 6b. Regions of max- and min-values respectively of the pressure coefficient.

FIG. 6c. Simple bounds for the regions of max- and min-values of the pressure coefficient.

Rapport R22:1974

VINDBELASTNING PÅ HUSKROPPAR AV ALLMÄN FORM

- MODELLPROV

Bo Göran Hellers & Stig Lundgren

Denna rapport tillsammans med Rapport R21:1974 är resultatet av ett samarbete mellan Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm, och Flygtekniska försöksanstalten, Stockholm. Projektledare inom SIB har varit tekn lic Bo Göran Hellers, projekt 275, och inom FFA avd dir Stig Lundgren. Projektet har bekostats gemensamt av SIB och FFA.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD	4
INLEDNING	5
PROBLEMSTÄLLNING	6
VINDTUNNEL OCH VINDENS VARIATION MED HÖJDEN (VINDPROFIL)	6
PROVNINGSPROGRAM OCH MÄTTEKNIK	7
RESULTAT	9
DISKUSSION	10
REFERENSER	11
FIGURFÖRTECKNING	12
BILAGA 1	25
BILAGA 2	41

FÖRORD

Föreliggande arbete bygger helt på experimentell grund. Lokala tryckkoefficienter har registrerats i modellskala i en vind-tunnel på FFA (Flygtekniska försöksanstalten) och registreringarna har därefter bearbetats och analyserats.

Blåsigheten kring enstaka byggnader och i passager har även studerats och redovisas i rapport R21:1974.

Programmet för det experimentella arbetet har fastlagts gemensamt av Statens institut för byggnadsforskning (SIB) genom Harriet Ryd och Anna Borelius samt Flygtekniska försöksanstalten (FFA) genom Stig Lundgren, Martin Ingelman-Sundberg och Hans Thomann.

Modellarbetet och den mättekniska planeringen har utförts vid FFA. Vindtunnelförsöken utfördes vid FFA av Bo Bengtsson och Ulla-Britt Lundgren.

Bearbetningen av datamaterial har utförts vid metodgruppen, SIB. En inledande grafisk plottning av data gjordes av Annika Sjögren. En utveckling av en tvådimensionell interpoleringsrutin och tillämpning av denna på samma dataunderlag gjordes av Bo Jansson och Sven Olofsson. Ytterligare bearbetning av data har utförts vid SIB:s klimatgrupp av Janis Kajaks. Analysen av resultaten har åvilat författarna i förening.

Författarna

INLEDNING

Det är karakteristiskt för utvecklingen av vindnormerna under senaste decenniet att den på många punkter inneburit skärpningar av kraven. Det räcker att som exempel nämna den avsevärda höjning av värden för randsug som skedde från BABS 60 till SBN 67. Det har funnits goda, vetenskapliga skäl för detta.

Det är ovanligt och inte lite ödesdigert att naturlaster på detta sätt har underskattats i gällande normer under avsevärd tid. Den nonchalans som rått beträffande vindlasterna har emellertid straffat sig i form av avsevärda stormskador, särskilt på modern bebyggelse.

Efter stormarna omkring 1970 lär en avsevärd uppryckning ha ägt rum på denna punkt, glädjande nog.

Tyvärr kan det för normförfattarna vara svårt att till praktiker-
nas ledning formulera invändningsfria normer beträffande vind-
laster. Delvis sammanhänger detta med att sådana laster är
nyckfulla och starkt beroende av lokala skillnader i läge
och i konstruktioners uppbyggnad eller kompletteringar. Delvis
beror det emellertid också på att det är förhållandevis ont
om systematiska studier av vindlastkoefficienter, även på
mycket frekventa byggnadsformer.

Föreliggande studie planerades för att i någon mån råda bot
för detta.

I detta sammanhang är det passande att framhålla det grundläggande arbetet av Jensen & Franck (1965) där de höga randlasterna framhölls. Deras sätt att illustrera sina resultat har varit förebildligt för denna studie.

En systematisk studie av liknande typ har gjorts av Lusch & Truckenbrodt (1964). Tyvärr gjordes dessa försök utan profilerad vind i tunneln, vilket avsevärt minskar värdet av resultaten. Som särskilt framhållits av Jensen (1959) har simuleringen av ett naturtroget atmosfäriskt gränsskikt avgörande betydelse vid bestämningen av tryckkoefficienter. En särskild

studie av takkantutformningens betydelse har gjorts av Wirén (1970) som uppehåller sig mycket utförligt vid förutsättningarna för den aktuella typen av försök.

I den föreliggande studien har relativt schematiska förutsättningar tillämpats; en enkel tunnel med en given, fast profil och en varierande modellhöjd, vilket betyder att profilens lutning i takfotshöjd varierats.

PROBLEMSTÄLLNING

För en enkel byggnadskropp som i FIG 1a känner man förhållandena ganska väl vid vinkelrät anblåsning. Inverkan av olika vindprofiler har också belysts, t ex av Jensen (1959). Vid sned anblåsning, FIG 1b, blir förhållandena mera osäkra. En systematisk bild för hela varvet av anblåsningsriktningar har hittills kunnat framställas endast genom uppskattningar.

Exempel på andra frågeställningar, som tas upp i föreliggande studie, är inverkan av byggnadskroppens längd - breddförhållande inom praktiska gränser och av hushöjden.

Inverkan av taklutningens variation har emellertid ej tagits med i detta sammanhang. Lutningen har valts konstant på gränsen mellan flacka och branta tak.

VINDTUNNEL OCH VINDENS VARIATION MED HÖJDEN (VINDPROFIL)

En vindtunnel vid FFA, speciellt avpassad för byggnadsaerodynamiska prov, ansågs lämplig för de aktuella försöken. Vindtunnel och mätutrustning visas i FIG 2 a.

Vindtunneln har en rektangulär mätsträcka om $0,4 \times 1,0 \text{ m}^2$ med en maximal hastighet av 22 m/s.

Det är önskvärt att vindprofilen i tunneln är någorlunda realistisk. För att simulera vindens variation med höjden har BA-

vindtunneln försetts med ett motståndsgaller med förutbestämt motstånd så att en given variation av vindhastigheten med höjden erhållits. Markgränsskiktet bestäms förutom av markytans beskaffenhet av temperaturskiktningen i atmosfären nära jordytan. Från fältmätningar erhålls följande empiriska uttryck för vindhastighetens variation med höjden i markgränsskiktet,

$$V = V_G \left(\frac{z}{z_G} \right)^\alpha \quad \text{där}$$

V_G = Gradientvindens hastighet

z_G = Gradienthöjden, dvs den höjd (i markgränsskiktets ytterkant) där vindhastigheten uteslutande bestäms av det geostrofiska klimatet.

α = Koefficient beroende på markytans beskaffenhet och temperaturskiktningen vid markytan.

Enligt Davenport (1961) skall α för stadsbebyggelse variera mellan gränserna 0,25 - 0,40. I följande undersökning har valts ett genomsnitt, $\alpha = 0,33$, som gäller approximativt för låghusbebyggelse. FIG 2b visar hur väl motståndsgallret i BA-tunneln simulerar det önskade gränsskiktet. Från takfotshöjd på fyra våningshuset till vindtunneltaket simuleras gränsskiktet väl. Under denna höjd är hastigheten något för hög. I det naturliga fullskalefallet bestäms vindhastigheten av den nära omkring en byggnad belägna terrängen. En avvikelse från den teoretiska vindhastigheten i gränsskiktssimuleringen nära markplanet har därför ej bedömts som särskilt allvarlig. Gränsskiktets variation längs och vinkelrät strömningsriktningen är liten.

PROVNINGSPROGRAM OCH MÄTTEKNIK

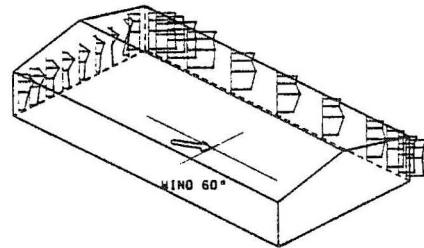
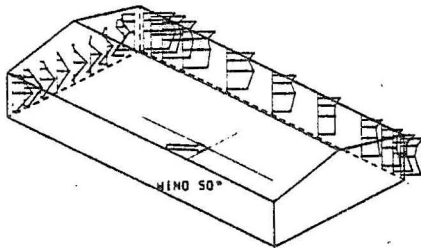
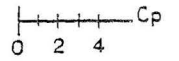
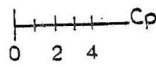
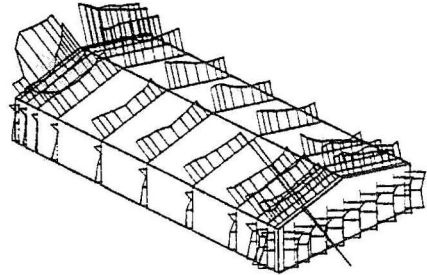
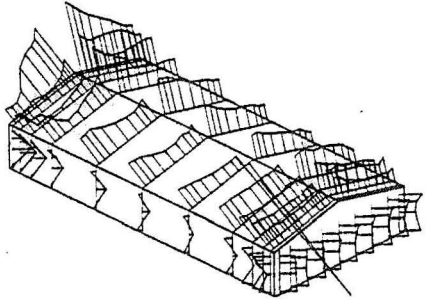
Programmet har omfattat 2, 3, 4 och 8 våningar, se FIG 3. Modellskalan har i samtliga fall varit 1:250. Våningshöjden har antagits till 2,70 m i fullskala. Taklutningen har hållits fast, 14° , vilket är en svensk standard.

Som referenshöjd vid bildandet av lokala tryckkoefficienter har använts takfotshöjden,

NUMBER OF STAIRWAYS 2
NUMBER OF FLOORS 2



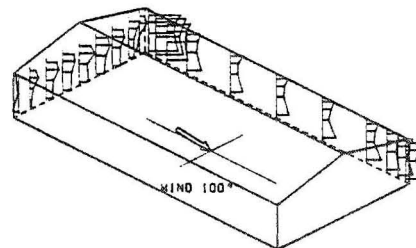
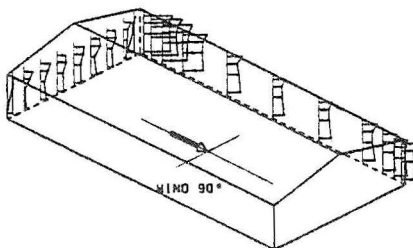
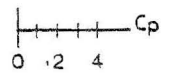
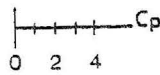
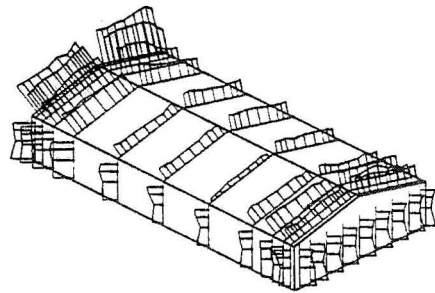
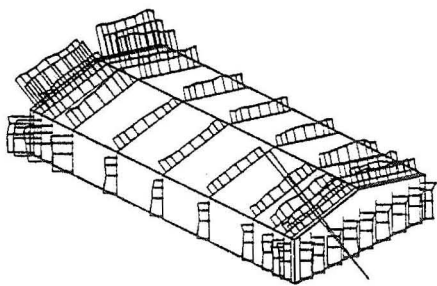
NUMBER OF STAIRWAYS 2
NUMBER OF FLOORS 2



NUMBER OF STAIRWAYS 2
NUMBER OF FLOORS 2



NUMBER OF STAIRWAYS 2
NUMBER OF FLOORS 2



RESULTAT

Tryckkoefficienter kan redovisas som i FIG 8, som skalära storheter med ursprunget i mätpunkten. Ett urval av sådana redovisningar ges i BIL 1.

Denna typ av redovisning är emellertid ganska svårtolkad. Genom tvådimensionell interpolering av mätvärdena kan tryckförhållandena beskrivas med isobarer. En erforderlig interpoleringsrutin har för ändamålet utvecklats vid SIB:s metodgrupp (Sven Olofson) och beskrivs sålunda:

"Bicubic spline two-dimensional interpolation program for unequally spaced data. The program performs a two-dimensional interpolation to a given set of unequally spaced data. The natural bicubic spline is used to interpolate the given data."

Alla begränsningsytor har i redovisningen lagts i ett plan genom att vertikala ytor vikts upp omkring "gångjärn" i takfotshöjd, se FIG 9.

Ett exempel på isobar-redovisning visas i FIG 10. I BIL 2 redovisas alla intressanta fall i studien i denna form. På varje delyta anges största respektive minsta värdet för tryckkoefficienten med speciella tecken.

Maxvärdet anges med kryss

Minvärdet anges med kvadrat.

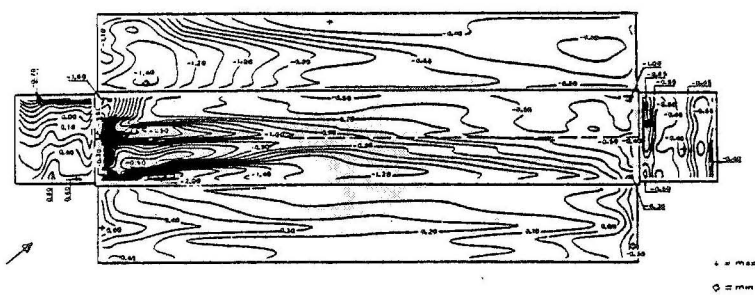
De erhållna resultaten kan sammanfattas och beskrivas som avståndet mellan max- och minvärdena. Detta avstånd är för varje begränsningsyta en funktion av anblåsningvinkel, hushöjd och konfiguration.

I FIG 11 anges de fem begränsningsytorna på modellkropparna.

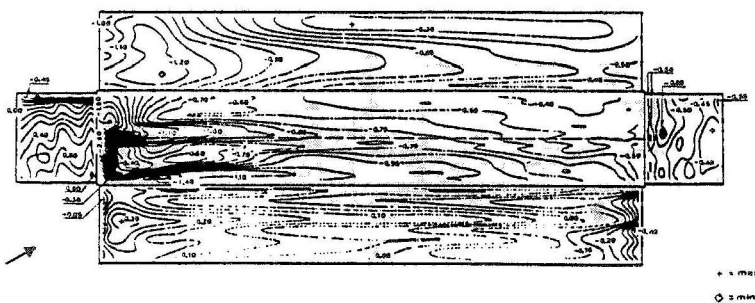
För var och en av begränsningsytorna har max - min funktionen framtagits för alla hushöjder och konfigurationer.

Man kan konstatera att dessa funktioner ligger väl samlade, att alltså inverkan av hushöjd och konfiguration är ganska liten. Detta framgår av FIG 12, där försöket har gjorts att för samtliga begränsningsytor ange enkla begränsningar på max- resp minsidan.

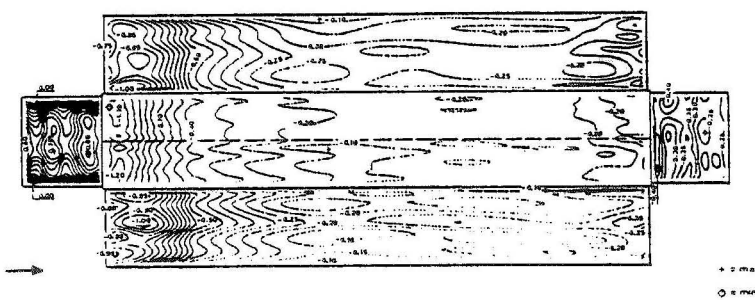
Huskonf. 2 4 vån. Vindriktning 50°



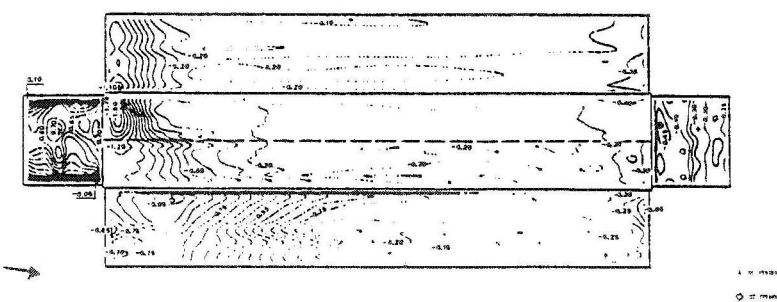
Huskonf. 2 4 vån. Vindriktning 60°



Huskonf. 2 4 vån. Vindriktning 90°

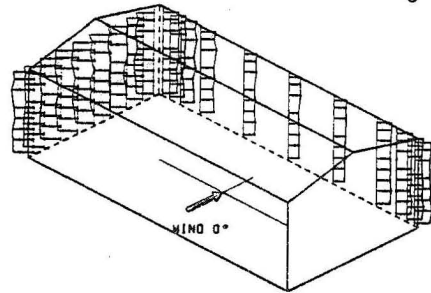
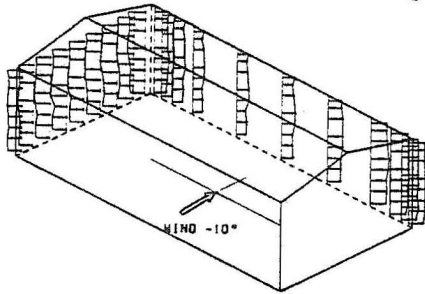
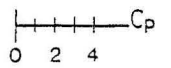
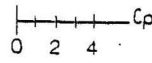
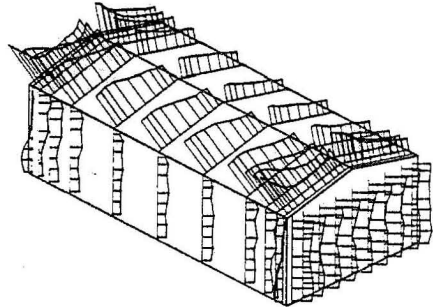
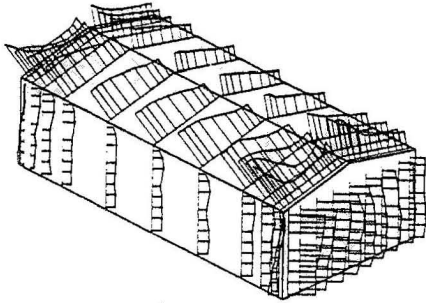


Huskonf. 2 4 vån. Vindriktning 100°



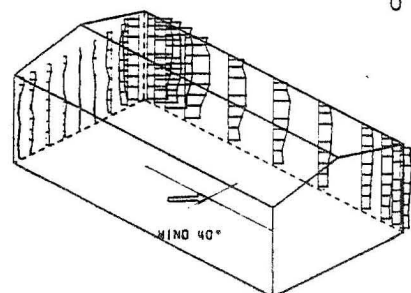
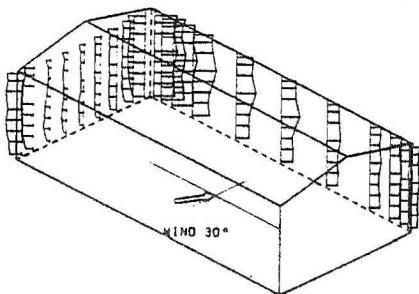
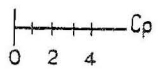
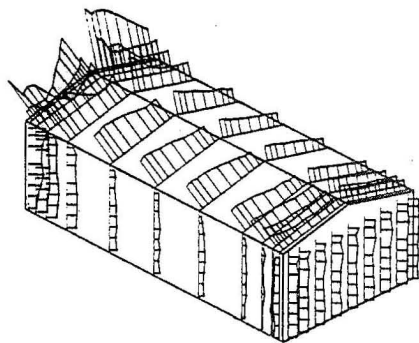
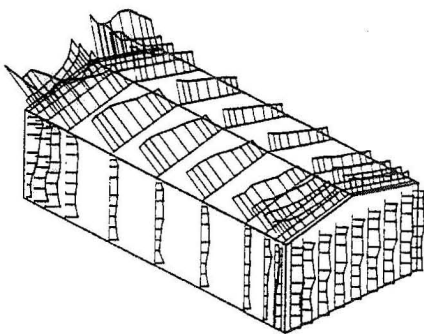
NUMBER OF STAIRWAYS 4
NUMBER OF FLOORS 4

NUMBER OF STAIRWAYS 4
NUMBER OF FLOORS 4

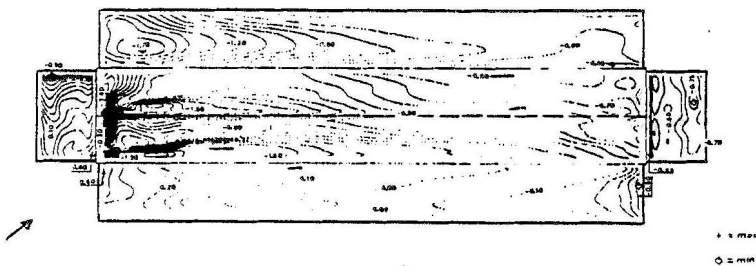


NUMBER OF STAIRWAYS 4
NUMBER OF FLOORS 4

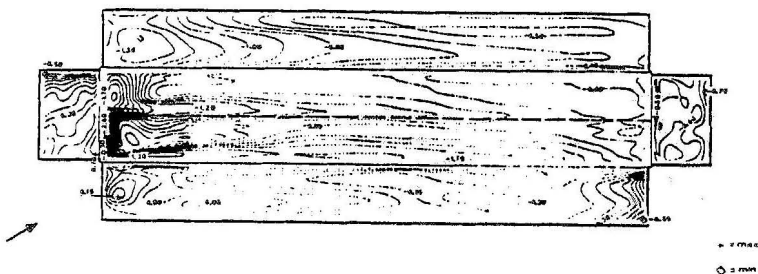
NUMBER OF STAIRWAYS 4
NUMBER OF FLOORS 4



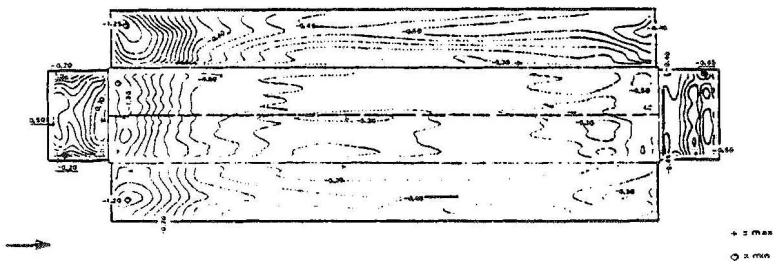
Huskonf. 2 3 vån. Vindriktning 50°



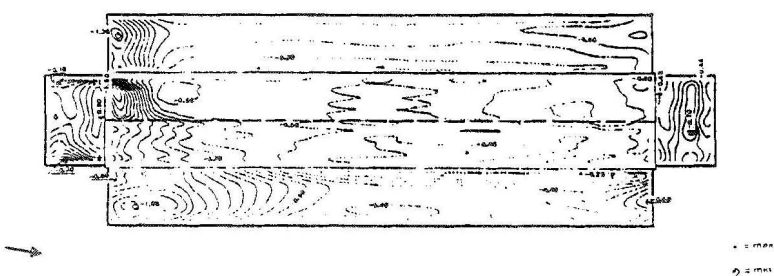
Huskonf. 2 3 vån. Vindriktning 60°



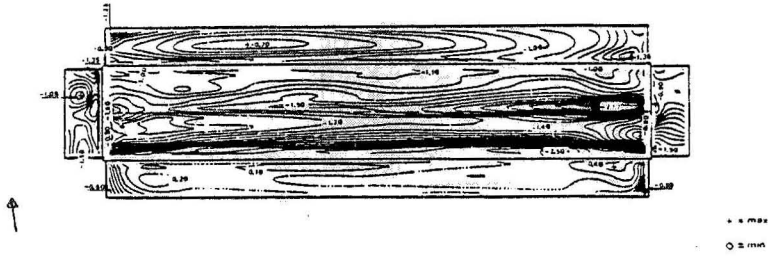
Huskonf. 2 3 vån. Vindriktning 90°



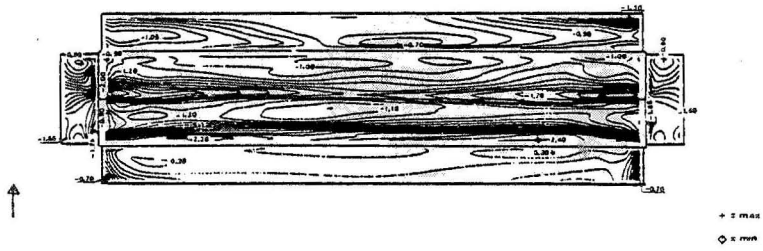
Huskonf. 2 3 vån. Vindriktning 100°



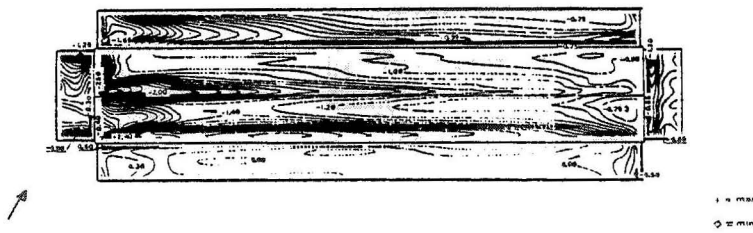
Huskonf. 2 2 vån. Vindriktning -10°



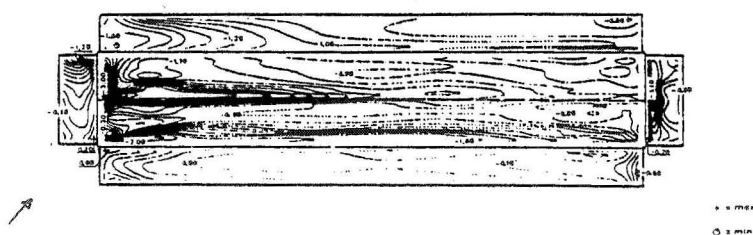
Huskonf. 2 2 vån. Vindriktning 0°



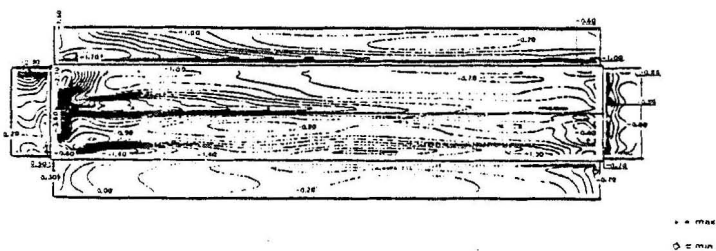
Huskonf. 2 2 vån. Vindriktning 30°



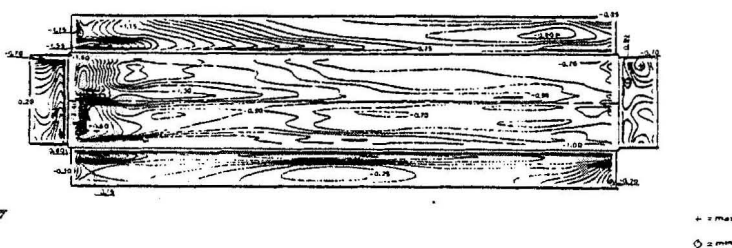
Huskonf. 2 2 vån. Vindriktning 40°



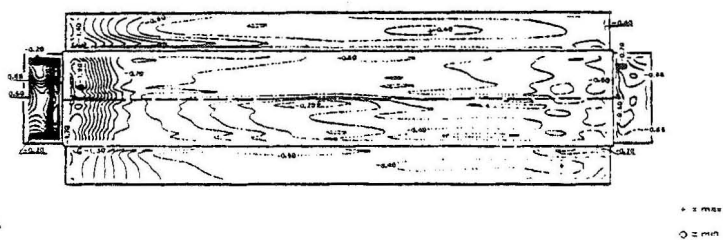
Huskonf. 2 2 vån. Vindriktning 50°



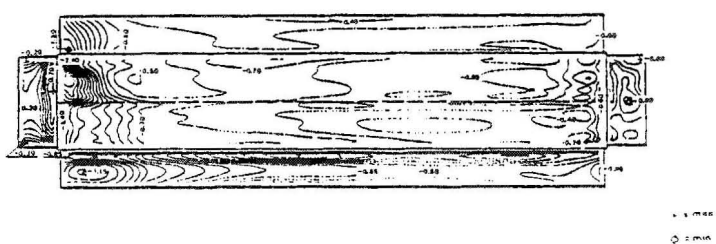
Huskonf. 2 2 vån. Vindriktning 60°



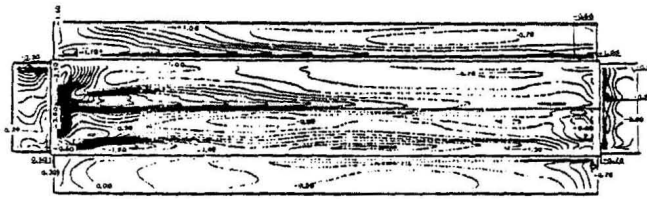
Huskonf. 2 2 vån. Vindriktning 90°



Huskonf. 2 2 vån. Vindriktning 100°

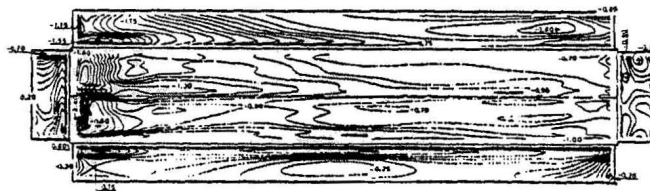


Huskonf. 2 2 vån. Vindriktning 50°



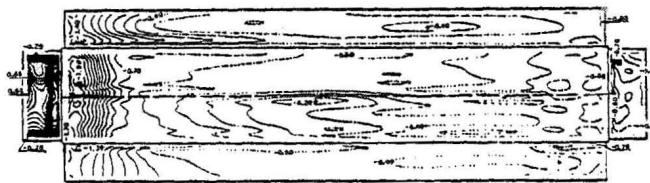
+ 0 max
0 0 min

Huskonf. 2 2 vån. Vindriktning 60°



+ 0 max
0 0 min

Huskonf. 2 2 vån. Vindriktning 90°



+ 0 max
0 0 min

Huskonf. 2 2 vån. Vindriktning 100°



+ 0 max
0 0 min