



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport R29:1977**

STENSKA INSTITUTIONEN I LUND  
SERIENR. 100-1977- OCH VÄTTEN  
BIBLIOTEKET

# **Mätning av vind- krafter på en bygg- nads väggar och tak**

**Studier på fältstation  
samt jämförelser med  
modellförsök**

**Stellan Thuresson**

**Byggforskningen**

R29:1977

MÄTNING AV VINDKRAFTER PÅ EN  
BYGGNADS VÄGGAR OCH TAK

Studier på fältstation samt jämförelser  
med modellförsök

Stellan Thuresson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
720008-2/C 964 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Avd. för byggnadskonstruktion, CTH, Göteborg.

Nyckelord:  
takformer  
flacka tak  
vindlaster  
formfaktorer  
modellförsök  
vindtunnelförsök  
fullskalemätningar

UDK 624.042.41  
69.024.3

R29:1977

ISBN 91-540-2690-3  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

**LiberTryck Stockholm 1977**



## FÖRORD

Föreliggande rapport innehåller en redogörelse för studier av vindlaster på en mindre byggnad belägen vid kustbandet i Göteborg.

Arbetet har utförts vid Chalmers tekniska högskola, avdelningen för byggnadskonstruktion.

Statens råd för byggnadsforskning har genom anslag (C964) möjliggjort undersökningens genomförande.

Värnamo Gummifabrik AB och Dow Chemical AB har finansierat en delstudie, vindlast under singelskikt.

Professor Gunnar Kärrholm har bistått med värdefulla råd och kritik.

Civilingenjör Finn B. Asp medverkade vid försöksuppläggning och metodval och är medförfattare till kapitlen 2 och 3. Ingenjörerna Hans Bäckberg och Hans Coster har deltagit vid försökens genomförande. Ingenjör Miloslav Svoboda och arkitekt Nils Hermansson har medverkat vid utformningen av bildmaterialet. Fru Inger Marberg har svarat för utskriften. Ett tack framföres till dem som medverkat vid arbetets genomförande.

Göteborg i december 1974

Stellan Thuresson

## BETECKNINGAR

A	yta
H	tryckhöjd, m
L, l	längd
K	korrektionsfaktor
$K_a$	(friktions-)koefficient
Re	Reynolds tal
Q	total vindlast
$V, V_z, v$	hastighet, hastighet på nivå z m över mark
c	formfaktor, $c = \frac{p-p_\infty}{q_\infty}$
q	hastighetstryck, dynamiskt tryck
$q_\infty$	hastighetstryck i friström
p	statiskt tryck
$p_s$	sluttryck
$p_\infty$	statiskt tryck i friström
z	höjd över mark
$h_f$	strömningsförluster
f	friktionskoefficient
d	diameter
$\nu$	kinematisk viskositet
$\Delta p$	tryckdifferens i mm vätskepelare
$\gamma$	tunghet
$\alpha$	vinkel
$\alpha$	exponent
$\kappa$	konstant

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid.</u>
FÖRORD	
BETECKNINGAR	
1. INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Undersökningens syfte	1
2. FÄLTSTATIONEN I FISKEBÄCK	3
2.1 Fältstationens läge, utformning och allmänna instrumentering	3
2.2 Mätapparatur för bestämning av vindtryck	7
2.2.1 Alternativa mätanordningar	7
2.2.2 Multimanometerns utformning	8
3. FÖRFÖRSÖK I VINDTUNNEL	10
3.1 Beskrivning av vindtunneln	10
3.1.1 Tunnelns konstruktion	10
3.1.2 Tunnelns hastighetsfält	11
3.1.3 Mätanordningar	13
3.2 Mätning av manometerrespons	14
3.2.1 Teoretisk behandling	14
3.2.2 Konstant tryck	17
3.2.3 Tryckökning	18
3.2.4 Pulserande tryck	24
3.2.5 Multimanometerns användbarhet	27
3.3 Studium av effekter beroende på tryck- hålens storlek och form	28
3.3.1 Mätningarnas syfte	28
3.3.2 Försöksanordning	29
3.3.3 Tryckfördelning i mätområdet	30
3.3.4 Mätresultat	32
3.4 Studier av effekter beroende på den anblåsta ytans ojämnheter	34
3.4.1 Mätningarnas syfte	34
3.4.2 Försöksanordning	34
3.4.3 Mätresultat	36

	<u>Sid.</u>
4. FÄLTMÄTNINGAR	39
4.1 Mätningarnas uppläggning	39
4.1.1 Tryckmätare på väggar	39
4.1.2 Tryckmätare på tak	40
4.1.3 Mätare för vinddata	44
4.2 Mätningarnas omfattning och genomförande	45
4.3 Bearbetning av primärdata	45
5. MODELLFÖRSÖK	51
5.1 Försök vid KTH	51
5.2 Modellförsök vid CTH	51
6. GRAFISK REDOVISNING AV FORMFAKTORER FÖR YTTRE VINDTRYCK	52
6.1 Presentationsmetod	52
6.2 Formfaktorer erhållna vid fältförsök	52
6.3 Formfaktorer erhållna vid KTH	68
6.4 Formfaktorer erhållna vid modellförsök, CTH	73
6.5 Extremvärden	85
7. JÄMFÖRELSE MELLAN RESULTAT FÖR FULLSKALE- OCH VINDTUNNELMÄTNINGAR	89
8. JÄMFÖRELSE AV FULLSKALERESULTAT MED SVENSK BYGGNORM, SBN 67	92
9. ÖVRIGA MÄTRESULTAT FRÅN FULLSKALEFÖRSÖK	94
9.1 Vindlast under singelskikt	94
9.2 Vindtryck inomhus	96
9.3 Formfaktorer för tryckdifferens över väggar för några vindriktningar	96
9.4 Vertikal hastighetsprofil	97
10. SAMMANFATTNING	105
11. LITTERATURFÖRTECKNING	107
12. BILAGOR	109



## 1. INLEDNING

### 1.1 Bakgrund

Höstarna 1967 och 1969 drabbades Sverige av flera stormar med ovanlig styrka. Vindhastigheter upp till 35 m/s iaktogs. Stormarna förorsakade stor skadegörelse. Takbeklädnader av olika slag revs loss från sina underlag och takstolar förstördes. Otillräckligt stagade skalmurar rasades och väggplåtar slets från sina fästen. Det stora antalet skador accentuerade behovet av ytterligare forskning inom byggnadsaerodynamiken. Speciellt aktualiserades frågan om gängse metoder för skattning av vindlaster på byggnader på ett rimligt sätt anslöt till verkliga förhållanden.

I Svensk Byggnorm (SBN 67)[1] finns regler och anvisningar om hur dimensionerande vindlast på en byggnad bestäms. Dimensionerande vindlast per ytenhet,  $Q/A$ , beror av hastighetstrycket,  $q$ , och formfaktorn,  $c$ , enligt  $Q/A = c \cdot q$ .

Hastighetstrycket i friström,  $q$ , bestäms på bas av meteorologiska mätvärden erhållna under lång tid. Det varierar med höjden över marken och det geografiska läget. Formfaktorn  $c$  varierar med typen av byggnadsobjekt.

De i Svensk Byggnorm givna formfaktorerna baseras i stor utsträckning på företagna mätningar på modeller i vindtunnel. Det är för närvarande oklart hur nära resultaten av sådana modellförsök ansluter till vindlasten på byggnader i full skala. Det är därför angeläget att mätningar vid fältförsök och vindtunnelförsök jämföres.

### 1.2 Undersökningens syfte

Avsikten med den här redovisade undersökningen var att genom fullskaleförsök bestämma vindtrycket på en byggnads ytor vid olika vindriktningar och medelvindhastigheter samt att relatera dessa tryck till rådande hastighetstryck för bestämning av formfaktorer. Syftet var vidare att jämföra erhållna resultat med de formfaktorer som erhållits vid vindtunnelförsök.



Resultaten skulle också ställas i relation till de i SBN 67 angivna c-värdena och vidare ge underlag för eventuella, senare systematiskt upplagda fältstudier.

Mätningarna utfördes vid den till CTH knutna försöksstationen i Fiskebäck. De kunde därför utnyttjas för andra vid stationen pågående eller planerade klimatologiska och byggnadstekniska undersökningar, t.ex. studier av slagregnsfördelning och täthet hos fasadfogar.

Vindtrycksmätningarna avsåg i första hand statistiska vindbelastningar

## 2. FÄLTSTATIONEN I FISKEBÄCK

### 2.1 Fältstationens läge, utformning och allmänna instrumentering

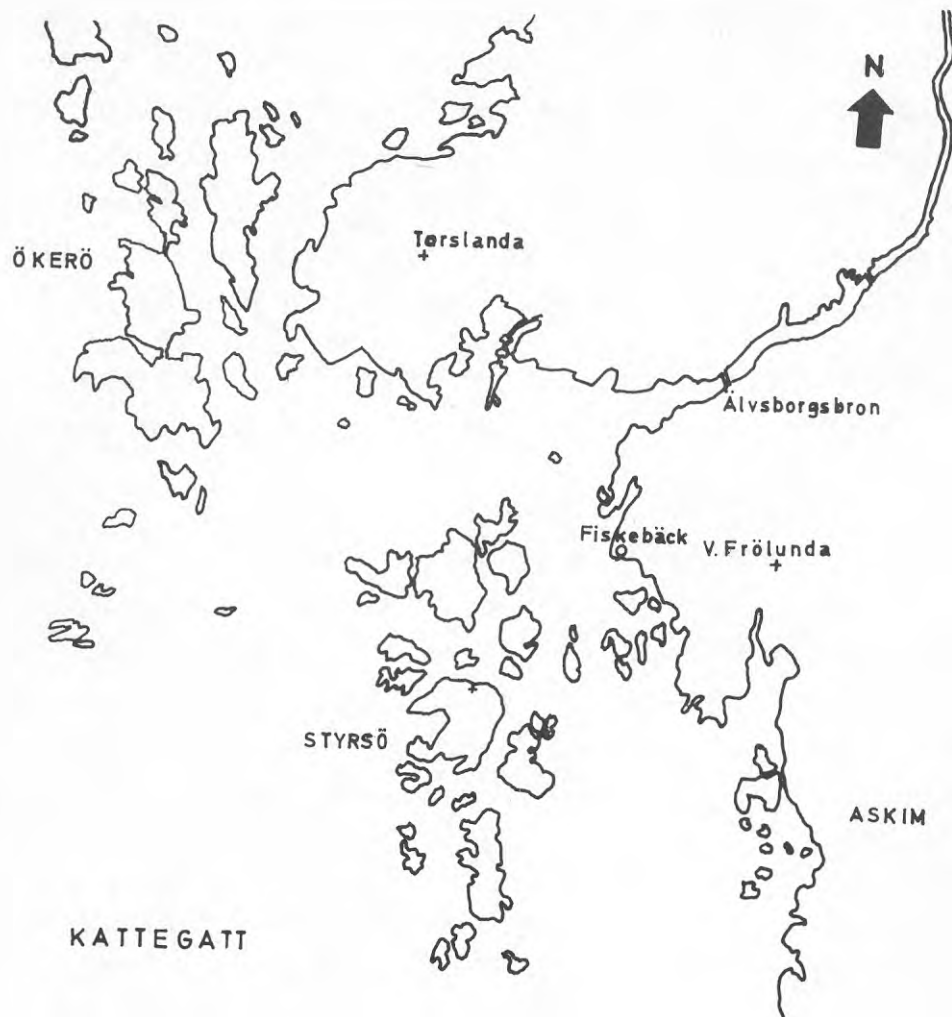
Provhuset på vilket mätningarna skedde är beläget ett hundratal meter från strandkanten med sin ena långfasad mot sydväst, fig. 1 och 2. Terrängen vid byggnaden är i huvudsak berg i dagen med små ytor av gräsvegetation. Höjdförhållandena i byggnadens närmaste grannskap framgår av situationsplanen, fig. 2. Fältstationen är exponerad mot de förnärskande vindarna från väst och sydväst, som dock i viss mån mildras av de utanför belägna skärgårdsöarna.

Provhuset är en envåningsbyggnad med möjlighet till påbyggnad av ytterligare en våning. Plan och sektion framgår av fig. 3.

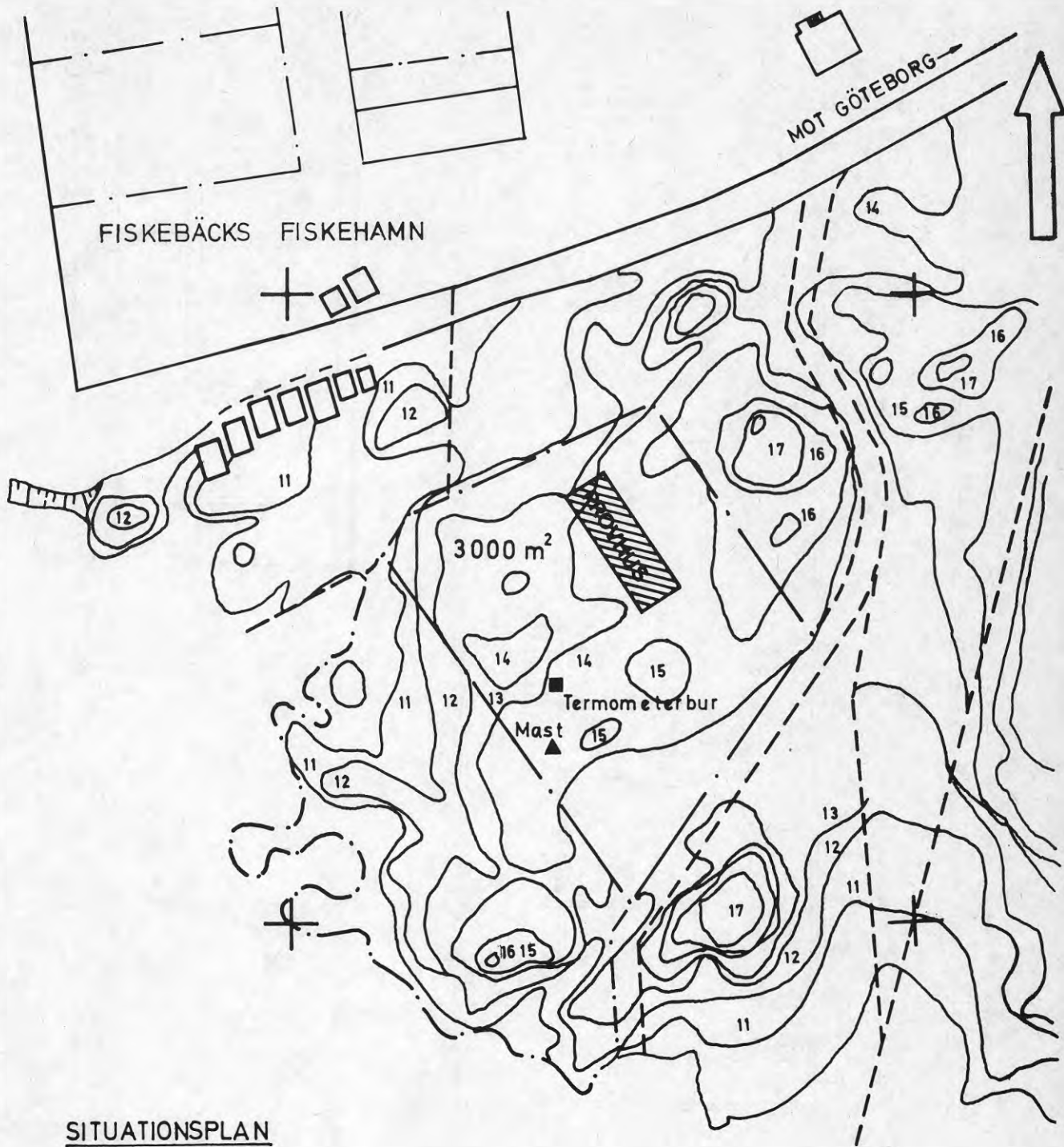
På grundplintar av betong har en stomme innefattande pelare och balkar av stål monterats. Kompletterande bjälklags-, vägg- och takelement av trä är utförda på så sätt att de kan lyftas bort oberoende av varandra. Det befintliga taket är horisontellt men kan vid behov ges varierande lutningar. Takets tätskikt består av en plastfolie, som skyddas av ett lager singel.

Grundinstrumenteringen innehåller 2 st 100 kanalers mätpunktsväljare med största avräkningshastigheten 15 kanaler/s. Resultaten kan matas ut selektivt så att man endast får den för tillfället önskade informationen. Datainsamlingen är anpassad för vidare datorbehandling, vilket i viss utsträckning kan ske i en på stationen uppställd minidator. I grundinstrumenteringen ingår också instrument för registrering av meteoerologiska data. Huvuduppgifter angående provhuset och dess instrumentering redovisas i bilaga 1.

Vindriktnings- och vindhastighetsgivare är placerade ca 30 m söder om byggnaden i en mast 10 m över mark, lufttemperatur- och lufthastighetsgivare i en termometerbur av SMHI:s standardutförande ca 20 m sydväst om byggnaden.

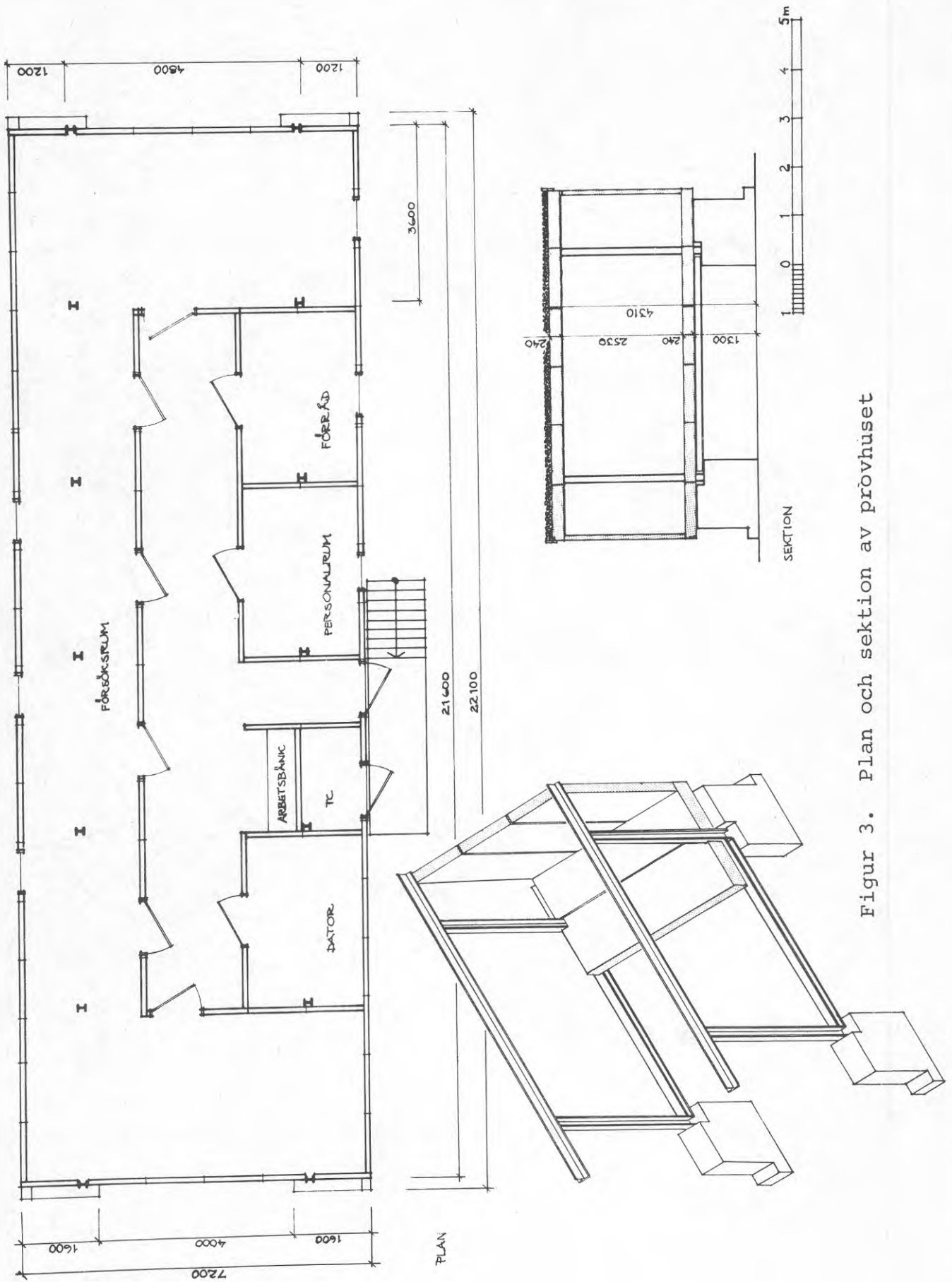


Figur 1. Kartskiss över Göteborgs västra delar.



SITUATIONSPLAN  
1:1000

Figur 2. Situationsplan över provhuset i Fiskebäck.



Figur 3. Plan och sektion av prövhuset



En nederbördsgivare är uppställd på termometerburen, totalinstrålningsgivare och solskenssensor på byggnadens tak. Bestämning av slagregnsmängder sker med en mätare av "tallriks-typ" placerad 20 m väster om provhuset. Lufttryck mätes med barometer belägen inne i provhuset.

## 2.2 Mätapparatur för bestämning av vindtryck

### 2.2.1 Alternativa mätanordningar

Vätskemanometrar har sedan länge använts för mätning av tryckfördelning vid vindtunnelförsök. Under senare år har manometrar av detta slag kompletterats med tryckavkännare lämpade för automatisk registrering. En metod för utskrift via en datainsamlingsenhet beskrivs i [2]. En tryckomkopplare förbinder i tur och ordning ett antal slangar från modellens tryckhål med en tryckgivare, som kan kopplas antingen till en xy-skrivare eller till en datainsamlingsenhet. Metoden är fördelaktig när det gäller mätning i vindtunnel eftersom man kan hålla konstant vindhastighet under den tid som erfordras för att trycket i samtliga mätpunkter skall registreras. Enligt uppgift tar det ca 2 min. för trycket att nå sitt slutvärde i den ovan beskrivna mätanordningen.

Vid fullskalemätningar på en byggnad är det av intresse att registrera det samtidiga vindtrycket i ett större antal punkter på byggnadens ytor. Vätskemanometrar kan till låg kostnad förses med önskat antal mätrör. För samtidig mätning av tryck kan den ovan beskrivna automatiska registreringen ej användas på grund av den stora tidsåtgång som krävs för avläsning av alla mätrören. Fotografering av mätrören för senare utvärdering möjliggör emellertid samtidig avläsning.

I [3] beskrivs en tryckgivare med ett frekvensområde lämpligt för mätning av upp till 10 Hz. I princip består denna tryckgivare av en cirkulär platta med diametern 10 cm upplagd på tre balkar försedda med trådtöjningsgivare. Signalerna från trådtöjningsgivarna kan registreras på olika sätt, t.ex. på magnetband. Instrument av detta slag lämpar sig särskilt väl

för studium av dynamiska vindlaster. En undersökning av samtidigt vindtryck i ett större antal punkter med dessa tryckgivare blir mycket dyr, då instrumenten kostar omkring 1200 kr/st och bandspelarutrustning för samtidig registrering av signalerna 1000 - 5000 kr per instrument.

Av kostnadsskäl valdes därför att bestämma vindtrycket med en kombination av vätskemanometrar, kallad multimanometer.

### 2.2.2 Multimanometerens utformning

Multimanometern består av ett antal öppna vätskemanometrar monterade tillsammans på så sätt att en enkel avläsning av vätskenivån i de olika rören är möjlig. Multimanometern beskrives bl.a. i [4], [5], [6].

Varje i systemet ingående vätskemanometer har följande huvuddelar enl. fig. [4].

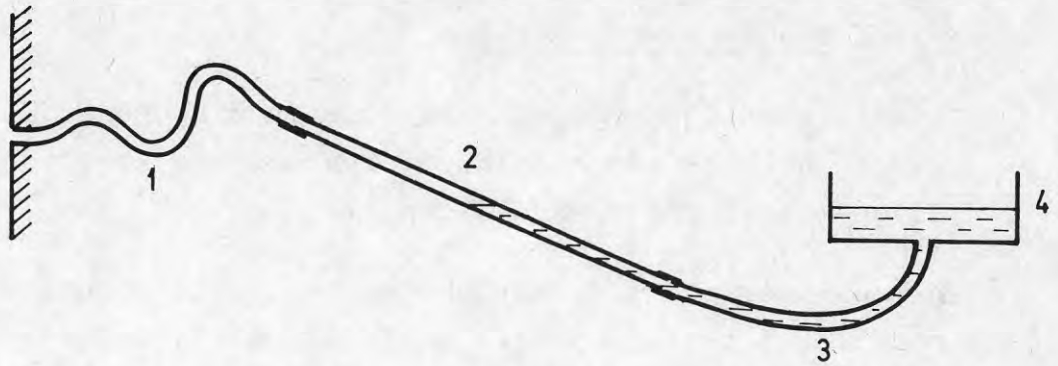
1. Anslutningsslang mellan tryckhål och manometerrör.
2. Manometerrör
3. Anslutningsslang mellan manometerrör och vätskebehållare.
4. Vätskebehållare

Anslutningsslangarna var utförda i böjligt material och genomskinliga för att möjliggöra upptäckt av ev. inträngt vatten eller föroreningar. Slangarna hade samma längd och tvärsnitt så att tryckändringar kunde fortplantas med samma fördröjning.

Manometerrören utgjordes av raka glasrör, skyddade med en klar plastskiva. Plastskivan var graderad på den sida, som låg mot manometerrören för god avläsningsnoggrannhet. Manometerrören var inställbara i olika vinklar så att avläsningsnoggrannheten kunde anpassas till mätuppgiften.

Vätskebehållarens yta valdes så stor att nivåändringar i manometerrören endast i obetydlig grad påverkade vätskenivån i behållaren. Jensen [4] beskriver en multimanometer där behållarens yta är 380 gånger större än den sammanlagda tvärsnittsarean hos manometerrören, dvs ungefär samma förhållande som i Fiskebäck.

Som manometervätska användes alkohol med tillsats av ett färgämne.



Figur 4. Principskiss av använd multimanometer vid fältstationen i Fiskebäck.

### 3. FÖRFÖRSÖK I VINDTUNNEL

#### 3.1 Beskrivning av vindtunneln

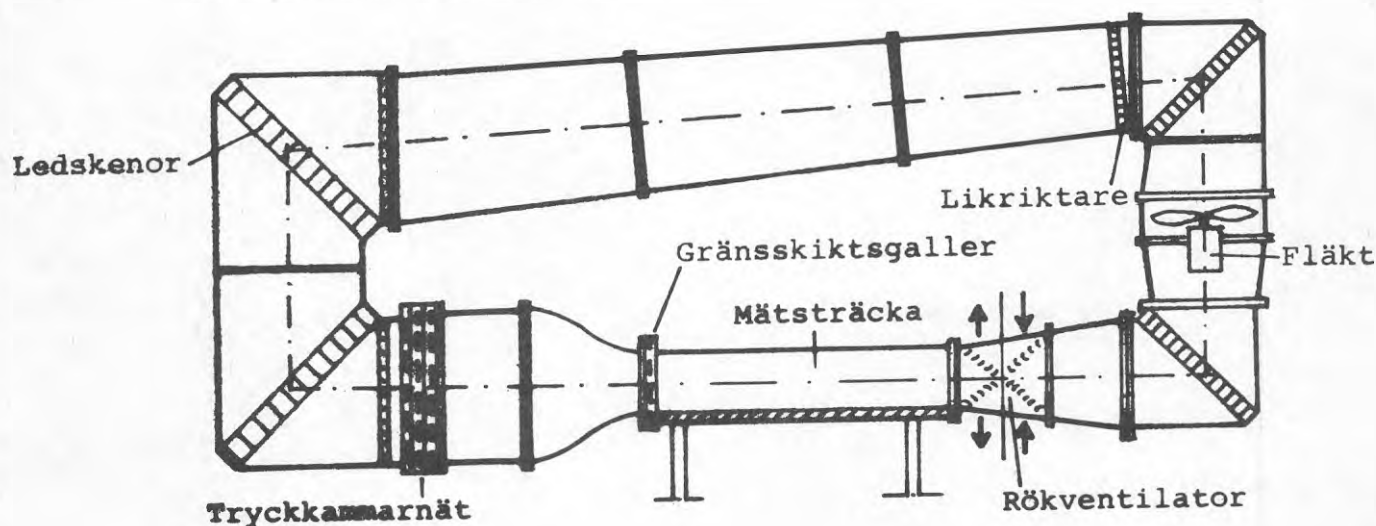
##### 3.1.1 Tunnelns konstruktion

Avdelningen för byggnadskonstruktion disponerar en mindre vindtunnel med låg hastighet. Tunneln har konstruerats av Flygtekniska försöksanstalten [7].

Dimensioner och lufthastigheter har valts så att stadsplane-modeller i skala upp till ca 1:1000 skall kunna studeras och kvalitativa tryckmätningar göras med enkla vätskemanometrar.

Vindtunneln, fig. 5, är av slutentyp, vilket innebär att i stort sett samma luftmassa cirkulerar i systemet. Luftströmmen från en fläkt omriktas i tre 90°-krökar innan den kommer till tryckkammaren.

Denna följs av en kontraktionsdel, i vilken kanalarean kontinuerligt minskar och lufthastigheten ökar till det värde den har i mätsträcka.



Figur 5. Vindtunnel vid avdelningen för byggnadskonstruktion

Mätområdet har rektangulär tvärsnittsytta med måtten  $160 \times 40$  cm<sup>2</sup> (bredd  $b \times$  höjd  $h$ ) och längden 190 cm. Tunnelgolvet består av ett flyttbart bord med måtten  $160 \times 190$  cm<sup>2</sup>. I mitten



av tunnelgolvet finns en vridbar cirkulär skiva (diameter 75 cm) som är infälld. Den medger vridning av påmonterade föremål så att strömningsriktningen kan varieras i förhållande till modellen.

Mätområdet kan antingen vara öppet eller försett med tätslutande tak och väggar (överdel) utförda av plexiglas. Mätningar med och utan överdel har ej påvisat några skillnader i resultat och då arbetet försvåras avsevärt med överdel har denna vid senare mätningar ej använts.

Vindtunneln drives av en 2-hastighetsmotor kopplad till en axialfläkt med statiska trycket 40 mm vattenpelare.

Hastighet över mätsträckan blir 14 eller 6 m/s, beroende på vald motoreffekt.

Genom en modifiering (transformator) har en steglös variabel hastighet för den lägre effekten erhållits. Medelhastighetsområdet är sålunda 0 - 6 m/s och 14 m/s.

### 3.1.2 Tunnelns hastighetsfält

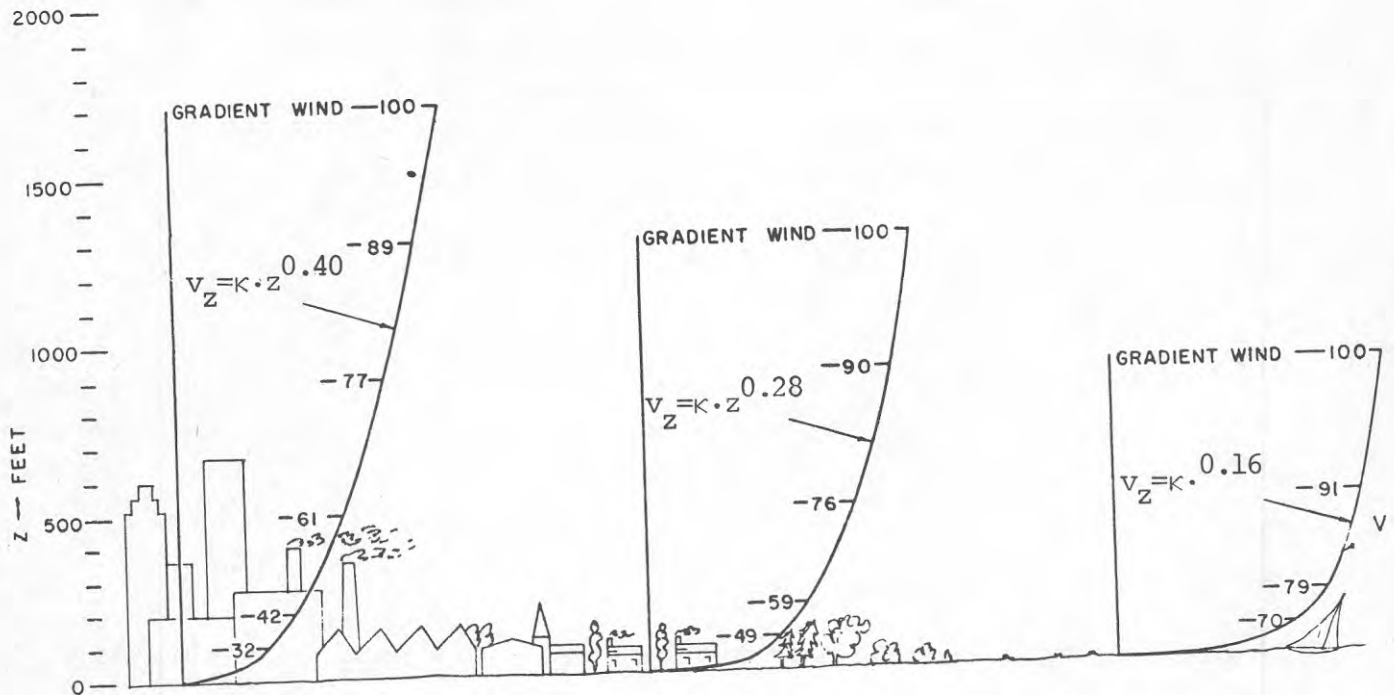
Flygtekniska försöksanstalten har gjort en grovkalibrering av tunnelns hastighetsfördelning. Den visade god överensstämmelse med beräknade värden och hastigheten varierade mindre än 1.5 % över den normala mätsträckans tvärsnitt när ej något gränsskiktsgaller var monterat.

En senare gjord undersökning [8] rörande hastighetsfördelning och turbulensgrader bekräftar de små hastighetsavvikelserna i mätsträckans tvär- resp. längdsnitt utan gränsskiktsgaller. Med monterat gränsskiktsgaller erhålles hastighetsavvikelser upp till 20 % i mätsträckans tvärsnitt. En markerad hastighetssvacka med bredden ca 40 cm är belägen i mätsträckans mittnitt. Hastighetsavvikelsen kommer därför att ge upphov till ej önskad och svårbedömd tvärströmning. Turbulensgraden varierar i höjddled mellan 1.5 och 12 % gällande respektive 10 och 1 cm över tunnelbotten i det simulerade atmosfäriska gränsskiktet, vilket ungefär motsvarar den naturliga turbulensnivån och möjliggör studium av vindlaster



på byggnader och vindströmning i bostadsområden. För studium av rökspridning från höga skorstenar är turbulensnivån i minsta laget [9]. Den kan dock höjas med hjälp av speciella turbulensgaller.

Det är angeläget att simulera den naturliga vertikala hastighetsprofilen, se fig. 6.



Figur 6. Exempel på medelvindhastighetsprofiler enligt Davenport [10]

- a) Profil för storstäder
- b) Profil för skogslandskap, småstäder med låg bebyggelse
- c) Profil för slättlandskap, hav

Detta sker i vindtunneln genom att placera ett gränsskiktsgaller vid diffusorn, fig. 5. Gallret är tillverkat av horisontellt ställda aluminiumribbor med uppåt ökande delning. Det inställes och kalibreras så att medelhastighetsprofilen överensstämmer med den önskade i det område, där modellen skall placeras.

Den tidigare nämnda hastighetsavvikelsen i mätsträckans tvärsnitt omöjliggör en korrekt vertikal hastighetsprofil i tvärled. Då undersökta föremål i allmänhet har liten utsträckning, deras maximala tvärsnittsarea bör ej överstiga 10 % av tunneltvärsnittet, bör de placeras i mitten på mätbordet.

### 3.1.3 Mätanordningar

För tryckmätningar på byggnadsmodeller finns en lutande multimanometer med 30 st mätrör, som ger en kvalitativ bild av tryckens fördelning. Avläsning sker genom anteckning av värdena eller genom fotografering för senare utvärdering.

Vindströmning kring byggnader och rökspridning från skorstenar kan visualiseras med rök. En rökgenerator alstrar rök (förångad fotogen), som genom en sond eller rökratta bildar rökstrålar. Rökspridningen kan iakttas direkt eller fotograferas.

Absoluta hastigheter och riktningar kan bestämmas med ett Prandtl-rör och en mikromanometer.

Både absoluta vindhastigheter och turbulensgrader registreras med hjälp av en varmtrådsanemometer.

Vid studier av vindförhållanden på uteplatser och gångstråk och även vid bedömning av förutsättningar för snöackumulering kan vindförhållandena skattas genom att bestryka modellen med färg (zinkvitt, linolja, fotogen). Färgen blåser bort där markvindhastigheten är hög och samlas i virvelområden. Det uppkomna strömningsmönstret antyder också vindriktningar.

### 3.2 Mätning av manometerrespons

#### 3.2.1 Teoretisk behandling

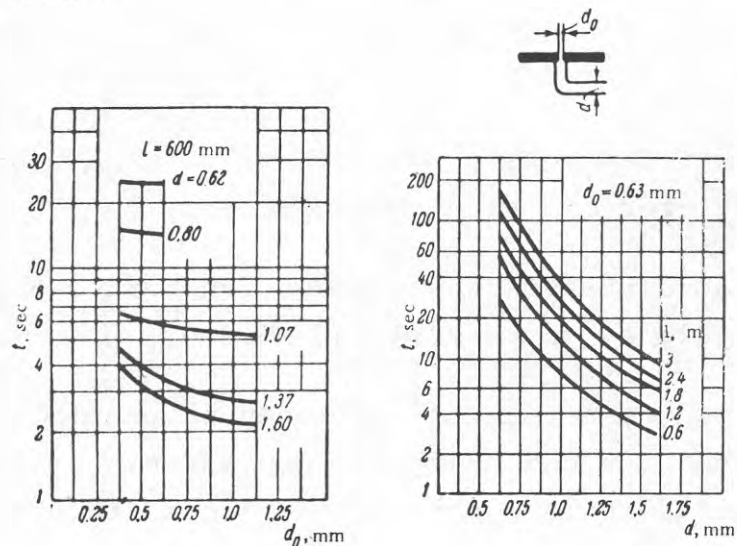
En tryckändring i mätöppningen fortplantar sig till manometerns vätskedel med en viss tidsfördröjning. Manometers reaktion på en tryckändring brukar betecknas respons. Tidsfördröjningen i responsen kan anges som den tid det tar för att en viss del av det pålagda trycket skall registreras.

Tidsfördröjningen beror på motstånd i slangar och rör, på ändring av luftdensiteten samt på trögheten i vätskemassan.

För att undersöka vätskemanometers reaktionstid och respons för en given tryckändring har försök beskrivna i det följande genomförts i vindtunneln tillhörande avdelningen för Byggnadskonstruktion. Nedan studeras tidsfördröjningen teoretiskt.

#### Tidsfördröjning i manometers luftdel

Tidsfördröjningen avtar snabbt med stigande slangdiameter, fig. 7. Orienterande försök har visat att tidsfördröjningen hos 10 m långa slangar med diameterna ca 4 mm är måttlig (storleksordningen 1 s).



Figur 7. Tidsfördröjningens beroende av öppningsdiameter, slangdiameter och slanglängd. [5]

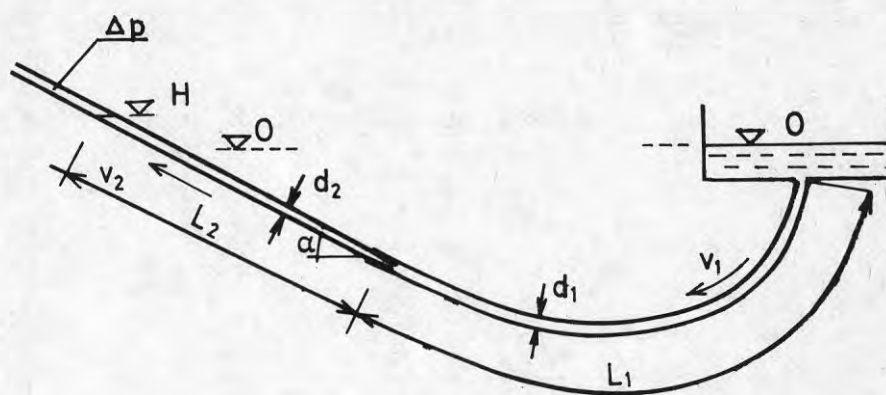
### Tidsfördröjning i manometerns vätskedel

Rörelsen på grund av en tryckändring i manometerns vätskedel betraktas som en endimensionell, stationär rörelse i en vätska, för vilken Bernoulli's teorem gäller.

Med beteckningar enligt fig. 8 erhålles:

$$H + \Delta p + \frac{v_2^2}{2g} + h_f = 0 \quad (1)$$

där  $h_f$  = strömningsförlusterna och  $\Delta p$  = tryck uttryckt i m vätskepelare, (egentligen  $-\frac{p}{\gamma}$ ).



Figur 8. Strömning i manometerrör. Positiv strömning räknas från vätskebehållaren.

Vätskebehållarens storlek i förhållande till rördiametrarna är sådan att vätskenivån kan anses vara konstant för tryckändringen  $\Delta p$ . Vidare antas strömningen vara laminär och från accelerationseffekter bortses. Strömningsförlusterna består av friktionsförluster i röret samt inströmningsförluster vid strömning från behållarna till röret.

$$h_f = f_1 \frac{L_1}{d_1} \frac{v_1^2}{2g} + f_2 \frac{L_2}{d_2} \frac{v_2^2}{2g} + K_a \frac{v_1^2}{2g} \quad (2)$$

där  $f_1 = \frac{64}{Re_1} = \frac{64v_1}{v_1 d_1}$ ,  $f_2 = \frac{64}{Re_2} = \frac{64v_2}{v_2 d_2}$

$$v_1 = v_2$$

$v$  = vätskans kinematiska viskositet

$Re$  = Reynolds tal

$K_a$  = koefficienten för strömning genom skarpkantat inlopp



För kontinuitet gäller sambandet

$$d_1^2 v_1 = d_2^2 v_2$$

Efter insättning av  $v_1$  i ekv. 1 erhålles

$$H + \Delta p + (K_a \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4 + 1) \frac{v_2^2}{2g} + \left(\frac{L_1 d_2^2}{d_1^4} + \frac{L_2}{d_2^2}\right) \frac{64\nu}{2g} v_2 = 0 \quad (3)$$

Ekvation 3 kan lösas efter insättning av

$$v_2 = \frac{1}{\sin\alpha} \frac{dH}{dt} \quad (4)$$

En första lösning erhålles om kvadrattermerna av  $v_2$  försummas:

$$H + \Delta p + \frac{64\nu}{2g} \left(\frac{L_1 d_2^2}{d_1^4} + \frac{L_2}{d_2^2}\right) v_2 = 0 \quad (5)$$

$$H + \Delta p + \frac{64\nu}{2g} \left(\frac{L_1 d_2^2}{d_1^4} + \frac{L_2}{d_2^2}\right) \frac{1}{\sin\alpha} \frac{dH}{dt} = 0 \quad (6)$$

Integreras från  $t = 0$ ,  $H = 0$  till  $t$ ,  $H$  erhålles

$$\int_0^H \frac{dH}{H+\Delta p} = - \int_0^t dt \frac{2g \sin\alpha}{64\nu \left(\frac{L_1 d_2^2}{d_1^4} + \frac{L_2}{d_2^2}\right)} \quad (7)$$

$$\ln(H+\Delta p) - \ln \Delta p = - t \frac{2g \sin\alpha}{64\nu \left(\frac{L_1 d_2^2}{d_1^4} + \frac{L_2}{d_2^2}\right)} \quad (8)$$

$$\frac{H+\Delta p}{\Delta p} = \exp\left[-t \cdot g \sin\alpha / 32\nu \left(\frac{L_1 d_2^2}{d_1^4} + \frac{L_2}{d_2^2}\right)\right] \quad (9)$$



Ekv. 9 tillämpas nu med antagna värden för en multimanometer:

Manometervätska: Alkohol  $\gamma = 0.8 \text{ Mp/m}^3$ ,  $\nu = 1.56 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$  vid  $20^\circ$ .

$$\Delta p = 0.030 \text{ Mp/m}^2 / \gamma = 0.0375 \text{ m v\ddot{a}tskepelare}$$

$$L_1 = 0.60 \text{ m} \quad d_1 = 0.004 \text{ m}$$

$$L_2 = 0.20 \text{ m} \quad d_2 = 0.006 \text{ m}$$

$$\text{tg}\alpha = 0.1 \quad \alpha = 5.7^\circ$$

$$t = 1 \text{ s}$$

Med insatta värden erhålles

$$v_1 = 0.17 \text{ m/s} \quad v_2 = 0.075 \text{ m/s}$$

$$\text{Re (glasr\u00f6ret)} = 300 \Rightarrow \text{lamin\u00e4r str\u00f6mning}$$

$$\text{Re (slang)} = 450 \Rightarrow \text{lamin\u00e4r str\u00f6mning}$$

Med ovan erh\u00e5llet v\u00e4rde p\u00e5  $v_2$  kan kvadrattermen f\u00f6rsummas.

Sambandet mellan  $H$  och  $t$  framr\u00e4knat ur ekvation (9) visar god \u00f6verensst\u00e4mmelse med utf\u00f6rda f\u00f6rs\u00f6k inom det dimensionsomr\u00e5de som varit aktuellt, vilket visas i f\u00f6ljande kapitel.

### 3.2.2 Konstant tryck

Ett enstaka f\u00f6rs\u00f6k utf\u00f6rdes med avsikt att kontrollera \u00f6verensst\u00e4mmelsen mellan tryck uppm\u00e4tta med multimanometern och en mikromanometer av fabrikat Fuess.

Vid f\u00f6rs\u00f6ket ansl\u00f6ts tv\u00e5 n\u00e4rliggande m\u00e4tr\u00f6r p\u00e5 multimanometern till slangarna fr\u00e5n ett Prandtl-r\u00f6r. Vindtunneln k\u00f6rdes med h\u00f6gsta vindhastighet, ca 13 m/s, och utan galler. Prandtl-r\u00f6ret var anbringat i m\u00e4tsektionens centrum.

Det dynamiska trycket,  $q$ , erh\u00e5lles ur uttrycket

$$q = (l_1 - l_2) \frac{\gamma_m}{\gamma_v} \sin\alpha$$

d\u00e4r  $l_1$  och  $l_2$  \u00e4r p\u00e5 m\u00e4tr\u00f6ren avl\u00e4sta tryckniv\u00e5er i mm,  $\alpha$  = m\u00e4tr\u00f6rens lutning i f\u00f6rh\u00e5llande till horisontalplanet samt  $\gamma_m$  och  $\gamma_v$  tungheten hos manometerv\u00e4tska och vatten. Trycket  $q$  erh\u00e5lles d\u00e4rvid i mm vattenpelare.

Vätskenivåerna avlästes när deras rörelser avstannat.

Resultat:

$$l_1 - l_2 = 98 - 19 = 79 \text{ mm}$$

$$\sin\alpha = 0.18$$

$$\gamma_m = 0.8$$

$$\gamma_v = 1.0$$

$$q = 79 \cdot 0.18 \cdot \frac{0.8}{1.0} = 11.4$$

På mikromanometern avlästes det dynamiska trycket

$$q = 11.7$$

Differensen är rimlig med hänsyn till att fel uppkommer vid avläsning av  $l_1$ ,  $l_2$  och  $q$ , att manometervätskans täthet inte är känd med större noggrannhet samt att fel uppstår vid bestämning av manometerrörens lutning.

Avläsningsnoggrannheten bedömdes vara tillräcklig för de mätningar manometern skall användas till. Lutningen hos manometerrören inverkar på skärpan i avläsningen men saknar betydelse i övrigt eftersom kvoten mellan tryck över en viss referensnivå ej förändras med lutningen. Däremot visade det sig under försöken att manometervätskans täthet kan förändras. Särskilt vid påfyllning av ny vätska är det av vikt att omsorgsfull blandning sker, ej endast i vätskebehållaren utan också i samtliga manometerrör. Differenser på upp till 10 mm har förekommit mellan manometerrör fyllda med "gammal" och "ny" vätska vid lutningen 0.14 medan vid välblandad vätska differenser upp till 4 mm förekommer beroende på variationer hos glasrörens diameter och rakhet.

### 3.2.3 Tryckökning

Försök genomfördes dels för studium av responsen då trycket i manometerröret ändras från en konstant nivå till en annan och dels för studium av tryckmedelvärde vid pulserande tryckändringar.

Som försöksapparat användes en multimanometer med 114 st mätrör med ca 4 mm invändig diameter. Multimanometerns konstruktion framgår i princip av fig. 4. Mätrören är placerade på en kring en horisontell axel vridbar skiva, som medger inställning av olika lutning hos mätrören. Det totala mätområdet är ca 500 mm för varje mätrör. Mätrören är förbundna med en vätskebehållare via sinsemellan lika långa plastslangar med en invändig diameter av ca 4 mm. Behållarens fria vätskeyta är  $400 \times 1200 \text{ mm}^2$ . Som manometervätska användes etylalkohol med tillsats av ett rött färgämne.

Vid studiet av manometerns respons vid ändring av trycket från en nivå till en annan varierades följande parametrar:

- Mätarens lutning
- Utgångstrycket
- Anslutningsslangens längd

Som referenstryck (= sluttryck) användes laboratorielokalens lufttryck. Om anslutningsslangarna var öppna befann sig därför vätskeytorna i mätrör och vätskebehållare på samma nivå vid jämvikt. Utgångstrycket åstadkoms genom utsugning eller inblåsning av luft i anslutningsslangen varefter slangen tillslöts. Slangen öppnades därefter hastigt och den tid som åtgick för vätskeytan att förskjutas vissa delar av den slutliga, totala förskjutningen bestämdes. I allmänhet noterades tidåtgången för rörelser om 60, 90 och 95 % av totala förskjutningen.

Primärvärden från undersökningen redovisas i bilagorna 2-9. Manometerns respons för 3 längder på anslutningsslangarna och 3 lutningar hos manometerrören återges i fig. 9, 10 och 11. Av undersökningen framgår att utgångstryckets storlek har relativt liten inverkan på responsen vid en viss lutning och slanglängd. Kurvorna i fig. 12 t.o.m. 14 har därför ritats för en utgångslängd på vätskepelaren av 300 mm. Som väntat ökar tiden med ökande slanglängd och avtagande vinkel mellan manometerrör och horisontalplan.

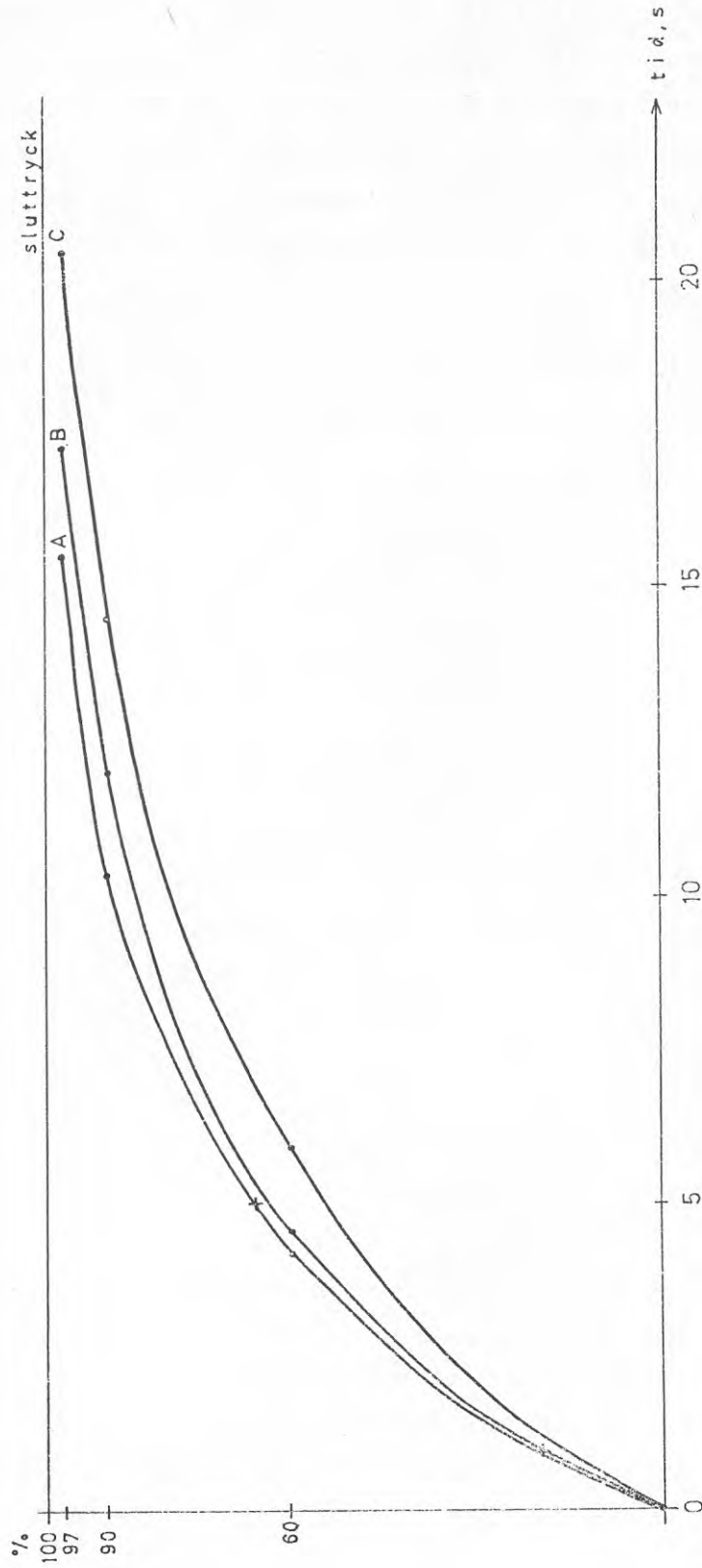
I fig. 9 t.o.m. 11 har ur ekv. 9 beräknade värden på responsen inlagts. Överensstämmelsen mellan beräknad och uppmätt respons är god.

I fig. 12 redovisas tidsåtgång för registrering av 90 % av sluttrycket  $p_s$  för olika lutningar hos mätröret.

300 mm vätskepelare

$t_{g\alpha} = 0,10$

- A 0,5 m slanglängd
- B 10,0 m slanglängd
- C 27,5 m slanglängd
- experimentella värden
- + beräknade värden



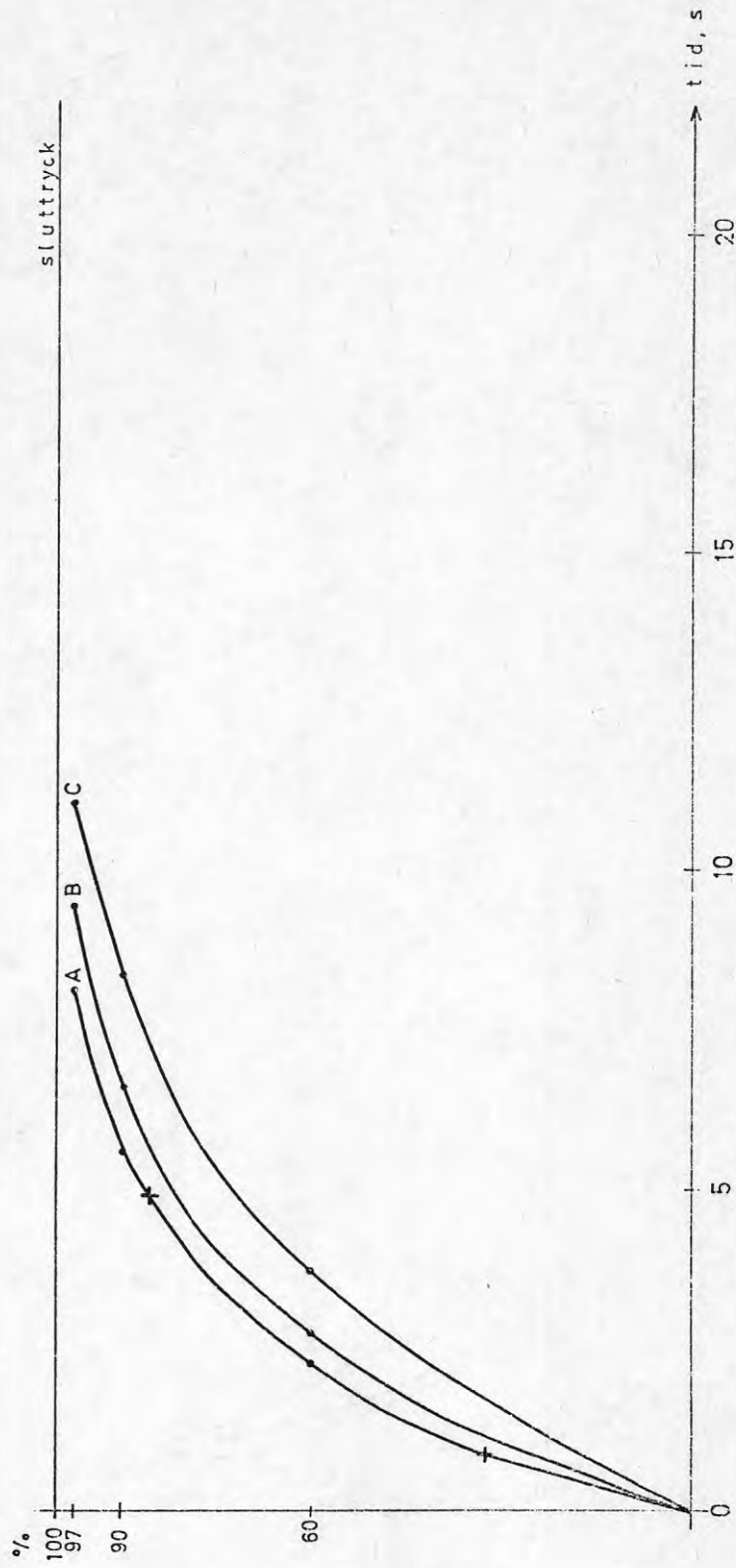
Figur 9. Tidsåtgång för registrering av delar av slutstrycket  $p_s$  för vätskemano-  
meter med olika längder på anslutningsslangar.  
Manometerrörets lutning  $t_{g\alpha} = 0,10$ .



300 mm vätskepelare

$t_{g\alpha} = 0,18$

A	0,5 m slanglängd
B	10,0 m slanglängd
C	27,5 m slanglängd
•	experimentella värden
+	beräknade värden



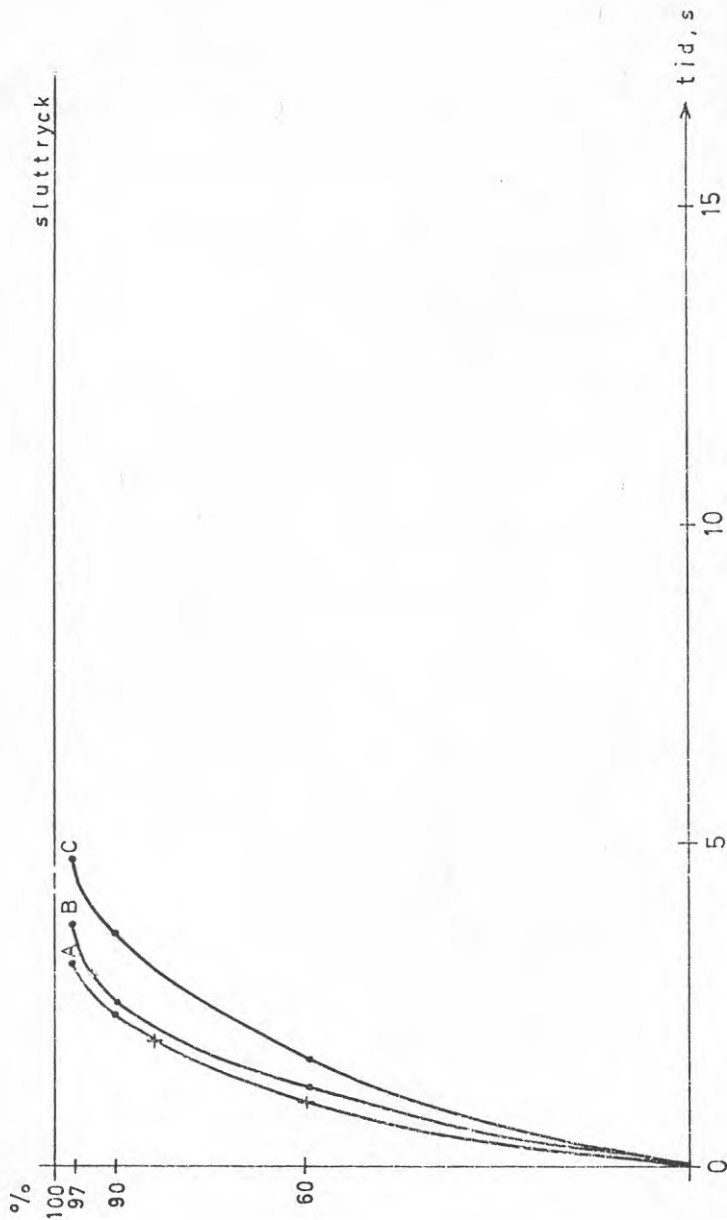
Figur 10. Tidsåtgång för registrering av delar av slutstycket  $p_s$  för vätskemano-  
meter med olika längder på anslutningsslangar.  
Manometerörets lutning  $t_{g\alpha} = 0,18$ .



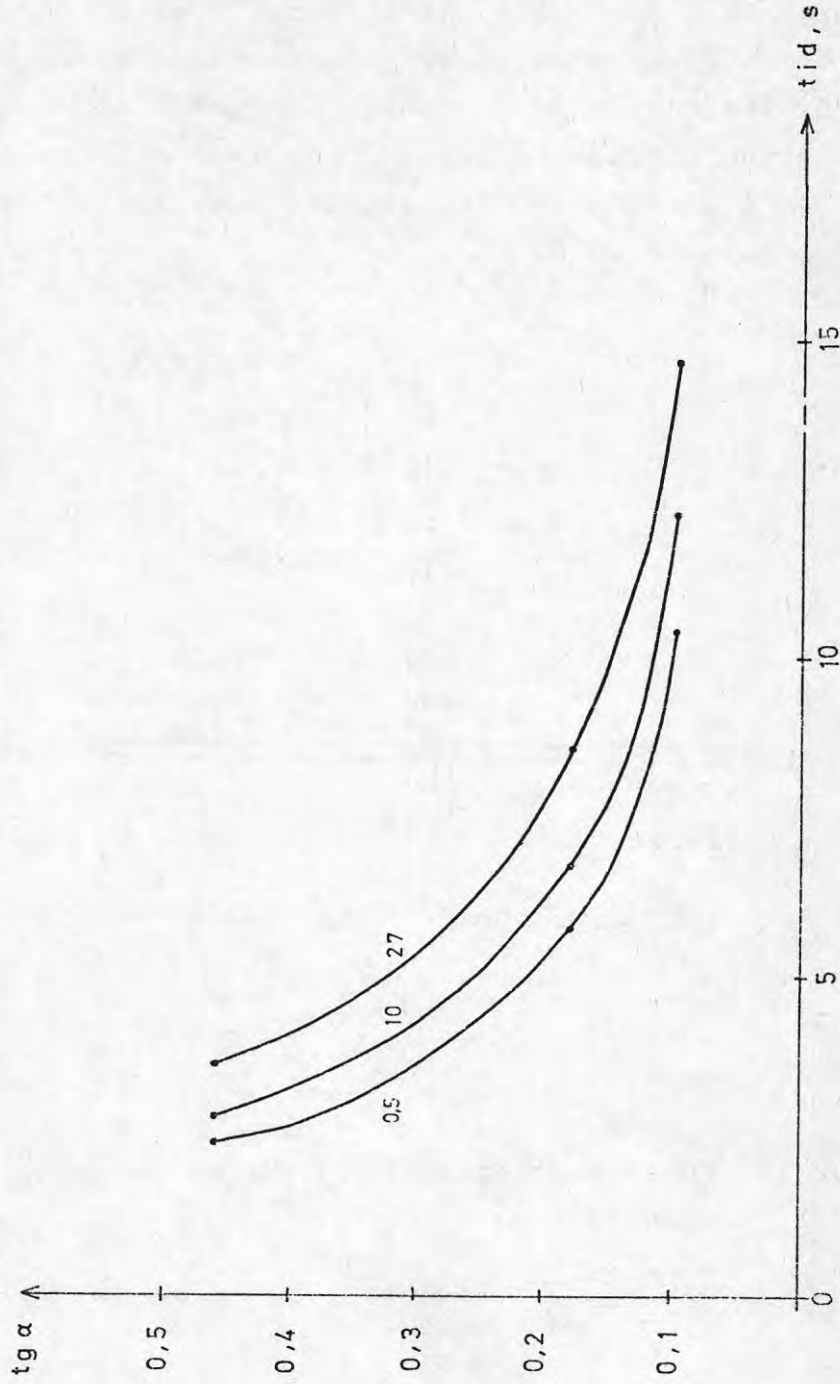
300 mm vätskepelare

$tg\alpha = 0,45$

A	0,5 m slanglängd
B	10,0 m slanglängd
C	27,5 m slanglängd
•	experimentella värden
+	beräknade värden



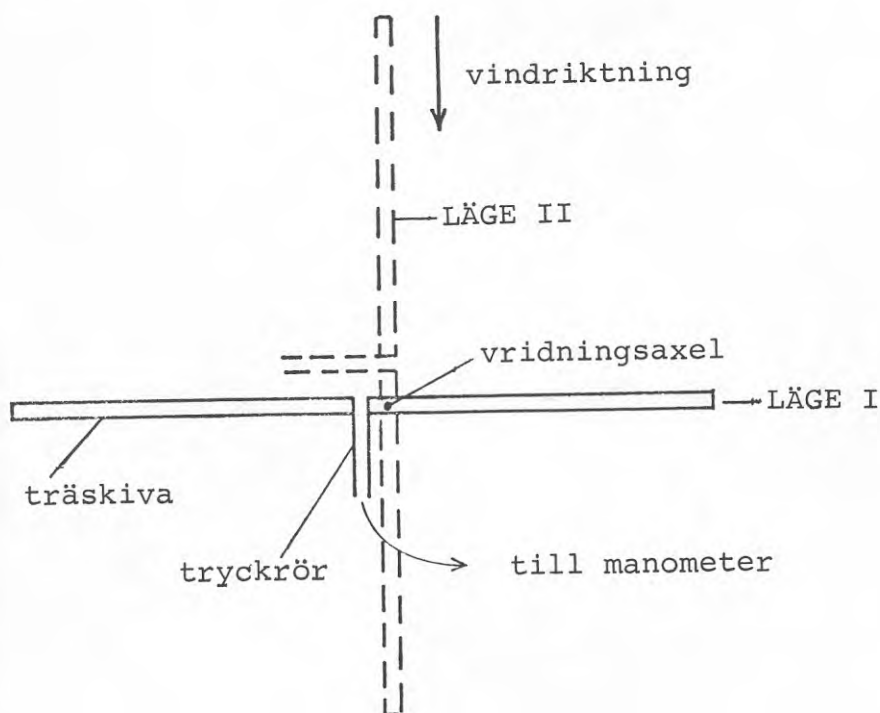
**Figur 11.** Tidsåtgång för registrering av delar av sluttrycket  $p_s$  för vätskemano-  
meter med olika längder på anslutningsslangar.  
Manometerrörets lutning  $tg\alpha = 0,45$ .



Figur 12. Tidsåtgång för registrering av 90 % av slutstycket  $p_s$  för olika lutningar hos mätörret.  
Anslutningsslangens längd är 0,5, 10 och 27 m.

### 3.2.4 Pulserande tryck

Vid försöket användes en träskiva med ett inmonterat tryckrör med 4 mm invändig diameter. Tryckröret anslöts till ett manometerrör med en 10 m lång slang. Träskivan placerades på en vridbar axel i vindtunnelns mätsträcka och vreds under försöket hastigt mellan ett läge vinkelrätt mot strömningens riktningen och ett läge parallellt med strömningens riktningen. I varje läge kvarhölls skivan under 3 eller 6 sekunder, försök I och II, och extrema, registrerade tryck noterades. Som jämförelse bestämdes de slutliga trycken efter lång tids exponering, försök III, i de båda lägena. Försöksanordningen framgår i princip av fig. 13. Vid försöket var manometerrörens lutning 0.18.



Figur 13. Försöksanordning för mätning av pulserande vindtryck.

Mätresultaten redovisas i tabell I samt fig. 14. Tryckmedelvärden beräknade ur försök I och II skiljer sig obetydligt från tryckmedelvärdet beräknat ur försök III.

Responsten på tryckvariationen var vid  $\Delta t = 3$  sek. ca 50 % och vid  $\Delta t = 6$  sek. ca 80 % av den i försök III bestämda tryckskillnaden. Enligt de mätningar som redovisats i föregående avsnitt, fig. 10, kurva B, erhöles en respons av ca 63 % vid  $\Delta t = 3$  sek. och ca 85 % vid  $\Delta t = 6$  sek. Skillnaden är inte stor med hänsyn till tryckvariationernas olika karaktär vid de två försökstyperna. Kurvorna i fig. 9, 10 och 11 bör kunna tjäna som underlag vid bedömningen av hur korta tryckstötter som kan registreras vid en viss mätuppställning.

Tabell 1. Uppmätta tryck i mm lutande vätskepelare vid pulserande tryck.

Försök	Uppmätta tryck		Tryckmedelvärde
	Läge I	Läge II	
Försök I $tg\alpha = 0,18$ $\Delta t = 3$ sek.	32 33 35 33	11 12 12 13	22,6
Försök II $tg\alpha = 0,18$ $\Delta t = 6$ sek.	43 42 40 40 40	5 5 4 4 4	22,7
Försök III $tg\alpha = 0,18$ $\Delta t = 60$ sek.	44,0	1,0	22,5



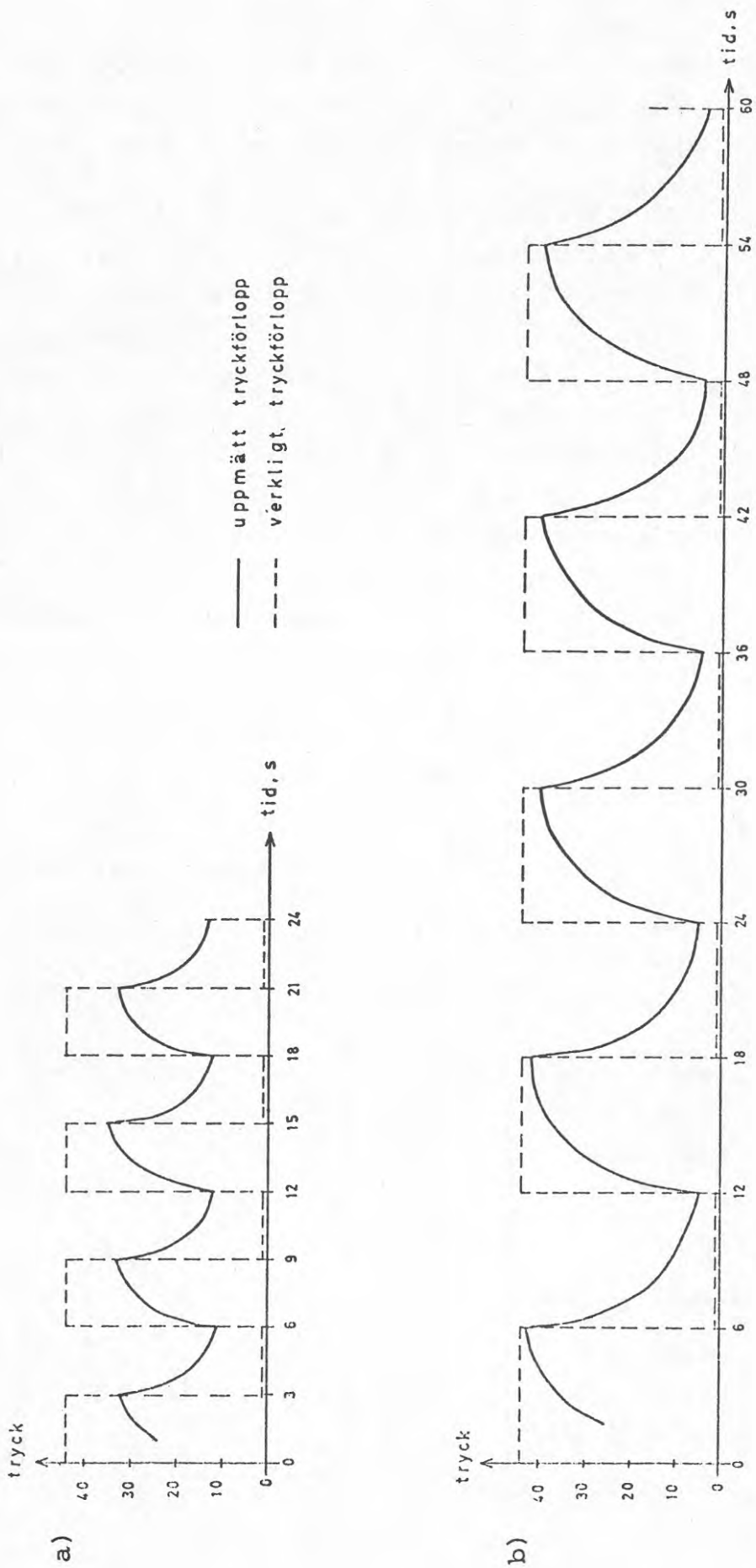


Figure 14. Samband mellan skattade, verkliga tryckvariationer och variationer mätta med vätskemanometern registrerat tryckförlopp.

a) Konstanthållning  $\Delta t = 3$  sek.

b) Konstanthållning  $\Delta t = 6$  sek.

### 3.2.5 Multimanometerens användbarhet

De i det föregående redovisade undersökningarna har syftat till att klargöra om vätskemanometrar är lämpliga för mätning av i första hand statisk vindbelastning på en byggnad och i andra hand i vilken utsträckning det är möjligt att registrera kortvariga tryckändringar orsakade av vindstötter.

Kontroll av vätskemanometerens registreringar av konstanta tryckskillnader visade avvikelser på ca 3 % förutsatt att manometervätskans egenskaper inte ändrades.

Jämviktsfördröjningen i manometerens luftdel uppgår till några sekunder och beror på slanglängd och -diameter. Så stor diameter och så kort slang som möjligt bör väljas. I en slang med diametern 4 mm och längden 10 m uppnås 90 % av sluttrycket efter ca 1 sek förutsatt att manometer-röret står vertikalt. I ett generellare fall inverkar manometerens lutningsvinkel  $\alpha$ . Jämviktsfördröjningen för registrering av 60 % av tryckändringen varierade i denna undersökning mellan 1 och 5 sek. där det kortare värdet svarade mot den största lutningsvinkeln.

Det i en punkt på en byggnad mätta trycket påverkas av vindens turbulens. Vid undersökningen av manometerens respons vid pulserande tryck erhöles mätmedelvärden som obetydligt avvek från medelvärdet av det pulserande trycket. För turbulent vind med en turbulensfrekvens upp till 1/2 Hz kan därför medelvärdena av de i manometern registrerade trycken ge en skattning av det tryck som svarar mot medelvindshastigheten.

De redovisade responskurvorna kan användas för bedömning av varaktigheten hos de vindstötter som kan registreras vid en viss mätuppställning.

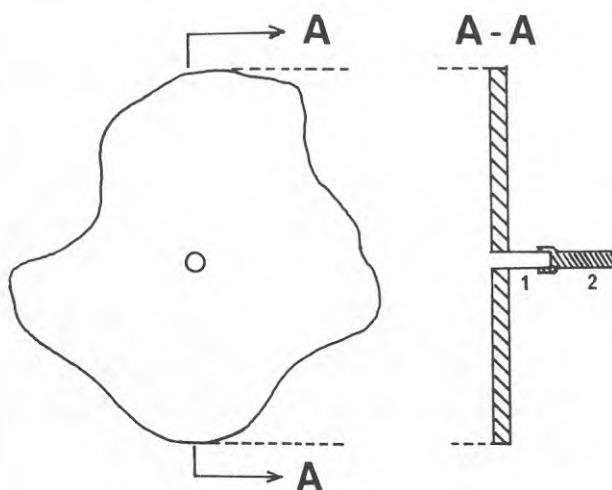
Vätskemanometrar med tidigare beskrivet utförande är relativt okänsliga för temperatureffekter. Jämviktsfördröjningen i systemet beror på viskositeten hos luft och vätska (alkohol), en egenskap som vid normala temperaturändringar endast uppvisar obetydliga variationer för de nämnda medierna.

De ovan beskrivna mätningarna antyder att den undersökta vätskemanometern är lämpad för bestämning av statiska vindlaster på en byggnad. Manometern har också fördelar med hänsyn till utbyggnadsmöjligheter, skötsel och ekonomi.

### 3.3 Studium av effekter beroende på tryckhålens storlek och form

#### 3.3.1 Mätningarnas syfte

Vid bestämning av vindlaster (antingen på en modell i vindtunnel eller på en byggnad i full skala) med vätskemanometer kan tryckhålens storlek och utformning tänkas påverka mätresultaten. Vid vindtunnelförsök brukar tryckhålen vara cirkulära med liten diameter, omkring 0.5 - 1 mm, fig. 15.



Figur 15. Tryckhål i vindtunnelmodell

1. Metallrör
2. Slang ledande till manometer

Om området kring tryckhålet är ojämnt, kan lokala virvlar påverka det uppmätta tryckets storlek, speciellt om hålets diameter är liten i förhållande till ojämheterna. Rördelar som sticker utanför ytans plan har också inverkan på mätvärdena. Ökar diametern, reduceras effekten av lokala virvelbildningar.

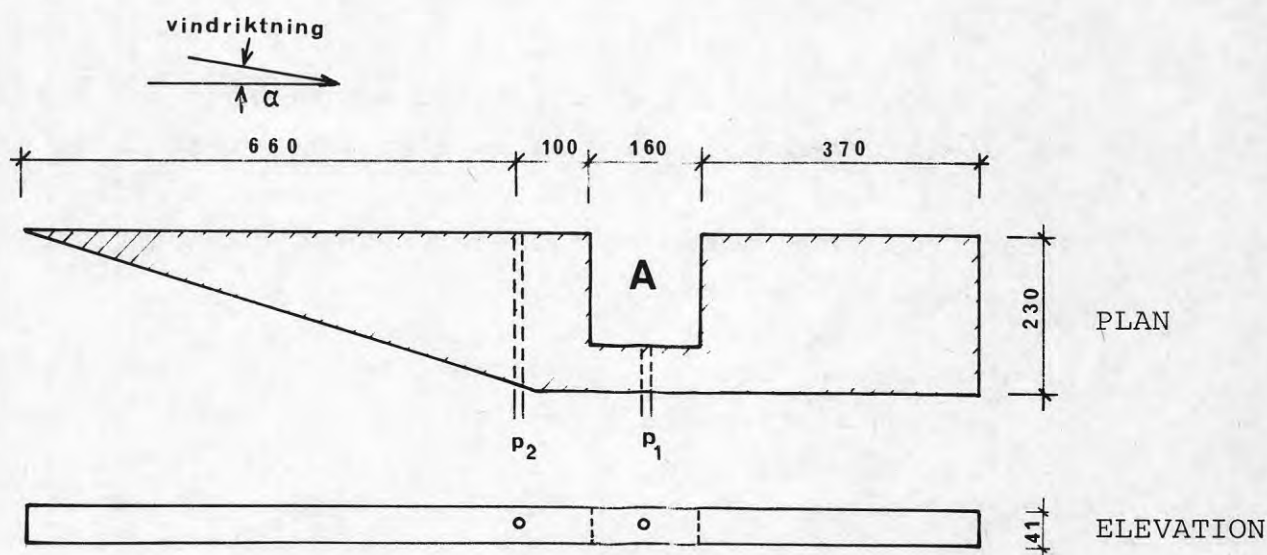
Några rekommendationer av tryckhålens storlek och utformning vid fullskalemätningar har ej stått att finna i litteraturen.

Jensen [4] har beskrivit ett fullskaleförsök där vindlast har uppmätts med vätskemanometer. Vid hans försök var tryckhålens cirkulära med en diameter av 2 cm.

För att belysa hur tryckhålens storlek och utformning kan inverka på uppmätta vindtryck genomfördes en vindtunnelstudie. Vindlaster mättes vid 2 tryckhål, ett med varierad storlek och utformning och ett med konstant storlek, under olika anblåsningsriktningar.

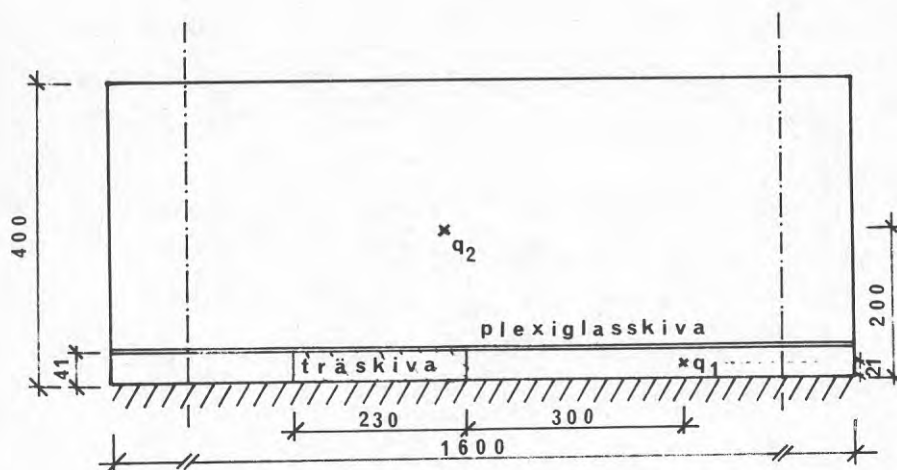
### 3.3.2 Försöksanordning

Vid försök användes en träskiva, fig. 16, som placerades liggande, i centrum på vindtunnelns mätsträcka. På skivan lades en plexiglasskiva täckande större delen av mätsträckan, fig. 17.



Figur 16. Försöksanordning för mätning av vindlast vid varierande utformning och storlek hos tryckhål, definition av vindriktning.





Figur 17. Tvärsektion genom vindtunnelns mätområde visande en träskiva liggande på vindtunnelns botten med ovanliggande plexiglasskiva. Hastighetstrycket i friströmmen uppmättes i punkterna betecknade  $q_1$  och  $q_2$ .

I träskivan monterades 2 st rör med diametern 5 mm, vilka med slangar var anslutna till en mikromanometer. Anslutningen  $p_1$ , figur 16, mynnade i en förtagning A, medan  $p_2$  via en cirkulär, rak kanal med 3 mm diameter mynnade på träskivans plana sidoyta.

I förtagningen A monterades olika insatser (träklotsar) så att utrymmet varierades i storlek och utformning, se tabell 2. Förtagningens höjd var lika med träskivans tjocklek.

Vindtunneln kördes med hel och halv effekt motsvarande 13 m/s och 6 m/s i friströmmen (punkt  $q_2$  i fig. 17).

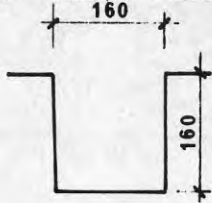
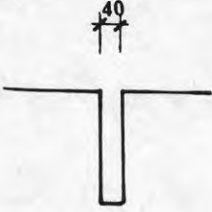
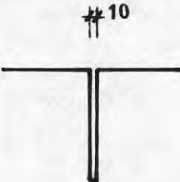
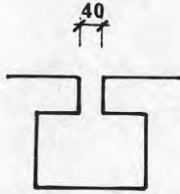
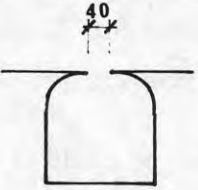
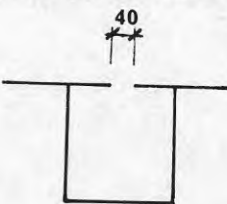
Anblåsningsriktningen ändrades genom att träskivan vreds kring en vertikal axel. Hastighetstrycket uppmättes på skivans halva höjd  $q_1$ , och i mätsträckans halva höjd,  $q_2$ , se fig. 17, med Prandtl-rör och mikromanometer.

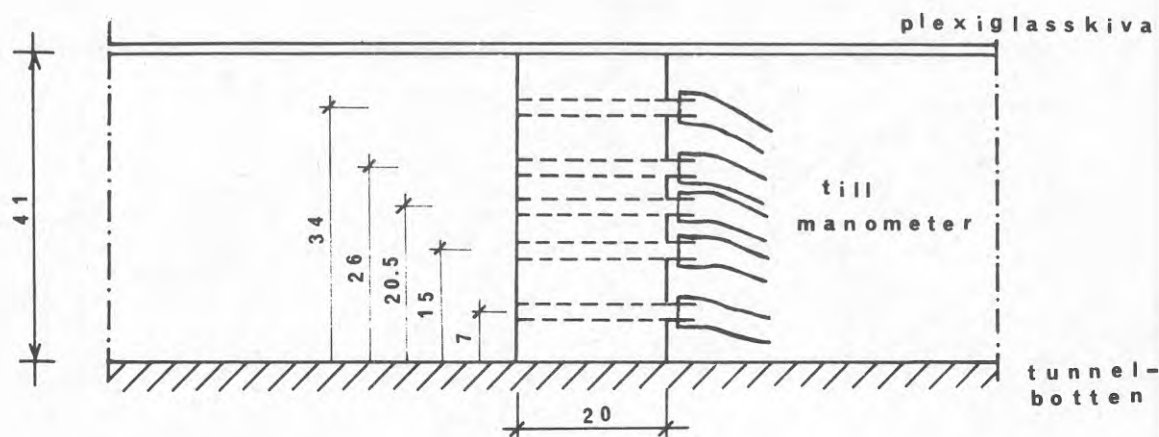
### 3.3.3 Tryckfördelning i mätområdet

I mätområdet som begränsas av plexiglasskivan och tunnelbotten gjordes tryckmätningar på fem olika nivåer för att klarlägga tryckfördelningen i vertikalled. Tryckhål bildades av 5 st metallrör med 5 mm diameter monterade i en 41 mm hög och 1000 mm lång trälist, fig. 18.

Tabell 2

Uppmätta tryck (mm lutande vätskepelare) i tryckhålet  $p_1$  (A), vars omgivning varierats, och i tryckhålet  $p_2$  för olika anblåsningvinklar  $\alpha$ . Vindtunneln på halvfart.

Olika utformning och storlek av tryckhålet A	$\alpha$	$q_1$	$q_2$	$p_1$	$p_2$
	0	2,2	2,9	0	0
	15	1,9	2,9	0,35	0,5
	45	1,0	2,9	1,2	1,5
	90	0,3	2,9	1,7	1,7
	0	2,2	2,9	0	0
	15	1,9	2,9	0,35	0,5
	45	1,0	2,9	1,1	1,5
	90	0,3	2,9	1,7	1,7
	0	2,2	2,9	0	0
	15	1,9	2,9	0,4	0,5
	45	1,0	2,9	1,1	1,5
	90	0,3	2,9	1,7	1,7
	0	2,2	2,9	0	0
	15	1,9	2,9	0,3	0,5
	45	1,0	2,9	1,1	1,5
	90	0,3	2,9	1,7	1,7
	0	2,2	2,9	0	0
	15	1,9	2,9	0,4	0,5
	45	1,0	2,9	1,1	1,5
	90	0,3	2,9	1,7	1,7
	0	2,2	2,9	0	0
	15	1,9	2,9	0,4	0,5
	45	1,0	2,9	1,1	1,5
	90	0,3	2,9	1,7	1,7



Figur 18. Anordning för mätning av vindtryck, mått i mm

Anblåsningsriktningen ändrades genom att vrida trälsten kring en vertikalaxel.

De uppmätta trycken i de 5 punkterna var sinsemellan lika oberoende av anblåsningsvinkel och vindhastighet i friströmen. Tryckfältet var alltså i huvudsak homogent.

#### 3.3.4 Mätresultat

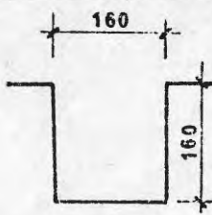
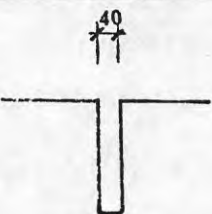

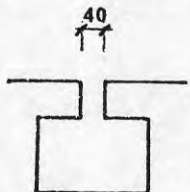
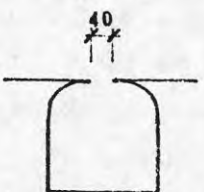
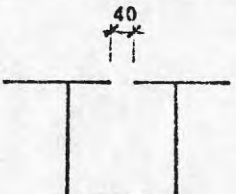
De uppmätta trycken i tryckhålen  $p_1$  och  $p_2$  samt hastighetstrycken i friström,  $q_1$  och  $q_2$ , redovisas i tabell 2 och 3 för olika anblåsningsriktningar.

Med tunneln på halvfart, 6 m/s, noterades att trycket  $p_1$  i förtagningen A för anblåsningsvinklarna 0 och  $90^\circ$  var lika med trycket i tryckröret,  $p_2$ , oberoende av A:s utformning.

För vinklarna 15 och  $45^\circ$  noterades i samtliga fall ett lägre tryck för  $p_1$  än för  $p_2$ . Samma förhållande men mera påtagligt kunde konstateras vid den högre lufthastigheten.

Tabell 3

Uppmätta tryck (mm lutande vätskepelare) i tryckhålet  $p_1$  (A), vars omgivning varierats och i tryckhålet  $p_2$  för olika anblåsningsvinklar  $\alpha$  samt hastighetstryck  $q_1$  och  $q_2$ . Vindtunneln på helfart.

Olika utformning och storlek av tryckhålet A	$\alpha$	$q_1$	$q_2$	$p_1$	$p_2$
	0	9,5	11,6	-0,2	0,3
	15	7,8	11,6	1,1	2,5
	45	4,0	11,6	4,7	6,2
	0	9,5	11,6	0	0,3
	15	7,8	11,6	1,4	2,5
	45	4,0	11,6	4,4	6,2
	0	9,5	11,6	0,1	0,3
	15	7,8	11,6	1,6	2,5
	45	4,0	11,6	4,4	6,2
	0	9,4	11,6	-0,1	0,3
	15	7,8	11,6	1,3	2,5
	45	4,0	11,6	4,6	6,2
	0	9,4	11,6	-0,2	0,3
	15	7,8	11,6	1,3	2,5
	45	4,0	11,6	4,2	6,2
	0	9,8	11,6	0,1	0,3
	15	7,8	11,6	1,6	2,5
	45	4,0	11,6	4,6	6,2



Trycket i  $p_1$  varierar endast svagt vid given anblåsningvinkel. Tryckhållets form spelar alltså underordnad roll för mätvärdenas storlek.

Vissa hastighetsvariationer förekommer i tvärled hos vindtunneln vilket kan ha bidragit till avvikelserna mellan  $p_1$  och  $p_2$ .

### 3.4 Studier av effekter beroende på den anblåsta ytans ojämnheter

#### 3.4.1 Mätningens syfte

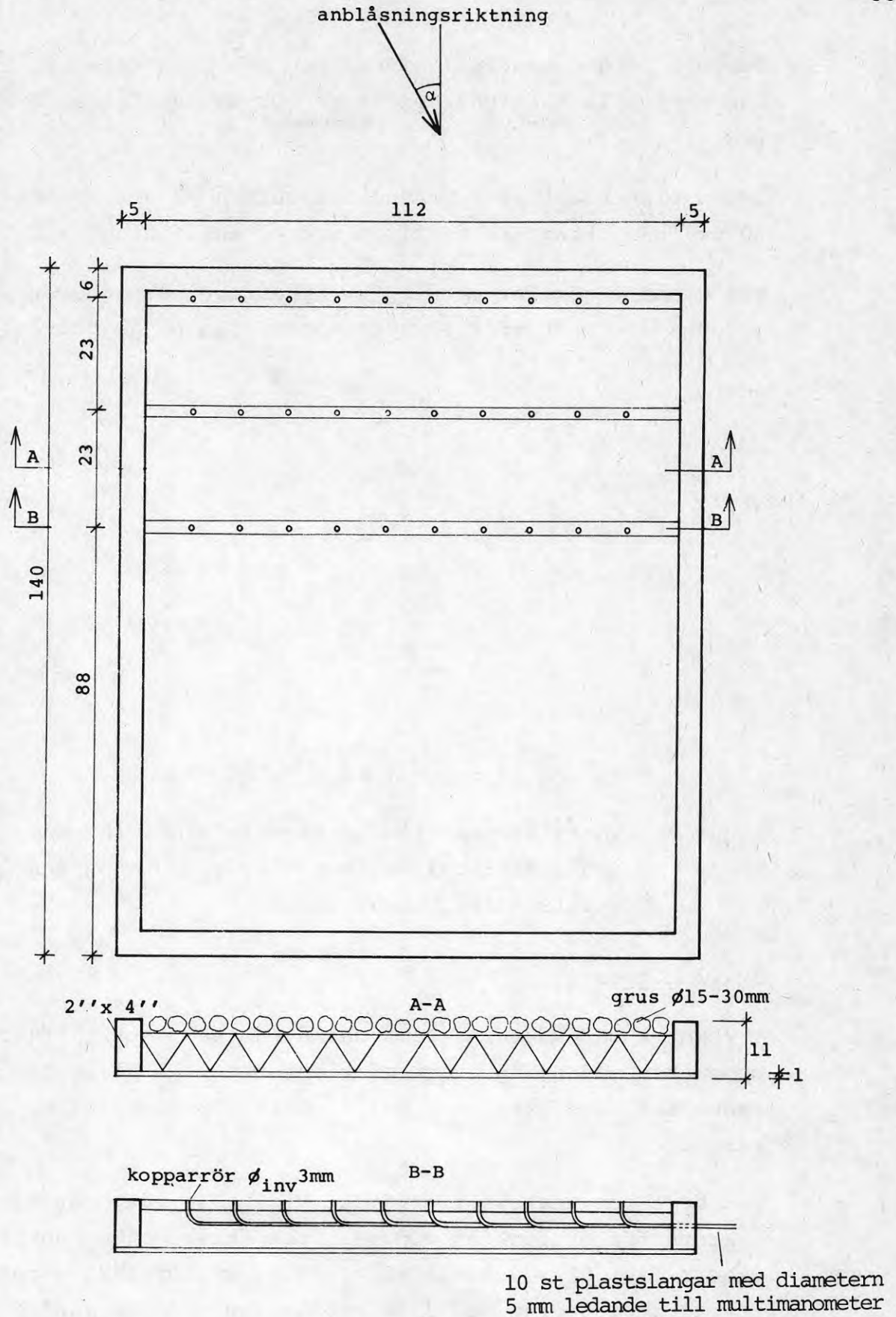
Den i kapitel 3.3 beskrivna undersökningen visade att tryckhålens storlek och utformning ej nämnvärt påverkade uppmätta tryck på området kring tryckhålen var plant.

För att undersöka i vad mån ojämnheter i den anblåsta ytan kring tryckhålen kan påverka uppmätta vindtryck utfördes försök i vindtunnel med olika skrovlighet hos försöksområdets yta.

#### 3.4.2 Försöksanordning

Försöksanordningen framgår av fig. 19. En ram tillverkades av 2"x4" virke och försågs med en botten av 10 mm spånplatta. I den så bildade lådan lades en cellplastskiva och ovanpå denna sten med diametrar 15-30 mm. Tre träribbor med i hål instuckna kopparrör placerades enligt figuren. Stenskiktets överyta låg ungefär i jämnhöjd med tryckhålen. Kopparrören försågs med slangar ledande till en multimanometer.

Sedan trycken i rören uppmätts vreds anordningen  $180^\circ$  kring en vertikal axel. Därefter mättes på nytt. På så sätt erhöles värden som sammanställda redovisade tryckfördelningen för lådans hela yta. Genom att vända lådan, så att spånplattan kom uppåt och justera kopparrörens anslutningar, erhöles en anordning för mätning av vindtryck på en jämn yta.

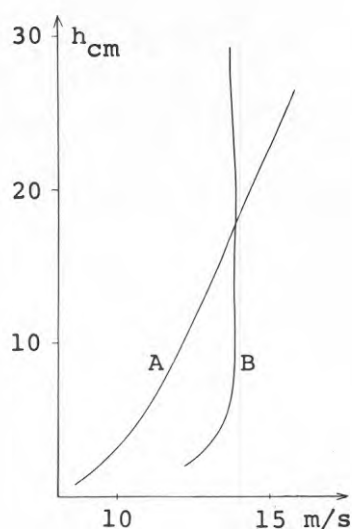


Figur 19. Försöksanordning för mätning av vindtryck på  
ojämn yta. Lådans dimensioner är angivna i cm.

Tunneln kördes med full effekt med och utan gränsskiktsgaller. Den vertikala hastighetsprofilen för de två fallen framgår av fig. 20.

Lådan placerades på vindtunnelns botten på ett avstånd av 30 cm från gränsskiktsgallret vid  $0^\circ$  anblåsningvinkel.

Ett Prandtl-rör för mätning av dynamiskt hastighetstryck placerades 20 cm framför försöksanordningen på höjdnivån 11 cm.



Figur 20. Vertikal medelvindhastighetsfördelning med gränsskiktsgaller, kurva A, och utan gränsskiktsgaller, kurva B.

### 3.4.3 Mätresultat

Trycket i mätpunkterna samt det dynamiska hastighetstrycket uppmättes med hjälp av en multimanometer. I bilagorna 10-13 redovisas formfaktorer  $c = \frac{P - P_\infty}{q_\infty}$ , för de olika mätpunkterna.

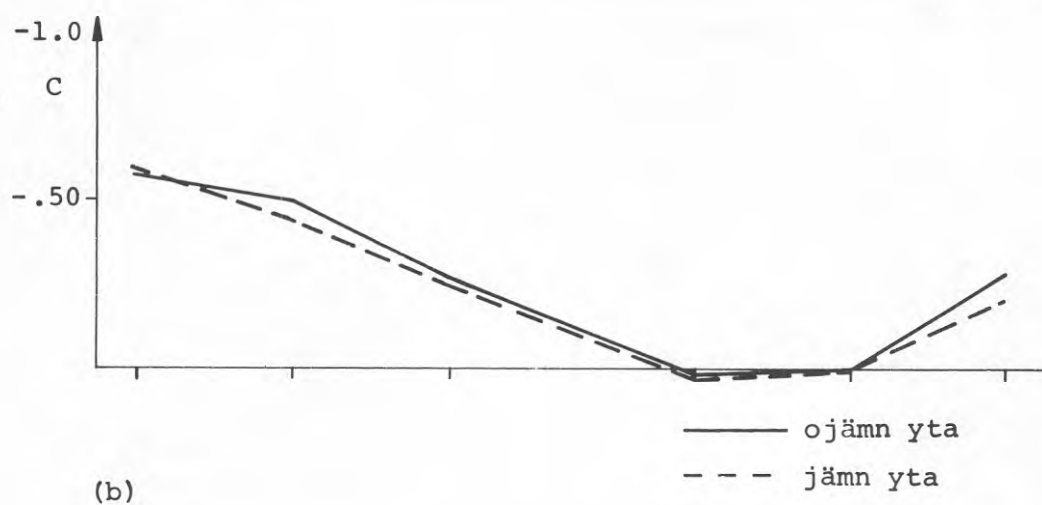
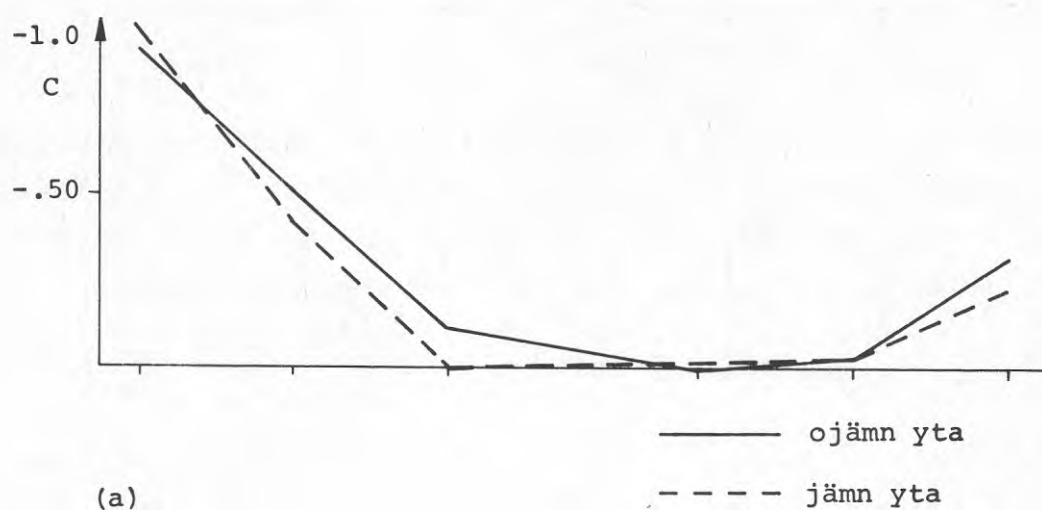
Det övre och undre siffervärdet vid varje mätpunkt är formfaktorn för mätpunkten vid jämn respektive ojäm anblåsningyta. I fig. 21 redovisas medelvärdet av formfaktorerna för tryckrörsgруппerna vid  $0^\circ$ :s anblåsning. Vid beräkning av medelvärdet medtogs ej de två värdena närmast försöksanordningens långsidor för undvikande av randeffekter.

Av fig. 21 framgår att uppmätta tryck vid  $0^{\circ}$ :s anblåsning och ojämn anblåsningssyta överensstämmer väl med tryck vid jämn anblåsningssyta.

Vid  $45^{\circ}$  anblåsning registrerades i punkter närmast försöksområdets gräns uppströms större värden på vindlasten vid jämn anblåsningssyta än vid ojämn. Mätvärden för jämn och ojämn yta varierar dock på ett likartat sätt. Tryckdiagrammen uppvisar, bortsett från områden vid ytans lovarthörn, ett lugnt förlopp.

Försöken antyder att den av stenskiktet åstadkomna ojämnheten vid anblåsning vinkelrätt mot den anblåsta ytans kant har oväsentlig effekt på vindtryckets fördelning. Vid sned anblåsning påverkas trycket mera väsentligt och då i dämpande riktning, inom små områden närmast ytans mot vinden vända hörn.





Figur 21. Vindtryck över rektangulär yta med tangentiell anblåsning. Grafisk framställning av formfaktorernas medelvärde samt dettas variation i försöksanordningens längsled.  $0^{\circ}$ :s anblåsning

a) med gränsskiktsgaller  
b) utan gränsskiktsgaller

#### 4. FÄLTMÄTNINGAR

##### 4.1 Mätningarnas uppläggning

Vid bestämning av vindtryck och formfaktorer bör sökta storheter mätas samtidigt eftersom vindhastigheterna och därmed hastighetstrycket, vindriktning, vindtrycken på byggnaden samt referenstrycket inne i byggnaden varierar med tiden. Detta önskemål tillgodosågs under fältförsöken genom att mäta tryckskillnaderna med hjälp av multimanometer vars registreringar för olika tryckhål kunde iakttagas vid en och samma tidpunkt. Av praktiska skäl begränsades antalet anslutningar till ett hundratal. Samtidigt inkopplade tryckhål koncentrerades så att slanglängderna kunde begränsas till 10 à 15 m. Eftersom inte samtliga delar av provhuset var tillgängliga för punktering och slangdragning förlades mätytorna till byggnadens södra del.

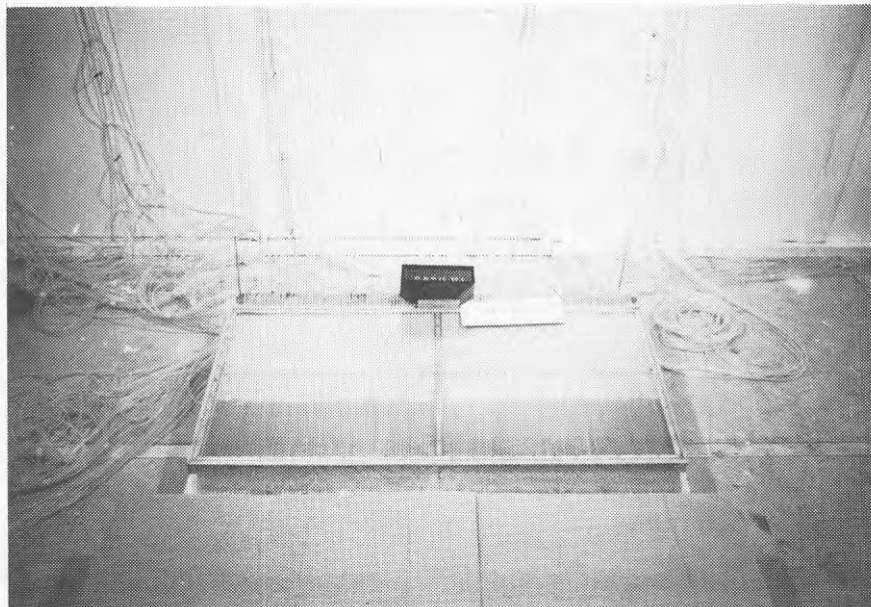
Mätningen av vindtryck på provhusets ytor kompletterades med bestämningar av vindens hastighet och riktning samt av det statiska trycket och totala trycket. På så sätt kunde de erhållna tryckskillnaderna relateras till det samtidigt aktuella hastighetstrycket i friström på viss nivå över markytan.

##### 4.1.1 Tryckmätare på väggar

Den för tryckmätningar använda manometern har 114 anslutningar till lika många manometrar, varav 110 utnyttjades för vindlastmätningar, 2 för bestämning av statiskt och totalt tryck i friström och 2 för mätning av lufttryck inomhus.

Vätskan i manometern var alkohol,  $\gamma = 0.8 \text{ Mp/m}^3$ , med tillsats av ett rött färgämne. Lutningen hos manometerröret kunde ändras så att storleken av utslagen kunde anpassas till rådande medelvindhastighet.

Vätskemanometerns utseende och anslutning till tryckslangar framgår av fig. 22.



Figur 22. Multimanometer och anslutningsslangar

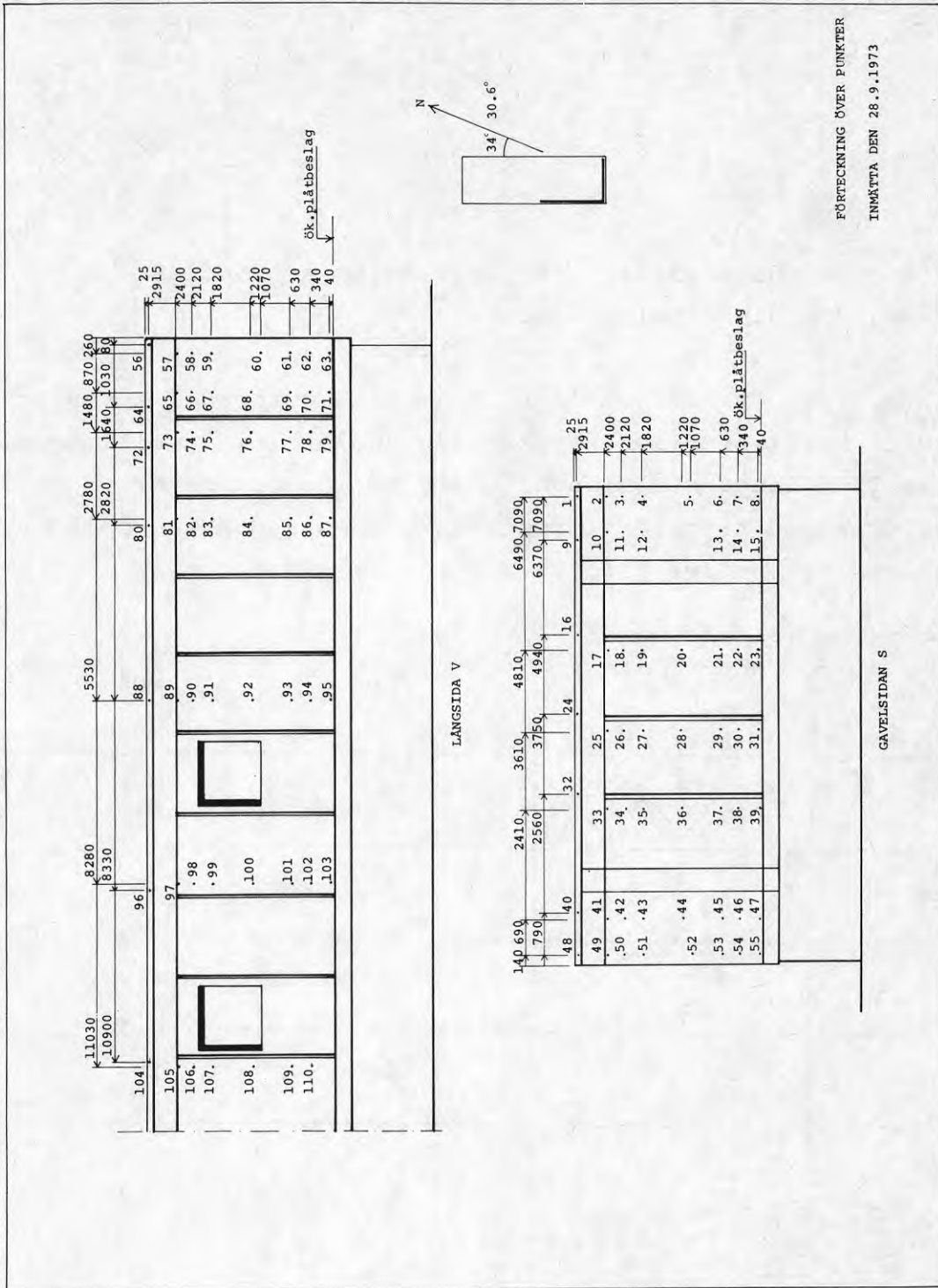
För bestämning av vindlast på byggnadens väggar förseddes fältstationens sydvästra och sydöstra väggar med 110 tryckhål, fig. 23. I dessa hål monterades kopparrör med 3.5 mm invändig diameter enligt fig. 15. PVC-slangar med längden 10 m förband kopparrören och multimanometern.

Genom att begränsa mätytan till en halv långsida och en gavel sida kunda slangarnas längd hållas relativt kort varvid jämviktsfördröjningen i multimanometern kom att röra sig om ett fåtal sekunder.

Vindtrycket i 110 punkter, totalt och statistiskt tryck i friström, samt trycket inomhus registrerades genom fotografering av manometertavlan.

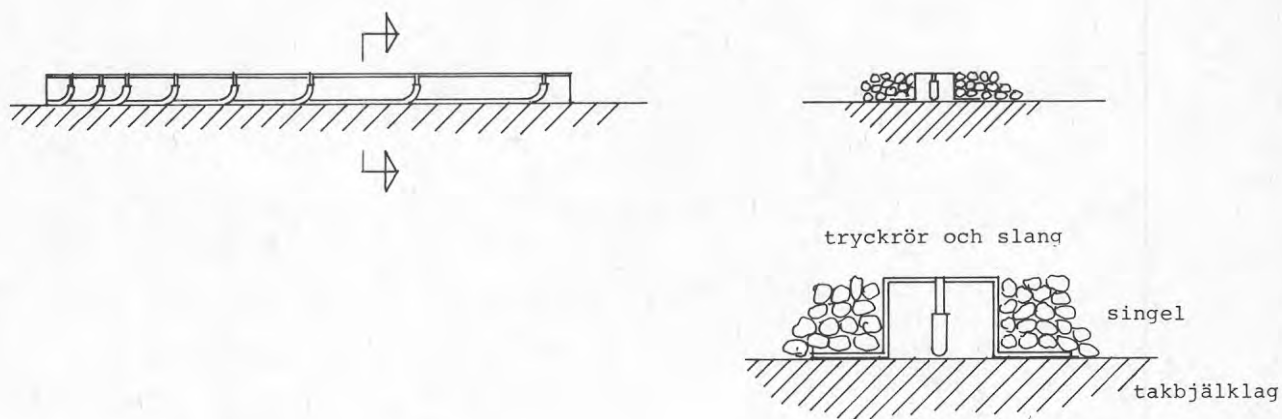
#### 4.1.2 Tryckmätare på tak

Fältstationens horisontella tak är försett med ett ca 8 cm tjockt singelskikt. Vid bestämning av vindtryck vid singelskiktets yta användes en mätanordning enligt fig. 24.



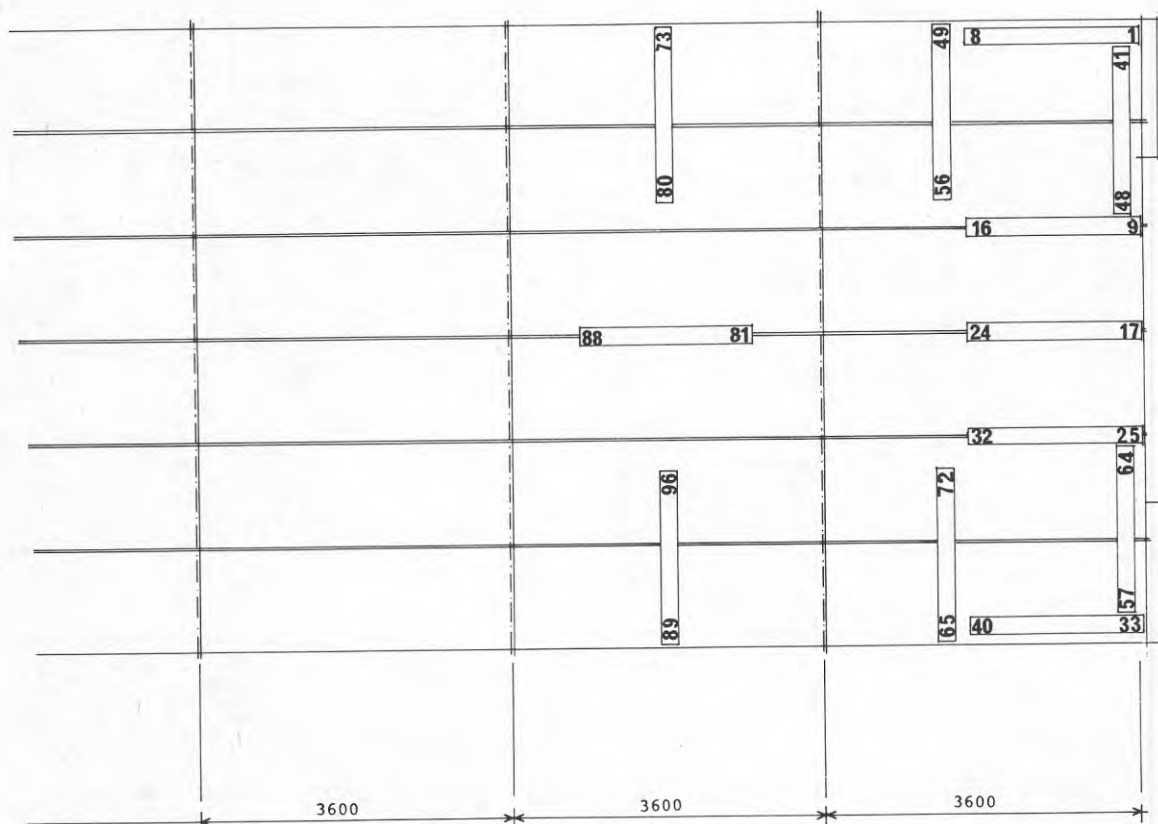
Figur 23. Vindtryckmätningar på fältstations väggar. Tryckhålens läge och numrering.





Figur 24. Mätanordning för bestämning av vindlast på singelbelagt tak.

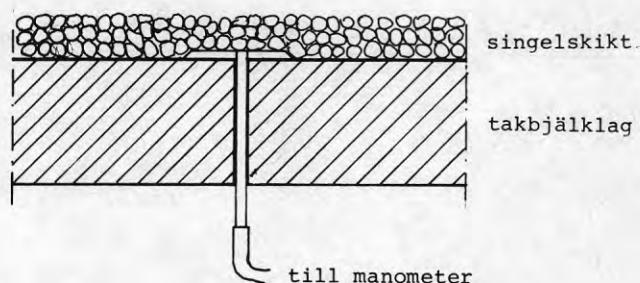
Åtta tryckrör med 5 mm inre diameter monterades i var och en av 12 metallprofiler. Tryckrören anslöts till multimanometern via 15 m långa PVC-slangar med 6 mm inre diameter. Metallprofilerna med tryckrör fördelades på den sydvästra delen av byggnadens tak enligt fig. 25.



Figur 25. Metallprofilernas läge på takytan och mätpunkternas numrering.

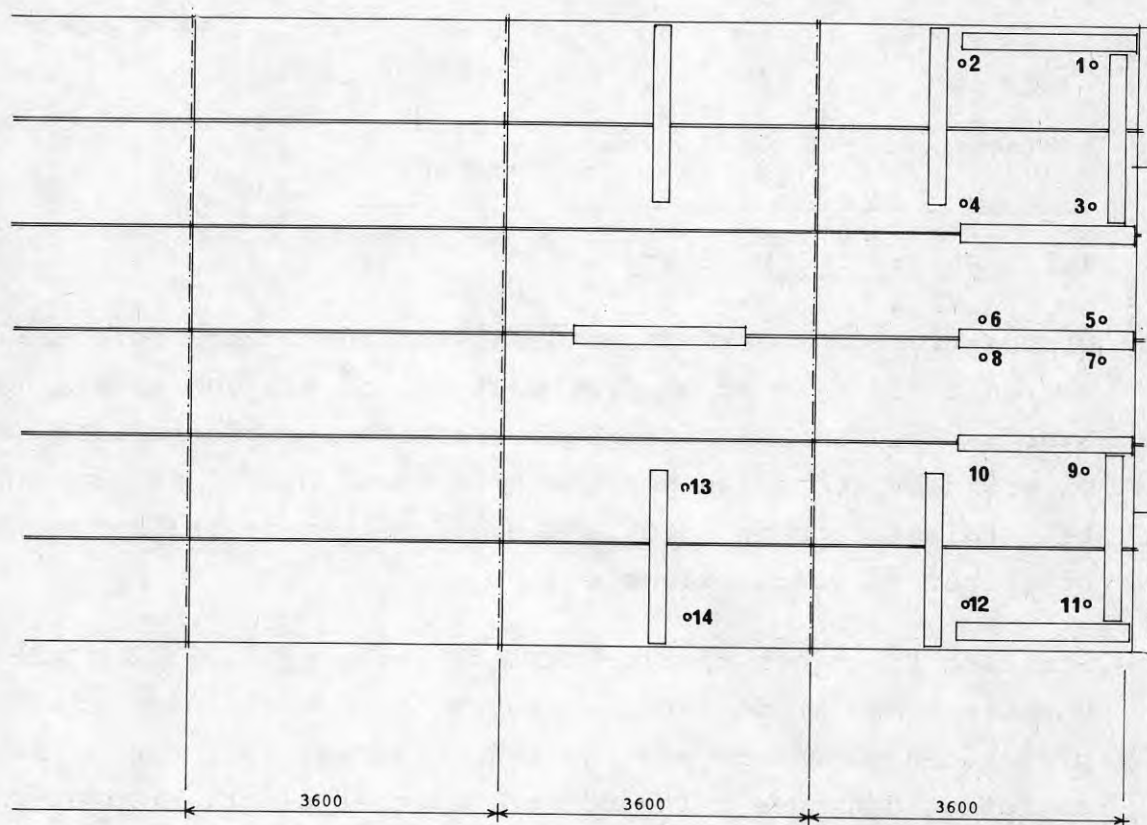
De placerades så att delen med tätare indelning mellan tryckrören kom att ligga mot takkanten.

Enligt den i 3.4 beskrivna vindtunnelundersökningen borde den ovan redovisade anordningen för mätning av vindtryck på singelskiktets yta ge i stort sett samma värden som om tryckmätningar skett på en slät yta. Det kunde emellertid tänkas att nämnda skikt påverkade vindlastens fördelning på takkonstruktionen. I avsikt att undersöka eventuellt förekommande tryckskillnader över singelskiktet monterades 14 tryckhål i takelementen enligt fig. 26.



Figur 26. Tryckhål under singelskikt.

Deras fördelning över takytan framgår av fig. 27. Horisontella avståndet från ett hål i ett takelement till närmaste tryckhål på en metallprofil var 30 cm.



Figur 27. Läge och numering för tryckhål i takelement

Singellagret på taket är normalt ca 8 cm tjock och stenstorleken 15-30 mm. I syfte att finna eventuellt samband mellan tryckgradienten och täckskiktets egenskaper varierades skikt-tjocklek och stenstorlek, tabell 4.

De i singelskiktet vidtagna förändringarna var lokaliserade inom en yta på 60×60 cm<sup>2</sup>

Tabell 4

Singeltjocklek och stenstorlek för tryckhål i takelement

Tryckhål nr	Singeltjocklek cm	Stenstorlek mm
1	8	15-30
2	8	15-30
3	8	15-30
4	8	15-30
5	4	5- 8
6	8	5- 8
7	12	5- 8
8	8	12-16
9	4	12-16
10	12	12-16
11	8	15-30
12	4	15-30
13	8	15-30
14	12	15-30

#### 4.1.3 Mätare för vinddata

Vindhastigheten bestämdes med skålkorsanemometrar placerade i masten ca 30 m söder om provhuset och på 4.5 och 10 m:s höjd över marken. Snabba hastighetsvariationer registrerades oskarpt på grund av trögheten hos anemometrarna. Dessa var kopplade till fältstationens dator som med 5 sekunders mellanrum lämnade uppgifter om vindhastigheten.

Statiskt tryck och totaltryck i friström på nivån 2 m till mark uppmättes med Prandtl-rör anslutet till multimanometern. Röret placerades på sådant avstånd från byggnaden att dennas inverkan på luftströmningen kring röret blev obetydligt. Prandtl-röret försågs med en vindfana så att rörets mätthål breddas mot vindriktningen. Vindriktningen kunde därefter uppskattas med kompass.

#### 4.2 Mätningarnas omfattning och genomförande

Maximala avståndet mellan masten i vilken skålkorsanemometern var placerad och ett tryckhål uppgick till 40 m. Samtidig registrering av vindhastighet och vindtryck gav därför inte motsvariga värden. Vid en plötslig vindstöt med hastigheten 15 m/s har den i friström registrerade hastighetsökningen inte hunnit påverka förhållandena vid tryckhålet. Förs efter en tidsdifferens på upp till 3 sekunder har detta skett. Härefter kommer jämviktsfördröjningen i multimanometern som är av storleksordningen 2-3 sekunder för registrering av 60 % av tryckändringen.

För att kunna överblicka och i möjlig mån korrigera för tidsdifferensernas inverkan på mätresultaten genomfördes vid varje mättillfälle 3 mätserier med ett par minuters intervall. I varje serie ingick 10 mätningar med ca 5 sekunders intervall.

Mätningen av vindlast på väggarna omfattade 6 + 5 mättillfällen med 17 + 15 mätserier. Vid de första 6 mättillfällena saknades uppgifter om vindhastigheten på 4.5 metersnivån, taknivån, varför formfaktorerna för dessa mätningar beräknades med utgångspunkt från vindhastigheten på 10 metersnivån genom införande av en korrektionsfaktor K, kap. 9.4.

Takmätningarna omfattade 6 mättillfällen med 22 mätserier.

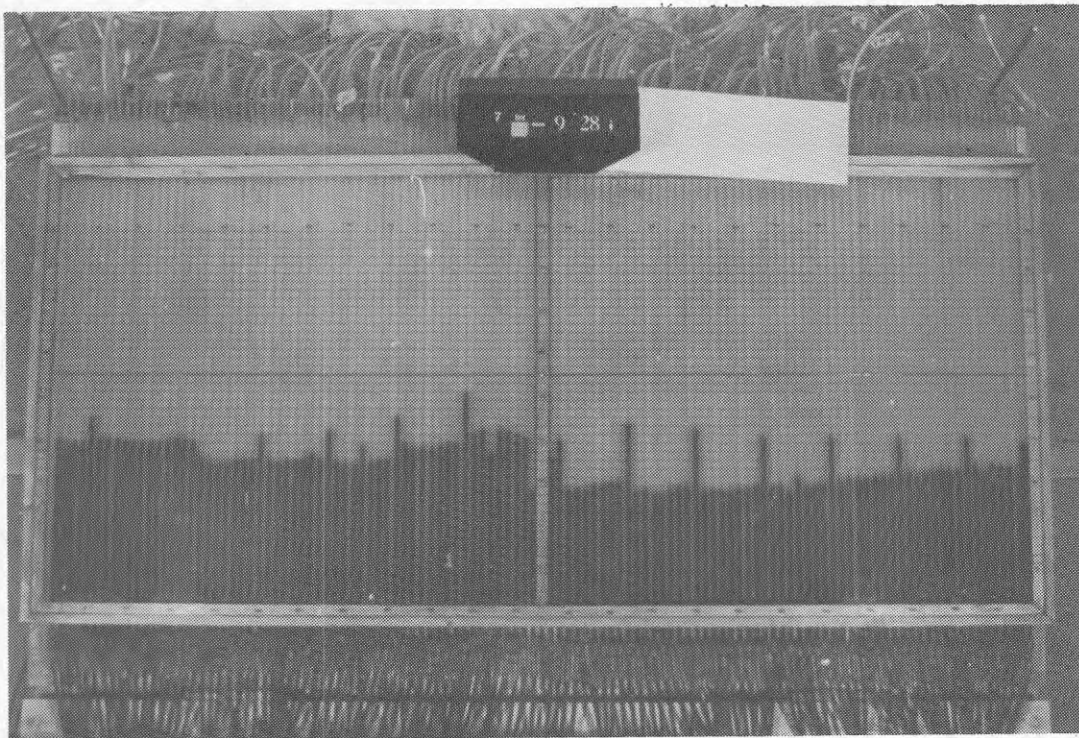
#### 4.3 Bearbetning av primärdata

Det ovan beskrivna förfarandet med 3 mätserier för varje mättillfälle medförde att ett stort antal data insamlades, 3400 st, varför utvärdering med dator blev praktiskt taget nödvändig.

Avläsning av fotografier, fig. 28, samt stansning av hålkort skedde manuellt.

Principen för insamling och bearbetning av data framgår av flödesschemat, bilaga 14.





Figur 28. Exempel på fotografi av manometertavlan.  
(Originallet är positiv färgfilm, diapositiv)

I det följande redovisas exempel på utskrifter och resultat från datorkörningar. Formfaktorer i olika punkter exemplifieras i tabell 5. De tre vänstra kolumnerna visar formfaktorer för tryckdifferens,  $c = (p - p_{inre\ tryck})/q_{\infty}$ , över vägg eller takbjälklag baserade på vindhastigheter uppmätta på tvåmetersnivån med hjälp av Prandtl-rör, i höjd med taknivån och på 10-metersnivån med skålkorsanemometer. De tre högra kolumnerna visar formfaktorer för yttre vindlast,  $c = (p - p_{\infty})/q_{\infty}$ . Tabell 6 visar exempel på medelvärdet av tryckdifferens och yttre vindlast i mm lutande vätskepelare för olika mätpunkter samt tillhörande standardavvikelse och relativa standardavvikelse. Den innehåller också medelvärdet av hastighetstrycket på olika nivåer med tillhörande relativ standardavvikelse.

Tabell 7 återger exempel på formfaktor för enstaka mätningar inom en mätserie och hastighetstryckets variation med tiden, likaså i mm lutande vätskepelare. Av tabell 6 framgår att den relativa standardavvikelsen är av samma storleksordning för vindlast och hastighetstryck och vanligen ej överstiger 25-30% under förutsättning att vindlastens medelvärde ligger numeriskt över 50% av uppmätt maximivärde. Detta torde tyda

Tabell 5

Utskrift på datorn omfattande följande storheter:

Datum för mättillfället, vindriktning och vindhastigheter, formfaktorer för mätpunkterna 1-25 baserat på hastighets-tryck uppmätt med Prandtlrör och skålkorsanemometer på tak- och 10 m-nivån.

TID FÖR MÄTNING:    ÅR 1974    MÅN    3    DAG    15    KLOCKAN 1400  
 VINDRIKTNING:    304                    VINDHASTIGHET:    9.42(HÖJDNIVÅ 10 METER)    7.69(TAKNIVÅ)

## FORMFAKTORER

MÄTPUNKT NR	TRYCKDIFFERENS			YTRE VINDLAST		
	PRANDTLRÖR	TAKNIVÅ	10 METER	PRANDTLRÖR	TAKNIVÅ	10 METER
1	-0.313	-0.257	-0.214	0.178	0.146	0.121
2	-0.313	-0.257	-0.214	0.178	0.146	0.121
3	-0.313	-0.257	-0.214	0.178	0.146	0.121
4	-0.299	-0.245	-0.204	0.192	0.158	0.131
5	-0.270	-0.222	-0.184	0.221	0.181	0.151
6	-0.235	-0.193	-0.160	0.256	0.210	0.175
7	-0.231	-0.190	-0.158	0.260	0.213	0.177
8	-0.238	-0.195	-0.163	0.253	0.207	0.172
9	-0.633	-0.519	-0.432	-0.142	-0.117	-0.097
10	-0.651	-0.534	-0.444	-0.160	-0.131	-0.109
11	-0.665	-0.545	-0.454	-0.174	-0.143	-0.119
12	-0.658	-0.540	-0.449	-0.167	-0.137	-0.114
13	-0.623	-0.510	-0.425	-0.132	-0.108	-0.090
14	-0.644	-0.528	-0.439	-0.153	-0.125	-0.104
15	-0.580	-0.475	-0.396	-0.089	-0.073	-0.061
16	-0.601	-0.493	-0.410	-0.110	-0.090	-0.075
17	-0.715	-0.586	-0.488	-0.224	-0.184	-0.153
18	-0.399	-0.327	-0.272	0.093	0.076	0.063
19	-0.726	-0.595	-0.495	-0.235	-0.193	-0.160
20	-0.769	-0.630	-0.524	-0.278	-0.228	-0.189
21	-0.754	-0.618	-0.515	-0.263	-0.216	-0.180
22	-0.762	-0.624	-0.519	-0.270	-0.222	-0.184
23	-0.754	-0.618	-0.515	-0.263	-0.216	-0.180
24	-0.740	-0.607	-0.505	-0.249	-0.204	-0.170
25	0.039	0.032	0.027	0.530	0.435	0.362

Tabell 6

Utskrift på datorn omfattande följande storheter:  
 Medelvärdet av tryckdifferens och yttre vindlast,  
 mm lutande vätskepelare, standardavvikelse, relativ  
 standardavvikelse i procent, vindtryck i  $\text{kp/m}^2$  för  
 mätpunkterna 1-25 samt medelvärdet av hastighetstryck  
 på olika nivåer med standardavvikelse och relativ  
 standardavvikelse, mm lutande vätskepelare,

MÄTPUNKT NR	TRYCKDIFFERENS				YTTRE VINDLAST			
	PBAR	SIGMAP	VARIAP	KP/M*M	PSBAR	SIGMAPS	VARIAPS	KP/M*M
1	8.80	1.69	19.17	-0.95	-5.00	1.56	31.27	0.54
2	8.80	1.69	19.17	-0.95	-5.00	1.56	31.27	0.54
3	8.80	1.69	19.17	-0.95	-5.00	1.56	31.27	0.54
4	8.40	1.26	15.06	-0.90	-5.40	1.51	27.88	0.58
5	7.60	1.78	23.37	-0.82	-6.20	1.40	22.56	0.67
6	6.60	1.35	20.45	-0.71	-7.20	1.23	17.07	0.78
7	6.50	1.43	22.06	-0.70	-7.30	1.64	22.42	0.79
8	6.70	1.25	18.68	-0.72	-7.10	1.20	16.86	0.76
9	17.80	1.48	8.29	-1.92	4.00	1.41	35.36	-0.43
10	18.30	2.00	10.94	-1.97	4.50	1.78	39.54	-0.48
11	18.70	2.11	11.29	-2.01	4.90	2.18	44.56	-0.53
12	18.50	1.96	10.58	-1.99	4.70	1.83	38.91	-0.51
13	17.50	1.35	7.74	-1.88	3.70	1.42	38.33	-0.40
14	18.10	0.99	5.49	-1.95	4.30	1.06	24.64	-0.46
15	16.30	1.34	8.21	-1.76	2.50	1.65	66.00	-0.27
16	16.90	0.99	5.88	-1.82	3.10	1.52	49.16	-0.33
17	20.10	2.02	10.07	-2.16	6.30	1.83	29.03	-0.68
18	11.20	1.03	9.22	-1.21	-2.60	1.35	51.92	0.28
19	20.40	1.84	9.01	-2.20	6.60	1.71	25.95	-0.71
20	21.60	1.84	8.51	-2.33	7.80	1.55	19.86	-0.84
21	21.20	1.81	8.55	-2.28	7.40	1.84	24.84	-0.90
22	21.40	1.51	7.04	-2.30	7.60	1.51	19.81	-0.82
23	21.20	1.03	4.87	-2.28	7.40	1.43	19.32	-0.80
24	20.80	1.81	8.72	-2.24	7.00	2.54	36.27	-0.75
25	-1.10	1.20	108.84	0.12	-14.90	1.60	10.71	1.60

PRANDTLRÖR			TAKNIVÅ			10 METER		
QBAR	SIGMAQ	VARIQA	RLQBAR	SIGMARLQ	VARIARLQ	ROBAR	SIGMARQ	VARIARQ
-28.100	2.470	8.789	-34.282	5.815	16.961	-41.196	13.042	31.658

## Tabell 7

Utskrift på datorn omfattande följande storheter:

Formfaktorer ( $P/\bar{q}_\infty$ ) för mätningar inom en mätserie

för mätpunkterna 1-25 och hastighetstryckets,  $q_\infty$ ,  
variation med tiden (mm lutande vätskepelare)

RLQ = hastighetstrycket uppmätt med skålkorsanemometer  
vid taknivå

MÄTPUNKT NR	FORMFAKTORER MÄTNING 1-10 YTTRE VINDLAST									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.09	0.12	0.15	0.15	0.18	0.20	0.06	0.18	0.18	0.18
2	0.09	0.12	0.15	0.15	0.18	0.20	0.06	0.18	0.18	0.18
3	0.09	0.12	0.15	0.15	0.18	0.20	0.06	0.18	0.18	0.18
4	0.20	0.12	0.15	0.15	0.18	0.20	0.06	0.18	0.18	0.18
5	0.20	0.12	0.18	0.23	0.20	0.23	0.12	0.18	0.18	0.18
6	0.20	0.20	0.20	0.23	0.20	0.23	0.12	0.23	0.23	0.23
7	0.32	0.18	0.20	0.20	0.15	0.18	0.23	0.20	0.23	0.23
8	0.26	0.20	0.20	0.23	0.15	0.18	0.18	0.20	0.23	0.23
9	-0.03	-0.12	-0.12	-0.18	-0.12	-0.09	-0.12	-0.18	-0.12	-0.12
10	-0.03	-0.12	-0.12	-0.20	-0.12	-0.09	-0.12	-0.18	-0.18	-0.18
11	-0.03	-0.12	-0.18	-0.26	-0.12	-0.09	-0.12	-0.18	-0.18	-0.18
12	-0.03	-0.12	-0.18	-0.20	-0.12	-0.09	-0.12	-0.18	-0.18	-0.18
13	-0.03	-0.12	-0.18	-0.15	-0.09	-0.06	-0.12	-0.12	-0.12	-0.12
14	-0.09	-0.12	-0.18	-0.15	-0.12	-0.09	-0.18	-0.12	-0.12	-0.12
15	-0.09	-0.09	-0.12	-0.09	-0.06	-0.03	-0.18	-0.03	-0.03	-0.03
16	-0.09	-0.09	-0.12	-0.12	-0.12	-0.09	-0.18	-0.06	-0.03	-0.03
17	-0.09	-0.15	-0.18	-0.26	-0.18	-0.15	-0.18	-0.26	-0.20	-0.20
18	0.12	0.12	0.03	0.03	0.06	0.09	0.03	0.06	0.12	0.12
19	-0.09	-0.18	-0.18	-0.26	-0.20	-0.18	-0.18	-0.26	-0.20	-0.20
20	-0.15	-0.18	-0.20	-0.29	-0.23	-0.20	-0.23	-0.26	-0.26	-0.26
21	-0.23	-0.18	-0.20	-0.29	-0.18	-0.15	-0.32	-0.20	-0.20	-0.20
22	-0.23	-0.18	-0.23	-0.26	-0.20	-0.18	-0.32	-0.20	-0.20	-0.20
23	-0.15	-0.18	-0.26	-0.29	-0.23	-0.20	-0.23	-0.20	-0.20	-0.20
24	-0.12	-0.18	-0.32	-0.29	-0.26	-0.23	-0.20	-0.20	-0.12	-0.12
25	0.44	0.41	0.41	0.38	0.47	0.50	0.35	0.47	0.47	0.47
VINDTRYCK (RLQ)	-26.84	-31.79	-26.06	-35.32	-31.79	-39.99	-39.03	-43.94	-37.15	-30.93



på att följsamheten hos de registrerade instrumenten är av samma storleksordning och att medelvärdet av vindlasten under en period kan relateras till medelvärdet av hastighetstrycket utan några korrigeringar.

## 5. MODELLFÖRSÖK

### 5.1 Försök vid KTH

Vid institutionen för Flygteknik, Kungliga Tekniska Högskolan, har jämförande vindlastmätningar genomförts i vindtunnel på en modell av fältstationen i Fiskebäck. Modellen återgav detaljer såsom vindskivor samt på fasaden utstickande pelare och plintar och innefattade omgivande terräng. Den byggdes i skala 1:80 och försågs med givarhål för mätning av vindtryck. Dessa registrerades med multimanometer varefter bearbetning skedde i en datainsamlingsenhet [2].

Undersökningen omfattade mätningssomgångar med olika vindriktning, gränsskiktstjocklek och vindtunnelhastighet, se [11]. De i [11] redovisade formfaktorerna för byggnaden har bestämts med utgångspunkt från hastighetstrycket på 10-metersnivån. Kvoten mellan hastighetstrycket på 4.5 (taknivån) och 10-metersnivån var under försöken ca 1.0 både när gränsskiktsgaller användes och när det utelämnades. I kapitel 6 redovisas resultaten från 4 mätningar av de genomförda mätningssomgångarna.

### 5.2 Modellförsök vid CTH

En vindtunnelstudie med enklare utrustning genomfördes vid avdelningen för byggnadskonstruktion vid CTH. En modell av provhuset tillverkades i skala 1:50 med detaljer på byggnadsytorna återgivna. Modellen försågs med tryckhål anslutna till en multimanometer. Tryckhålen täckte endast en fjärdedel av modellens ytor men genom vridning var det möjligt att orientera ytorna på olika sätt i förhållande till anblåsriktningen så att vindlasten på hela byggnaden kunde studeras. Vid mätningarna förekom fyra olika vindriktningar. Gränsskiktets tjocklek varierades enligt fig. 20.

Kvoten mellan vindhastigheterna på 4.5-(taknivå) och 10-metersnivån var med gränsskiktsgaller ca 0.83 och utan gränsskiktsgaller ca 1.00. Formfaktorerna beräknades med utgångspunkt från hastighetstrycket vid taknivån. Undersökningen omfattade 10 mätningar vilka redovisas i kapitel 6.

## 6. GRAFISK REDOVISNING AV FORMFAKTORER FÖR YTTRE VINDTRYCK

### 6.1 Presentationsmetod

Vid Lunds Universitet och Lunds Datacentral har en färgbildsskrivare, färgplotter, utvecklats [12]. Denna anger funktionsvärden grafiskt med hjälp av olika färger. Det från vindtrycksstudierna föreliggande stora antalet mätvärden och behovet att framställa materialet i överskådlig form gjorde denna presentationsmetod lämplig för redovisning av försöksresultaten.

I programvaran för färgbildsskrivaren finns ett isoritmprogram, som ritar nivåkurvor och färglägger området mellan kurvorna med av användaren vald klassindelning och färg. Programmet innehåller en interpolations- och kurvanpassningsalgoritm [13], [14].

### 6.2 Formfaktorer erhållna vid fältförsök

I figurerna 29-41 redovisas formfaktorer enligt färgkod erhållna vid fältförsök för vindriktningar mellan 45 och 340°. Mätningarna av vindbelastningarna på väggar och tak har ej skett samtidigt men de för en viss vindriktning gällande formfaktorerna på lodräta och vågräta ytor har dock återgivits på samma figur. De angivna vindriktningarna är endast ungefärliga eftersom de vid flertalet mätningar varierade kring det redovisade medelvärdet med upp till 15°.

Byggnadens sockel är ej representerad på figuren. Väggarnas höjdskala är fördubblad i avsikt att förtydliga diagram och nivåkurvor.

De i fig. 29-41 redovisade formfaktorerna över tak och vägg- ytor är baserade på hastighetstrycket vid taknivå enligt Svensk Byggnorm 1967. Vid den senare delen av mätningarna uppmättes vindhastigheten i friström både på taknivån 4.5 m och på 10-metersnivån medan vindhastigheten vid de första mätningomgångarna bestämdes enbart på 10-metersnivån. För att erhålla vindhastigheten och därmed hastighetstrycket vid taknivån korrigerades för dessa tillfällen vindhastigheten

vid 10-metersnivån geom multiplikation med en faktor  $K$ . Värdet på  $K$  varierar med vindhastigheten, vindriktningen, topografin m.m. Vertikala medelvindshastighetsprofilen för olika vindriktningar bestämdes vid fältstationen genom ett antal mätningar på olika nivåer. Faktorn  $K$  befanns ligga mellan 0.76 och 0.95 (se kap. 9.4). Vid transformering av hastigheterna på 10-metersnivå till 4.5-metersnivå valdes att genomgående sätta  $K = 0.80$ .  $K$ -värdet ingår som kvadrat i formeln för hastighetstrycket, och har därför jämförelsevis stark inverkan på formfaktorernas storlek. Om faktorn  $K$  i stället hade valts till 0.85 eller 0.90 hade formfaktorernas absolutvärden reducerats med respektive 12 och 21%. Resultaten från de tidigare mätningarna är därför behäftade med större osäkerhet än de senare.

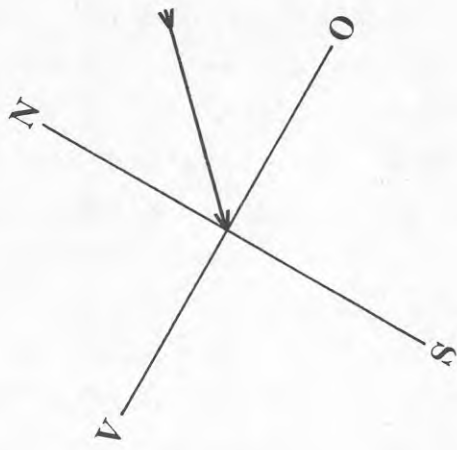
Resultat från de tidigare mätningarna baserade på faktorn  $K = 0.80$  redovisas i fig. 31, 32, 33, 34, 35 och 40.

De negativa vindlaster som redovisas på figurerena vid väggens övre del svarar mot mätpunkter placerade på takets vindskiva. Där erhöles alltid sugkrafter för samtliga undersökta vindriktningar.

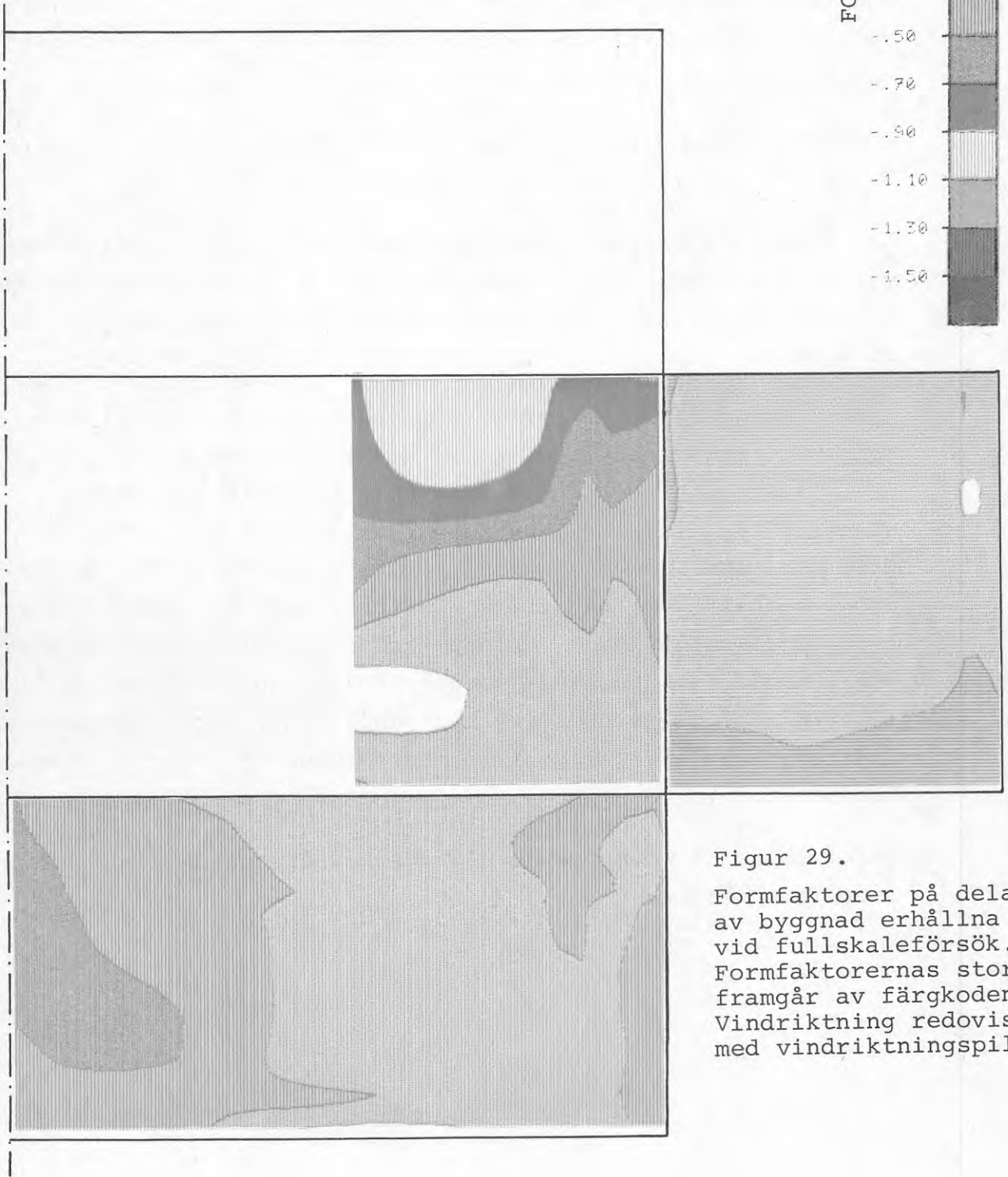
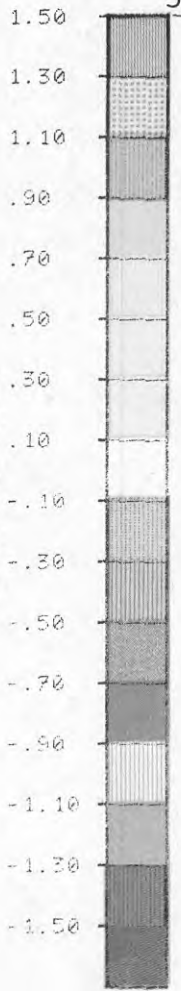
I fig. 29-41 markeras formfaktorerna i klasser med klassbredden 0.2. Varje klass har en karaktäristisk färgton och ljushet. Ljusheten tilltar eller avtar inom varje färgton med ökande eller minskande absolutvärden på  $c$ . I allmänhet är ytor med samma färgbeteckning relativt stora och sammanhängande, vilket tyder på att formfaktorernas variation i rummet har ett relativt lugnt förlopp. Undantag är områden vid hörn och takfot. De utstående väggpartierna vid gavlarna, fig. 3, fönstren och väggelementens lockpanel synes inte ha orsakat större lokala avvikelser i formfaktorernas storlek än klassbredden 0.2.

I det följande kommenteras några av de återgivna diagrammen över formfaktorer.

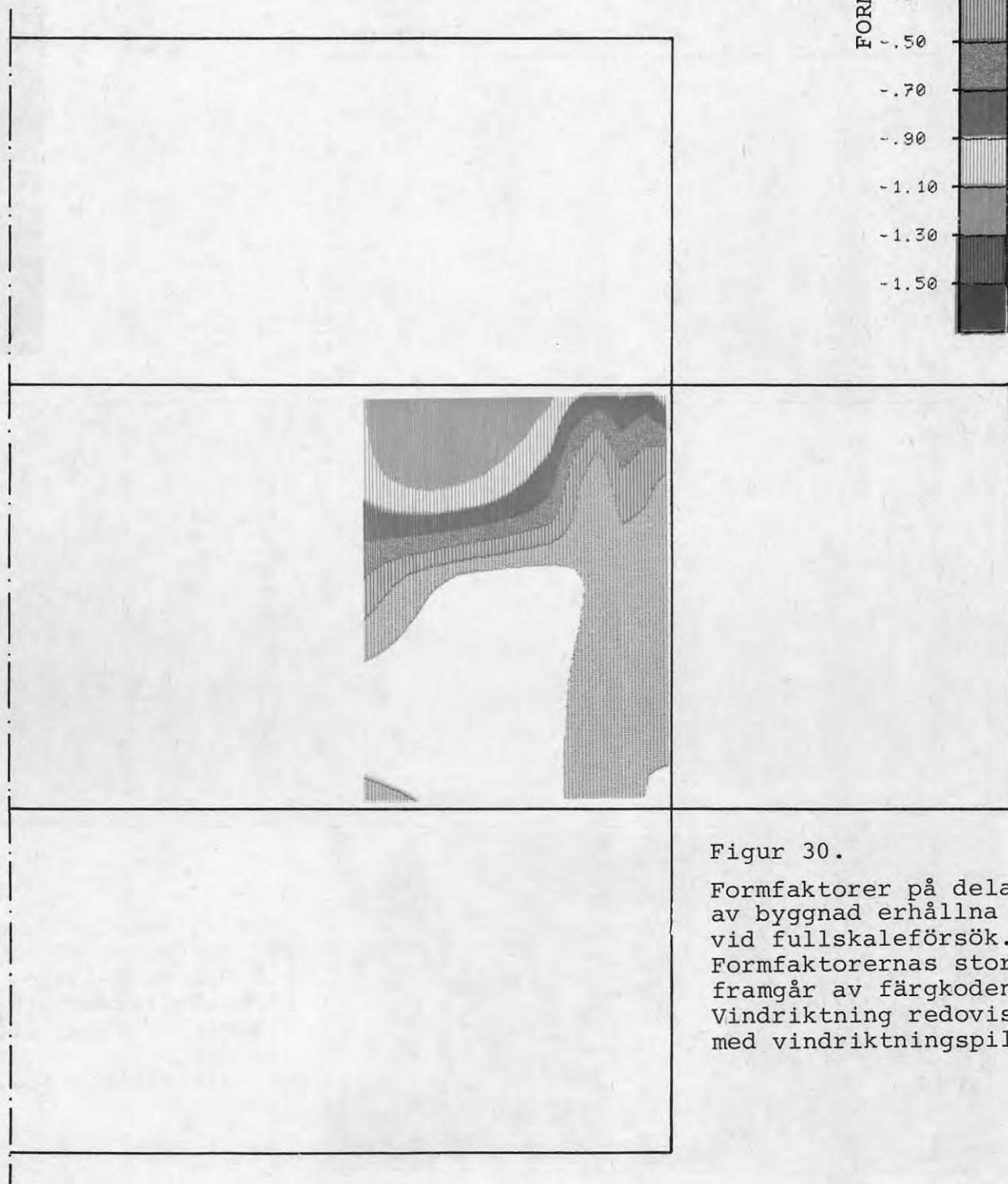
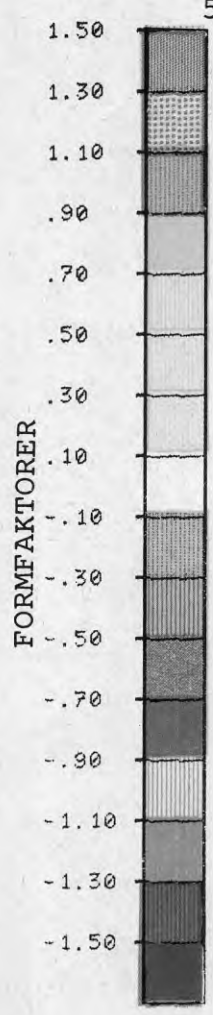
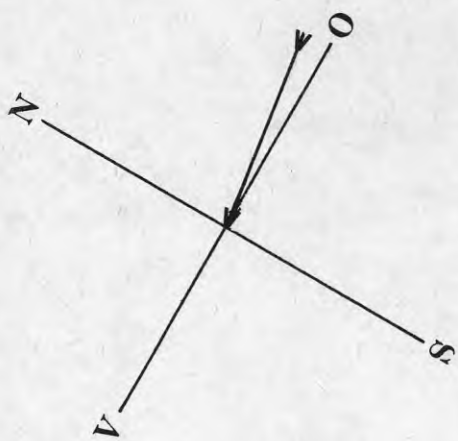




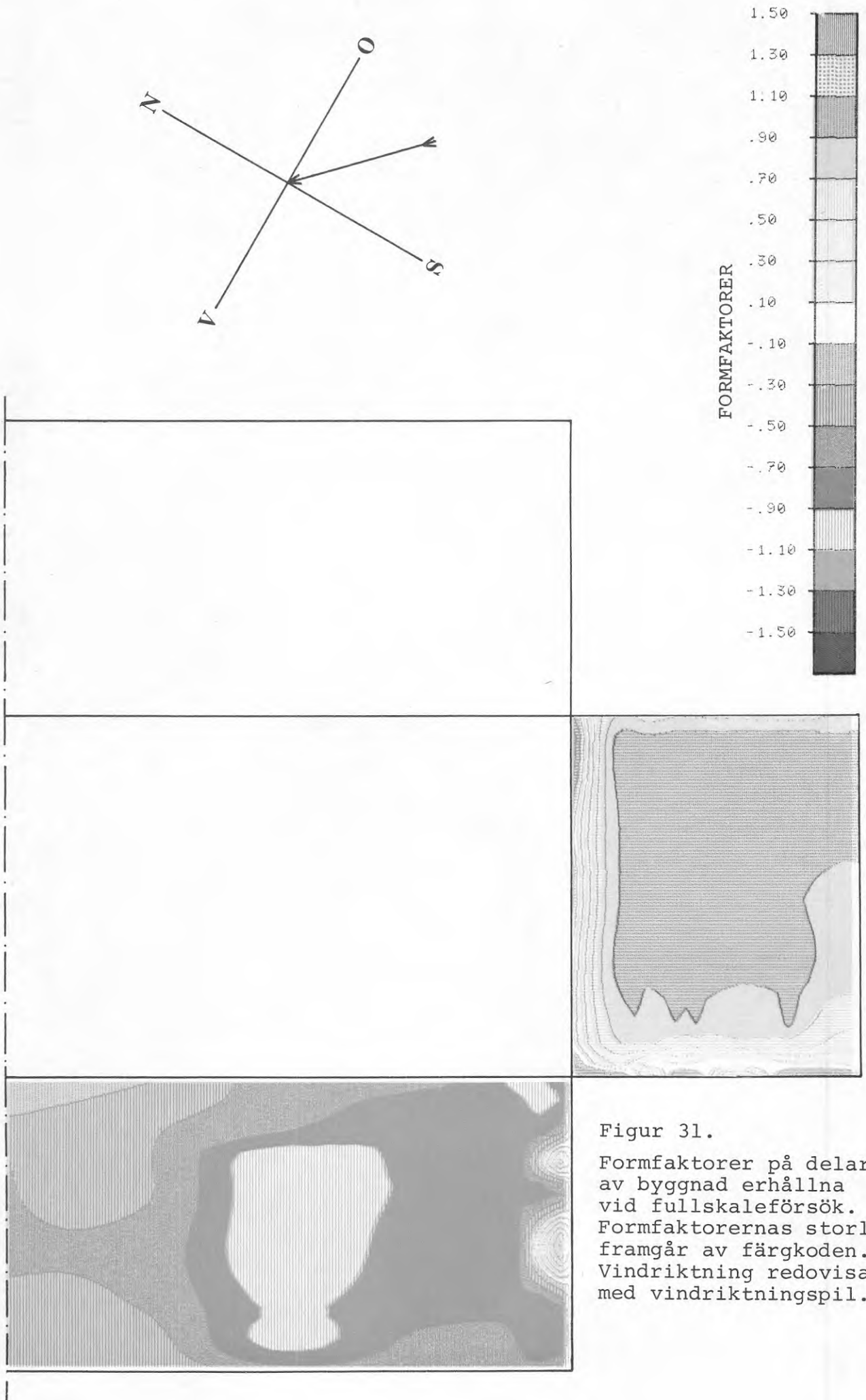
FORMFAKTORER



Figur 29.  
 Formfaktorer på delar  
 av byggnad erhållna  
 vid fullskaleförsök.  
 Formfaktorernas storlek  
 framgår av färgkoden.  
 Vindriktning redovisas  
 med vindriktningsspil.

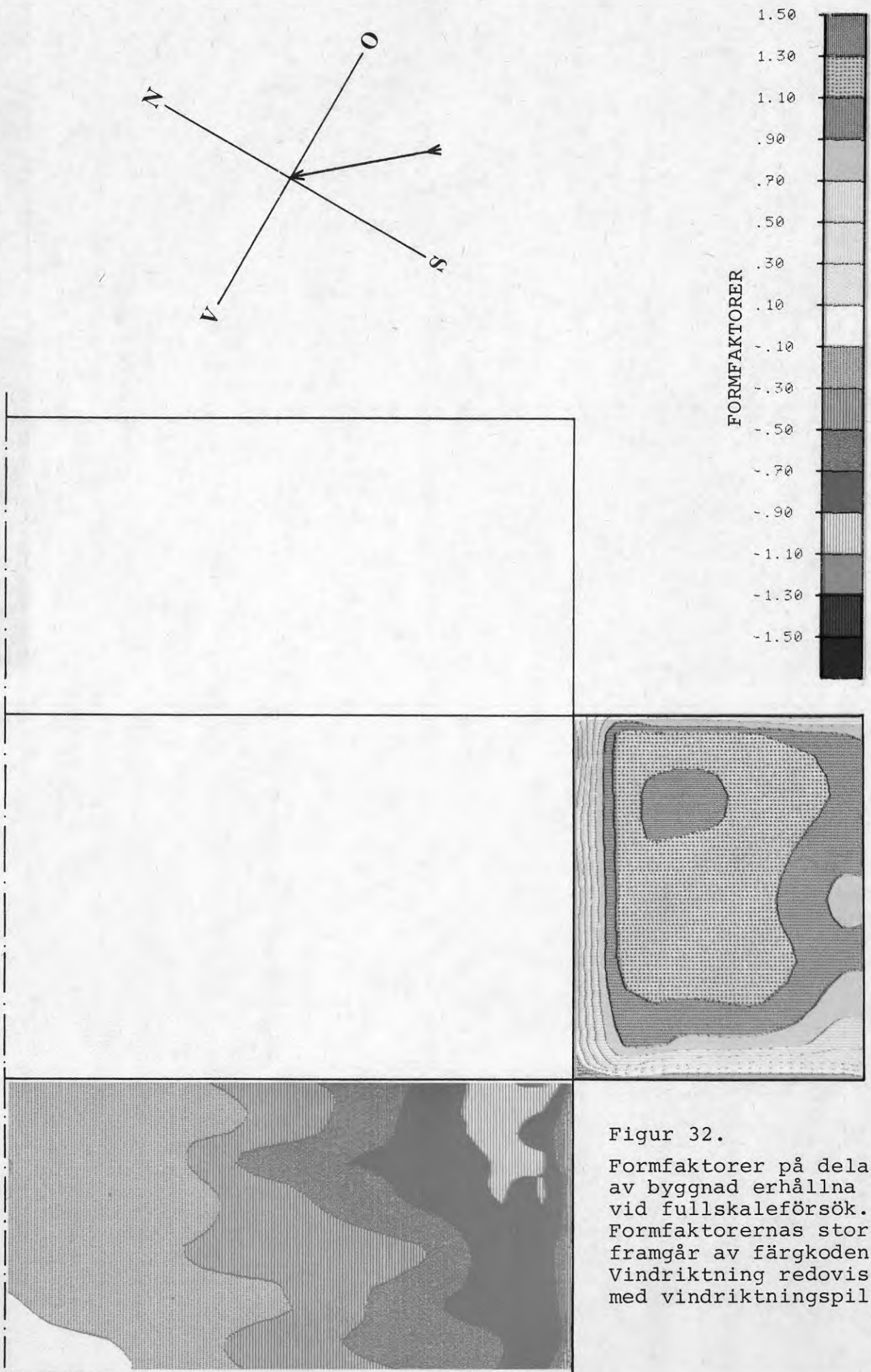


Figur 30.  
Formfaktorer på delar av byggnad erhållna vid fullskaleförsök. Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningsspil.



Figur 31.

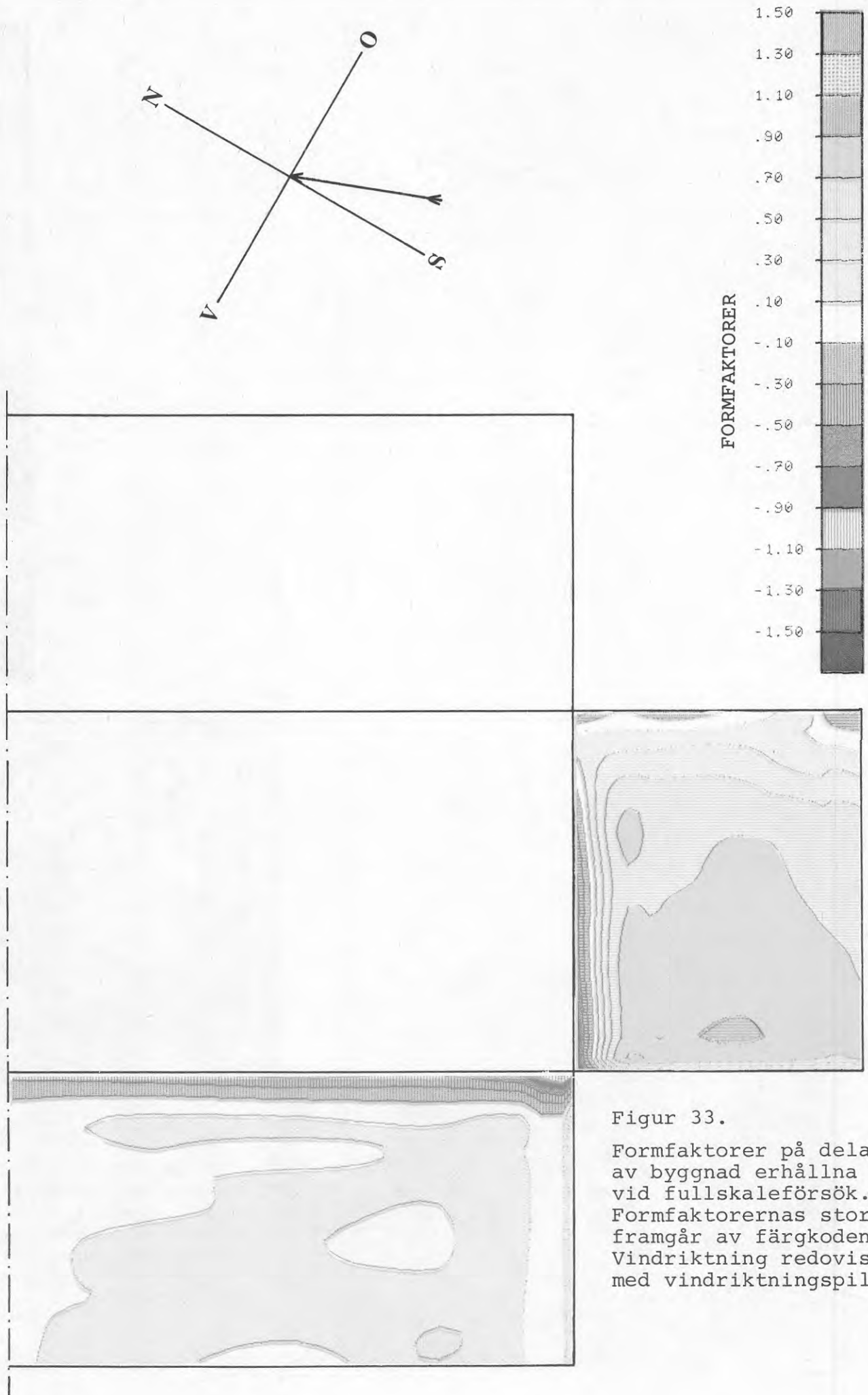
Formfaktorer på delar av byggnad erhållna vid fullskaleförsök. Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningsspil.



Figur 32.

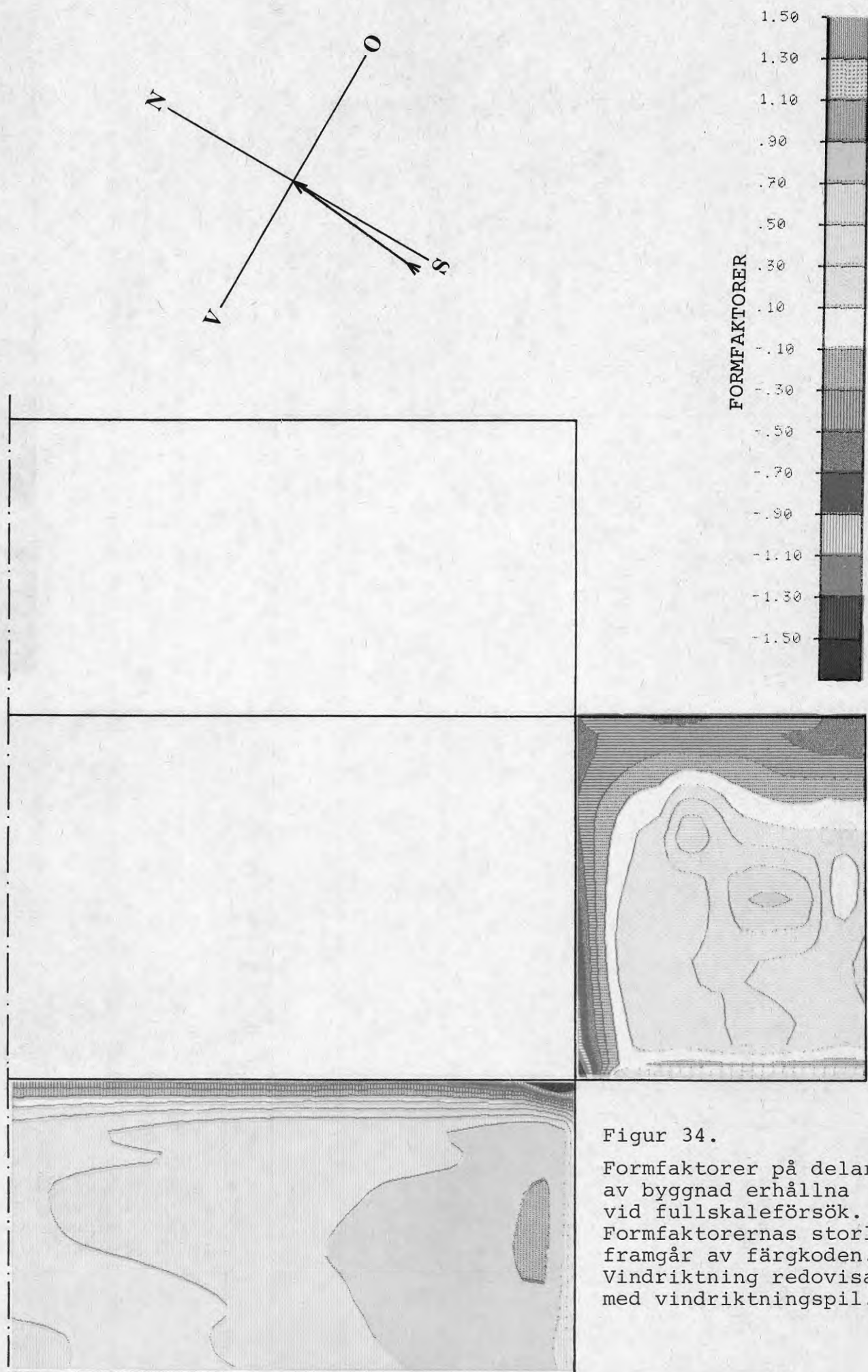
Formfaktorer på delar av byggnad erhållna vid fullskaleförsök. Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningsspil.





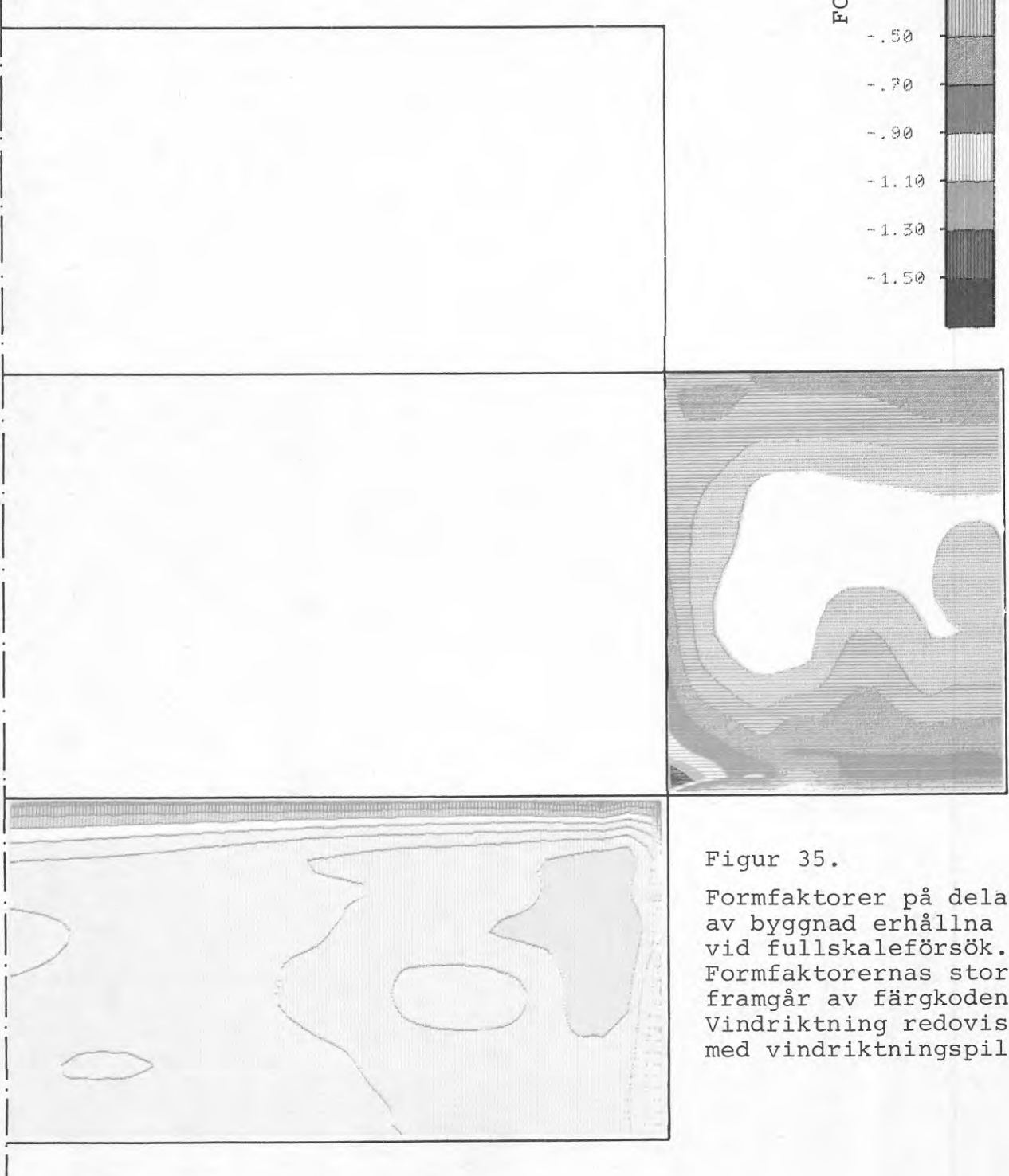
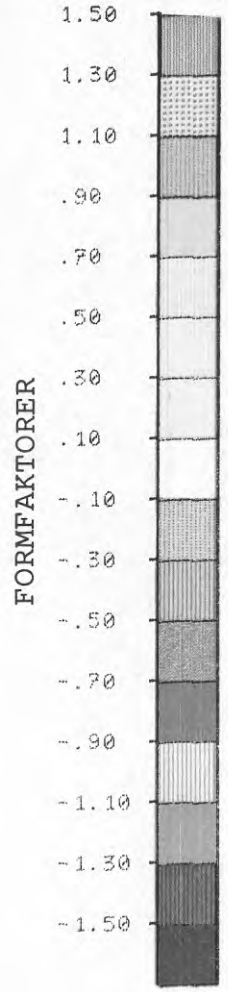
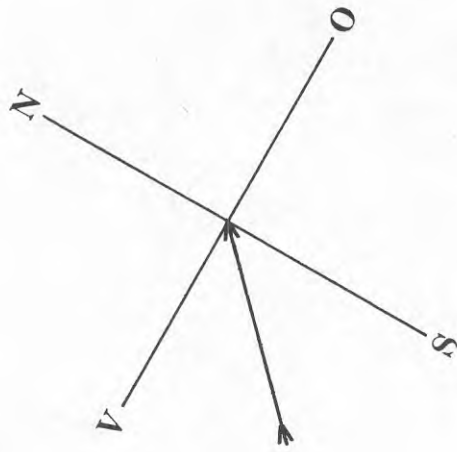
Figur 33.

Formfaktorer på delar av byggnad erhållna vid fullskaleförsök. Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningsspil.

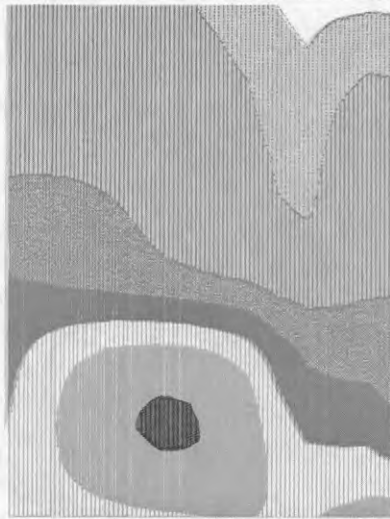
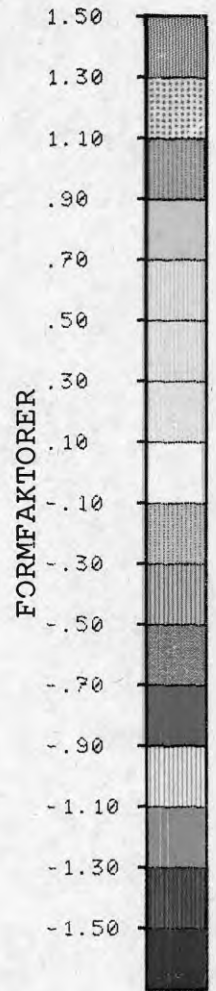
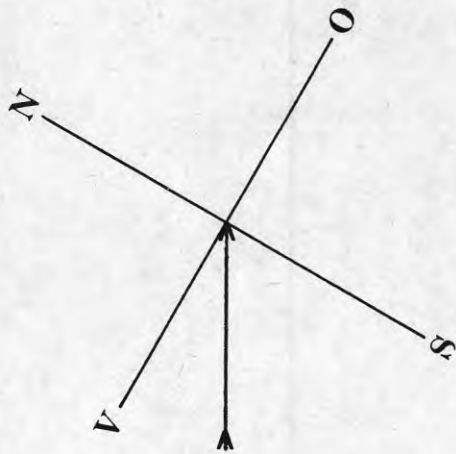


Figur 34.

Formfaktorer på delar av byggnad erhållna vid fullskaleförsök. Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningsspil.



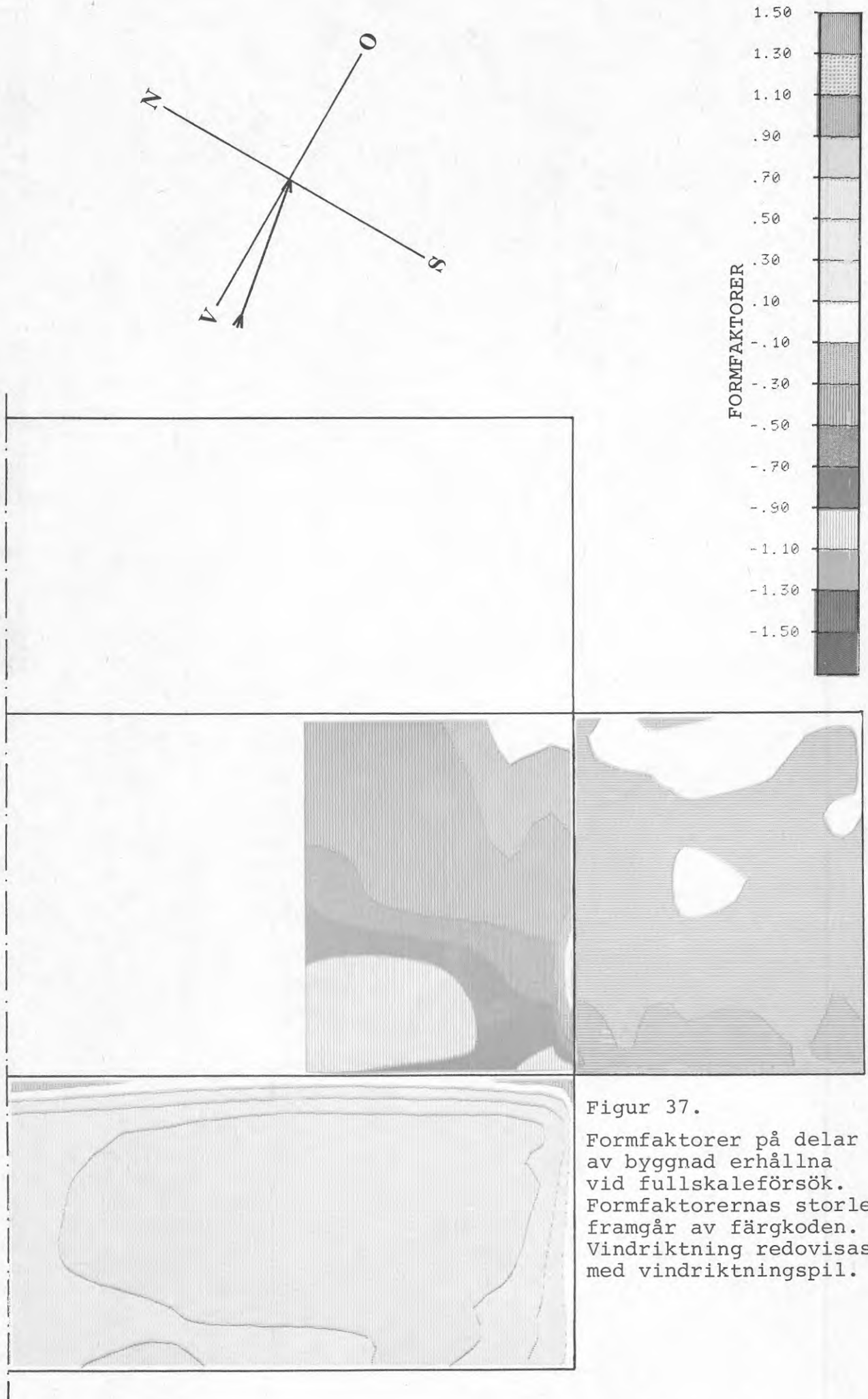
Figur 35.  
Formfaktorer på delar av byggnad erhållna vid fullskaleförsök. Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningspil.



Figur 36.

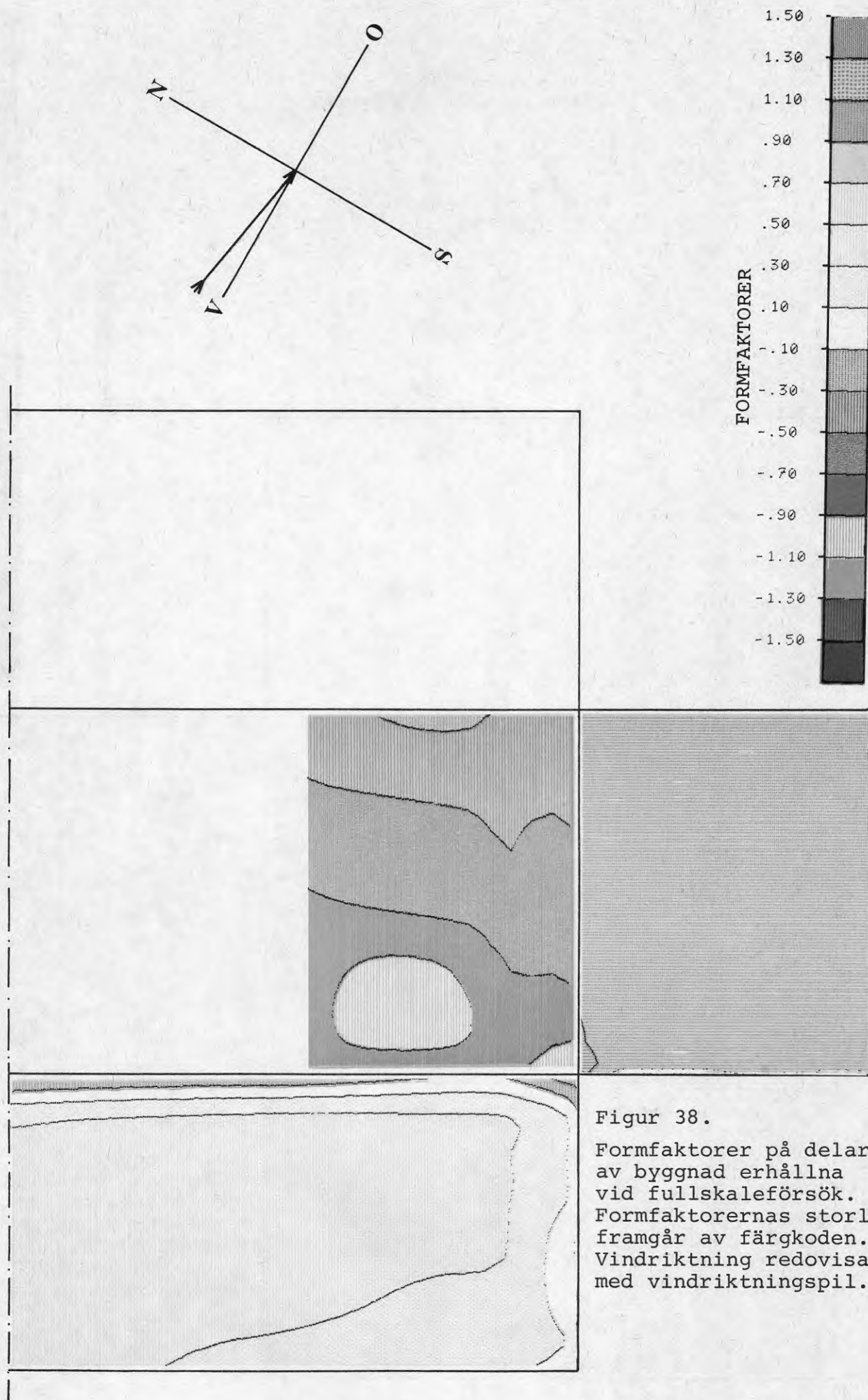
Formfaktorer på delar av byggnad erhållna vid fullskaleförsök. Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningspil.





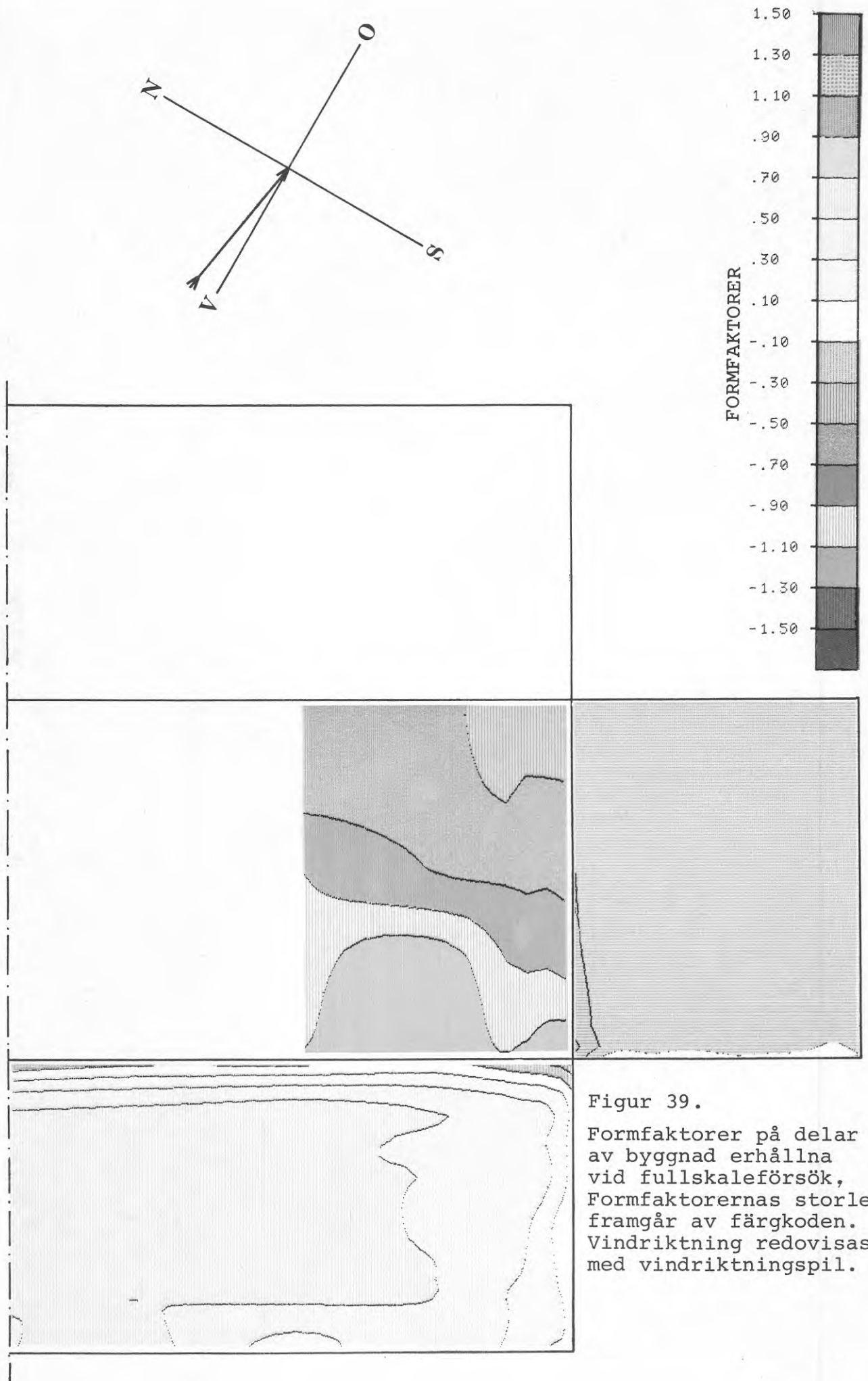
Figur 37.

Formfaktorer på delar av byggnad erhållna vid fullskaleförsök. Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningsspil.



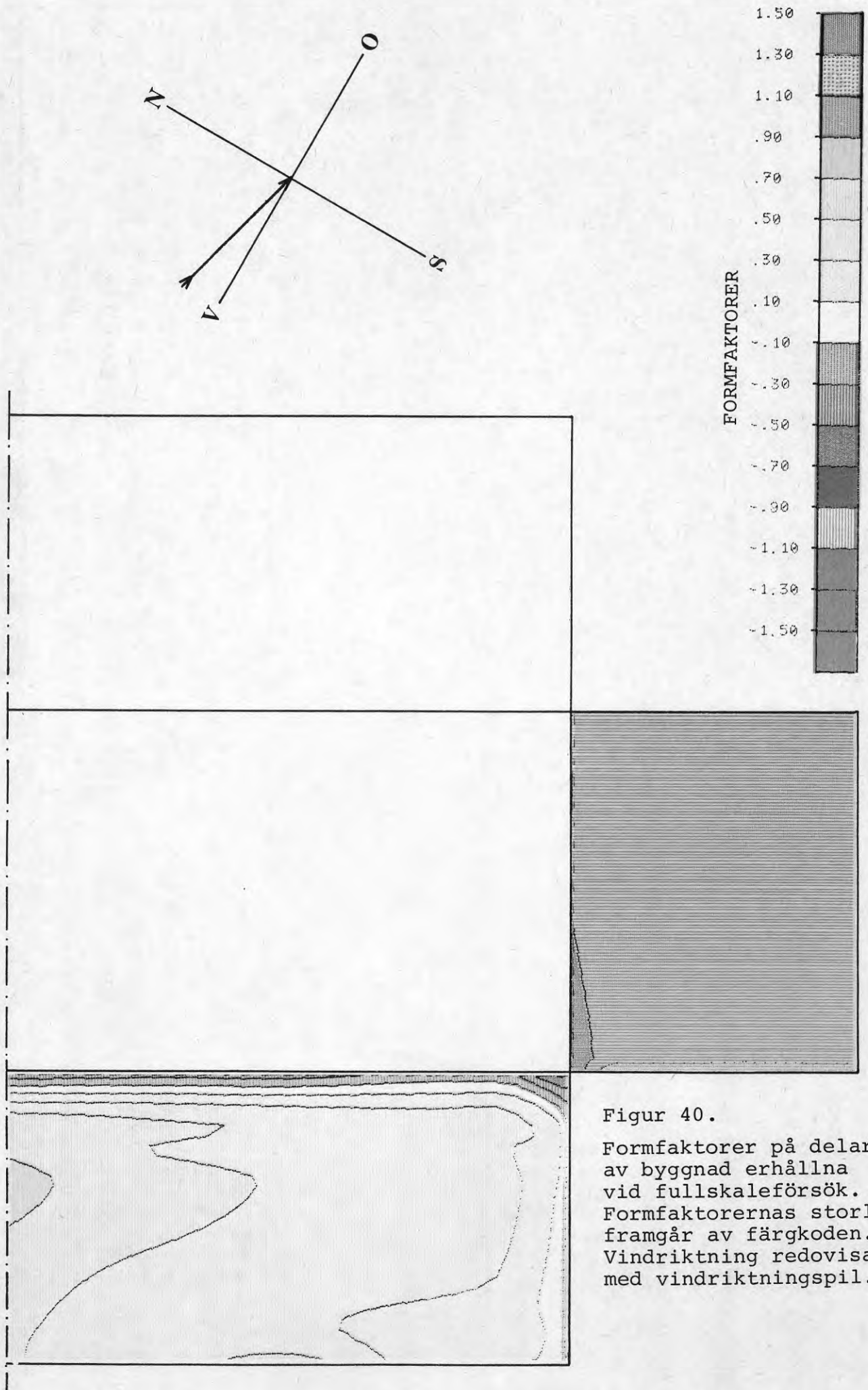
Figur 38.

Formfaktorer på delar av byggnad erhållna vid fullskaleförsök. Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningsspil.



Figur 39.

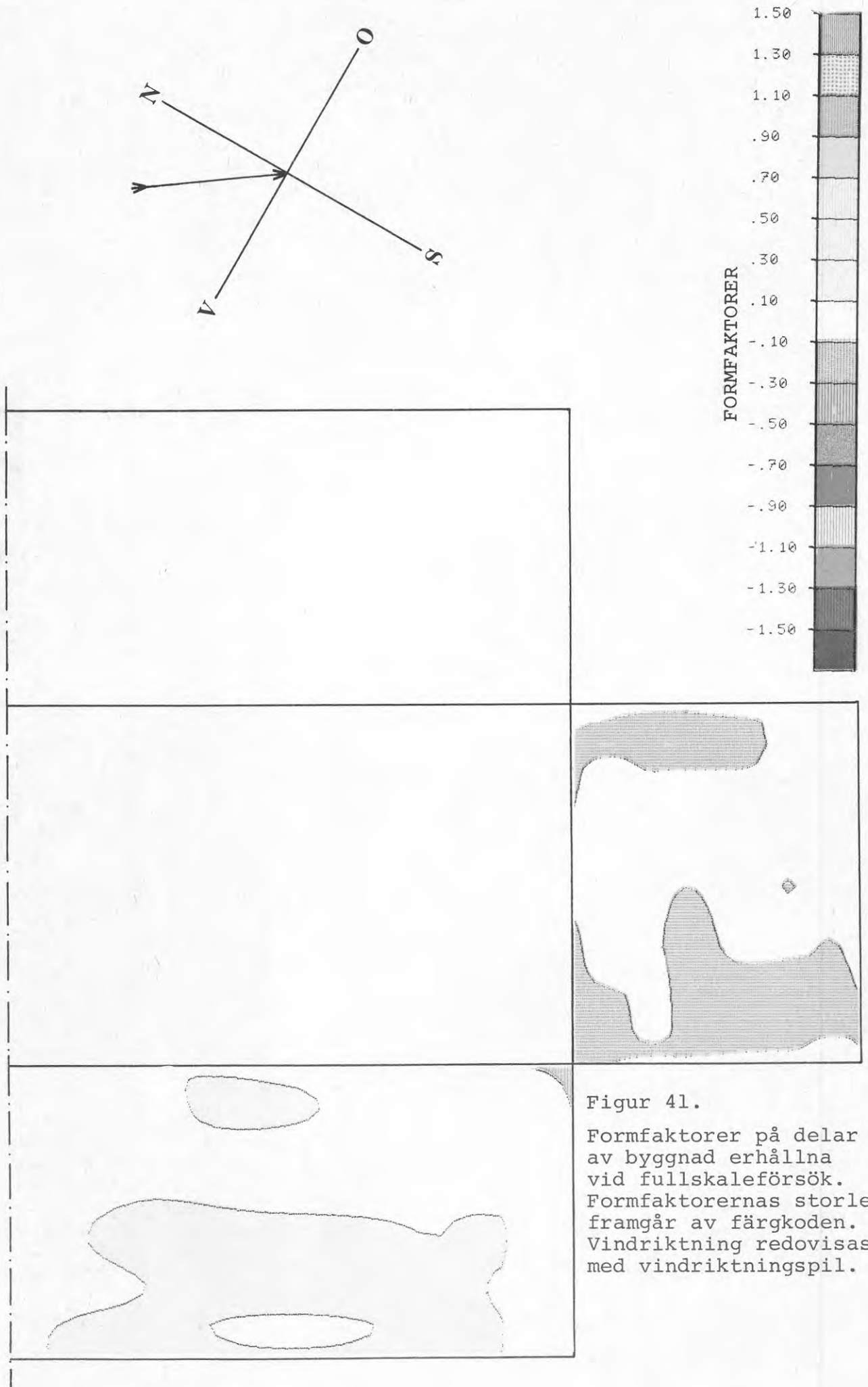
Formfaktorer på delar av byggnad erhållna vid fullskaleförsök, Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningspil.



Figur 40.

Formfaktorer på delar av byggnad erhållna vid fullskaleförsök. Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningsspil.





Figur 29. För vindriktningen  $45^{\circ}$  uppträder sugkrafter över hela mätområdet. Formfaktorn varierar på takytan mellan 0 och -1.1 och på väggytorna mellan -0.1 och -0.9. Formfaktorn inom klassen -1.1 återfinnes inom en takyta med bredder i stort sett motsvarande  $1/4$  av byggnadens tvärmått.

Figur 30. För vindriktningen  $90^{\circ}$  ligger formfaktorerna på takytan mellan 0.0 och -1.3. Det starkt blå områdets bredd  $c \approx -1.2$  motsvarar ca  $1/4$  av byggnadens bredd.

Figur 31. Vid vindriktningen  $135^{\circ}$  erhöles tryck på gavelväggen och sug på långväggen. På gavelväggen uppgick formfaktorn till +1.1 över i stort sett hela ytan och på långväggen varierade den mellan -0.10 och -1.1.

Formfaktorn för tryck skall enligt vedertagna teorier ej uppgå till mer än 1.0. Vid denna mätning torde faktorn  $K$  ha varit större än 0.8.

Mönstret av koncentriska ringar vid byggnadens hörn torde bero på mätfel, jfr fig. 59 i kapitel 9.3.

Figur 32. Vid vindriktningen  $140^{\circ}$  erhöles tryckkrafter på byggnadens gavel och sugkrafter på långsidan. Även vid denna mätning mättes hastigheten i friström endast på 10-metersnivån. Konstanten  $K$  synes ha varit något högre än det valda värdet 0.8.

Figur 33. Vid vindriktningen  $160^{\circ}$  erhöles tryck på både gavel och långvägg. Formfaktorn nådde på gavelväggen värdet 0.9 men avtog i vindriktningen så att den vid ena hörnet närmade sig noll. På långväggen låg  $c$ -värdet omkring 0.5.

Figur 34. Vid vindriktningen  $185^{\circ}$  utsattes gavelväggen för delvis tryck och delvis sug medan långväggen påverkades av ett från hörnet avtagande tryck.

Figur 35. Vid vindriktningen  $225^{\circ}$  utsattes gavelväggen i sin helhet för sug. I mittpartiet var sugkraften låg och växte mot gavlarna. Byggnadens långvägg utsattes för ett från hörnet avtagande tryck.

Figur 36. Vid  $240^{\circ}$  vindriktning utsattes den studerade takytan för sug och formfaktorn varierade mellan 0 och  $-1.5$ , Området med formfaktor mindre än  $-0.9$  hade en utsträckning motsvarande en tredjedel av byggnadens bredd medan området med formfaktor mindre än  $-1.3$  var litet.

Figur 37. Vid  $260^{\circ}$  vindriktning påverkades byggnadens långvägg av ett relativt konstant tryck med formfaktorn uppgående till  $+0.7$  medan gavelväggen utsattes för ett måttligt sug med formfaktorn  $-0.5$  som minimivärde. Formfaktorerna på takytan varierade mellan 0 och  $-1.1$ .

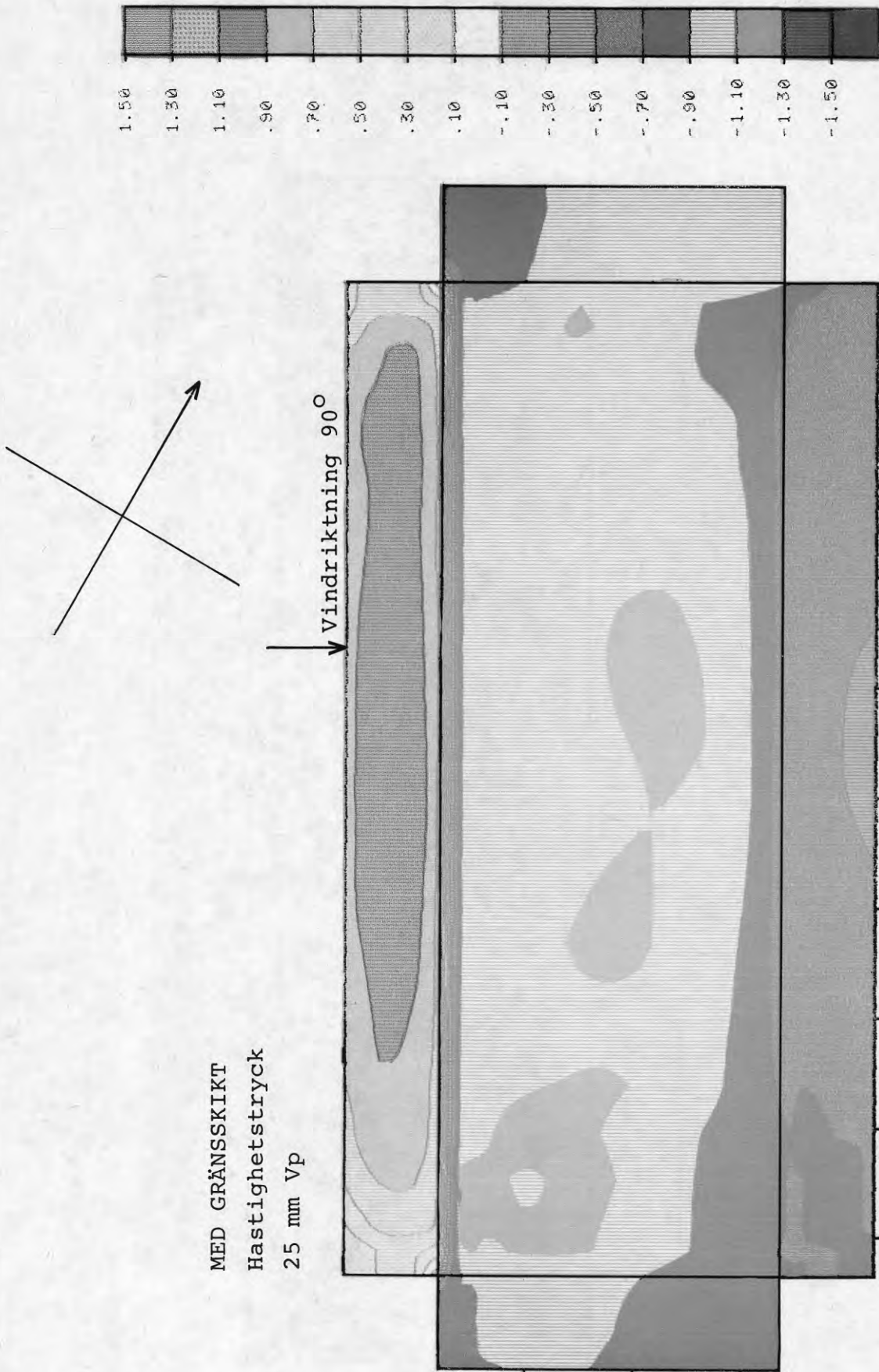
Figur 38, 39 och 40. Vid vindriktningarna  $280 - 285^{\circ}$  erhöles för långväggar tryck och för gavelväggen sug med i stort sett samma intensitet. Vid de mätningar vars resultat redovisas i figurerna 38 och 39 mättes vindhastigheten vid taknivån medan de resultat som redovisas i figur 49 beräknats med utgångspunkt från vindhastigheten vid 10-metersnivån. Medelvindhastigheterna varierade för de tre mättillfällena mellan  $9.8$  och  $14.2$  m/s. Likheten i de erhållna c-diagrammen tyder på att vindhastigheten ej påverkar formfaktorernas storlek i någon högre grad.

Figur 41. Vid sned anblåsning med liten vinkel mot långväggen uppträdde små tryckkrafter på långväggen medan gavelväggen påverkades av små sugkrafter.

### 6.3 Formfaktorer erhållna vid KTH

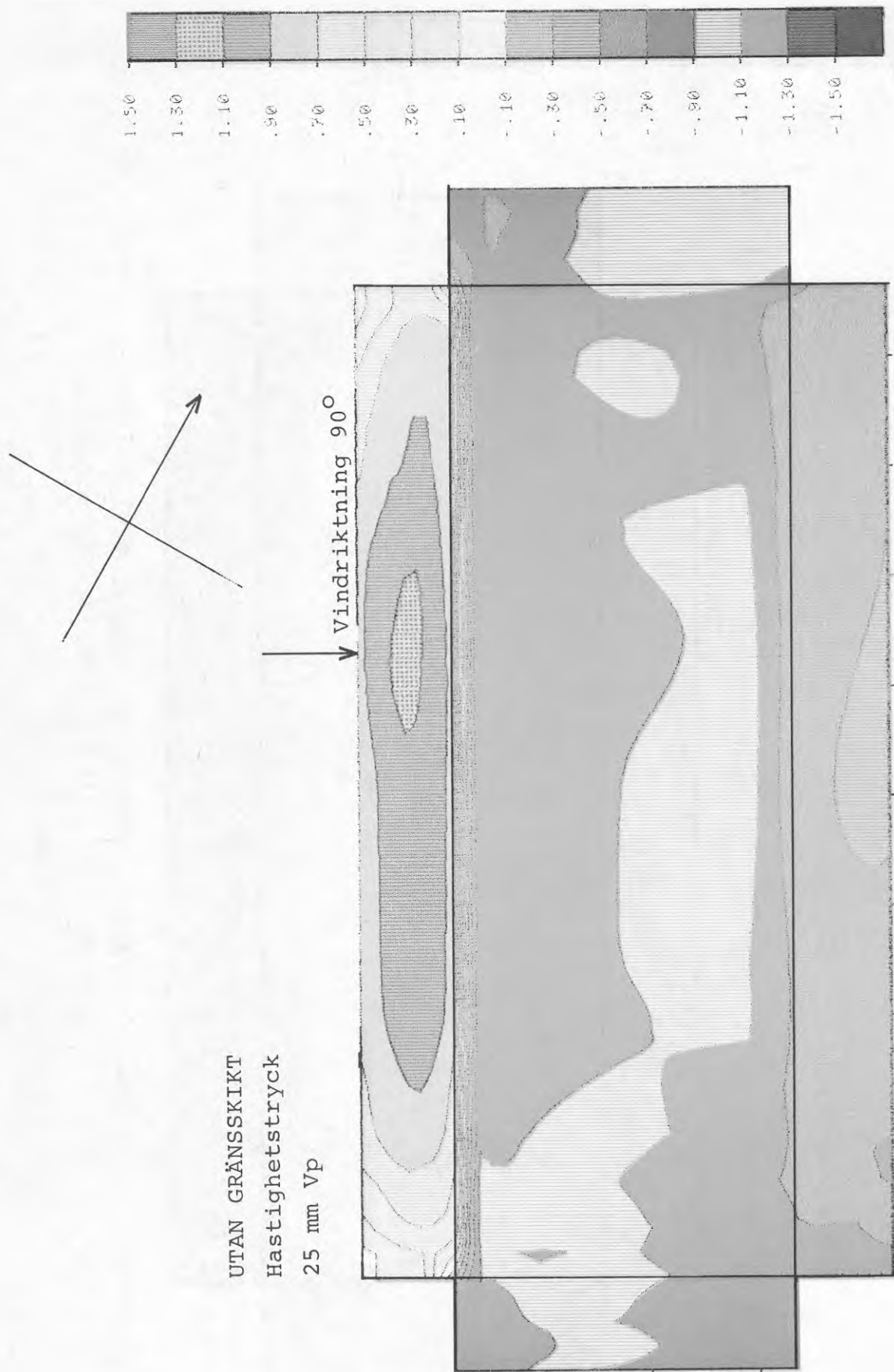
Figurerna 42-45 visar formfaktorer för byggnadens alla väggar och tak erhållna vid modellförsök i vindtunnel vid institutionen för Flygteknik vid KTH. Figurernas mått är skalenliga. Byggnadens sockel är ej inritad.

I figurerna 42-45 är de olika delytorna relativt stora och sammanhängande. Några mera markerade formfaktorgradienter kan ej spåras utom vid hörn och takfot. Vid undersökningens genomförande gjordes mätningar på modellen både med och utan utstickande pelarpartier vid gavlarna. De formfaktorer som erhöles i de två fallen uppvisade inga större skillnader.

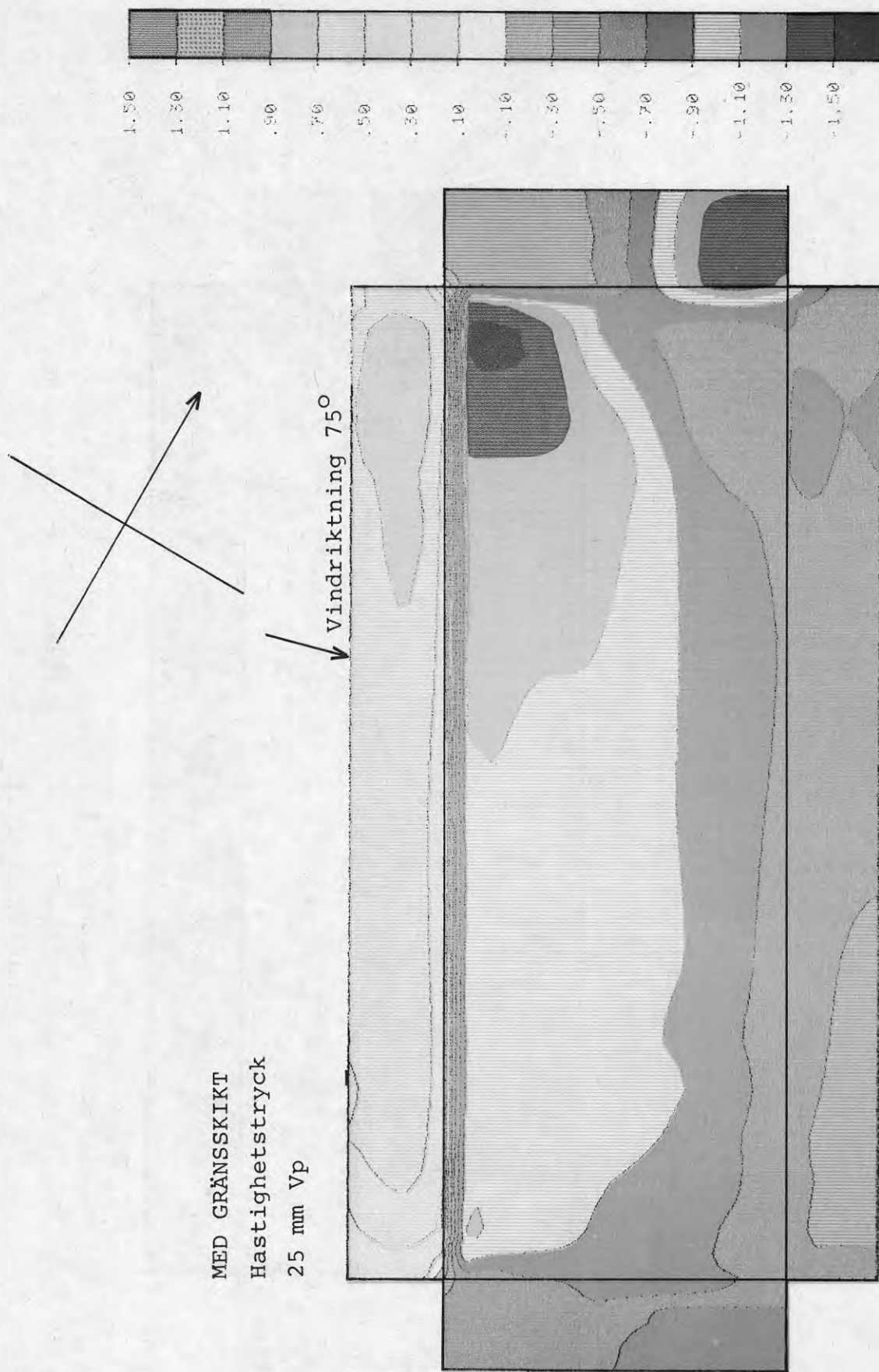


Figur 42. Formfaktorer på byggnad erhållna vid modellförsök vid KTH.  
 Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning  
 redovisas med vindriktningsspil.

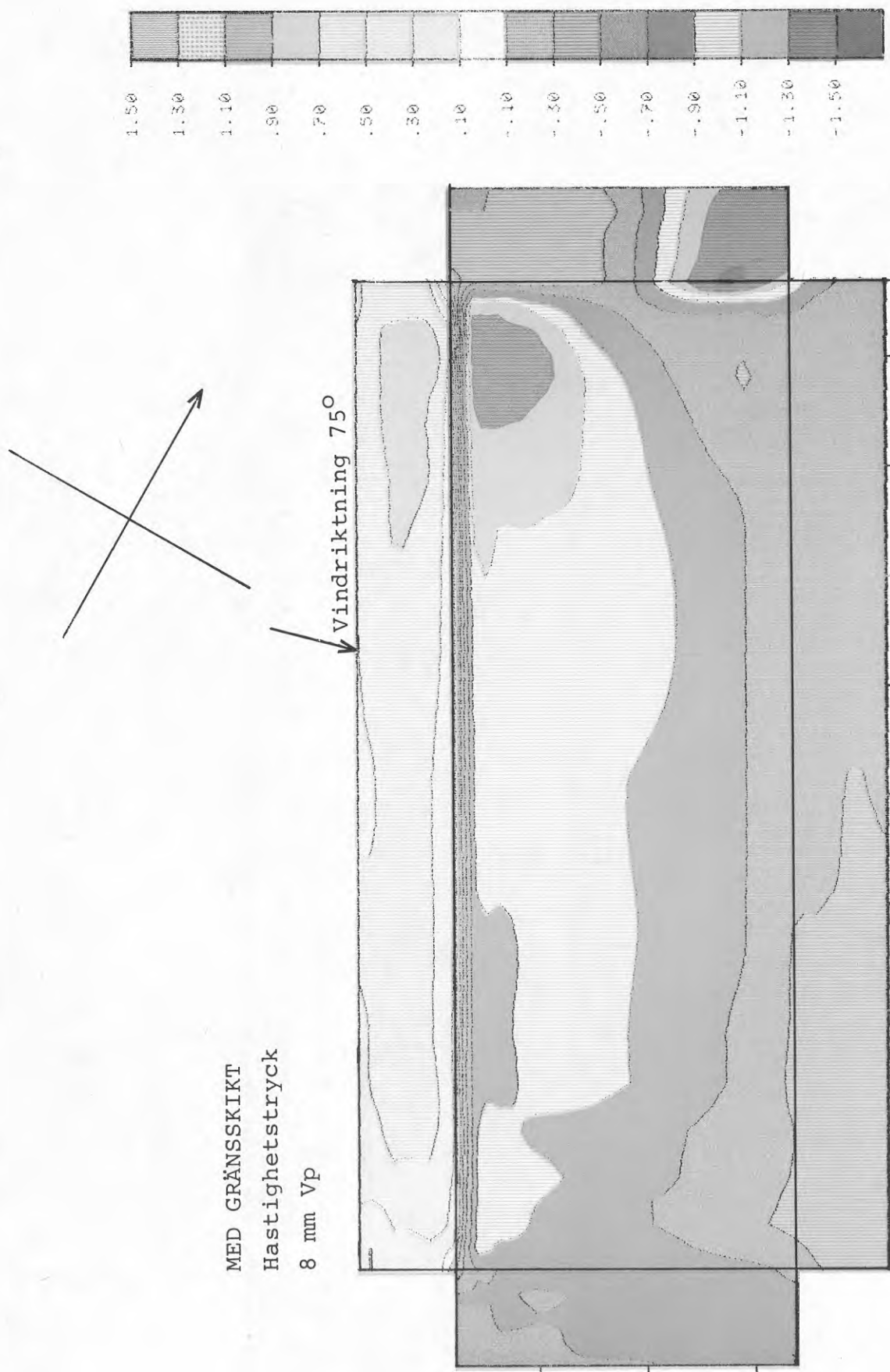




Figur 43. Formfaktorer på byggnad erhållna vid modellförsök vid KTH.  
Formfaktoreernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning  
redovisas med vindriktningsspil.



Figur 44. Formfaktorer på byggnad erhållna vid modellförsök vid KTH.  
 Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning  
 redovisas med vindriktningsspil.



Figur 45. Formfaktorer på byggnad erhållna vid modellförsök vid KTH.  
 Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningsspil.

Figur 42. Med vinkelrät anblåsning mot byggnadens långvägg och med gränsskiktsgaller erhöles ett i stort sett konstant tryck med formfaktorn 1.1 på byggnadens lovartvägg. Formfaktorn för läväggen blev -0.7. Byggnadens gavelväggar befinns vara utsatta för sug med formfaktorn mellan -1.1 och -0.7. Formfaktorn för takytan varierade mellan -0.7 och -1.3.

Figur 43. Med samma vindriktning som i föregående figur fast utan gränsskiktsgaller erhöles formfaktorerna något annorlunda värden. På lovartväggen ökade trycket inom ett mindre område och på de övriga ytorna reducerades suget något.

Figur 44. Vid  $75^\circ$  vindriktning erhöles på byggnadens långvägg i lovart ett i vindriktningen avtagande tryck medan ett i vindriktningen ökande sug kunde noteras på byggnadens gavelvägg i lovart.

Takytan uppvisade de största sugkrafterna med formfaktorer ner till -1.65 vid hörnet i lovart.

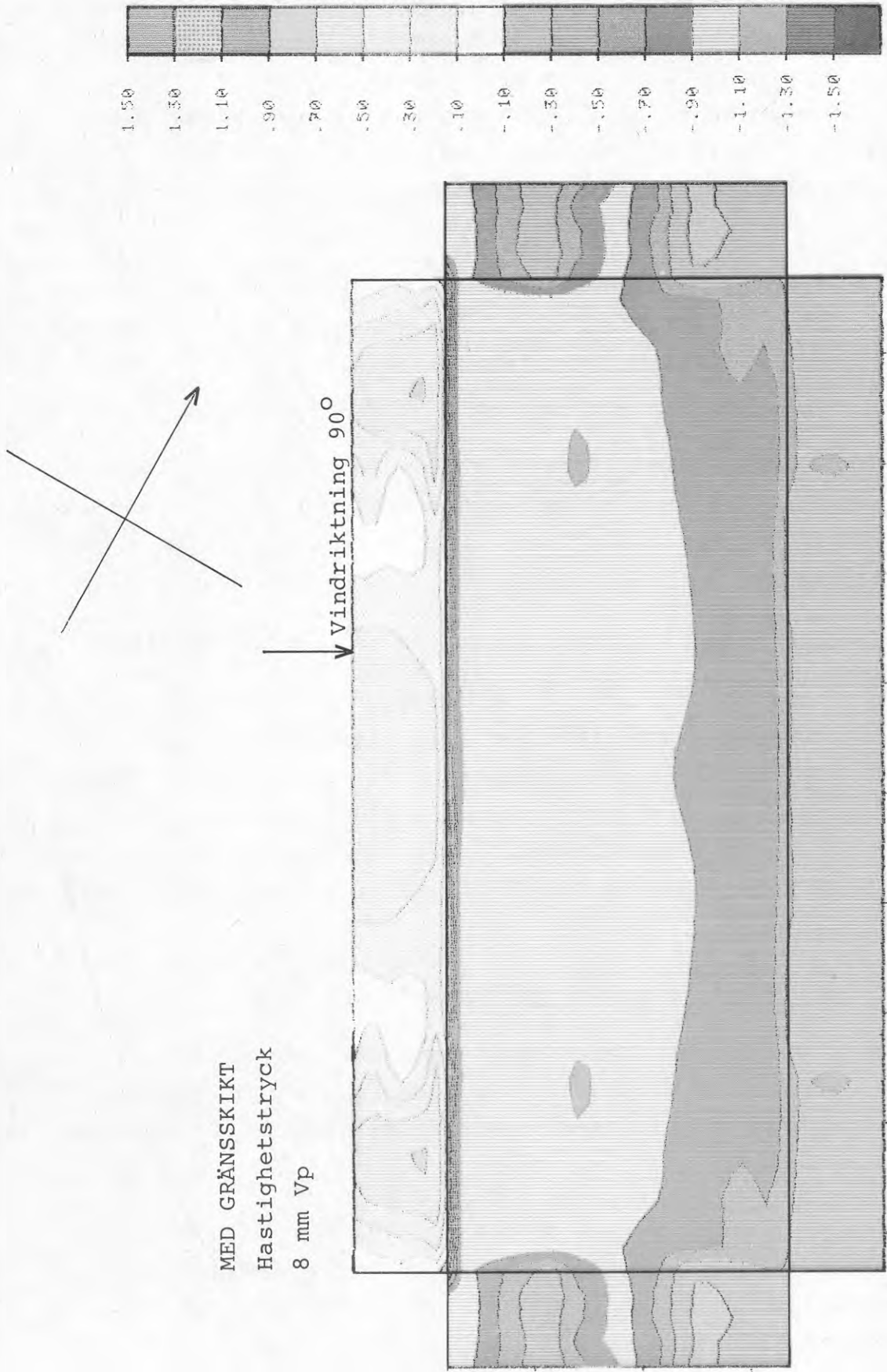
Figur 45. Vid denna mätning var hastighetstrycket i friström en tredjedel av hastighetstrycket vid mätningen enligt fig. 44 medan vindriktningen var densamma. Någon större skillnad mellan figurerna 44 och 45 föreligger inte, vilket stöder antagandet att formfaktorernas storlek är relativt oberoende av vindhastigheten.

#### 6.4 Formfaktorer erhållna vid modellförsök, CTH

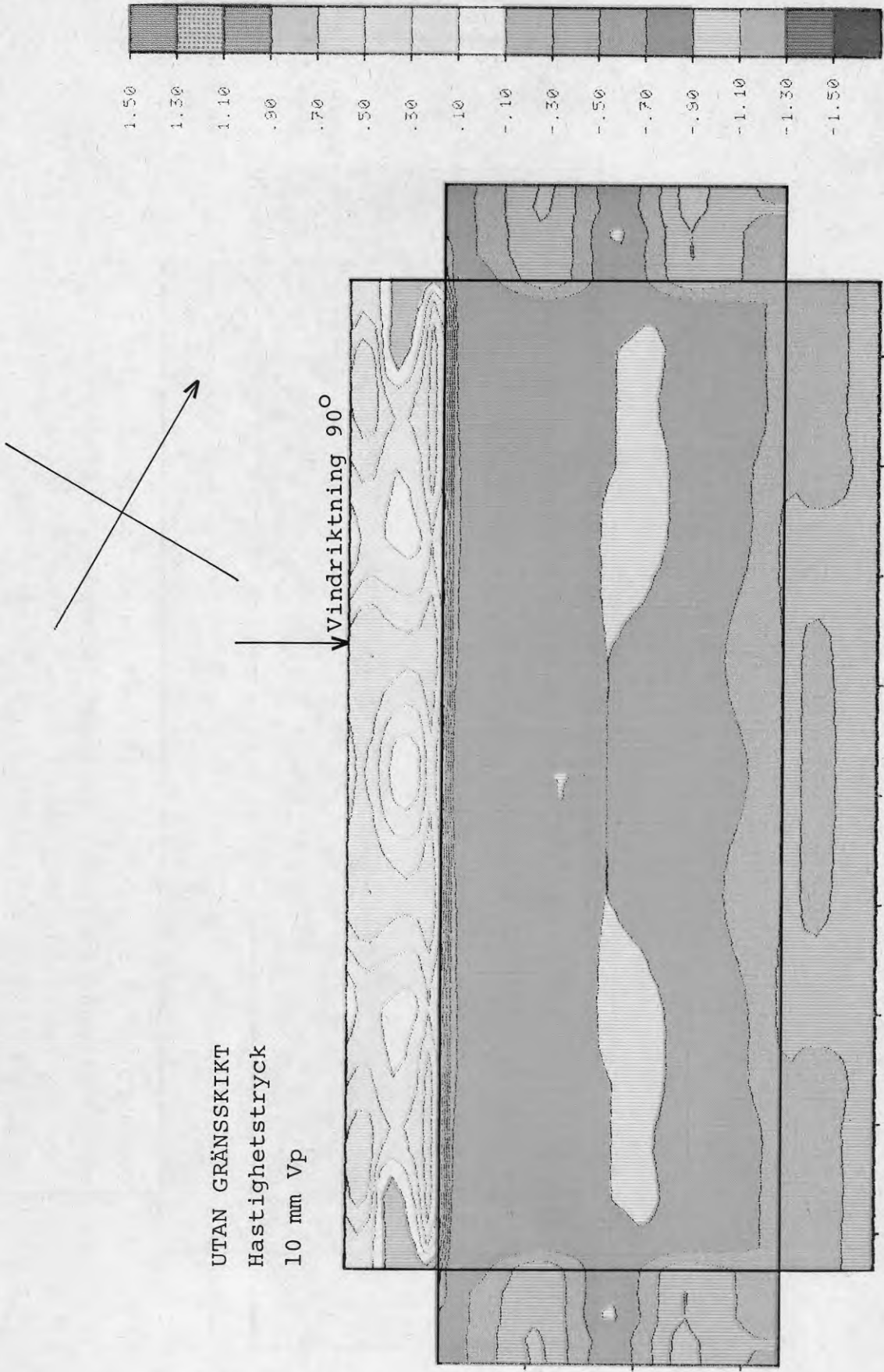
Figurerna 46-55 redovisar formfaktorer för byggnaden erhållna vid modellförsök i vindtunnel vid avdelningen för byggnadskonstruktion, CTH. Figurernas mått är skalenliga. Byggnadens sockel är ej inritad.

Kraftiga gradienter och oregelbundna ytor kan noteras för formfaktorerna på lovartsidan i figurerna 46-55 medan formfaktorerna för de övriga byggnadsytorna representeras med större sammanhängande ytor.

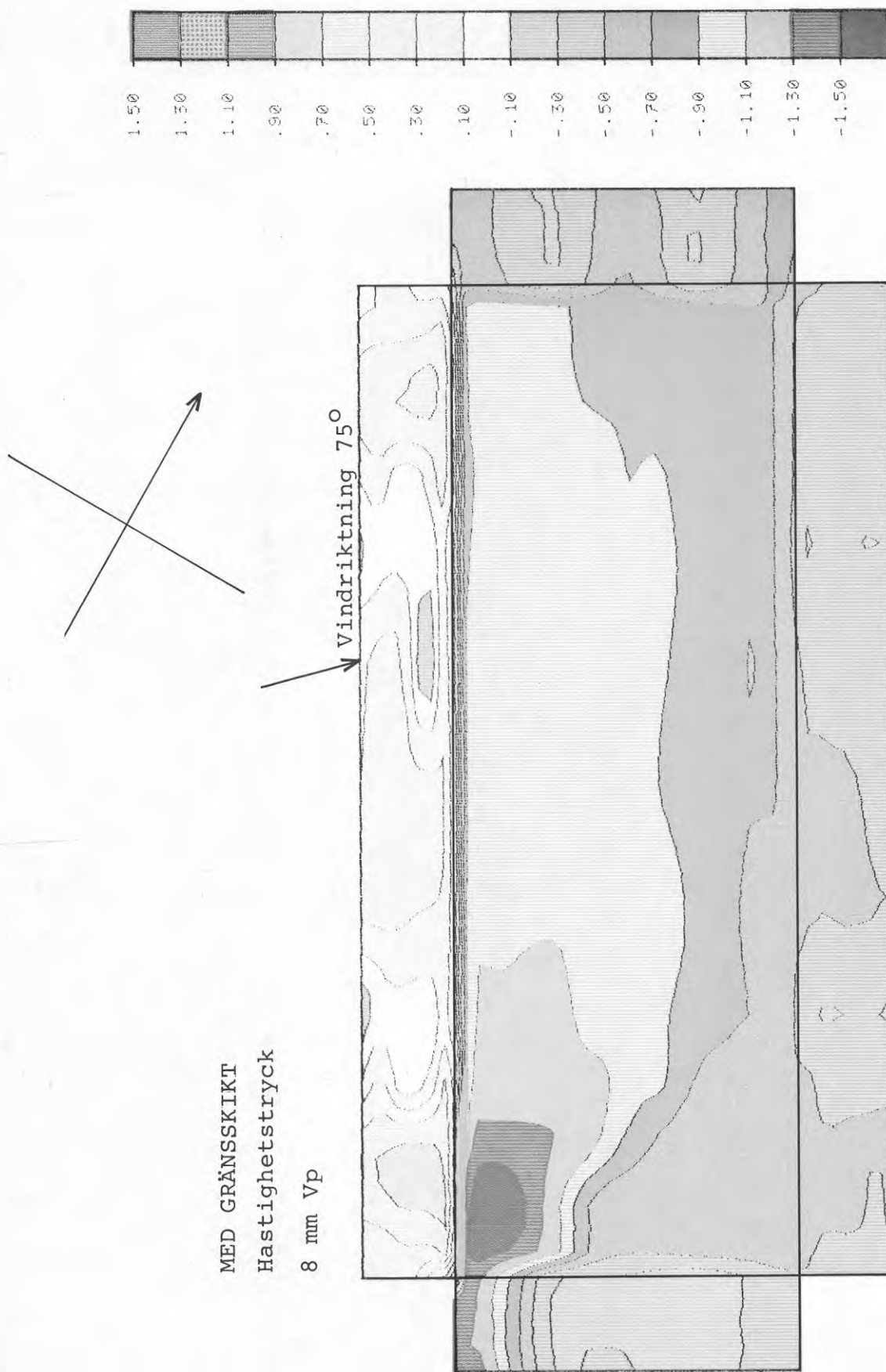




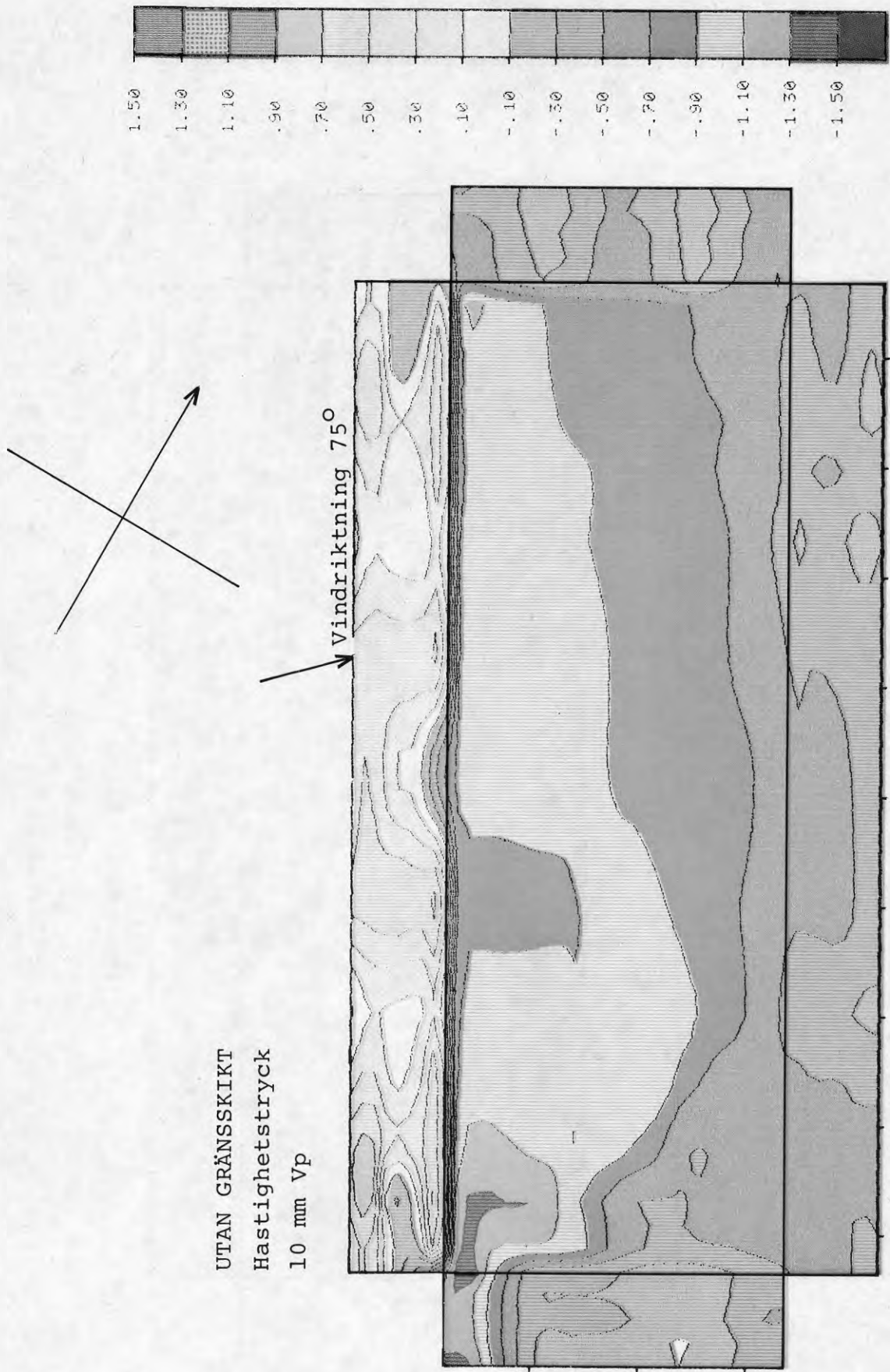
Figur 46. Formfaktorer på byggnad erhållna vid modellförsök vid CTH.  
 Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning  
 redovisas med vindriktningsspil.



Figur 47. Formfaktorer på byggnad erhållna vid modellförsök vid CTH.  
Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningsspil.

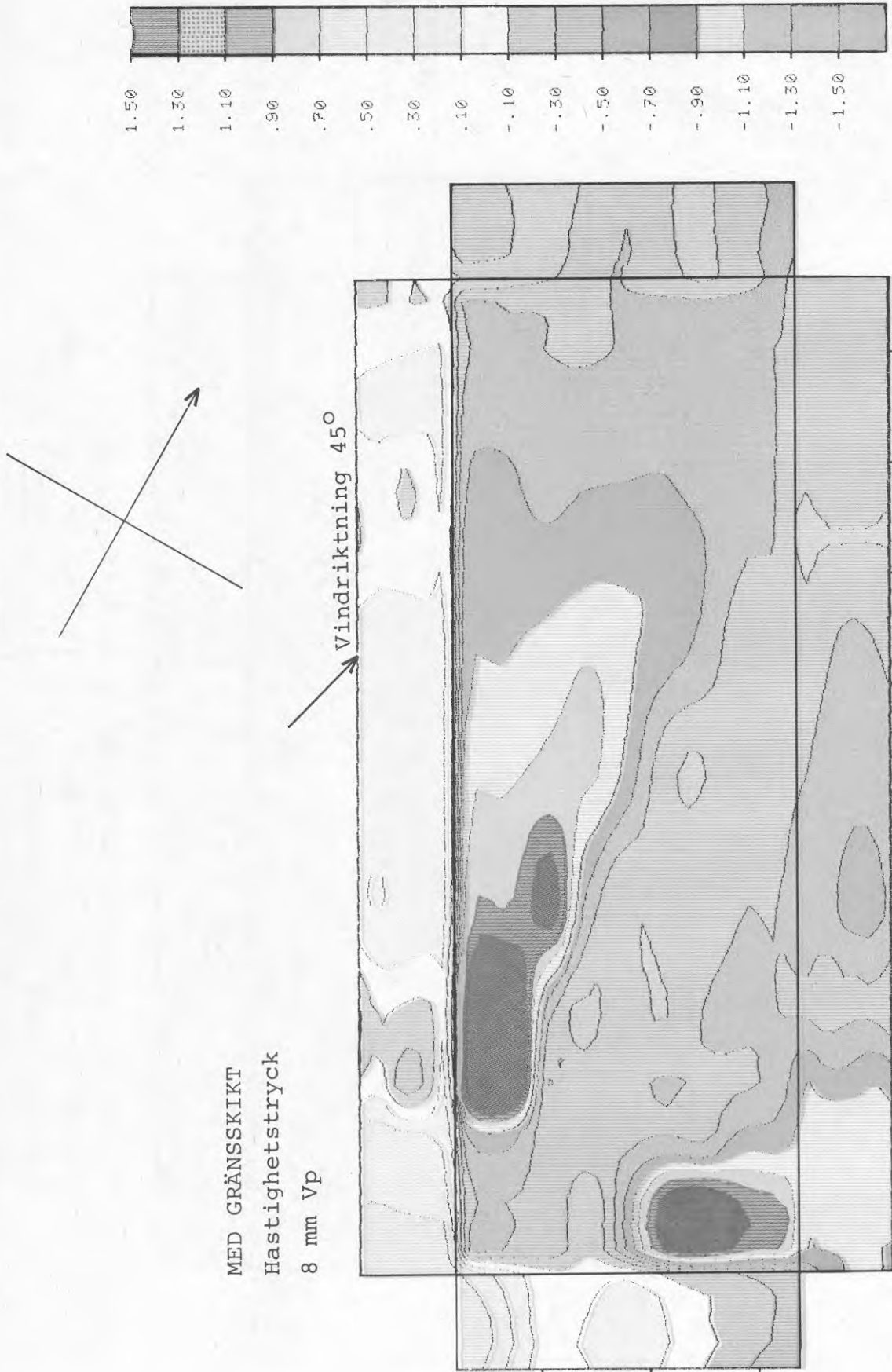


Figur 48. Formfaktorer på byggnad erhållna vid modellförsök vid CTH.  
Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningsspil.

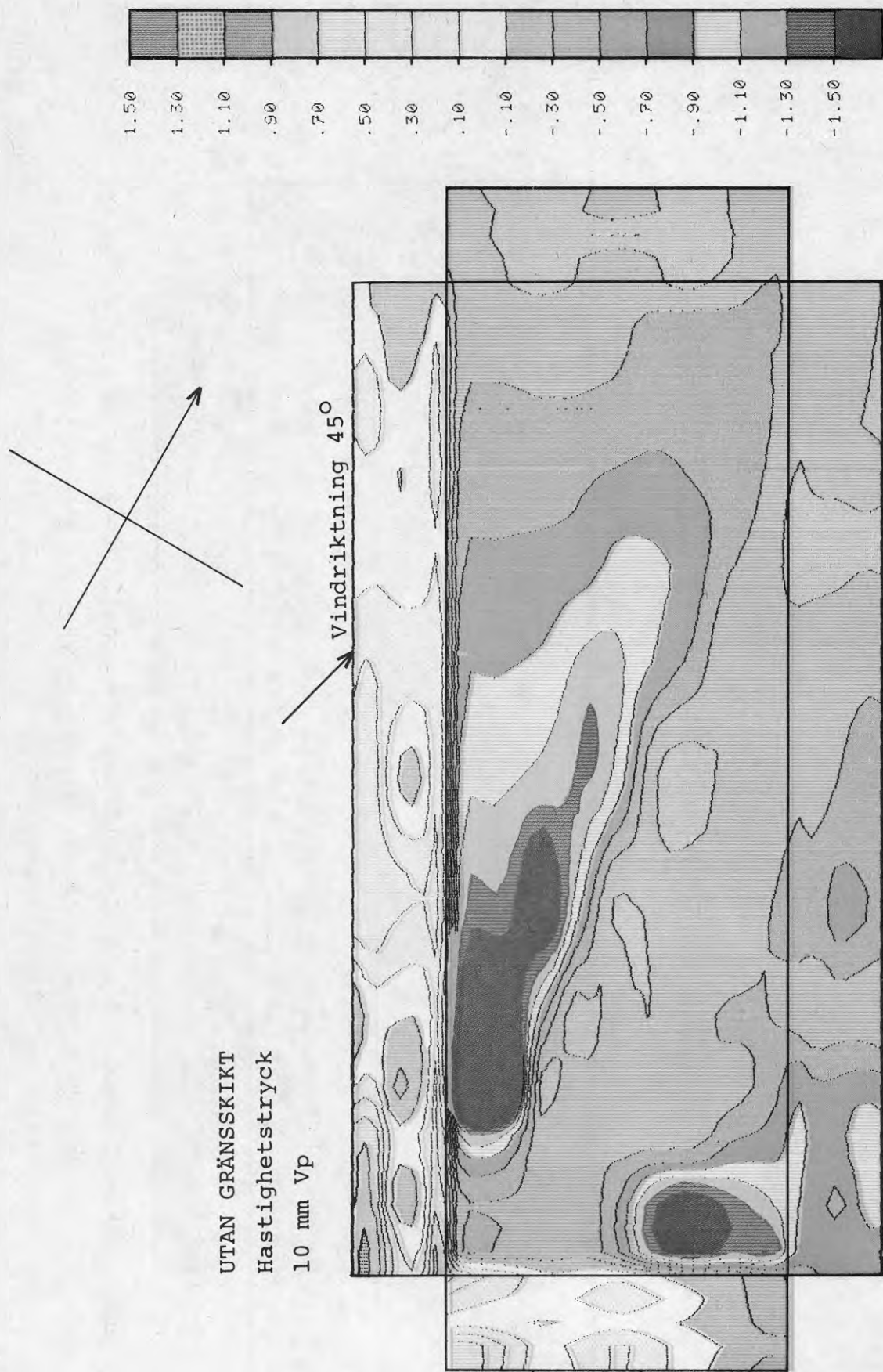


Figur 49. Formfaktor på byggnad erhållna vid modellförsök vid CTH.  
Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningsspil.

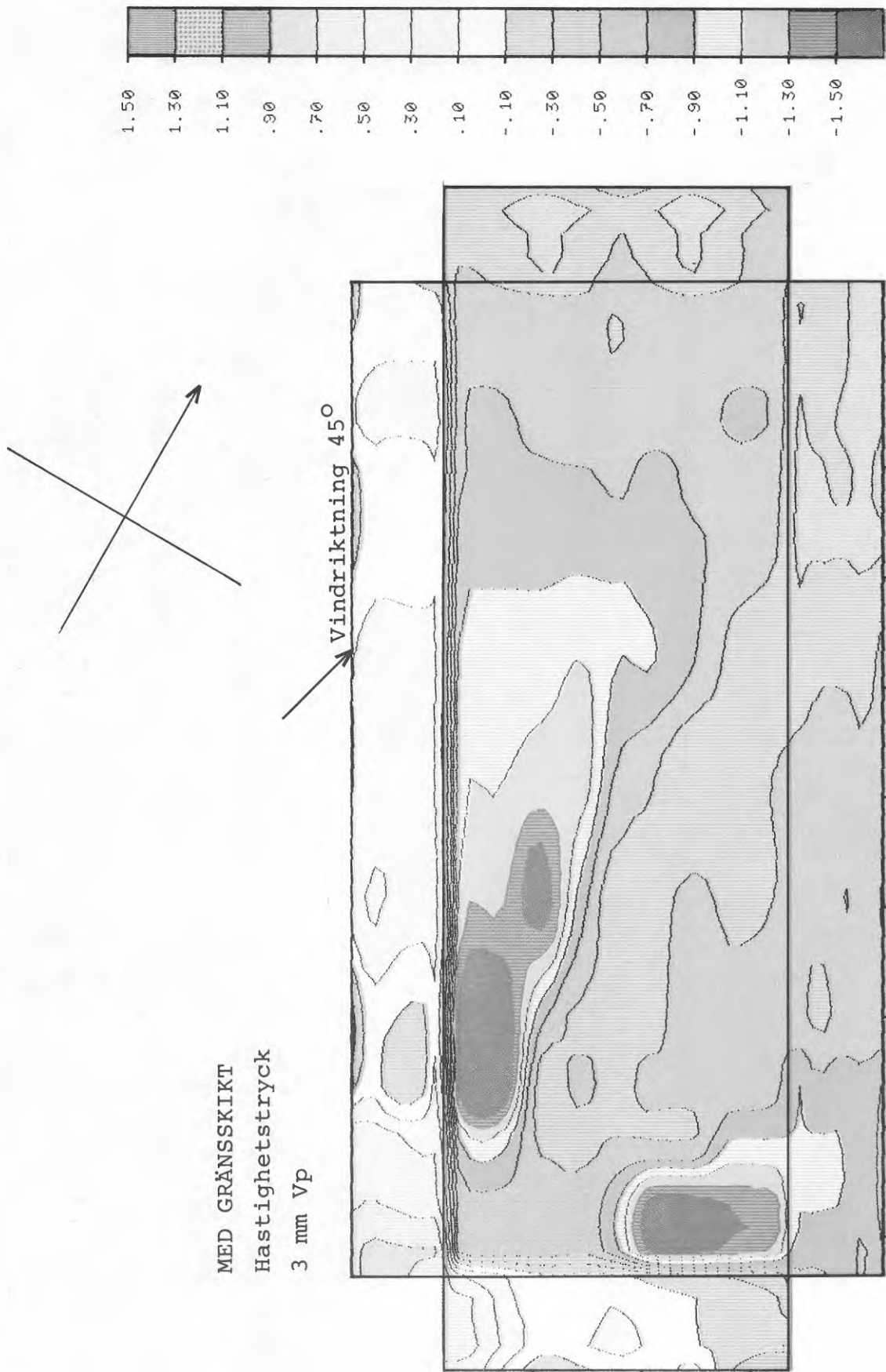




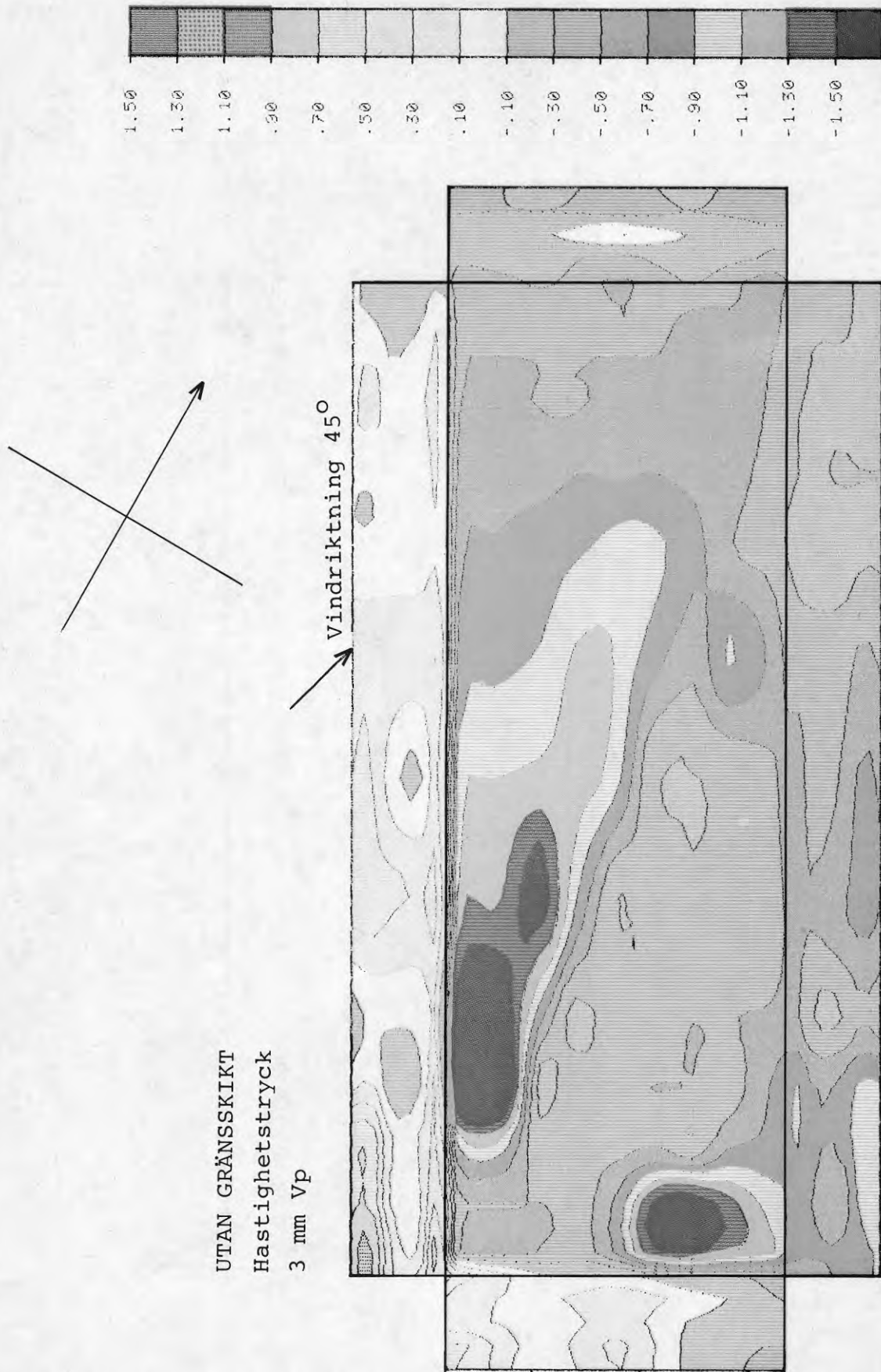
Figur 50. Formfaktorer på byggnad erhållna vid modellförsök vid CTH. Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningsspil.



Figur 51. Formfaktorer på byggnad erhållna vid modellförsök vid CTH.  
Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningsspil.

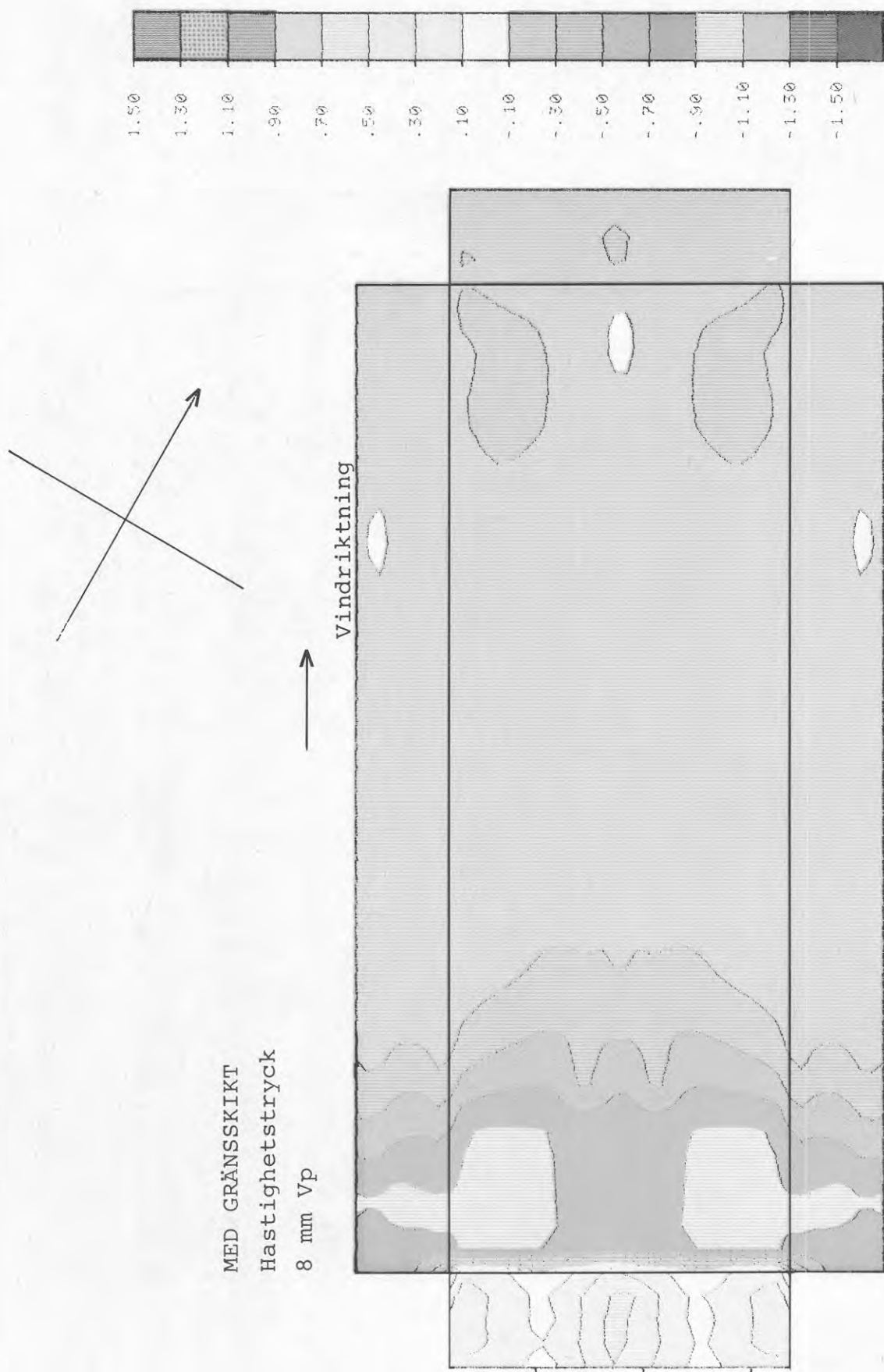


Figur 52. Formfaktorer på byggnad erhållna vid modellförsök vid CTH  
Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning  
redovisas med vindriktningsspil.

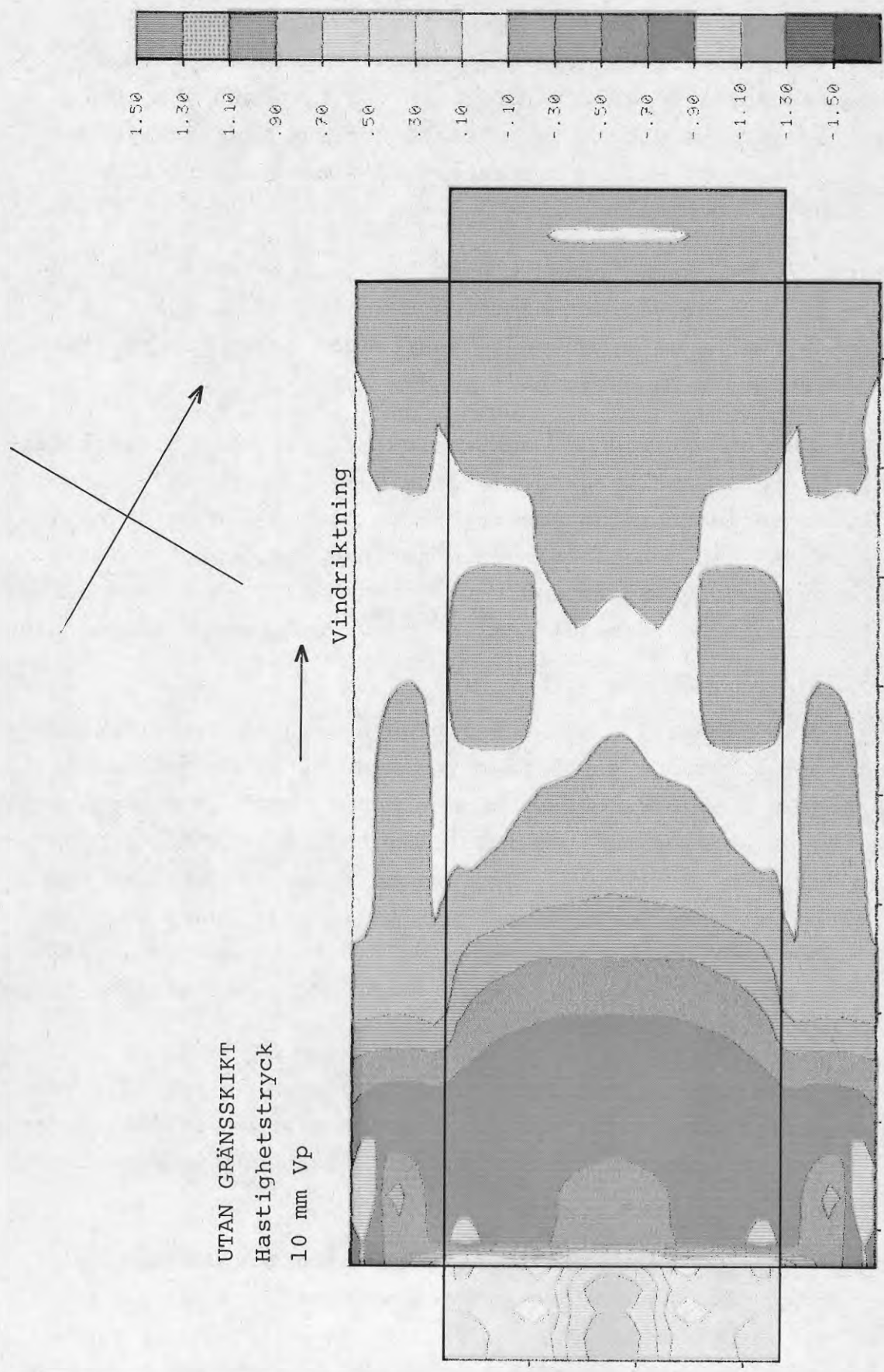


Figur 53. Formfaktorer på byggnad erhållna vid modellförsök vid CTH.  
Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningsspil.





Figur 54. Formfaktorer på byggnad erhållna vid modellförsök vid CTH.  
Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningsspil.



Figur 55. Formfaktorer på byggnad erhållna vid modellförsök vid CTH. Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden. Vindriktning redovisas med vindriktningsspil.

Figur 46. Med vinkelrät anblåsning mot byggnadens långvägg och med gränsskiktsgaller synes lovartväggen ha varit utsatt för ett mycket varierande tryck. Formfaktorer registrerades upp till +0.7. Formfaktorn för läväggen var -0.7. Byggnadens gavelväggar var utsatta för sug med formfaktorer mellan -0.1 och -1.1. Formfaktorn för takytan varierade mellan -0.7 och -1.1.

Figur 47. Med samma vindriktning som i föregående figur fast utan gränsskiktsgaller noterades de minsta ändringarna i formfaktorerna på byggnadens lovartsida. Suget har minskat på takytan och på gavlarna.

Figur 48 och 49. Vid  $75^{\circ}$  anblåsning med och utan gränsskiktsgaller erhöles på byggnadens långsida i lovart ett i vindriktningen lugnt avtagande tryck och på byggnadens gavel i lovart ett med vindriktningen minskande sug. Takytan i fig. 48 uppvisar sugkrafter med c-värden ned till -1.80 vid hörnet i lovart. Utan gränsskiktsgaller blev c-värdenas belopp något lägre.

Figurerna 50-53. Vid  $45^{\circ}$  anblåsning noterades ett från hörnet i lovart avtagande tryck på byggnadens långsida och gavel. På gaveln övergick trycket så småningom i ett ökande sug. Byggnadens övriga väggar utsattes för sugkrafter med formfaktorer mellan -0.1 och -1.1. På takytan fanns två områden med kraftigt sug med formfaktorer ner till -2.3. Dessa områden var klart avgränsade med bredden ca 0.2 av husbredden. Vid mätningarna redovisade i figur 50-53 hade gränsskiktets tjocklek och vindhastigheten ändrats.

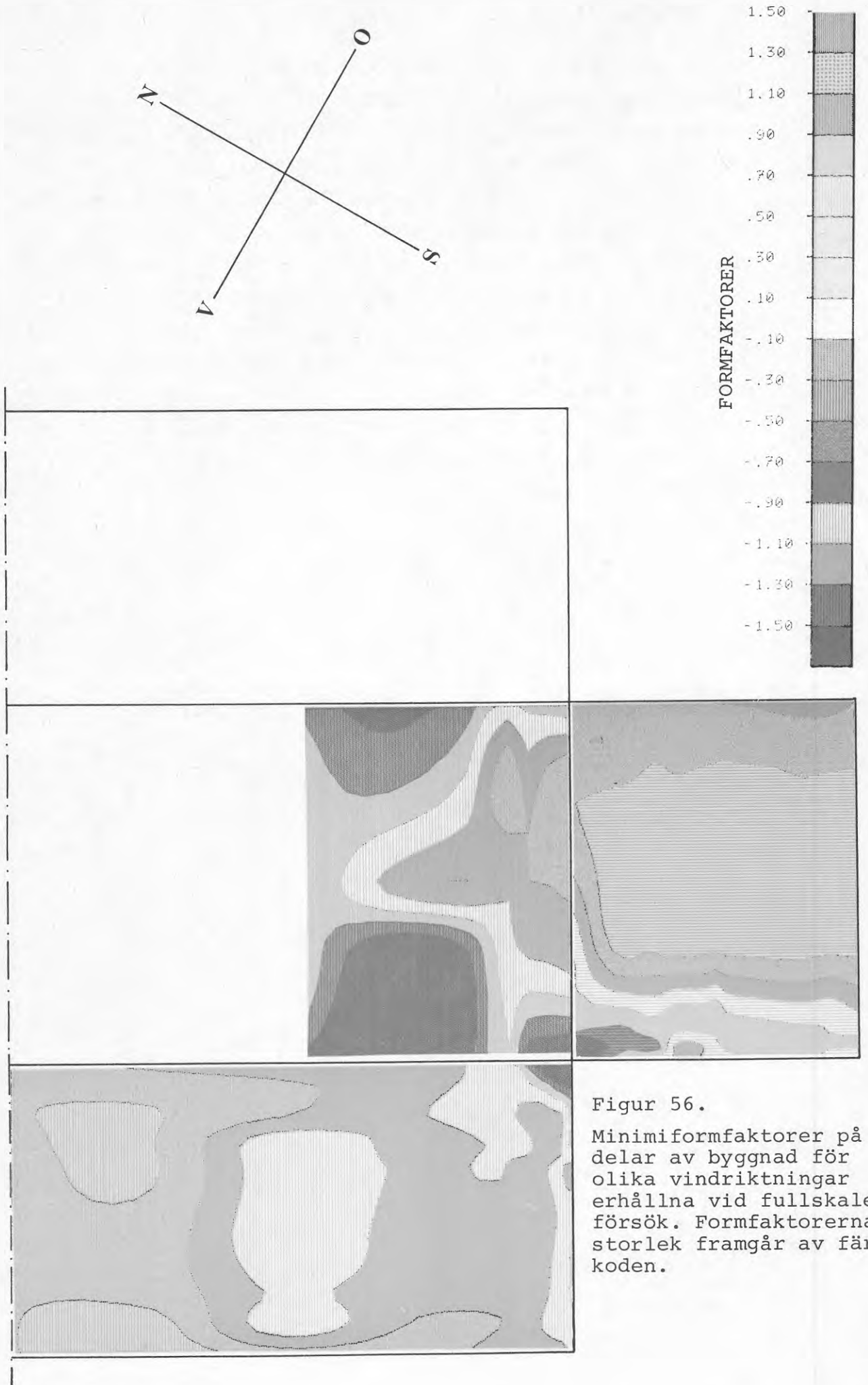
Någon principiell skillnad mellan figurerna 50 och 52 å ena sidan och figurerna 51 och 53 å andra finns ej vilket tyder på att formfaktorerna varit relativt oberoende av vindhastigheten.

Figur 54 och 55. Vid vinkelrät anblåsning mot byggnadens gavelvägg påverkades lovartväggen av tryck med formfaktorer upp till 0.7 med och 0.9 utan gränsskiktsgaller. På långsidorna om takytan uppmättes ett från lovartsidan avtagande sug med formfaktorer ned till -1.1.

### 6.5 Extremvärden

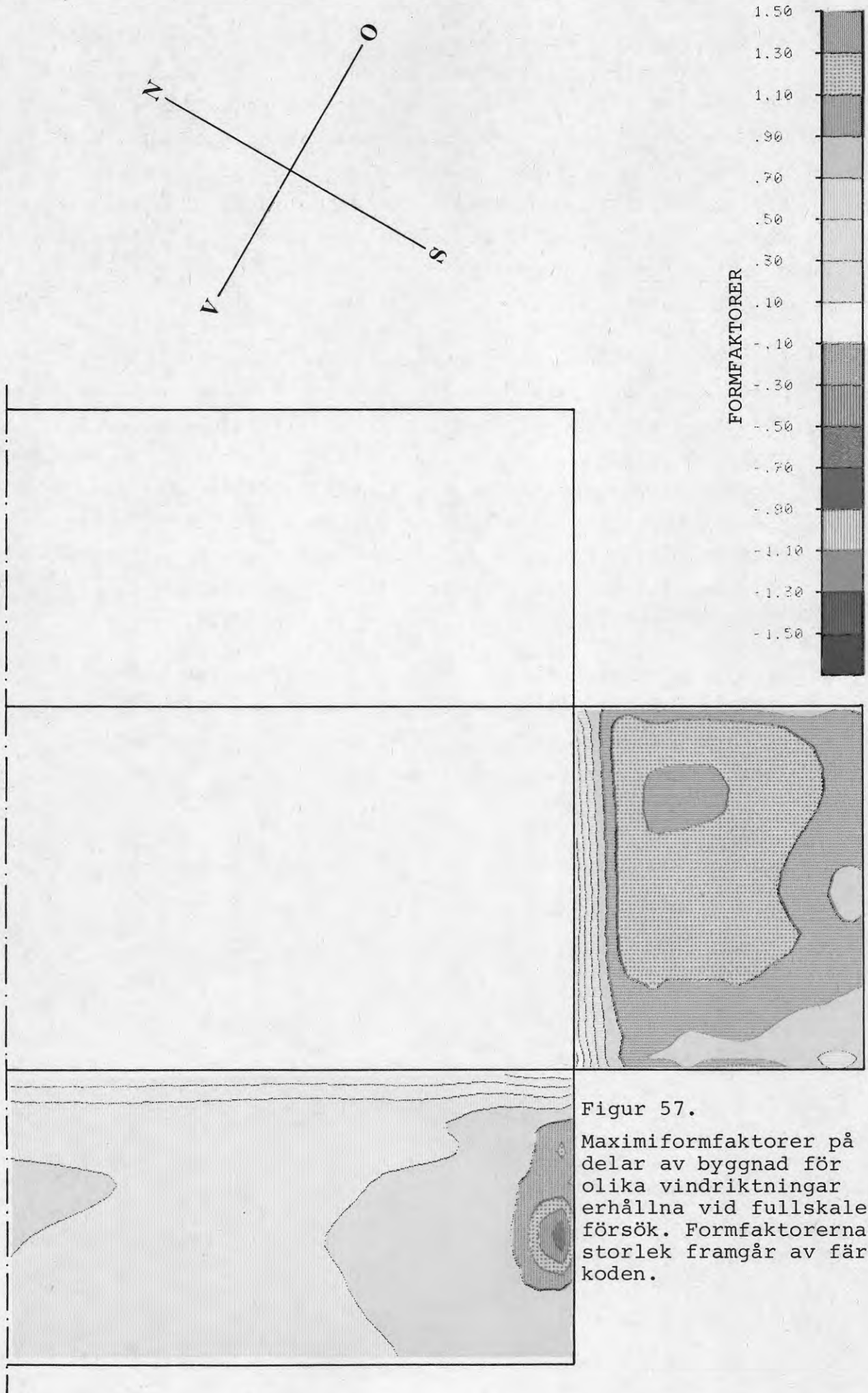
De vid varierande vindriktningar förekommande största och minsta formfaktorerna sorterades för de olika mätpunkterna och sammanställdes i diagram. På så sätt erhöles en sammanställning av de för olika områden på byggnadsytor gällande gränsvärdena för formfaktorerna. Sammanställningen kan ha intresse för bedömning av vindlaster på sekundärkonstruktioner med olika placering och liten utsträckning. Den är däremot ointressant för primärkonstruktioner med större spännvidder. I figurerna 56 och 57 återges sådana diagram. Det bör observeras att sammanställningen endast avser de vid fältförsöken erhållna vindriktningarna. Materialet återges också i bilaga 15 vad avser mätpunkter på väggytorna och i bilaga 16 vad avser takytan och mätpunkter belägna under takets singelskikt.





Figur 56.

Minimiformfaktorer på delar av byggnad för olika vindriktningar erhållna vid fullskaleförsök. Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden.



Figur 57.

Maximiformfaktorer på delar av byggnad för olika vindriktningar erhållna vid fullskaleförsök. Formfaktorernas storlek framgår av färgkoden.

Av figur 56 framgår att suget på byggnadens långsida är högst vid hörn. Det centrala fältet med formfaktorer mellan  $-0.7$  och  $-1.1$  härrör från mätningar som redovisas i figur 31 och som troligen har givit för höga värden (jfr kap. 6.2). Vidare framgår att suget på byggnadens gavel är störst vid hörn och att suget på takytan är störst vid kanterna, med formfaktorer mindre än  $-1.5$ . Det bör noteras att någon mot gaveln vinkelrät vindriktning ej förekom under mätningarna av vindlast på takytan.

Av figur 57 framgår att formfaktorerna för tryck på byggnadens långsida varierade mellan  $0.5$  och  $0.9$  med ett litet område i hörnet med högre värden och att formfaktorerna för tryck på gavelsidan varierade mellan  $0.7$  och  $1.3$ . De höga värdena på formfaktorerna vid långsidans hörn härrör från mätningarna redovisade i figur 31 som i ett litet område återger mycket höga och felaktiga värden. De höga värdena på gavelväggens formfaktorer härrör huvudsakligen från de i figur 32 redovisade mätningarna (jfr kap. 6.2).

Av bilaga 16 framgår att tryck med formfaktorer större än  $0.2$  knappast förekom på det plana taket samt att sug noterades med formfaktorer ned till  $-1.86$ . Antalet punkter med formfaktorer mindre än  $-1.4$  var 28.

## 7. JÄMFÖRELSE MELLAN RESULTAT FÖR FULLSKALE- OCH VINDTUNNELMÄTNINGAR

De vid fältmätningarna bedömda vindriktningarna överensstämde ej med anblåsningsriktningarna i modellförsöken. I vissa fall avvek emellertid strömningsriktningarna i de olika fallen inte mer från varandra än att förhållandena kunde betraktas som jämförbara.

Figur 29. Vindriktningen i figur 29 från fullskalemätningarna motsvarar vindriktningen i figur 44, 48 och 49 från vindtunnelmätningarna. Vid jämförelse kan följande iakttagelser göras. I både figur 29 och 44 är ytorna utsatta för sug. På gavelväggen och långväggen i lä ger vindtunnelmätningen högre sugkrafter över stora ytor än fullskalemätningen. Detsamma gäller för takytan där ytor med höga värden på sugkraften är större än motsvarande ytor vid fullskalemätningen. På gavelväggen och långväggen i lä ger vindtunnelmätningarna, fig. 48 och 49, och fullskalemätningen sug av samma storleksordning medan för takytan vindtunnelmätningarna ger högre värden på sugkraften.

Figur 30. En jämförelse av figur 30 kan göras med figurerna 44, 45, 48 och 49. Figur 30 uppvisar ett litet område med högt sug, formfaktorer ned till -1.3, och därtill smala områden med lägre och avtagande sug. Ca 60% av den redovisade takytan har sug med formfaktorer mellan -0 och -0.3. Figurerna 44 och 45 redovisar i stort sett samma områdesindelning fast med betydligt högre värden på sugkraften. Figur 48 redovisar värden på sugkrafter överensstämmande med figur 44 och 45, medan figur 49 endast har obetydligt högre värden på sugkraften än figur 30.

Figur 32. Den i figur 32 redovisade vindriktningen ansluter inte särskilt väl till någon anblåsningsriktning under vindtunnelmätningarna. En jämförelse kan möjligen göras med figurerna 54 och 55. De uppträdande sugkrafterna på byggnadens långsida avtager från hörnet i lovart på likartat sätt och storleksordningen på formfaktorerna är desamma i fullskaleförsöken och modellförsöken. Värdena på formfaktorerna i figur 32 är dock troligen för höga, se kap. 6.2.



Figur 34. Någon närmare överensstämmelse mellan vindriktning i fig. 34 och anblåsningsriktningen för en vindtunnelmätning finns ej. En ungefärlig jämförelse kan möjligen göras med värdena i fig. 50 och 52. I samtliga fall är tryckkraften störst vid långsidornas hörn och avtar med avståndet från hörnet. Vid vindtunnelmätningarna, fig. 50 och 52, avtar trycket snabbare och övergår i ett område med sug följt av ett tryckområde. Det begränsade området med sug av liten intensitet återfinns inte i fullskalemätningen. Intensiteten på tryckkrafternas maximivärden är dock desamma i båda fallen. Vid gavelväggen närmast hörnet redovisas tryck som övergår i sug. Detta gäller både för vindtunnel- och fullskalemätningarna. Storleken på formfaktorerna är också av samma storleksordning.

Figur 35. Den i fig. 35 redovisade vindriktningen motsvaras av den i fig. 44, 48 och 49 återgivna anblåsningsriktningen för modellförsök. I fig. 35 är formfaktorerna för tryck störst i ett litet område vid hörnet. På längre avstånd från hörnet avtar trycket så att c-värdena nedgår till mellan 0.3 och 0.5. I fig. 44 redovisas formfaktorer av samma storleksordning vilka dock inte understiger 0.5. Gavelväggen är i fig. 35 utsatt för ett från hörnet avtagande men längre bort åter växande sug. Sugkraften är störst vid hörnet i lovart. Fig. 44 antyder ett från hörnet i lovart växande sug med så småningom hög intensitet. I fig. 44 och 49 redovisas på långsidan i lovart tryck med varierande intensitet. Storleksordningen är dock densamma och maximalt tryck erhålles vid hörnet i lovart. Sugkrafterna på gavelnsidan varierar på ett med fullskaleförsöken likartat sätt fastän formfaktorerna ej är helt lika för de två mätningarna.

Figur 36. De i fig. 36 visade formfaktorerna kan jämföras med dem i fig. 42, 43, 46 och 47. I fig. 36 avtar formfaktorn för sug relativt snabbt med avståndet från kanten i lovart. I fig. 42, 43, 46 och 47 är sugkraften i stort sett konstant över taket oberoende av avståndet från kanten. Värdena på formfaktorerna för ytan närmast takkanten är lägre för vindtunnelmätningarna.

Figur 37. Den i fig. 37 visade vindriktningen motsvaras närmast av vindriktningen i fig. 44, 45, 48 och 49. I fig. 37 återges på långsidan i lovart ett i stort sett konstant tryck med formfaktorer upp till 0.7, på gavelnsidan ett från hörnet i lovart avtagande sug och på takytan ett från kanten likaså avtagande sug. I fig. 44 och 45 är trycket på långsidan i lovart av samma storleksordning som det vid fullskalemätningar erhållna medan suget på tak och gavelvägg är större och ej avtagande. Fig. 48 och 49 redovisar varierande tryck på långsidan i lovart. Det maximala trycket har dock samma storleksordning som fältförsöken. På tak och gavelvägg är sugkrafterna något högre och avtar ej från kant och hörn i samma omfattning som vid fullskaleförsöket.

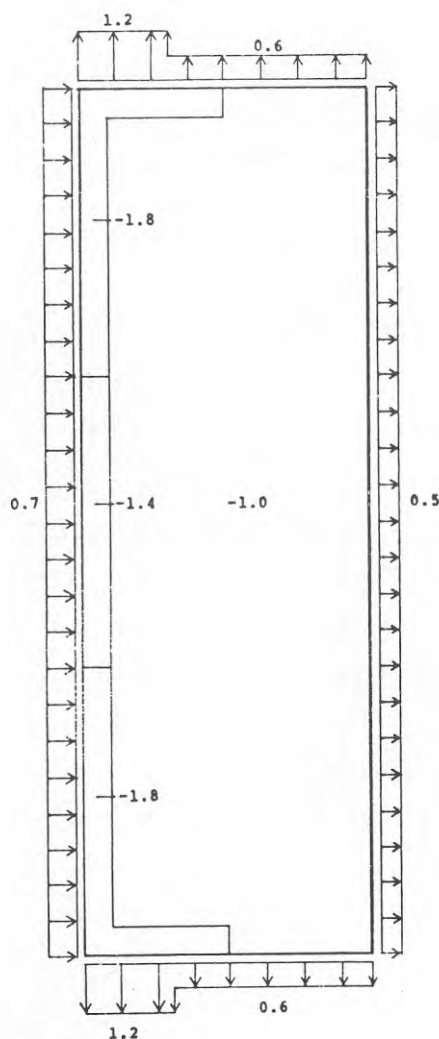
Figur 38, 39 och 40. Vindriktningen i fig. 38, 39 och 40 motsvaras av anblåsningsriktningen i fig. 50 och 51. Fältmätningarnas i stort sett konstanta tryck på långväggen i lovart och jämnt avtagande sug på takytan har ingen klarare motsvarighet vid vindtunnelmätningarna. Suget på gavelnsidan i lä är emellertid av samma storleksordning i de olika fallen.

Sammanfattningsvis kan sägas att vindtunnelmätningarna ger i stort sett samma resultat som fullskalemätningarna när det gäller medeltryck på en yta. Vindtunnelmätningarna vid KTH har gett något högre värden på tryckkrafterna men med överensstämmande utbredning medan mätningarna vid CTH har gett tryckvärden av samma storleksordning som fältmätningarna men sämre överensstämmelse beträffande fördelning. Vid mätning av sugkrafter uppvisar vindtunnelmätningarna stora inbördes avvikelser. Vid fältmätningarna iaktogs på takytan en minskning av sugkrafterna från lovartkanten räknat. Denna tendens kunde inte återfinnas i vindtunnelstudierna. Vidare var sugintensiteten på taket högre vid modellförsöken än vid fullskalemätningarna. Det sistnämnda gäller i synnerhet för vindtunnelmätningarna vid KTH.

8. JÄMFÖRELSE AV FULLSKALERESULTAT MED SVENSK BYGG-  
NORM, SBN 67

Svensk Byggnorm redovisar värden på formfaktorer, och därmed vindlaster, vilka kan läggas till grund för dimensionering av byggnaders primärbärverk och även detaljer.

I figur 58 redovisas formfaktorer för en byggnad med horisontellt tak för en mot byggnadens långsida vinkelrät anblåsning. Takytan är indelad i tre zoner, en central med formfaktorn  $-1.0$ , dels randzoner med formfaktorn  $-1.4$  och  $-1.8$  beroende på läget. Zonernas storlek, längd och bredd är en funktion av byggnadens höjd och bredd. Formfaktorerna på byggnadens lovart- och läside är respektive  $+0.7$  och  $-0.5$ . På gavlarna antages formfaktorn till  $-0.6$  och  $-1.2$  där det lägre värdet återfinns närmast hörnet i lovart.



Figur 59. Vindlaster (formfaktorer) på fältstation enligt SBN 67

Vid en jämförelse av figur 58 med figurerna 29-41 representerande fullskaleförsöken kan följande generella slutsatser angöras:

Vid fullskaleförsöken uppmättes formfaktorer som på vägg i lovart har samma storleksordning som de i SBN 67 angivna. Däremot registrerades ej så höga sugvärden på lä- och gavelvägg. På takytan uppmättes sug över ett litet område med formfaktorer ned till -1.8. Suget, vilket var störst vid lovartkanten, avtog nästan linjärt med ökat avstånd från kanten så att formfaktorn mitt på takytan uppgick till  $\sim 1/3$  av det maximalt uppmätta.

De i SBN 67 redovisade zonerna på takytan med tillhörande värden på formfaktorer kan ej direkt återfinnas i de vid fullskaleförsöken erhållna resultaten. Vid en beräkning av dimensionerande moment på grund av vindlast för en balk fritt upplagd på provhusets långsidor ger SBN 67 i allmänhet större moment än de som erhålls ur försöksresultaten. Dessa antyder en last på takytan som består av en utbredd last med formfaktorn 0 - -0.4 samt en triangellast med miniintensitet  $\sim -1.0$  belägen nära lovartkanten samt med en utbredning motsvarande halva byggnadens bredd.

För väggytorna däremot iakttogs att formfaktorerna i vertikalled i stort sett var konstanta i överensstämmelse med SBN 67.

En jämförelse mellan formfaktorer givna i SBN 67 och resultat från fullskaleförsök avseende en liten byggnad med speciell utformning kan givetvis inte generaliseras till att gälla byggnader med godtyckliga proportioner.



## 9. ÖVRIGA MÄTRESULTAT FRÅN FULLSKALEFÖRSÖK

### 9.1 Vindlast under singelskikt

Vindlastvärden erhållna i de 14 mätpunkterna belägna under singelskiktet på taket bearbetades på samma sätt som övriga mätregistreringar och resultaten föreligger därför som formfaktorer baserade på vindhastigheten i friström vid taknivå.

Uppgifter om singelskiktets tjocklek och stenstorlek vid de olika mätpunkterna återfinnes i tabell 4.

Vid jämförelse mellan formfaktorerna för mätpunkter under och på ytan av singelskiktet relaterades formfaktorerna för varje mätpunkt under singelskiktet till medelvärdet av formfaktorerna för två närliggande punkter på singelytan. Horisontella avståndet mellan punkterna på olika nivåer uppgick till 30 cm. I tabell 8 redovisas kvoterna mellan korresponderande c-värden under och över singelskiktet för 22 olika mätserier. Kvoter, i vilka formfaktorn för punkten under singelskiktet numeriskt understeg 0.50, betraktades som speciellt osäkra och har därför utelämnats i redovisningen.

Av tabell 8 framgår att medelvärdet av kvoterna för olika mätpunkter varierar mellan 0.81 och 1.26 och att kvoten för en enskild mätserie i de flesta mätpunkterna ej avviker markant från medelvärdet för samtliga mätningar i punkten. Det samlade medelvärdet för alla mätserier och alla mätpunkter är 0.98.

Något klart samband mellan singeltjocklek, singeldiameter och kvot mellan formfaktorer har ej kunnat spåras. Mätpunkterna 1, 2, 3, 4, 11 och 13 har samma singeltjocklek och singeldiameter medan kvoten varierar mellan 0.77 och 1.42 dvs i stort lika mycket som erhöles för mätningarna i punkter med olika värden på ovannämnda parametrar.

Anledningen till de jämförelsevis stora variationerna, 0.70 - 1.42, i kvoter mellan c-värden är inte helt klarlagd. Begränsade fluktuationer i vindriktningen kan ha inverkat speciellt markerat p.g.a. takytans ojämnheter. En del av variationen kan hänföras till mätfel. Resultaten från undersökningen tyder dock

Tabell 8

Medelvärden av kvoter mellan korresponderande formfaktorer under och över singelskiktet för 22 olika mätserier.

Mät punkt nr	Mätning nr																						MV
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
1	1.05	1.34	1.42						1.17		1.31											1.26	
2	1.14	1.37	1.35						1.03		0.99											1.17	
3		1.35	1.28						0.94		1.02											1.14	
4		1.21	1.02					0.98	1.06		1.34	1.25						1.02			1.00	1.11	
5								1.00				1.00	0.98					0.93			0.86	0.95	
6								0.88				0.94	0.94					0.83			0.82	0.88	
7								1.00				1.00	1.00					1.00			0.97	1.00	
8								1.00				1.00	1.05	1.04				1.00			1.07	0.95	
9					0.80			0.78				1.22	0.81	0.82	0.53					0.79	0.76	0.78	
10								0.91	0.94			0.92	0.93	0.92	0.88	0.88	0.96	0.83	0.86	0.92	0.86	0.91	
11				0.97	0.93	0.97	0.94	0.90	0.89				0.89	0.94	0.89	0.85	0.87	0.88	0.85	0.87	0.81	0.86	
12				0.97	0.96	0.95		0.92	0.93			0.92	0.93	0.90	0.76	0.80	0.80	0.76	0.70	0.80	0.76	0.80	
13				0.92	0.91	0.90		0.85	0.87			1.27	0.87	0.92	0.91	0.80	0.84	0.86	0.77	0.89	0.83	0.85	
14				0.95	0.93	0.92		0.87	0.85				0.89	0.89	0.91	0.77	0.80	0.79	0.70	0.87	0.84	0.85	

på att det ej finns någon för dimensionering betydelsefull, stationär tryckgradient över singelskiktet samt att stenstorlek och singeltjocklek ej inverkar inom de studerade dimensionsintervallen.

Relativa standardavvikelseerna för de uppmätta vindlasterna på och under singelskiktet är av samma storleksordning.

Tryckmaxima som bygges upp relativt långsamt, dvs under mera än 2 å 3 s fortplantas till singelskiktets botten. Som framgår av 3.2.2 kan med den tillämpade försöksmetodiken intet sägas om takbelägningens effekt vid snabbare variationer i vindtryck.

## 9.2 Vindtryck inomhus

Vid fullskalemätningarna bestämdes det statiska trycket i friström med Prandtl-rör. Trycket inomhus användes som referenstryck. Det blev därför möjligt att bestämma formfaktorer svarande mot den inre vindlasten baserade på vindhastigheten vid taknivå. Under mätningarnas gång var fönster och dörrar i byggnaden stängda. Byggnaden hade förutom normala ventilationsöppningar och otätheter kring fönster i väggarna försetts med öppningar för slanggenomgångar. Formfaktorerna för vindlasten inomhus varierade under försökens gång mellan +0.4 och -0.55 (se även kap. 9.3). Tryckens tecken är så valda att en beräknad inre vindlast kan adderas till den yttre vindlasten för att erhålla tryckdifferensen över vägg eller takbjälklag. Ett klart vindriktningsberoende för den inre vindlasten har kunnat iakttagas.

## 9.3 Formfaktorer för tryckdifferens över väggar för några vindriktningar

De i kapitel 6 redovisade formfaktorerna för byggnadens vägg- och taktytor samlades som nämnts i klasser, isoritmer, med delvärdet 0.2 som klassbredd. Vid datorframställningen av bilderna och för framtagandet av isoritmer har datorn interpolerat mellan mätvärdena. Dessa interpolationer ger för ytor nära an-



slutningar mellan väggar och tak stundom missvisande resultat. En bättre uppfattning om tryckfördelningen i dessa områden ger diagram över c-värdenas fördelning i vertikal riktning.

I fig. 59, 60, 61, 62, 63 och 64 återges sådana diagram för tryckdifferensen över väggarna vid några olika vindriktningar. De vid takfoten belägna mätrören var monterade i en vindskiva och ger i allmänhet negativa värden på formfaktorerna. Formfaktorerna visas för mätpunkterna 1-8, 16-23 och 48-55 på den övre figuren och för punkterna 56-63, 72-79 och 96-103 på den nedre figuren. Mätpunkternas läge framgår av fig. 23. Med några undantag är kurvorna för formfaktorerna relativt jämna. Ordinaterna ökar i allmänhet med avståndet från marken. Den nedre vänstra kurvan på fig. 59 tyder antingen på mätfel för två mätpunkter eller på störningar förorsakade av slagrengsmätare.

#### 9.4 Vertikal hastighetsprofil

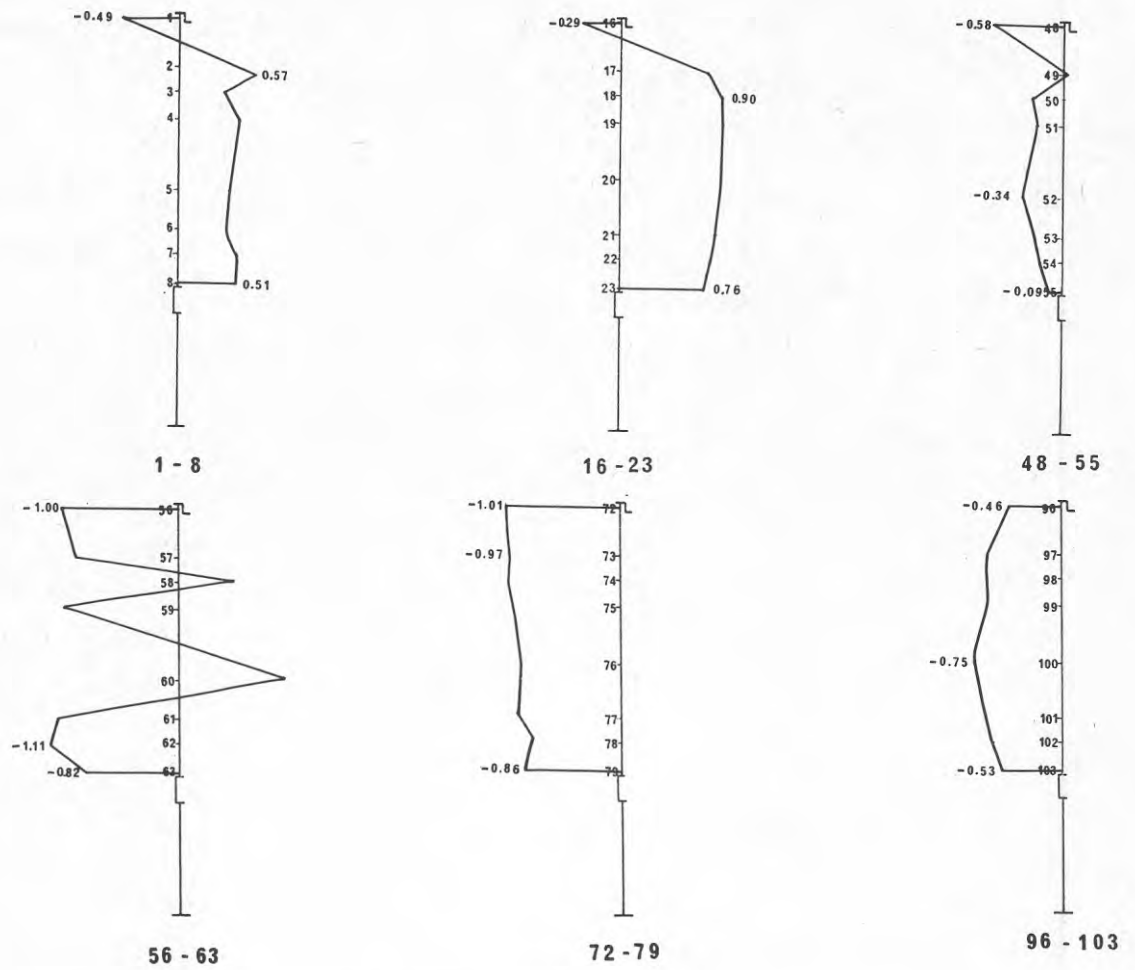
Medelvindhastigheten ökar med ökad höjd över markytan, fig. 6. Vindhastigheten  $v_z$  kan skrivas

$$v_z = \kappa \cdot z^\alpha$$

där  $z$  är höjden över marken,  $\kappa$  är en konstant och  $\alpha$  är en exponent som varierar med markytans ojämnhet och terrängens form. Som referenshöjd väljes oftast 10 m alternativt 100 m. Fältstationen omges av skärgård och lägre bebyggelse. Faktorn  $\alpha$  bör därför enligt figur 6 ligga mellan 0.28 och 0.16. Medelvindhastigheterna uppmättes under de flesta mätningarna samtidigt på nivåerna 4.5 och 10 m. Kvoten mellan dessa storheter varierade mellan 0.76 och 0.95. Ett klart vindriktningsberoende förelåg. Vid några mättillfällen svarande mot bestämda vindriktningsintervall varierade kvoten kraftigt vilket tyder på stark turbulens i markgränsskiktet.

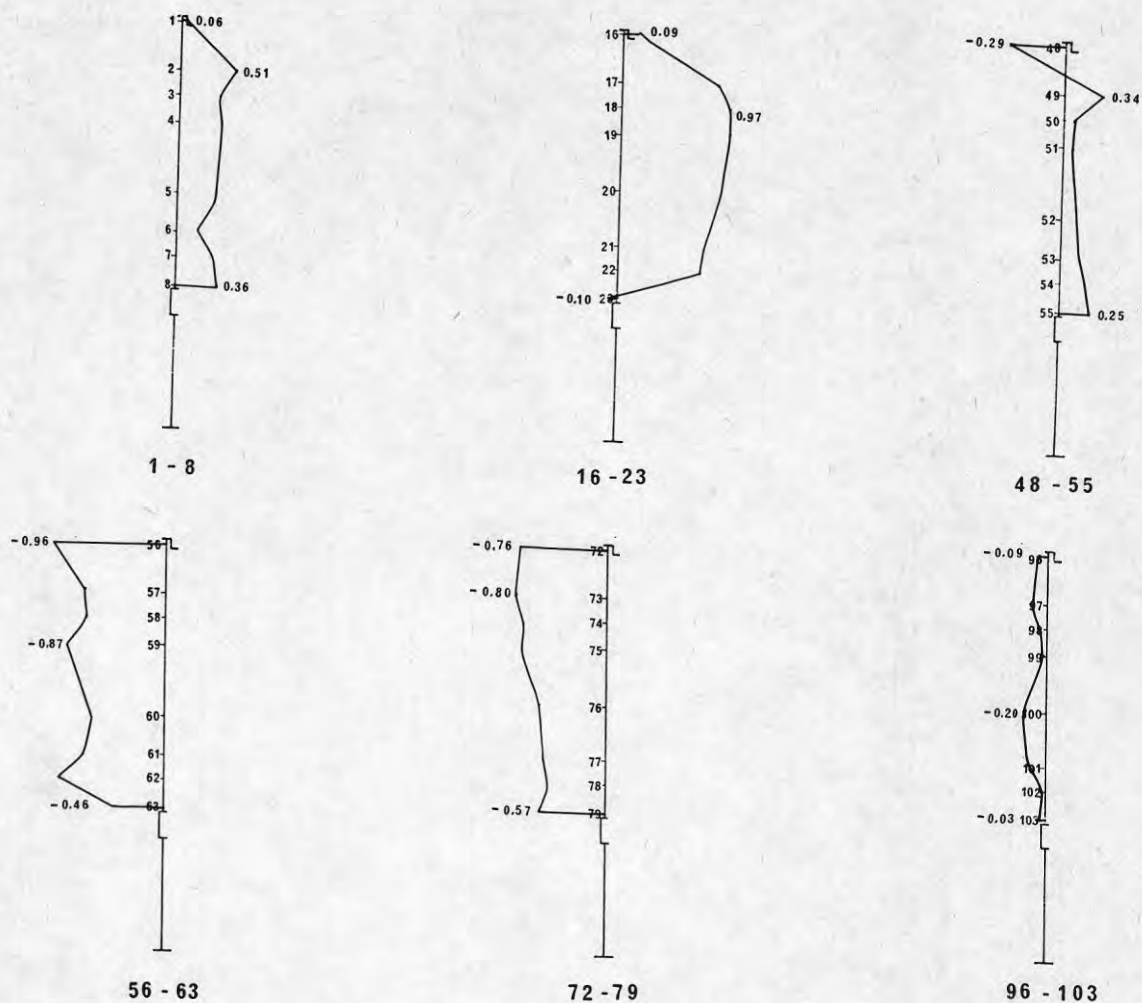
De relativt ofta förekommande kvoterna 0.80 och 0.93 svarar mot  $\alpha$ -värden på respektive 0.28 och 0.09.





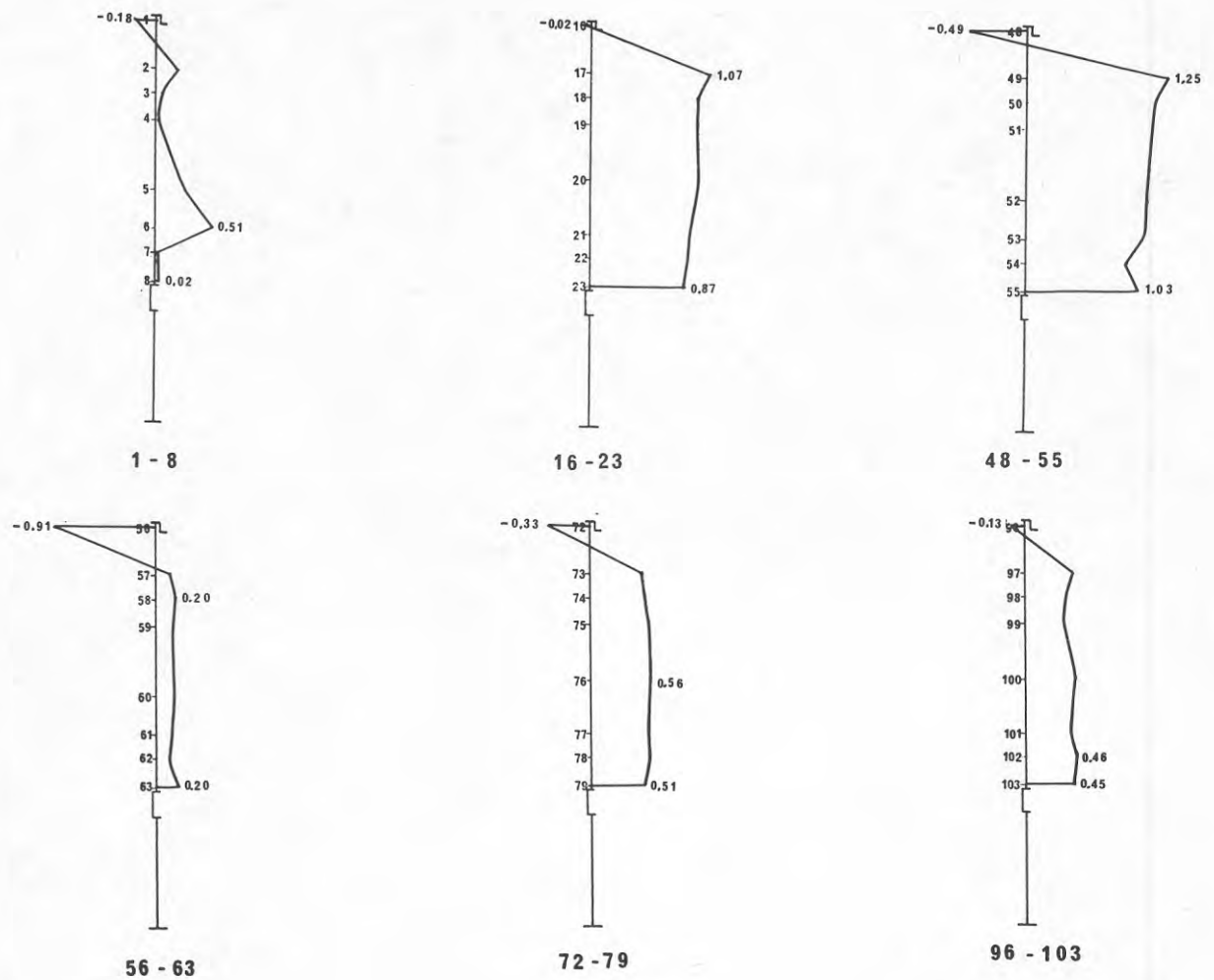
Vindriktning ca  $135^{\circ}$ ,  $C_{inre} = -0.17$

Figur 59. Formfaktorernas (tryckdifferens) fördelning i vertikalled. Mätpunkternas läge framgår av figur 23. Vindriktning och inre vindlast redovisas i figuren.



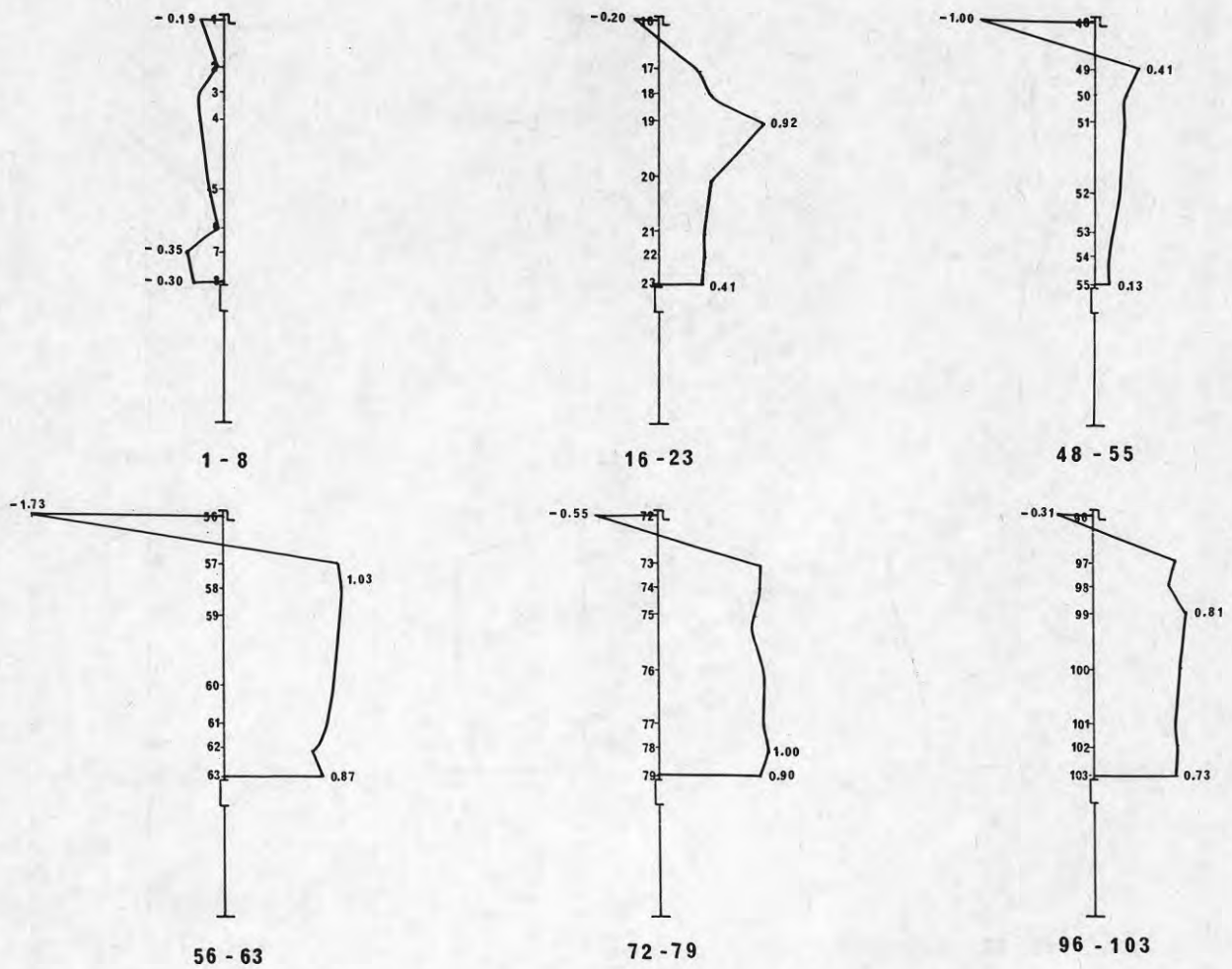
Vindriktning ca  $140^{\circ}$ ,  $C_{inre} = 0.00$

Figur 60. Formfaktorernas (tryckdifferens) fördelning i vertikalled. Mätpunkternas läge framgår av figur 23. Vindriktning och inre vindlast redovisas i figuren.



Vindriktning ca  $160^{\circ}$ ,  $c_{inre} = 0.30$

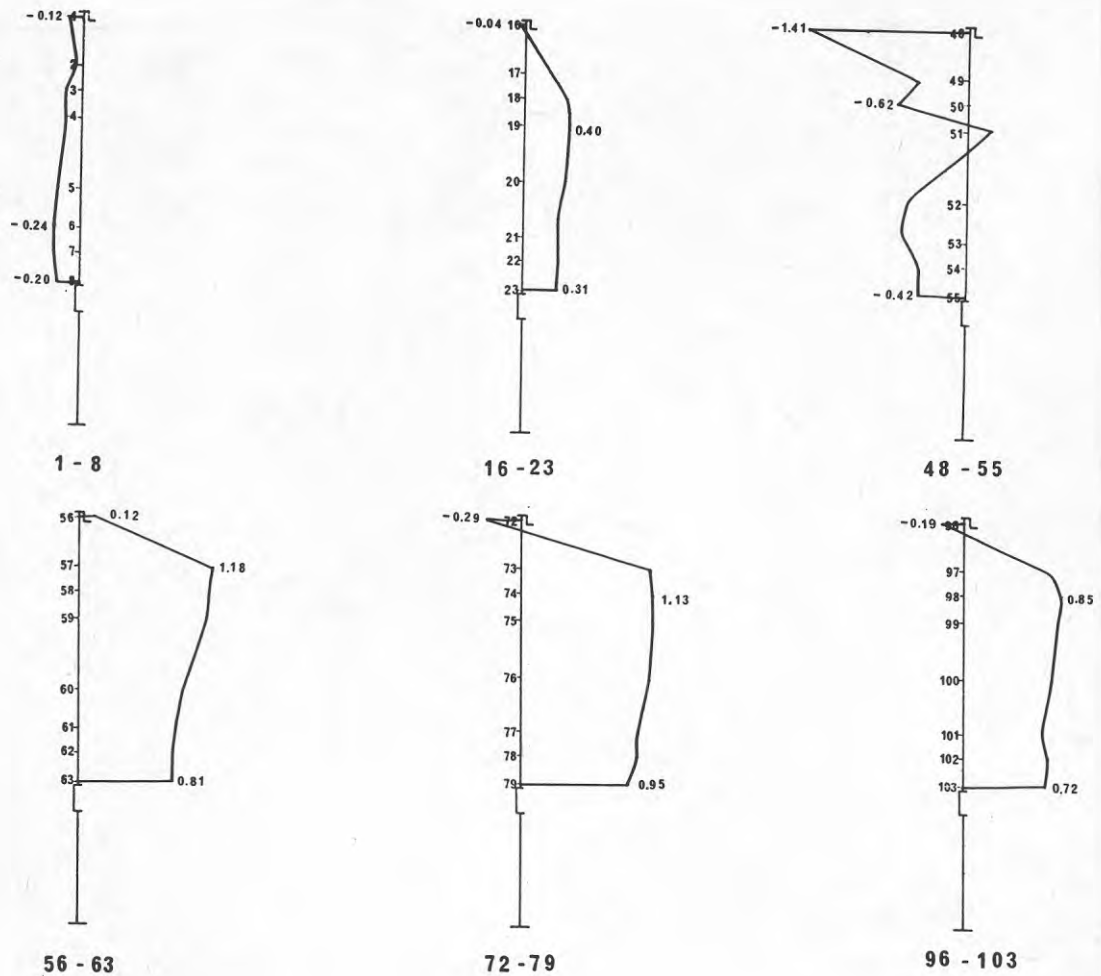
Figur 61. Formfaktorernas (tryckdifferens) fördelning i vertikalled. Mätpunkternas läge framgår av figur 23. Vindriktning och inre vindlast redovisas i figuren.



Vindriktning ca  $180^{\circ}$ ,  $c_{inre} = +0.31$

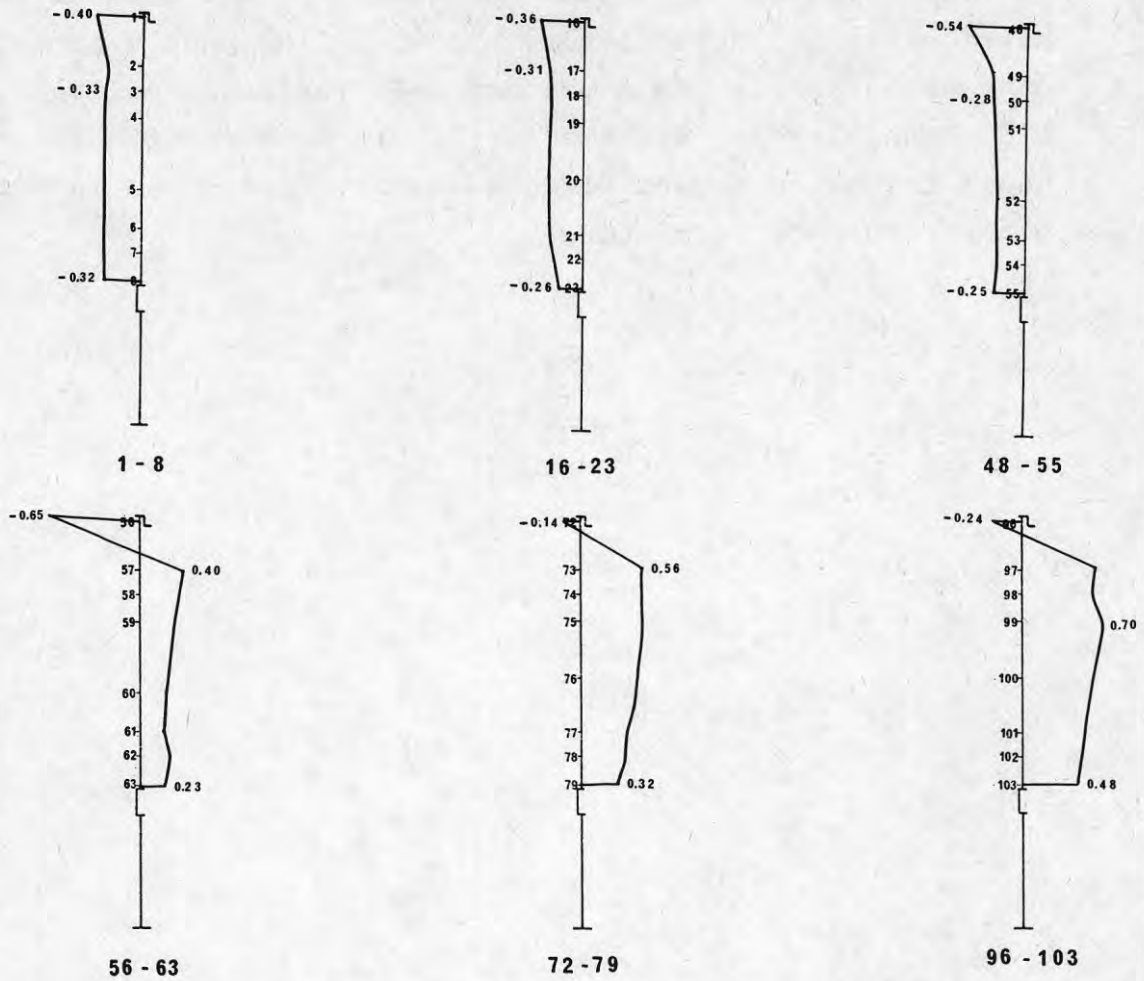
Figur 62. Formfaktorernas (tryckdifferens) fördelning i vertikalled. Mätpunkternas läge framgår av figur 23. Vindriktning och inre vindlast redovisas i figuren.





Vindriktning ca  $225^{\circ}$ ,  $c_{inre} = +0.39$

Figur 63. Formfaktorernas (tryckdifferens) fördelning i vertikalled. Mätpunkternas läge framgår av figur 23. Vindriktning och inre vindlast redovisas i figuren.



Vindriktning ca  $285^{\circ}$ ,  $c_{inre} = +0.11$

Figur 64. Formfaktorernas (tryckdifferens) fördelning i vertikalled. Mätpunkternas läge framgår av figur 23. Vindriktning och inre vindlast redovisas i figuren.

På tvåmetersnivån uppmättes hastighetstrycket och därmed vindhastigheten med Prandtl-rör. Kvoten mellan medelvindhastigheten på tvåmetersnivån och tiometersnivån varierade mellan 0.7 och 1.0. Prandtl-röret var emellertid placerat något närmare byggnaden är masten med hastighetsmätarna, vilket kan ha påverkat vindströmningen förbi röret.

## 10. SAMMANFATTNING

Rapporten redogör för mätning av vindlast och bestämning av formfaktorer för en mindre byggnad med horisontellt tak.

Mätningarna omfattade dels fullskalemätningar vid Chalmers tekniska högskolas fältstation i Fiskebäck utanför Göteborg, dels vindtunnelstudier vid avdelningen för byggnadskonstruktion, CTH.

Rapporten inleds med en presentation och beskrivning av fältstationen och den använda vindtunneln. Vid mätning av vindlaster används vätskemanometer vars respons och tidsfördröjning studeras teoretiskt och experimentellt. En generell formel för bestämning av tidsfördröjning i manometerns vätskedel har härletts och experimentella försök i vindtunnel bekräftade dess giltighet.

En vindtunnelstudie av hur tryckhåls storlek och utformning och omgivande ytors skrovlighet inverkar på mätresultat har genomförts.

Fullskalemätningarna omfattade mätning av vindlast på byggnadens väggar och tak, vindlastgradient över ett på taket anbringat singelskikt, inre vindlast samt vindens vertikala hastighetsprofil i friström.

Vindtunnelmätningarna omfattade mätning av vindlast på byggnadsmodellens tak och väggar.

Resultaten från mätningarna av vindlast redovisas som formfaktorer. Dessas variation över byggnadens tak och väggar har åskådliggjorts med isoritmkartor där områden med formfaktorer inom ett visst intervall har en bestämd färg. I övrigt redovisas resultat genom diagram och tabeller. För jämförelse återges också resultat av de mätningar i vindtunnel, som vid institutionen för Flygteknik vid KTH genomförts på en modell av provhuset.

Resultaten från modellförsöken överensstämmer relativt väl vad gäller tryck på byggnadens väg i lovart, däremot har stora skillnader för övriga ytor noterats. Väggytor utsatta för sug



erhåller i allmänhet lägre, (numeriskt högre), värden på formfaktorerna med avvikande fördelning jämfört med fullskaleförsöken. Detsamma gäller takytan där vindtunnelförsöken gav låga formfaktorer närmast kanten i lovart och för övriga områden en närmast konstant, låg formfaktor till skillnad från fullskaleförsöken som gav ett från kanten i lovart till halva provhusets bredd nästan linjärt växande värde på formfaktorn.

Stora skillnader noterades också mellan försöksresultaten för den i undersökningen använda byggnaden och de generella värden på formfaktorer som är angivna i SBN 67.

## 11. LITTERATURFÖRTECKNING

- [1] Svensk Byggnorm, SBN 67, Statens Planverk, Stockholm 1967
- [2] Bengt Wirén, Vindtunnelundersökning av tryckfördelning på ett plant tak med variabel takkantutformning, BFR Rapport R 35/1970, Stockholm 1970
- [3] K J Eaton och J R Mayne, Instrumentation and analysis of full-scale wind pressure measurements, BRS Current Papers, CPI/69
- [4] M Jensen, Model-scale tests in turbulent wind, Part II, The Danish Technical Press, Copenhagen 1965
- [5] S M Gorlin och I I Slezinger, Wind tunnels and their instrumentation, Israel Program for Scientific Translations 1966
- [6] R P Benedict, Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurements, New York 1969
- [7] A Dahlbom, En låghastighetstunnel för Byggnadsaerodynamisk undervisning, Memorandum 73, Flygtekniska Försöksanstalten, Stockholm 1971
- [8] S Thuresson, Vindtunnelstudier, Chalmers tekniska högskola, Avdelningen för Byggnadskonstruktion, Publikation 1971:19, Göteborg 1971
- [9] P Fredholm, Turbulensstudier medelst rökvisualisering, Chalmers tekniska högskola, Avdelningen för Byggnadskonstruktion, Publikation 1972:13, Göteborg 1972
- [10] A G Davenport, Wind Effects on Buildings and Structures, Proceedings of the conference held at NPL, June 1963, Vol 1

- [11] Bengt Wiren, Tryckmätningar i vindtunnel på modell av fältstation i Fiskebäck, Kungl. tekniska högskolan, Institutionen för Flygteknik, KTH Aero Rapport Fl 306, Stockholm (under utarbetande)
  
- [12] M Jern, Colmap, Programvara för färgbildskrivare, Lunds tekniska högskola - Lunds Universitet, Institutionen för Byggnadsfunktionslära, Elektrisk mätteknik, Lunds Universitets datacentral, Utgåva 2, Lund 1973
  
- [13] H Akima, Interpolation and smooth curve fitting based on local procedures. Communications at the ACM, Volume 15, No 10, October 1972
  
- [14] H Akima, A new method of interpolation and smooth curve fitting, Journal of the Association for Computing Machinery, Volume 17, No 4, October 1970

HUVUDUPPGIFTER OM PROVHUSET I FISKEBÄCK OCH DESS  
INSTRUMENTERINGByggnad

Byggnadens mått 7200 × 21600 mm

Stomme av stål, pelare HE 160 B, balkar HE 160 B,  
balkar av vinkelstål 200 × 100 × 16 mm dubbla

Bjälklag träelement 1200 × 3600 mm

Väggar träelement 1200 × 2500 mm

Pelaravstånd 3600 mm

Fritt utrymme mellan fasadliv och pelare 1200 mm

Rumshöjd 2530 mm

Våningshöjd 2770 mm

Kryputrymme 1300 mm högt

Eluppvärmning

Instrumentutrustning

Compulog (Intercole Ltd System) datainsamlingssystem  
med följande enheter:

Mätpunktsväljare: 2 st 100 kanals med temperaturreferens  
för termoelement och bryggkompletterings-  
motstånd för trådtöjningsgivare. Mäter  
analoga spänningar

Datorenhet: A-D omvandare  
Dator 8K, 16 bit (Computer Automation  
216), realtidsklocka

Teleprinter: Teletype ASR 33

Hålremsstans: Facit 4070

Programmerings-  
språk: Assembler eller FORTRAN

Givare för meteorologisk datainsamling:

Lufttemperatur: Termoelement

Vindriktning: Rosenhagen M130H

Vindhastighet: Rosenhagen M111H

Nederbörd: SMHI nederbörds m. mod. f. autom. reg.

Slagregn: Mätare av tallrikstyp, elektromekanisk

Luftfuktighet: Thies L-Nr 1000 "S"

Lufttryck: Thies L-Nr 1150

Totalinstrålning: Thies L-Nr 1415

Soltimmar: SIB solskenssensor



Tidsåtgång för uppnående av delar (%) av  
sluttrycket  $p_s$

Vätskepelarens utgångslängd  $h$

Anslutningsslangens längd  $l$

Mätrörets lutning  $\alpha$

h mm	l m	tg $\alpha$	p/p $\infty$	Tid för uppnående av delar av sluttrycket p $\infty$ sek			
				Försök nr 1	Försök nr 2	Försök nr 3	Medel- värde
-300	0,5	0,10	60	4,0	4,2	4,0	4,1
			90	10,4	10,3	10,3	10,3
			96,5	15,2	15,8	15,5	15,5
-200	0,5	0,10	60	4,2	4,0	4,0	4,1
			90	11,0	10,3	10,5	10,6
			95	13,7	13,4	13,3	13,5
-100	0,5	0,10	60	4,2	4,2	4,3	4,2
			90	10,8	10,5	10,3	10,5
			95	13,7	13,4	13,2	13,4
100	0,5	0,10	60	5,0	4,7	4,9	4,9
			90	11,3	11,8	11,8	11,6
			95	15,3	15,5	15,2	15,3

Tidsåtgång för uppnående av delar (%) av  
 sluttrycket  $p_s$   
 Vätskepelarens utgångslängd  $h$   
 Anslutningsslangens längd  $l$   
 Mätrörets lutning  $\alpha$

h mm	l m	tg $\alpha$	p/ $p_\infty$	Tid för uppnående av delar av sluttrycket $p_\infty$ sek			
				Försök nr 1	Försök nr 2	Försök nr 3	Medel- värde
-300	10	0,10	60	4,6	4,6	4,4	4,5
			90	12,2	12,0	12,0	17,3
			96,5	17,0	17,3	17,5	17,3
-200	10	0,10	60	4,8	4,9	4,4	4,7
			90	11,6	12,0	12,0	11,9
			95	15,6	16,0	15,6	15,7
-100	10	0,10	60	5,0	4,8	5,0	4,9
			90	12,0	12,1	12,0	12,0
			95	14,8	15,3	15,5	15,2
100	10	0,10	60	5,4	5,1	5,6	5,4
			90	13,0	13,4	13,1	13,2
			95	17,8	17,8	17,7	17,8

Tidsåtgång för uppnående av delar (%) av  
 sluttrycket  $p_s$   
 Vätskepelarens utgångslängd  $h$   
 Anslutningsslangens längd  $l$   
 Mätrörets lutning  $\alpha$

h mm	l m	tg $\alpha$	p/p $\infty$	Tid för uppnående av delar av sluttrycket p $\infty$ sek			
				Försök nr 1	Försök nr 2	Försök nr 3	Medel- värde
300	0,5	0,18	60	2,4	2,4	2,4	2,4
			90	5,8	5,7	5,6	5,7
			96,5	8,2	8,3	8,1	8,2
200	0,5	0,18	60	2,4	2,6	2,2	2,4
			90	5,3	5,1	5,4	5,3
			95	7,0	7,1	6,9	7,0
			97,5	8,3	8,4	9,2	8,6
100	0,5	0,18	60	2,0	2,4	2,2	2,2
			90	5,1	5,3	5,5	5,3
			95	6,5	7,0	6,7	6,7
-100	0,5	0,18	60	2,2	2,4	2,0	2,2
			90	4,9	4,8	5,0	4,9
			95	6,2	6,4	6,5	6,4

Tidsåtgång för uppnående av delar (%) av  
 sluttrycket  $p_s$   
 Vätskepelarens utgångslängd  $h$   
 Anslutningsslangens längd  $l$   
 Mät Rörets lutning  $\alpha$

h min	l m	tg $\alpha$	p/p $\infty$	Tid för uppnående av delar av sluttrycket p $\infty$ sek			
				Försök nr 1	Försök nr 2	Försök nr 3	Medel- värde
300	10	0,18	60	2,4	3,0	3,0	2,8
			90	6,6	6,8	6,6	6,7
			96,5	9,2	9,7	9,6	9,5
200	10	0,18	60	2,7	2,4	2,8	2,6
			90	6,2	6,3	6,0	6,2
			95	8,0	8,0	8,2	8,1
100	10	0,18	60	2,8	2,4	2,5	2,6
			90	6,0	5,8	6,0	5,9
			95	7,8	8,0	7,9	7,9
-100	10	0,18	60	2,3	2,4	2,4	2,4
			90	6,0	6,3	6,0	6,1
			95	8,0	7,4	7,9	7,8



Tidsåtgång för uppnående av delar (%) av  
 sluttrycket  $p_s$   
 Vätskepelarens utgångslängd  $h$   
 Anslutningsslangens längd  $l$   
 Mät Rörets lutning  $\alpha$

h mm	l m	tg $\alpha$	p/p $\infty$	Tid för uppnående av delar av sluttrycket p $\infty$ sek			
				Försök nr 1	Försök nr 2	Försök nr 3	Medel- värde
400	0,5	0,45	60	1,2	1,3	1,0	1,2
			90	2,6	2,2	2,8	2,5
			97,5	4,0	3,7	3,7	3,8
300	0,5	0,45	60	0,9	1,0	1,0	1,0
			90	2,4	2,4	2,4	2,4
			96,5	3,2	3,4	3,0	3,2
200	0,5	0,45	60	1,1	0,9	1,0	1,0
			90	2,3	2,0	2,0	2,1
			95	2,8	2,4	2,6	2,6
100	0,5	0,45	60	1,0	0,9	1,2	1,0
			90	1,6	1,8	1,6	1,7
			95	1,9	2,2	2,0	2,0

Tidsåtgång för uppnående av delar (%) av  
sluttrycket  $p_s$

Vätskepelarens utgångslängd  $h$

Anslutningsslangens längd  $l$

Mätrörets lutning  $\alpha$

h mm	l m	tg $\alpha$	p/p $\infty$	Tid för uppnående av delar av sluttrycket p $\infty$ sek			
				Försök nr 1	Försök nr 2	Försök nr 3	Medel- värde
400	10	0,45	60	1,2	1,0	1,2	1,1
			90	2,8	2,8	2,9	2,8
			97,5	4,2	4,4	4,3	4,3
300	10	0,45	60	1,1	1,2	1,2	1,2
			90	2,4	2,6	2,5	2,5
			96,5	3,9	3,7	3,9	3,8
200	10	0,45	60	1,2	1,1	1,3	1,2
			90	2,4	2,5	2,4	2,4
			95	2,8	2,9	2,6	2,8

Tidsåtgång för uppnående av delar (%) av  
sluttrycket  $p_s$

Vätskepelarens utgångslängd  $h$

Anslutningsslangens längd  $l$

Mätrörets lutning  $\alpha$

h mm	l m	tg $\alpha$	p/p $\infty$	Tid för uppnående av delar av sluttrycket p $\infty$ sek			
				Försök nr 1	Försök nr 2	Försök nr 3	Medel- värde
300	27,5	0,18	60	3,3	3,2	3,4	3,3
			90	7,9	7,8	7,7	7,8
			95	10,1	10,0	10,0	10,0
200	27,5	0,18	60	3,4	3,2	3,0	3,2
			90	7,6	7,6	7,6	7,6
			95	10,0	9,8	10,1	10,0
100	27,5	0,18	60	3,2	2,9	3,2	3,1
			90	7,4	7,6	7,4	7,5
			95	9,3	9,7	9,4	9,5

Tidsåtgång för uppnående av delar (%) av  
 sluttrycket  $p_s$   
 Vätskepelarens utgångslängd  $h$   
 Anslutningsslangens längd  $l$   
 Mätrörets lutning  $\alpha$

h mm	l m	tg $\alpha$	p/p $\infty$	Tid för uppnående av delar av sluttrycket $p_s$ sek			
				Försök nr 1	Försök nr 2	Försök nr 3	Medel- värde
-300	27,5	0,10	60	5,7	5,9	6,0	5,9
			90	14,9	14,4	14,5	14,6
			96,5	20,2	20,6	20,7	20,5
300	27,5	0,45	60	2,0	1,6	1,5	1,7
			90	3,9	3,3	3,7	3,6
			96,5	4,7	4,8	4,8	4,8



Vindtryck över rektangulär yta med tangentiell anblåsning. Formfaktorer i olika mät-punkter. Den övre siffran härrör från mätning på jämn yta medan den undre siffran härrör från ojämn yta.

Hastighetsprofil, kurva A, figur 20.



-1.11	-.98	-.91	-.91	-.93	-1.15	-1.01	-1.06	-.94	-1.26
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
-.90	-.86	-.86	-.85	-.86	-1.04	-.94	-.96	-.89	-1.06
-.25	-.39	-.45	-.46	-.44	-.44	-.40	-.33	-.24	-.08
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
-.46	-.51	-.51	-.53	-.51	-.51	-.49	-.48	-.43	-.29
.06	.03	.01	-.05	-.05	-.01	.03	.03	.06	.04
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
.01	-.06	-.11	-.13	-.12	-.13	-.08	-.07	-.04	.09
.02	-.02	.02	.00	.01	-.06	-.05	.01	.00	.00
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
.00	.04	.02	.02	.01	.01	.01	.00	.00	-.01
-.06	-.09	-.01	-.06	-.05	-.04	-.05	-.06	-.06	-.05
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
.01	-.05	.01	-.08	-.04	-.05	-.01	-.04	-.06	-.04
-.34	-.21	-.24	-.22	-.28	-.26	-.21	-.25	-.34	-.38
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
-.35	-.33	-.31	-.36	-.41	-.30	-.26	-.31	-.32	-.43

Vindtryck över rektangulär yta med tangentiell anblåsning. Formfaktorer i olika mät-punkter. Den övre siffran härrör från mätning på jämn yta medan den undre siffran härrör från ojämn yta.

Hastighetsprofil, kurva B, figur 20.



-.74	-.63	-.57	-.52	-.48	-.63	-.64	-.67	-.48	-.69
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
-.62	-.57	-.53	-.52	-.52	-.65	-.57	-.57	-.54	-.67
-.45	-.44	-.43	-.42	-.41	-.43	-.45	-.45	-.50	-.47
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
-.54	-.52	-.51	-.48	-.48	-.49	-.50	-.50	-.56	-.54
-.06	-.15	-.23	-.28	-.28	-.26	-.24	-.21	-.12	-.05
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
-.13	-.22	-.28	-.27	-.29	-.28	-.28	-.24	-.18	-.04
.05	.04	.04	.03	.05	.01	.01	.06	.06	.06
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
.07	.06	.03	.02	.02	.02	.02	.03	.04	.07
-.01	-.03	.02	-.02	.00	.01	-.01	.00	-.01	.00
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
.04	.00	.03	-.03	.00	-.02	.01	.00	.00	.00
-.25	-.19	-.19	-.19	-.21	-.24	-.20	-.22	-.27	-.32
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
-.30	-.27	-.25	-.32	-.36	-.26	-.24	-.28	-.29	-.39

Vindtryck över rektangulär yta med sned anblås-  
ningsriktning. Formfaktorer i olika mätpunkter.  
Den övre siffran härrör från mätning på jämn yta  
medan den undre siffran härrör från ojämn yta.

Hastighetsprofil, kurva A, figur 20.



-.19	-1.36	-1.16	-.85	-.69	-.36	-.50	-.43	-.59	-.29
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
-.39	-.55	-.46	-.45	-.44	-.35	-.41	-.38	-.42	-.29
-.09	-.09	-.02	.00	.03	.05	-.08	-.12	-.16	-.14
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
-.13	-.11	-.08	-.02	-.08	-.10	-.12	-.10	-.10	-.09
-.20	-.03	.03	-.10	-.14	-.01	.05	.03	-.03	-.06
o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
-.27	-.12	.03	.01	-.01	.01	.03	-.02	-.03	-.08

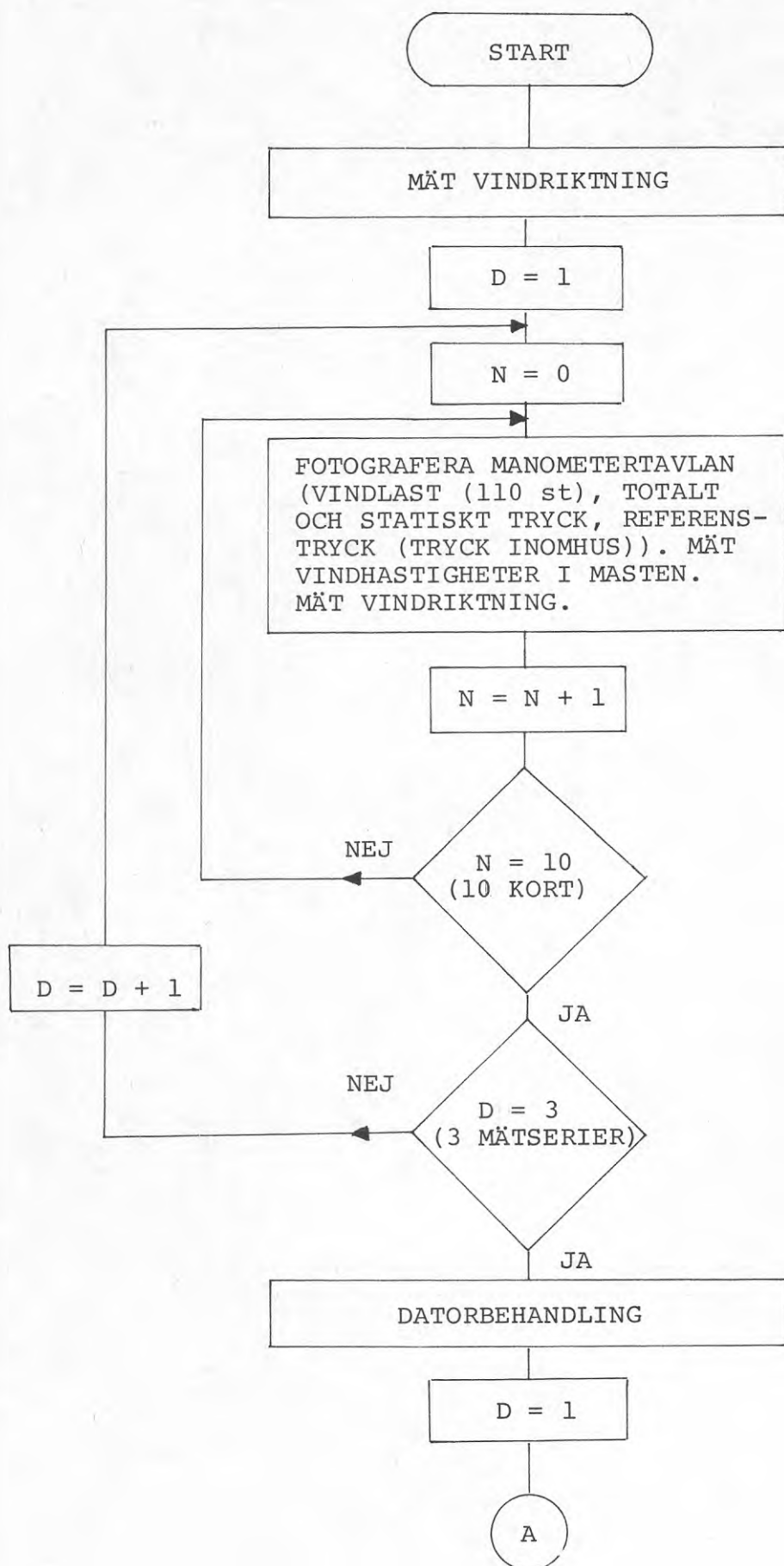
Vindtryck över rektangulär yta med sned anblåsningsriktning. Formfaktorer i olika mätpunkter. Den övre siffran härrör från mätning på jämn yta medan den undre siffran härrör från ojämn yta.

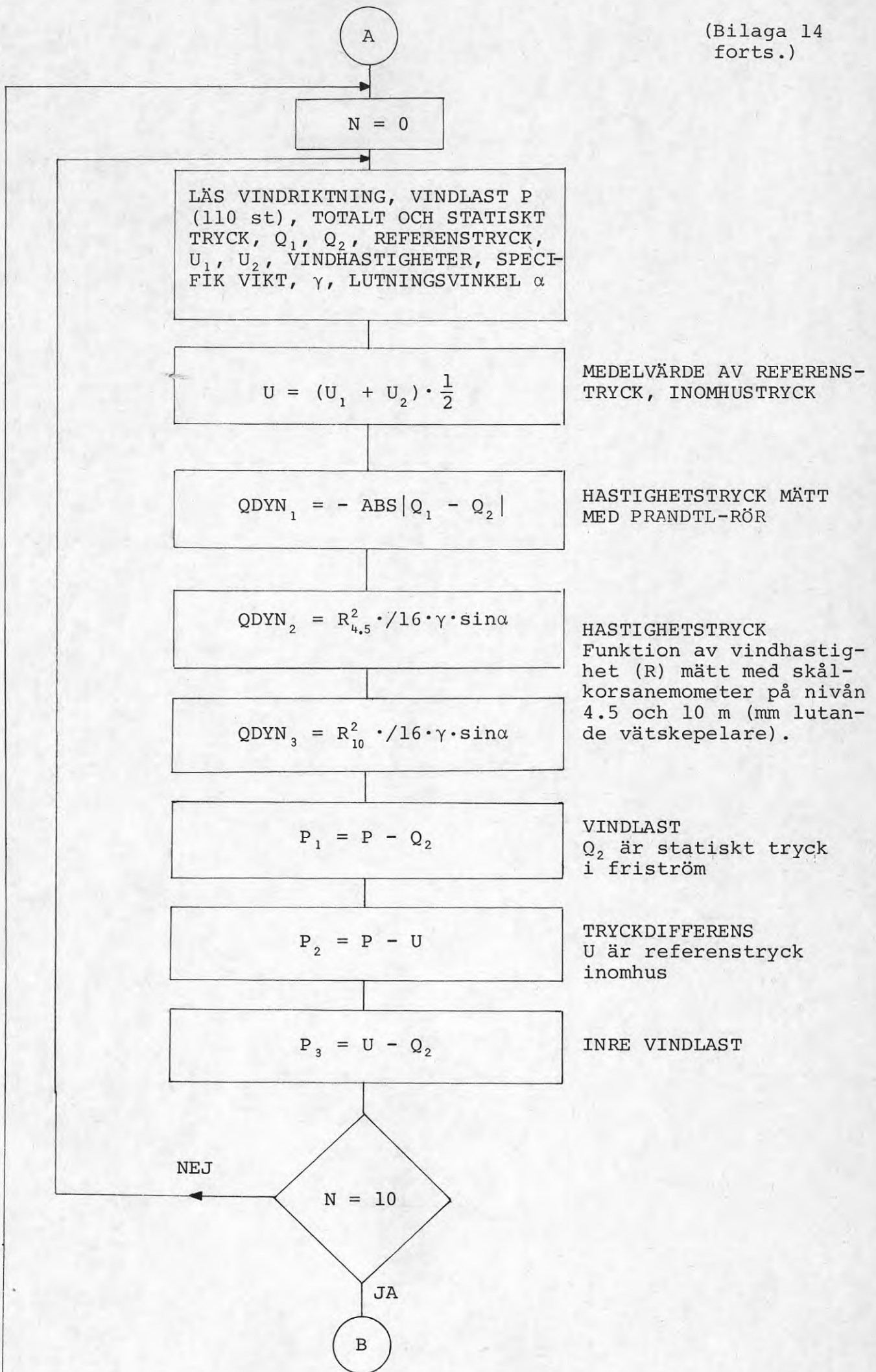
Hastighetsprofil, kurva B, figur 20.



	-0.07	-1.48	-1.35	-.86	-.63	-.34	-.47	-.41	-.55	-.25
	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	-.78	-.71	-.55	-.53	-.49	-.42	-.47	-.45	-.47	-.38
	-.05	-.07	-.02	.01	.03	.09	.10	.01	-.20	-.22
	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	-.16	-.12	-.08	-.02	-.08	-.15	-.17	-.15	-.14	-.13
	-.23	-.02	.02	-.07	-.12	.01	.05	.02	-.01	-.04
	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
	-.36	-.13	.03	.03	-.01	.03	.06	.02	.00	-.05



FLÖDESSCHEMA FÖR INSAMLING OCH BEARBETNING AV DATA



B

$$\bar{P}_i = \Sigma P_i / 10; \quad \sigma_{P_i} = \sqrt{\frac{\Sigma (\bar{P}_i - P_i)^2}{N - 1}}$$
$$\overline{QDYN}_j = \Sigma QDYN_j / 10; \quad \sigma_{QDYN_j} = \sqrt{\frac{\Sigma (\overline{QDYN}_j - QDYN_j)^2}{N - 1}}$$

MEDELVÄRDE  
OCH STANDARD-  
AVVIKELSE

$$C_n = P_i / \overline{QDYN}_j$$

FORMFAKTORER  
för mätning inom en  
mätserie

$$VINDLAST_i = P_i \cdot \sin \alpha \cdot \gamma$$

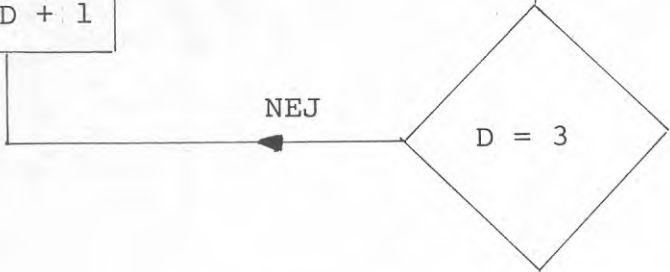
VINDLAST i  $kp/m^2$

$$C_p = \bar{P}_i / \overline{QDYN}_j$$

FORMFAKTORER

SKRIV VINDRIKTNING, FORM-  
FAKTORER, VINDLAST

$D = D + 1$



FRAMSTÄLL FÄRGPLOTTER-  
BILDER

STOPP

Formfaktorernas minimi- och maximivärden för olika mätpunkter på väggytorna.

Mät punkt nr	Min CP	Max CP	Mät punkt nr	Min CP	Max Cp
1	-0.51	0.60	40	-1.18	0.04
2	-0.57	1.01	41	-1.29	0.94
3	-0.66	0.83	42	+1.17	0.97
4	-0.68	0.97	43	-1.25	0.89
5	-0.72	0.86	44	-1.17	0.93
6	-0.76	0.76	45	-1.09	0.82
7	-0.74	0.89	46	-1.08	0.82
8	-0.70	0.83	47	-0.98	0.83
9	-0.68	0.25	48	-2.12	-0.20
10	-0.70	1.26	49	-1.36	0.94
11	-0.58	1.23	50	-1.45	0.86
12	-0.61	1.24	51	-0.70	0.85
13	-0.66	1.11	52	-1.23	0.80
14	-0.67	1.03	53	-1.25	0.75
15	-0.64	1.05	54	-1.10	0.62
			55	-1.23	0.73
16	-0.51	0.12			
17	-0.42	1.23	56	-2.29	-0.05
18	-0.40	1.31	57	-0.79	0.89
19	-0.40	1.31	58	-0.77	1.19
20	-0.39	1.27	59	-0.95	0.93
21	-0.39	1.11	60	-0.86	1.76
22	-0.37	1.05	61	-0.94	0.84
23	-0.37	1.02	62	-1.02	0.78
			63	-0.72	0.81
24	-0.71	-0.03			
25	-0.39	1.20	64	-1.15	-0.09
26	-0.39	1.24	65	-0.87	0.85
27	-0.41	1.19	66	-0.96	0.73
28	-0.39	1.21	67	-0.84	0.92
29	-0.40	1.00	68	-0.79	0.95
30	-0.43	0.88	69	-0.77	0.86
31	-0.37	0.88	70	-0.79	0.83
			71	-0.86	0.82
32	-1.06	-0.02			
33	-0.39	1.17	72	-1.03	0.07
34	-0.39	1.18	73	-0.96	0.78
35	-0.38	1.20	74	-0.91	0.78
36	-0.40	1.18	75	-0.92	0.76
37	-0.39	1.09	76	-0.80	0.85
38	-0.40	0.96	77	-0.78	0.86
39	-0.42	0.93	78	-0.68	0.89
			79	-0.78	0.78



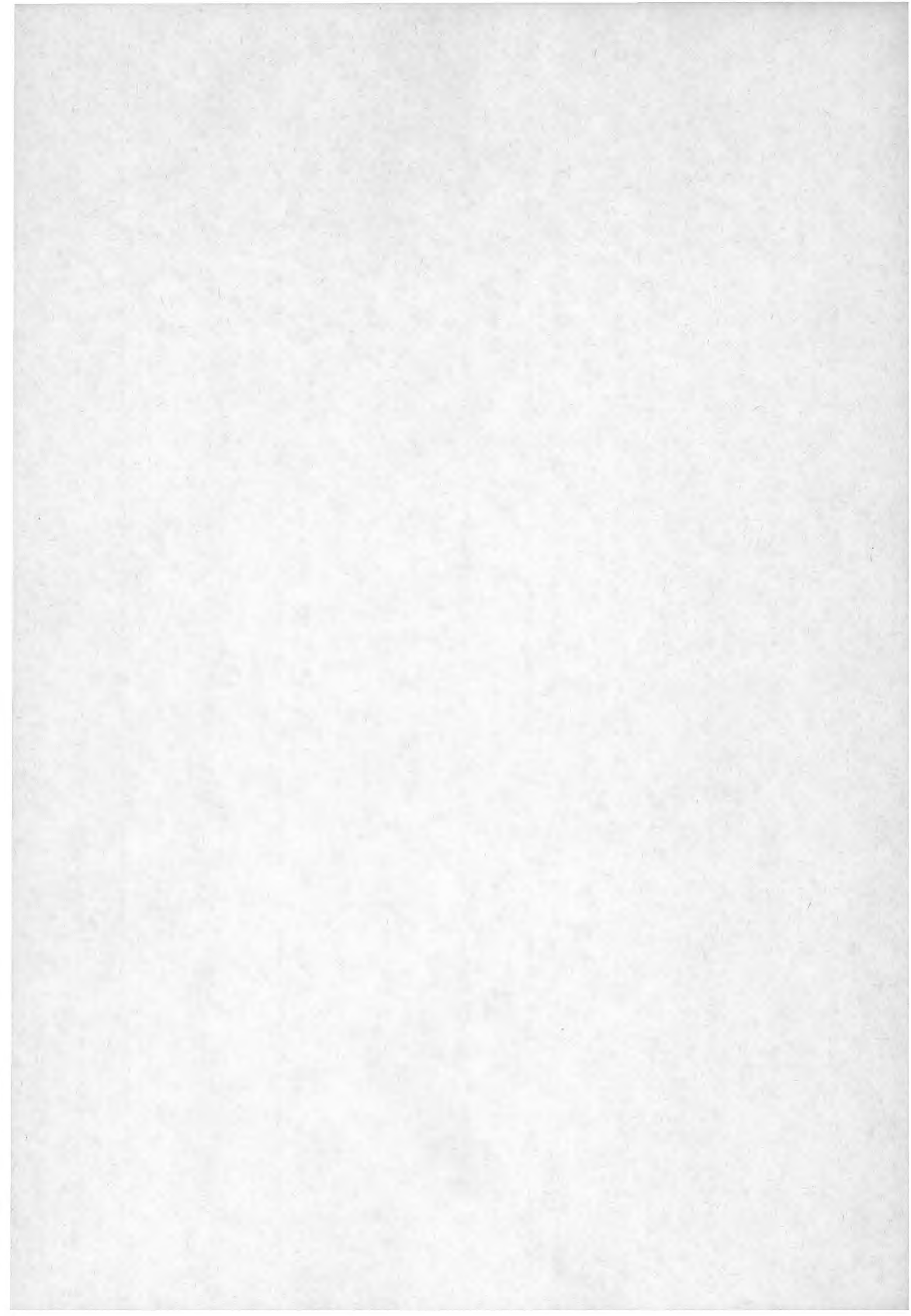
Mät punkt nr	Min CP	Max CP
80	-0.74	0.05
81	-0.90	0.78
82	-0.83	0.78
83	-0.86	0.76
84	-0.79	0.85
85	-0.78	0.86
86	-0.68	0.89
87	-0.57	0.78
88	-0.81	0.08
89	-0.71	0.67
90	-1.07	0.57
91	-1.04	0.62
92	-1.06	0.67
93	-0.93	0.59
94	-1.03	0.60
95	-0.63	0.58
96	-0.72	0.09
97	-0.48	0.63
98	-0.49	0.62
99	-0.49	0.68
100	-0.58	0.63
101	-0.57	0.52
102	-0.43	0.55
103	-0.36	0.57
104	-0.61	0.07
105	-0.53	0.67
106	-0.60	0.67
107	-0.65	0.79
108	-0.66	0.72
109	-0.55	0.67
110	-0.52	0.66

Formfaktorernas minimi- och maximivärden för olika mätpunkter på takytan.

Mätpunkt nr	Min CP	Max CP	Mätpunkt nr	Min CP	Max CP
1	-1.26	0.15	49	-1.35	-0.08
2	-1.19	0.15	50	-1.43	-0.14
3	-1.22	0.15	51	-1.39	-0.10
4	-1.31	0.16	52	-1.44	-0.18
5	-1.31	0.18	53	-1.40	-0.15
6	-1.15	0.21	54	-0.53	0.07
7	-1.04	0.21	55	-1.24	-0.18
8	-1.02	0.21	56	-1.05	-0.22
9	-0.52	0.12	57	-1.69	-0.01
10	-0.51	-0.13	58	-1.77	-0.01
11	-0.56	-0.14	59	-1.80	-0.03
12	-0.61	-0.14	60	-1.86	0.15
13	-0.51	-0.11	61	-1.72	-0.09
14	-0.75	-0.13	62	-1.61	-0.21
15	-0.54	-0.07	63	-1.24	-0.20
16	-0.55	-0.09	64	-1.06	0.22
17	-0.65	-0.16	65	-1.59	0.05
18	-0.64	0.36	66	-1.70	0.02
19	-0.67	-0.17	67	-1.53	0.06
20	-0.68	-0.18	68	-1.65	0.02
21	-0.68	-0.20	69	-1.62	0.00
22	-0.69	-0.14	70	-1.61	-0.05
23	-0.88	-0.07	71	-1.58	0.00
24	-0.70	0.04	72	-1.59	-0.04
25	-0.81	0.43	73	-1.37	-0.18
26	-0.85	-0.07	74	-1.36	-0.18
27	-0.86	-0.14	75	-1.36	-0.20
28	-0.84	-0.13	76	-1.35	-0.20
29	-0.87	-0.22	77	-1.41	-0.25
30	-0.88	-0.19	78	-1.39	-0.24
31	-0.96	-0.15	79	-1.36	-0.29
32	-0.99	0.04	80	-1.16	-0.22
33	-1.75	-0.04	81	-1.46	-0.06
34	-1.66	-0.06	82	-1.45	-0.32
35	-1.71	-0.02	83	-1.45	-0.34
36	-1.69	0.02	84	-1.26	-0.34
37	-1.66	0.02	85	-1.37	-0.33
38	-1.67	-0.24	86	-1.21	-0.31
39	-1.09	0.60	87	-1.20	-0.33
40	-1.46	-0.22	88	-0.97	-0.29
41	-1.38	-0.04	89	-1.13	0.03
42	-1.37	-0.06	90	-1.26	-0.01
43	-1.20	-0.09	91	-1.27	-0.01
44	-1.14	-0.11	92	-1.19	0.16
45	-0.91	0.03	93	-1.22	-0.15
46	-1.32	-0.24	94	-1.25	-0.23
47	-1.13	-0.26	95	-1.57	-0.14
48	-1.19	-0.28	96	-1.24	0.09

## Mätpunkter under singelskikt

Mätpunkt nr	Min CP	Max CP
S 1	-1.71	-0.15
S 2	-1.65	-0.05
S 3	-0.86	-0.11
S 4	-1.00	-0.13
S 5	-0.92	-0.24
S 6	-0.87	0.79
S 7	-0.86	-0.17
S 8	-0.87	0.14
S 9	-0.75	-0.20
S 10	-1.16	-0.29
S 11	-1.56	-0.34
S 12	-1.19	-0.27
S 13	-1.07	-0.24
S 14	-1.02	0.15







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 720008-2/C 964  
från Statens råd för byggnadsforskning till Avd. för byggnads-  
konstruktion, CTH, Göteborg**

**R29: 1977**

**ISBN 91-540-2690-3  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6600629  
Abonnemangsgrupp:  
Z. Konstruktioner o. material**

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

**Cirka pris: 35 kronor + moms**