

Rapport

R35:1970

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

Inst. för Byggnadsstatik

**Vindtunnelundersökning
av tryckfördelningen
på ett plant tak med
varierad takkantut-
formning**

Bengt Wirén

Byggeforskningen

Vindtunnelundersökning av tryckfördelningen på ett plant tak med varierad takkantutformning

Bengt Wirén

Nära lovartkanterna på ett plant rektangulärt tak med skarpa takkanter uppträder vid vissa vindriktningar stora sugkrafter, lokaliserade till området under de virvlar som utbildas över takytan till följd av luftströmmens avlösning längs lovartkanterna.

För att undersöka i vilken mån virvelstyrkan och därmed sugkrafternas storlek kan reduceras genom modifiering av takkanten, har en vindtunnelundersökning utförts vid Flygtekniska Institutionen, KTH. Undersökningen har omfattat tryckmätningar på taket av en blockformad byggnadsmodell med varierad takkantutformning, samt visualisering av strömningen över taket och intill byggnadens lovartvägg.

Därjämte har prov av orienterande karaktär utförts i avsikt att belysa inflytandet på tryckfördelningen över taket av dels förhållandet mellan modellens längd L och bredd B, dels förhållandet mellan markgränsskiktets tjocklek δ och modellens höjd H.

Resultatet av undersökningen redovisas bl.a. i form av:

- representativa tryckfördelningar (lokala tryckkoefficienter) i några snitt, vinkelräta mot modellens långsida vid olika takkantprofiler och anblåsningsriktningar α .
- tabeller och diagram över medel- och extremvärden av tryckkoefficienten c_p för olika delar på taket vid olika takkantprofiler och olika värden på α och L/B.
- diagram över c_p -medelvärden för olika delar på taket som funktion av förhållandet δ/H .
- fotografier av strömningen över taket och framför modellens lovartvägg.

De redovisade tryckkoefficienterna c_p är refererade till det dynamiska trycket q på en höjd över marken lika med modellens höjd, vid modellens plats men utan modell i vindtunneln.

De delar på taket för vilka c_p -medelvärden bestämts överensstämmer med de taktyper där man enligt de svenska vindlastnormerna skall räkna med olika värden på "formfaktorn" c .

Undersökningen av takkantutformningens inflytande på vindlasten över taket har utförts med en modell med längd/breddförhållandet L/B=2, höjd/breddförhållandet H/B=0,24 och takkanter med skarp, fasad resp. rundad profil (FIG 1).

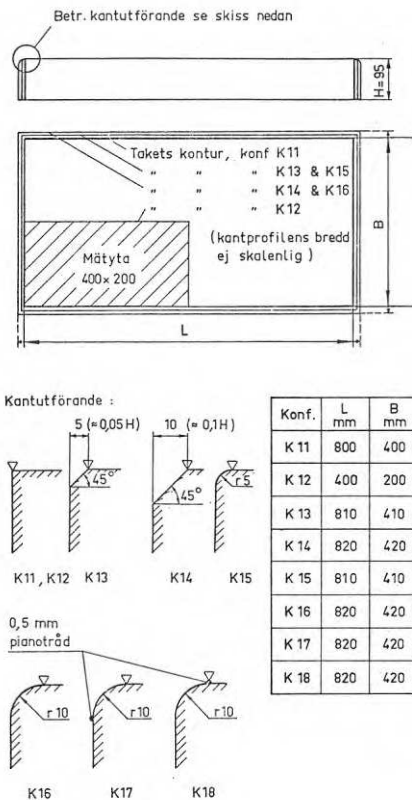


FIG. 1. Modellutförande

Huvuddelen av dessa mätningar har utförts med ett artificiellt förtjockat gränsskikt på markplattan med gränsskiktjockleken $\delta=2,1 H$ och en vertikal medelhastighetsfördelning som gavs av

$$\frac{V}{V_{\infty}} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^{1/8,3}$$

där V = lufthastigheten på höjden y över markplattan

och V_{∞} = luftens hastighet i fristrommen.

Resultatet av denna del av undersökningen visar bl.a. följande:

- en fasning av takkanten med 0,1 H (K 14 enl. FIG. 1) medför en försvagning av de kantvirvlar som utbildas vid anblåsningsvinklar $30^{\circ} \leq \alpha \leq 60^{\circ}$, så att undertryckets extremvärde minskar med maximalt ca 60 % jämfört med skarp takkantsprofil (TAB. 1), medan medelvärdet för randzonen, delyta D4,

Bygghorsningen Sammanfattningar

R35:1970

Rapport R35:1970 avser anslag C 516 till Flygtekniska Institutionen, KTH, från Statens råd för byggnadsforskning. Rapporten är även avsedd att utges i Flygtekniska Institutionens egen rapportserie.

Nära lovartkanterna på ett plant rektangulärt tak med skarpa takkanter uppträder vid vissa vindriktningar stora sugkrafter, lokaliserade till området under de virvlar som utbildas över takytan till följd av luftströmmens avlösning längs lovartkanterna. För att undersöka i vilken mån virvelstyrkan och därmed sugkrafternas storlek kan reduceras genom modifiering av takkanten, har en vindtunnelundersökning utförts.

Undersökningens resultat visar bl.a. att en fasning eller rundning av takkanten i vissa fall medför en försvagning av kantvirveln och därmed minskat lokalt sug under virvelbanorna.

Dessutom har preliminära prov utförts i avsikt att klargöra om takets storlek har någon inverkan på sugkrafternas storlek och fördelning. Dessa prov har varit av orienterande karaktär och skall kompletteras med en systematisk studie av tryckfördelningen på tak med varierande längd och bredd och med olika byggnadshöjder i syfte att ge underlag för komplettering av vindlastnormerna i SBN-67.

UDK 69.024.3
533.6.07
624.042.4

Sammanfattning av:

Wirén, B, 1970, Vindtunnelundersökning av tryckfördelningen på plant tak med varierad takkantutformning (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R35:1970, 85 s., ill. 16 kr.

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

Abonnemangsgrupp: (k) konstruktion.

minskar med maximalt ca 30 % från $c_{p,med} = -0,95$ för K11 till $c_{p,med} = -0,65$ för K14 (FIG. 2).

– en rundning av takkanten med radien $r=0,1 H$ (K16 enl. FIG. 1) medför att strömningen blir anliggande över kantprofilen och takets yttre del vid alla anblåsriktningar. För $30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$ innebär detta att kantvirveln inte utbildas, varigenom undertryckets extremvärde minskar med maximalt ca 70 % jämfört med skarp kant, och medelvärdet för randzonen minskar med maximalt ca 40 % (K16 jämfört med K11). För $80^\circ < \alpha < 90^\circ$ ökar dock extremvärdet med ca 75 % medan medelvärdet för randzonen ökar med ca 20 % (FIG. 2).

När det gäller vindlaster på tak är de svenska vindlastnormerna i SBN 67 inte differentierade med hänsyn till byggnadens längd-bredd-höjdförhållande. Vidare är utsträckningen av den randzon, för vilken ett högre värde på formfaktorn föreskrivs, relaterad till byggnadens (takets) bredd. Dessa förhållanden medför att de i normerna angivna vindlasterna blir omotiverat höga för plana tak med stor utsträckning. Denna effekt har belysts genom några prov med en modell (K12) med samma höjd som grundmodellen (K11) men med halva längden och bredden av denna modell. För båda modellerna gäller att randzonens bredd $b=0,1 B$, såsom anges i SBN 67.

Resultatet av dessa prov visar bl.a.: – att kantvirvelns styrka och utsträckning, och därmed storleken och läget av de sugkrafter som induceras av virveln, ej nämnvärt påverkas av ändringen av takets storlek (FIG. 3).

– att $c_{p,med}$ för randzonen i lovert minskar kraftigt med ökande randzonbredd (takbredd), varvid minskningen i α -området $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ uppgår till ca 30 % (K12 jämfört med K11 i FIG. 2).

Dessa prov har varit av orienterande karaktär och skall kompletteras med en systematisk studie av tryckfördelningen på tak med varierande längd och bredd och med olika byggnadshöjder i syfte att ge underlag för komplettering av vindlastnormerna.

För att belysa inflytandet av markgränsskiktets höjd i förhållande till modellhöjden på tryckförhållandena på taket har de båda modellkonfigurationerna med skarp takkantprofil undersökts vid fyra olika markgränsskikt med relativa tjockleken $\delta/H=0,46, 1,2, 2,1$ och $3,2$ och nära likformiga medelhastighetsprofiler. Resultatet för den större modellen, K11, visas i FIG. 4.

TAB. 1. Ökning ($\Delta c_p > 0$) resp. minskning ($\Delta c_p < 0$) av undertryckets extremvärde, dvs. största uppmätta undertryck på hela takytan, vid fasning resp. rundning av takkanten. $\delta/H=2,1$. Motsvarande undertryck för modell med skarp kant är ca -5 .

α°	Fasning		Rundning	
	$a \approx 0,05 H$ (K 13)	$a \approx 0,1 H$ (K 14)	$r \approx 0,05 H$ (K 15)	$r \approx 0,1 H$ (K 16)
0	+0,30	+0,50	+0,35	+0,70
15	-0,45	-0,30	-0,30	-0,80
30	-3,0	-2,8	-2,7	-3,2
45	-2,2	-2,2	-2,1	-2,5
60	-2,6	-2,6	-2,5	-3,1
75	-0,45	-0,50	-0,50	-0,80
90	+0,45	+0,30	+0,40	+0,70

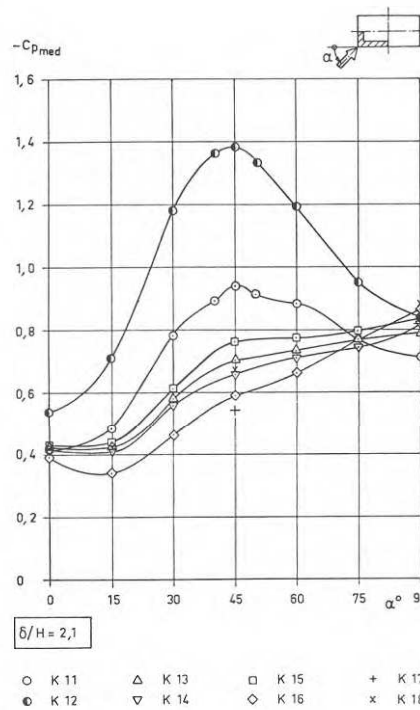


FIG. 2. Tryckkoefficientens medelvärde över randzonen i lovert som funktion av α . $\delta/H=2,1$, delyta D4.

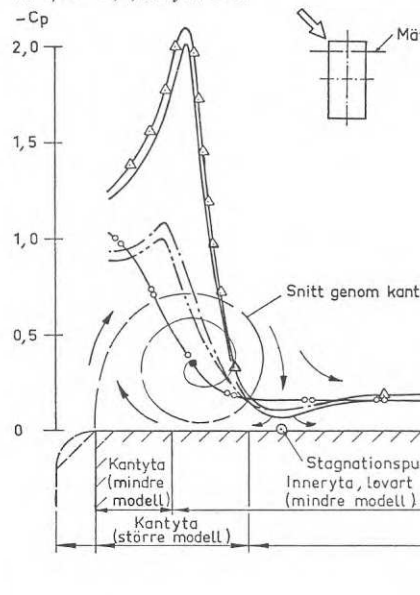


FIG. 3. Tryckfördelningar i snitt vinkelrätt mot modellens långsida, $0,125 L$ från dess kortsida. $\delta/H=2,1$ $\alpha=45^\circ$.

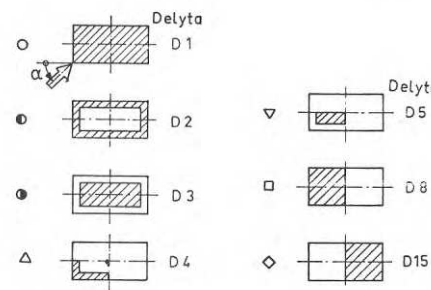
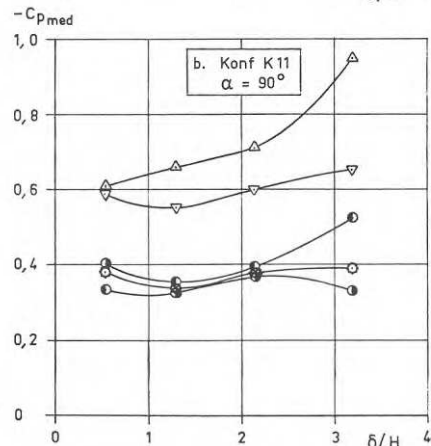
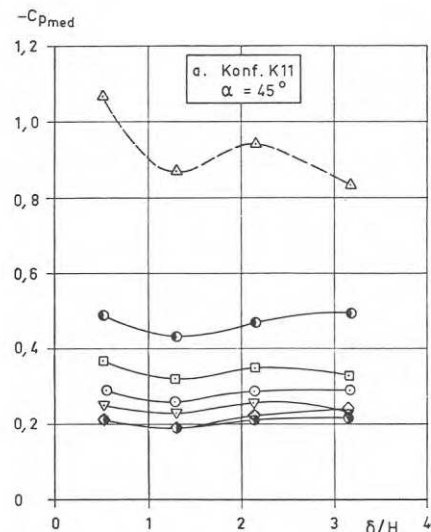


FIG. 4. Tryckkoefficientens medelvärde för olika delytor som funktion av δ/H . K11, $\alpha=45^\circ$ och 90° .

Kurva	Konf.	Takkantprofil
—	K 11	(större modell)
- - -	K 13	(")
- · - ·	K 14	(")
—○—○—	K 16	(")
—△—△—	K 12	(mindre modell)

Wind tunnel investigation of the pressure distribution on a flat roof with different edge profiles

Bengt Wirén

As a result of flow separation at the windward sides of a flat or low-pitched roof with sharp edges, vortices are generated over the roof at certain wind directions. These vortices give rise to large local suction forces.

A wind tunnel investigation has been carried out at the Department of Aeronautics, Royal Institute of Technology, Stockholm, in order to discover the extent to which the vortex and thus the magnitude of the suction forces can be reduced by modification of the roof edge profile. The investigation comprised measurements of pressure distributions on the roof of a block-shaped building model with different roof edge profiles, and also visualisation of the flow above the roof and near the windward wall of the building.

Tests of a preliminary nature have also been carried out to investigate the effect of the ratio between the length L and width B of the model, and of the ratio between the thickness δ of the ground surface boundary layer and the height H of the model, on the pressure distribution on the roof.

The results of the investigation are presented as follows:

- representative pressure distributions (local pressure coefficients) at some sections, at right angles to the long side of the model, for different roof edge profiles and wind directions α .
- tables and diagrams showing mean and extreme values of the pressure coefficient c_p for different parts of the roof, different roof edge profiles and different values of α and L/B .
- diagrams showing mean values of c_p for different parts of the roof as a function of the ratio δ/H .
- photographs of the flow over the roof and in front of the windward wall of the model.

The pressure coefficients c_p are referred to the dynamic pressure at a height above ground level equal to the height of the model, at the position of the model but with model removed.

The portions of the roof for which the various mean c_p values have been determined are the same as the portions for which, in accordance with the Swedish wind load regulations, different values of the form factor are to be used.

The investigation into the effect of the roof edge profile on the pressure distri-

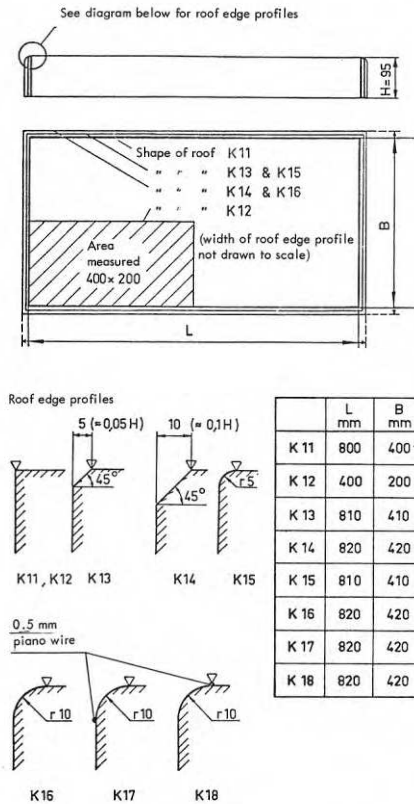


FIG. 1. Building model and roof edge profiles.

bution on the roof has been carried out on a model with a length/width ratio $L/B=2$, a height/width ratio $H/B=0.24$ and roof edges with sharp, chamfered and rounded profiles (FIG. 1).

The greater part of these measurements have been taken with the boundary layer on the ground plane artificially thickened with $\delta=2.1 H$ and a vertical mean velocity distribution expressed by

$$\frac{V}{V_{\infty}} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^{1/8.3}$$

where V = air velocity at the height y above the surface and V_{∞} = air velocity in the free-stream

The results of this part of the investigation show, for example:

- that chamfering of the roof edge by $0.1 H$ (K 14 according to FIG. 1) causes weakening of the edge vortices at $30^{\circ} \leq \alpha \leq 60^{\circ}$, so that the extreme c_p value is reduced by up to about 60% compared to the sharp roof edge profile (TAB. 1), while the mean value

National Swedish Building Research Summaries

R35:1970

Report R35:1970 refers to Grant No. C 516 by the Swedish Council for Building Research to the Department of Aeronautics, Royal Institute of Technology, Stockholm. The report is also to be published in one of the Report series of the Department of Aeronautics.

As a result of flow separation at the windward sides of a flat or low-pitched roof with sharp edges, vortices are generated over the roof at certain wind directions. These vortices give rise to large local suction forces. Wind tunnel tests have been carried out in order to investigate the extent to which the vortex strength and consequently the magnitude of the suction forces can be reduced by a modification of the roof edge profile.

The results of this investigation show that chamfered or rounded roof edge profiles will in some cases lead to weakening of the edge vortices and thus a reduction of the local suction forces on the roof.

Preliminary tests have also been conducted to determine the influence of the size of the roof — at constant building height — on the magnitude and distribution of the suction forces. These tests have been of a preliminary nature and will be supplemented by a systematic study of the pressure distribution on roofs of varying lengths and widths and different heights, with a view to providing information for revision of the wind load regulations in SBN 67 (Swedish Building Standards).

UDC 69.024.3
533.6.07
624.042.4

Summary of:

Wirén, B, 1970, *Vindtunnelundersökning av tryckfördelningen på ett plant tak med varierad takkantutformning*/Wind tunnel investigation of the pressure distribution on a flat roof with different edge profiles/(Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R35: 1970, 85 p., ill. Sw. kr. 16.

Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, S-111 84 Stockholm, Sweden.

for the edge zone, area D4, is decreased by up to about 30 % from $c_{p,med} = -0,95$ for K 11 to $c_{p,med} = -0,65$ for K 14 (FIG. 2).

— that rounding of the roof edge with a radius $r=0.1 H$ (K 16 according to FIG. 1) results in the flow remaining attached over the edge profile and the outer portion of the roof at all wind directions. No edge vortices being formed at $30^\circ \lesssim \alpha \lesssim 60^\circ$, the extreme suction values decrease by as much as 70 % compared with chamfered roof edges and the mean c_p -values, $c_{p,med}$, for the edge zone by up to 40 % (K 16 compared with K 11). For $80^\circ < \alpha < 90^\circ$, however, the extreme value, $c_{p,extr}$, increases by about 75 %, and the mean, $c_{p,med}$, for the edge zone by about 20 % (FIG. 2).

As regards wind loads on roofs, the Swedish wind load regulations in SBN 67 are not differentiated with respect to the length-width-height ratio of the building. Furthermore, the extent of the edge zone, for which a higher value of the form factor is prescribed, is related to the width of the roof. This means that wind loads calculated in accordance with the regulations are unjustifiably high for large flat roofs. This has been illustrated by some tests on a model (K12) with the same height as the basic model (K 11) but with length and width half that of the basic model. For both models, the width b of the edge zone was equal to $0.1B$, as specified in SBN 67.

The results of these tests show, for example:

- that neither the vortex flow pattern nor the magnitude and position of the suction forces induced by the vortices are affected to any appreciable extent by the reduction of the roof size (FIG. 3).
- that the value of $c_{p,med}$ for the edge zone on the windward side decreases rapidly as the width of the edge zone (width of the roof) increases, the reduction in the range $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ being as much as 30 % (K 12 is compared with K 11 in FIG. 2).

These tests have been of a preliminary nature and will be supplemented by a systematic study of the pressure distribution on flat roofs for different building dimensions in order to provide a basis for a revision of the wind load regulations.

In order to investigate the influence on the roof pressure distribution of the degree of boundary layer immersion, two models with different dimensions have been tested in boundary layers with relative thicknesses $\delta/H=0.46, 1.2, 2.1$ and 3.2 and almost identical mean velocity profiles. The results for one of the models are shown in FIG. 4.

TAB. 1. Increase ($\Delta c_p > 0$) and decrease ($\Delta c_p < 0$) in the extreme value of the mean pressure, i.e. greatest suction recorded on the entire roof with chamfered and rounded roof edges. K11, $\delta/H=2.1$.

α°	Chamfering		Rounding	
	$a \approx 0.05 H$ (K 13)	$a \approx 0.1 H$ (K 14)	$r \approx 0.05 H$ (K 15)	$r \approx 0.1 H$ (K 16)
0	+0.30	+0.50	+0.35	+0.70
15	-0.45	-0.30	-0.30	-0.80
30	-3.0	-2.8	-2.7	-3.2
45	-2.2	-2.2	-2.1	-2.5
60	-2.6	-2.6	-2.5	-3.1
75	-0.45	-0.50	-0.50	-0.80
90	+0.45	+0.30	+0.40	+0.70

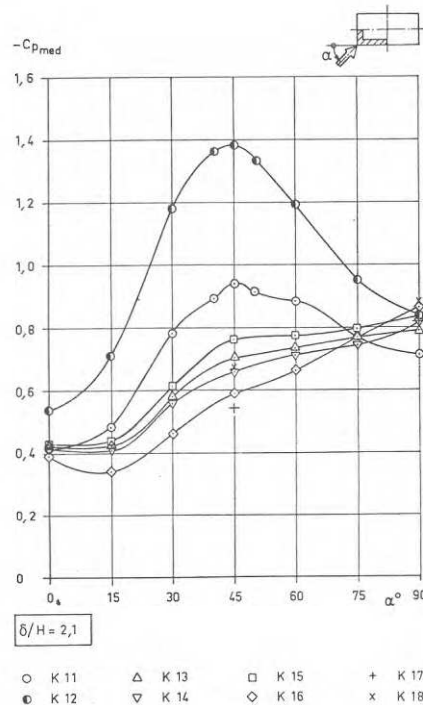


FIG. 2. Mean value of the pressure coefficient over the windward edge zone as a function of α . $\delta/H=2.1$, area D4.

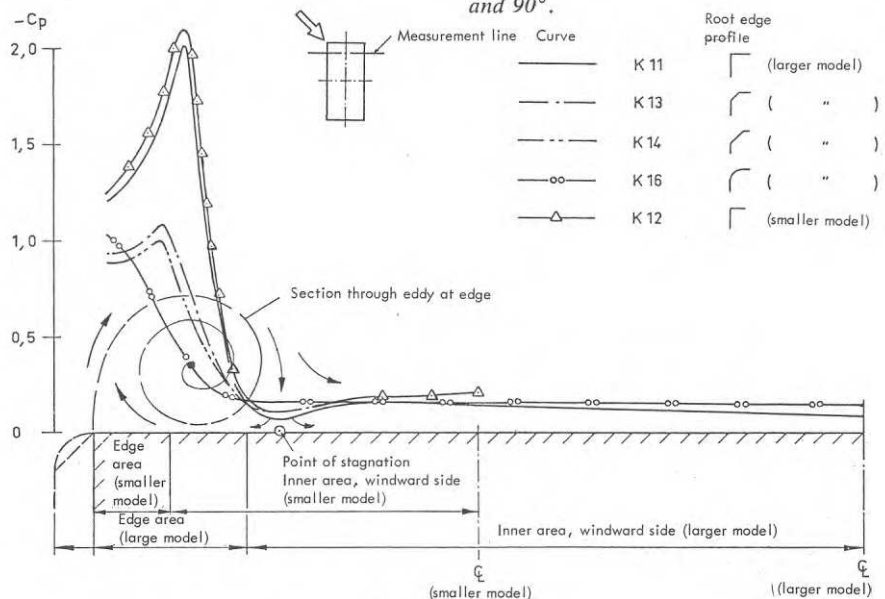


FIG. 3. Pressure distributions; section at right angles to the long side of the model. $0.125 L$ from the short side. $\delta/H=2.1$, $\alpha=45^\circ$.

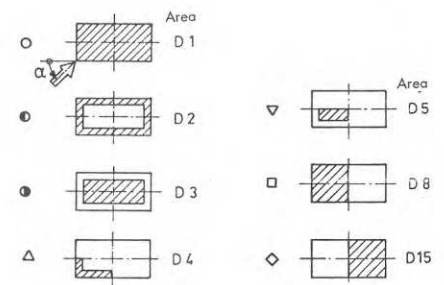
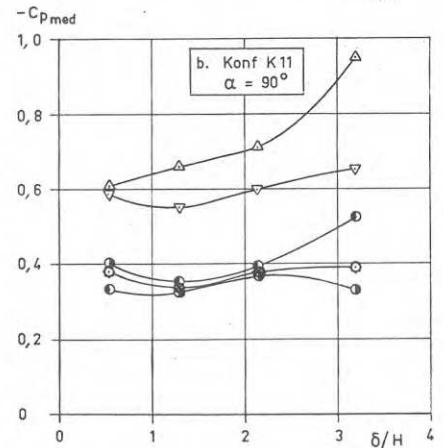
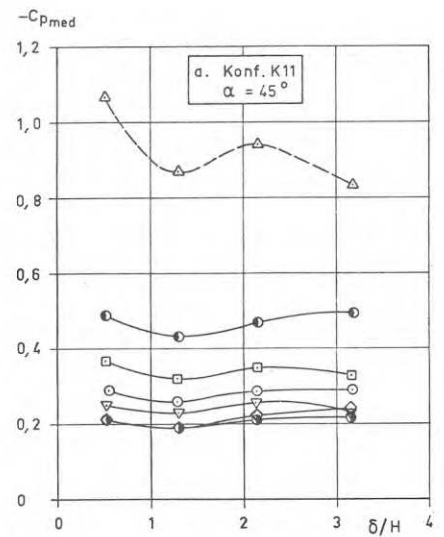


FIG. 4. Mean value of the pressure coefficient for different portions of the roof as a function of δ/H . K11, $\alpha=45^\circ$ and 90° .

Rapport R35:1970

VINDTUNNELUNDERSÖKNING AV TRYCKFÖRDELNINGEN PÅ ETT PLANT
TAK MED VARIERAD TAKKANTUTFORMNING

WIND TUNNEL INVESTIGATION OF THE PRESSURE DISTRIBUTION
ON A FLAT ROOF WITH DIFFERENT EDGE PROFILES

av civilingenjör Bengt Wirén, Flygtekniska institutionen, KTH

Särtryck av KTH AERO RAPPORT FI 42, Flygtekniska institutionen,
KTH

Rapporten avser anslag nr C516:1-2 från Statens råd för bygg-
nadsforskning till Flygtekniska institutionen, KTH

Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm

Rotobekman, Stockholm 1970 10 8535 0

<u>^xINNEHÅLL</u>	Sid
BETECKNINGAR	4
1. INLEDNING	6
2. MARKGRÄNSSKIKT I NATUREN OCH DESS SIMULERING I VINDTUNNEL	
2.1 Markgränsskikt i naturen	7
2.2 Inflytande av markgränsskiktet på vindlaster på byggnader	9
2.3 Gränsskikt i vindtunnel	10
2.3.1 Allmänt	10
2.3.2 Gränsskiktssimulering vid föreliggande undersökning	11
3. MODELLBESKRIVNING	12
4. MÄTMETODIK	
4.1 Allmänt	13
4.2 Datainsamlingssystem	14
5. FÖRSÖKSPROGRAM OCH REFERENSDATA	14
6. RESULTAT	
6.1 Bearbetning	16
6.2 Presentation	16
6.3 Analys	17
6.3.1 Strömningens mekanik	17
6.3.11 Anblåsningsvinklar $\alpha = 0 - 15^\circ$ och $75 - 90^\circ$	18
6.3.12 Anblåsningsvinklar $\alpha = 30 - 60^\circ$	18
6.3.2 Inverkan av takkantens utformning	19
6.3.3 Inverkan av markgränsskiktets tjocklek	21
6.3.4 Inverkan av byggnadens längd/höjdförhållande	22
6.3.5 Jämförelse med vindlastnormerna i BABS 1967	23
6.4 Slutsatser	23
6.4.1 Sammanfattning av resultat	23
6.4.2 Förslag till fortsatt resultatbearbetning	24
6.4.3 Förslag till fortsatta prov	24
REFERENSER	25
TABELLER	27
BILAGA I Tabeller över lokala c_p -värden. (I separat band.) ^{xx}	

^x I originalrapporten (Aero Rapport FI 42) ingår en sammanfattning som uteslutits här.

^{xx} Kan rekvireras från Flygtekniska institutionen, KTH, 100 44 Stockholm 70.

BETECKNINGARAerodynamiska storheter

p	statiskt tryck på modellytan	$[kp/m^2]$
p_∞	statiskt tryck i friströmmen	$[kp/m^2]$
$V(y)$	lufthastighet i markgränsskiktet	$[m/s]$
V_∞	lufthastighet i friströmmen	$[m/s]$
ρ	luftens täthet	$[kg/m^3]$
q	dynamiskt tryck i friströmmen ovanför modellen, se fig 3, sid 48	$q_\infty = \frac{\rho V_\infty^2}{2}$ $[kp/m^2]$
q_{ref}	dynamiskt tryck på höjden $y = H$, utan modell i vindtunneln, referens-tryck för tryckkoefficient	$q_{ref} = \frac{\rho V(H)^2}{2}$ $[kp/m^2]$
c_p	tryckkoefficient, lokal	$c_p = \frac{p - p_\infty}{q_{ref}}$
$c_{p_{med}}$	tryckkoefficient, medelvärde	$c_{p_{med}} = \frac{1}{S} \int_S c_p dS$
δ	markgränsskiktets höjd vid modellens plats ($x = 2780$ mm, se fig 3, sid 48)	$[mm]$
n	inverterade värdet av exponenten i potensansats för vindhastighetens höjdfördelning	$\frac{V}{V_\infty} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^{1/n}$
k_H	faktor för reduktion av q med hänsyn till gränsskiktprofilen,	$k = \frac{q_{ref}}{q_\infty}$
α	anblåsningsvinkel, definierad i fig 6 a, sid 51	$[mm]$

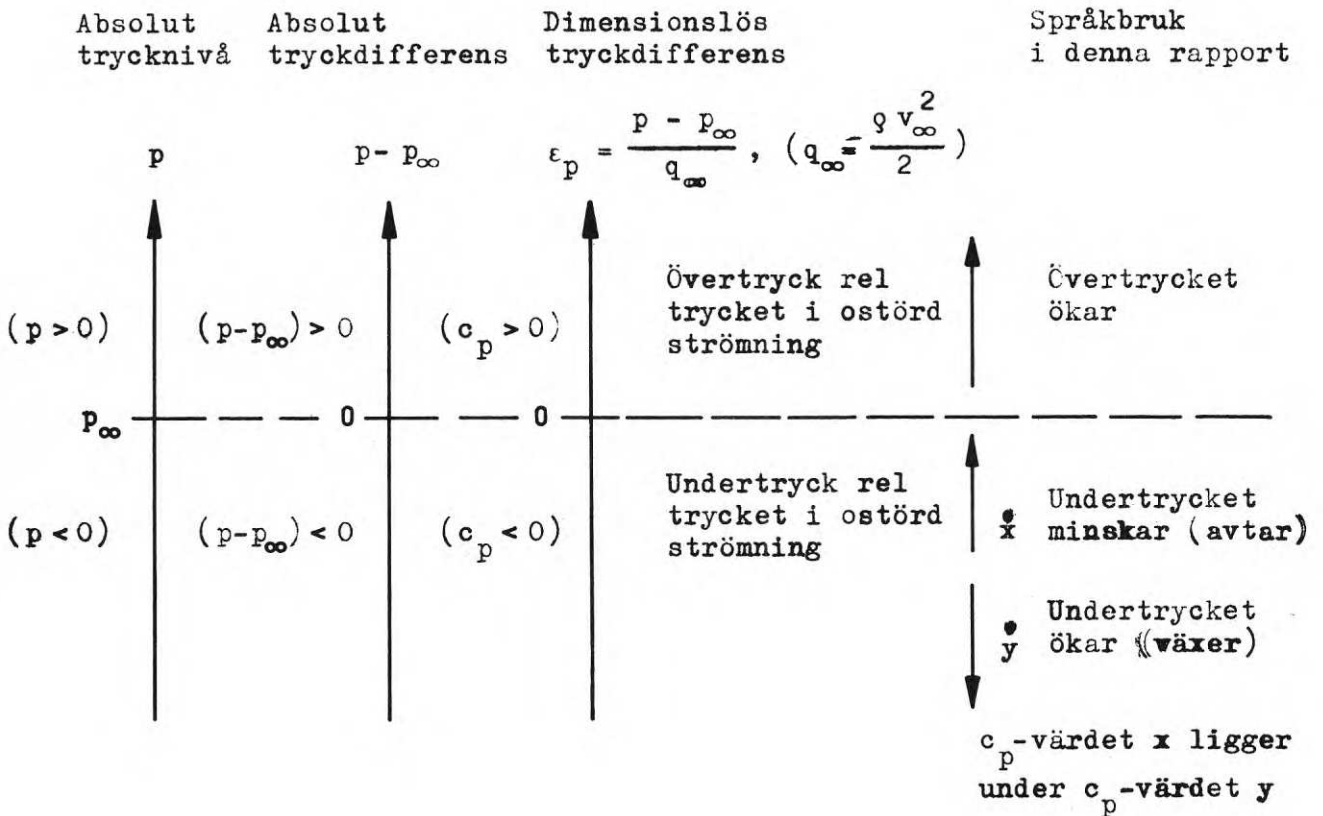
Geometriska storheter

x	koordinat i friströmriktningen, se fig 3.	$[mm]$
y	koordinat vinkelrätt mot markplanet	$[mm]$
B	modellens bredd	} se fig 5 sid 50
H	" höjd	
L	" längd	
		$[mm]$

h	höjd på störlist för gränsskiktgenerering	} Se fig 3 sid 48 }	} [mm]
d	hål diameter i störlist för gränsskiktgenerering		
Ψ	störlistens porositet = hålarea/total skärmarea, se fig 3.		

Beteckningar på modellkonfigurationer och delytor på taket framgår av fig 5, sid 50, resp fig 7, sid 52.

Förtydligande av visst språkbruk beträffande ändringsriktning av undertryck, använt i denna rapport.



p = absolut tryck i en punkt på ytan av en omströmmad kropp

p_∞ = absolut tryck i en punkt av strömningen på stort avstånd från kroppen (i ostörd strömning i friströmningen)

1. INLEDNING

Vid bestämning av den statiska vindlasten på ett plant tak skall man enligt de svenska byggnormerna [1] räkna med ett över taket fördelat undertryck, som för större delen av taket är av måttlig storlek, men inom en randzon utefter takkanterna antar avsevärt förhöjda värden. Trots den begränsade utsträckningen av randzonerna kan dessa höga undertryck bereda konstruktören svårigheter, och det är därför motiverat att genom modifiering av takkanten söka minska den uppåtriktade vindlasten över dessa delar av taket. Byggnormerna ger härvidlag ej någon vägledning, varför problemet gjorts till föremål för en vindtunnelundersökning, vars resultat redovisas i föreliggande rapport. Proven har utförts i KTH 2,1 × 1,5 m låghastighetsvindhudtunnel med en blockformad husmodell, vars geometri är representativ för en modern industribyggnad. Problematiken har tidigare belysts genom preliminära prov i samband med laborationer vid Flygtekniska Institutionen, KTH, [10], men har, såvitt känt, ej studerats systematiskt varken i Sverige eller utomlands.

Den strömningstekniska bakgrunden till takkantprofilens inflytande på tryckfördelningen över taket är att strömningsförloppet nära takkanten radikalt förändras genom en rundning av kanten, varvid rundningsradiens storlek har stor betydelse. Detta gäller vid alla vindriktningar, men är speciellt markerat vid vissa anblåsriktningar.

Undersökningen av takkanteffekterna har kompletterats med två försök av orienterande karaktär, som avser att belysa inflytandet på takets tryckfördelning av dels förhållandet mellan modellängd och modellhöjd, dels förhållandet mellan markgränsskiktets tjocklek och modellens höjd.

Den förra effekten har studerats utomlands, men endast ett fåtal av undersökningarna, bl a [15], har varit systematiskt upplagda, och försöksresultaten är ej presenterade i sådan form att de kan jämföras med de tryckmedelvärden för olika delytor på taket som anges i de svenska vindlastnormerna. Eftersom dessa normvärden ej är differentierade med hänsyn till byggnadens geometriska proportioner, har det ansetts lämpligt att i föreliggande undersökning belysa denna effekt.

Inflytandet på takvindlasten av markgränsskiktets tjocklek i förhållande till modellens höjd är av betydelse när det gäller att bedöma giltigheten i fullskala av resultat från tryckmätningar på en vindtunnelmodell. Inom det gränsskikt som utbildas över marken vid naturlig vind ökar lufthastig-

heten från noll vid markytan till ett konstant värde på viss höjd. Denna höjd beror, liksom hastighetsfördelningen i gränsskiktet, av vindstyrkan samt av markytans struktur, och är i regel av sådan storlek att gränsskiktet ej kan efterbildas skalenligt vid modellprov i vindtunnel. Det är därför av intresse att undersöka i vilken grad tryckfördelningen på en byggnadsmodell påverkas av gränsskiktets höjd inom de gränser som kan realiseras i en vindtunnel. Hittills har såvitt känt endast en sådan undersökning utförts, [14], avseende tryckfördelningen på en kub vid gränsskikt-höjder upp till sex gånger modellhöjden.

2. MARKGRÄNSSKIKT I NATUREN OCH DESS SIMULERING I VINDTUNNEL

2.1 Markgränsskikt i naturen

Det markgränsskikt som på grund av luftens viskositet och friktion mot markytan utbildas vid naturlig vind karakteriseras av en viss höjd, en viss fördelning i höjddel av vindens medelhastighet över tid och viss turbulensstruktur (energispektrum, intensitet, längdskala i olika höjds-skikt). Dessa parametrar är beroende av markytans beskaffenhet, den lokala topografien, lokala väderleksförhållanden och klimatsituationen i stort.

Gränsskiktets höjd kan variera inom vida gränser, från 200 - 300 m över hav och jämn terräng till 600 - 1000 m över stadsbebyggelse. Inom gränsskiktet kan åtminstone två regioner särskiljas, nämligen

1. ett ytskikt som sträcker sig från markytan upp till ca 10 m höjd och som kännetecknas bl a av konstant medelvindriktning och logaritmisk vertikal fördelning av vindhastighetens tidsmedelvärde.
2. det s k Ekmanskiktet, som utgör gränsskiktets övre del och inom vilket medelvindriktningen på grund av jordens rotation ändras med ökande höjd.

Den momentana vindhastigheten i en viss punkt i gränsskiktet kan tänkas sammansatt av en tidsmedelhastighet och på denna överlagrade hastighetsfluktuationer med olika tidsutsträckning (frekvens) och amplitud.

Medelhastighetens fördelning i höjddled är inte densamma i ytskiktet och Ekmanskiktet, men kan över hela gränsskikthöjden approximeras med en potensfunktion

$$\frac{V}{V_G} = \left(\frac{y}{\delta}\right)^{\frac{1}{n}}$$

där V = medelvindhastigheten på höjden y

V_G = den sk geostrofiska vindhastigheten vid gränsskiktets övre gräns ($y = \delta$; δ är av storleksordningen 200 - 1000 m, se ovan)

n = en konstant vars värde beror av markytans beskaffenhet ($n = 2,5 - 10$)

De turbulenta hastighetsfluktuationerna är av stokastisk natur och kan därför endast beskrivas i statistiska termer. I fig 10 sid 56, visas ett typiskt energispektrum för horisontell vind i gränsskiktets nedre del. Ett sådant spektrum kan med avseende på fluktuationernas tids (längd)-skala uppdelas i två områden: ett makroområde med storskaliga rörelser på grund av tryckdifferenser i atmosfären ovanför gränsskiktet och ett mikroområde med vindbyar och småskalig turbulens som huvudsakligen är orsakade av markytans råhet och topografi. Som framgår av figuren är större delen av energin koncentrerad till vissa frekvensområden, dvs till luftrörelser som i medeltal återkommer med vissa tidsintervall. Inom mikroområdet finns en sådan energitopp vid frekvensen $n \approx 40$ per/tim (ca 1,5 min intervall) och inom makroområdet vid frekvenserna $n = 0,08$, 10^{-2} och 10^{-4} per/tim, dvs med intervallen 12 tim, 4 dagar och 1 år. Det bör betonas att dessa värden är statistiska medelvärden, baserade på ett stort antal mätningar utförda under lång tid och sålunda ej representativa för den verkliga vindstrukturen vid en viss tidpunkt på en viss ort och höjd.

Turbulensintensiteten i longitudinell (i_u), lateral (i_v) eller vertikal (i_w) led, definierad som förhållandet mellan resp turbulenta hastighetskomponents standardavvikelse och vindens medelhastighet, varierar med höjden över marken och med den vertikala temperaturfördelningen i gränsskiktet. För neutralt termiskt tillstånd, dvs konstant temperatur i gränsskiktet, gäller i stort följande beträffande intensitetens storlek [2], [3], [4], [5]:

- De longitudinella och laterala intensiteterna är av samma storleksordning, $i_u \approx i_v = 0,15$ a $0,20$ och varierar obetydligt med medelvindhastigheten och höjden över marken upp till ca 30 m höjd.

- Den vertikala intensiteten är oberoende av medelvindhastigheten upp till ca 60 m höjd och av höjden, men varierar kraftigt med markytans råhetsgrad. Storleksordningen är $i_w \approx 0,10$ för jämn terräng, $i_w \approx 0,20$ för kuperat skogslandskap.

Turbulensens längdskalor, l_u , l_v och l_w , som är ett mått på vindbyarnas utsträckning i longitudinell, lateral resp vertikal led, varierar med medelvindhastigheten ($l = \text{konst} \cdot \bar{u}$), med höjden över marken och med temperaturfördelningen i gränsskiktet. Längdskalan för en viss turbulenskomponent (u) definieras därvid medelst

$$l_u = \int_0^{\infty} \frac{\overline{u(x) u(x+r)}}{\sqrt{\overline{u^2(x)} \cdot \overline{u^2(x+r)}}} dx$$

där $\overline{\quad}$ anger tidsmedelvärde.

För neutral temperaturskiktning gäller [3], [6], [7]:

- De longitudinella och laterala längdskalorna är av samma storleksordning och ges approximativt av sambandet $l_u \approx l_v \approx 3z$ där z är höjden över marken, för höjder upp till ca 100 m.
- Den vertikala längdskalan ges för höjder upp till ca 100 m höjd approximativt av $i_w \approx 0,5 z$.

Vindstrukturen i det atmosfäriska gränsskiktet är sålunda relativt väl kartlagd. Dess inflytande på strömningen kring byggnader samt möjligheterna att vid vindtunnelprov simulera ett givet markgränsskikt behandlas i följande kapitel.

2.2 Inflytande av markgränsskikt på vindlaster på byggnader

Såväl den vertikala medelhastighetsgradienten som turbulensen i det naturliga markgränsskiktet påverkar strömningen kring byggnader.

Inflytandet av en vertikal hastighetsgradient på strömningen över en vindexponerad vägg exemplifieras av fig 11 sid 57, som avser strömningen och tryckfördelningen över en vinkelrätt anblåst vägg med stort sidoförhållande men i princip gäller även för andra anblåsningsriktningar och mindre sidoförhållanden. En analys av strömningsmekanismen i dessa fall, med och

utan hastighetsgradient, lämnas i [16]. Strömningsbilden och tryckfördelningen över lovartväggar och tak är beroende av gradientens storlek (medelhastighetsprofilen), men systematiska undersökningar av denna effekt har såvitt känt ej utförts.

De hastighets- och riktningsfluktuationer som uppträder i turbulent vind kan t ex initiera svängningar i strukturer med liten styvhet och /eller låg dämpning (master, torn, skorstenar, hängbärverk) och - vid storskalig turbulens - ge upphov till stora tryckfluktuationer över byggnader eller byggnadsytor.

Det är med hänsyn till ovan nämnda effekter önskvärt att vid byggnadsaerodynamiska modellprov i vindtunnel om möjligt skalenligt simulera de egenskaper hos markgränsskiktet som är av betydelse för det aktuella provet.

2.3 Gränsskikt i vindtunnel

2.3.1 Allmänt

Det naturliga friktionsskikt som utbildas t ex över golvet i en medelstor vindtunnel av konventionell typ, dvs med relativt kort mätsträcka, har i mätsträckan ett par meter från inloppsändan en tjocklek av storleksordningen 50 mm och en hastighetsprofil som ansluter till potensfunktionen i pkt 2.1 ovan med $n = 7$ à 8 . Om detta gränsskikt skulle representera ett atmosfäriskt gränsskikt med höjden 500 m, bleve längdskalan vid modellproven ca 1:10000, innebärande t ex att en 30 m hög byggnad skulle representeras av en 3 mm hög modell. En sådan modellstorlek är av mättekniska skäl oacceptabel. Ett tjockare gränsskikt kan åstadkommas i vindtunneln genom något hinderarrangemang i mätsträckans inloppsdel; gränsskikt tjockleken kan därigenom, i en konventionell vindtunnel av medelstorlek, ökas till exempelvis 300 à 400 mm, vilket ger en modellskala på ca 1:1500. Även denna skala är dock för liten för att medge god mätnoggrannhet t ex vid tryckmätningar.

Man kan komma förbi denna svårighet genom att skalenligt efterbilda endast den nedre delen av gränsskiktets medelhastighetsprofil, upp till ca 2 à 3 gånger modellens höjd, och räkna med att inflytandet av hastighetsgradienten ovanför denna höjd är försumbart, eller genom att utföra försöken med ett gränsskikt med utbildad hastighetsprofil men icke-skalenlig höjd.

Turbulens med en medelstruktur som liknar den naturliga vindens med avseende på intensitetsfördelning, turbulensskala och energispektrum kan genereras i vindtunnel, men hittills redovisade försök har endast utförts i mycket liten skala, ca 1:4000 [8],[9]. Vid större längdskala torde de storskaliga hastighets- och riktningsfluktuationerna vara svårare att åstadkomma. Detta är ett område där den byggnadsaerodynamiska försökstekniken behöver utvecklas.

2.3.2 Gränsskiktssimulering vid föreliggande undersökning

Större delen av undersökningen har utförts med ett på konstlad väg genererat gränsskikt med en höjd δ ungefär lika med dubbla modellhöjden H . För att få en uppfattning om gränsskikthöjdens inverkan på tryckfördelningen på taket har vid några modellkonfigurationer och anblåsningens riktningar prov utförts med andra gränsskikthöjder motsvarande $\delta/H = 0,46$ (naturligt plattgränsskikt), 1,2 och 3,2.

Arrangemanget för generering av de förtjockade gränsskikten framgår av fig 3 sid 48. På den 'markplatta' på vilken modellen varit monterad har ett stycke framför modellen placerats ett strömningshinder i form av en vertikal plåt med cirkulära hål med jämn delning i horisontell och vertikal led. Plåten spänner över mätsträckans hela bredd.

Plåtens höjd h och håldiameter d samt dess läge uppströms om modellen har varierats för att vid modellens plats ge gränsskikt med olika höjd men med likartade hastighetsprofiler.

Data för de olika störplåtarna, deras läge i förhållande till modellen samt motsvarande gränsskiktdata ges i fig 3.

De olika gränsskiktprofilerna, vid modellens plats men utan modell i tunneln, har uppritats i fig 9 sid 53-55 i följande former:

- Fig 9 a. Dimensionslösa (normerade) profiler ($V/V_{\infty} = f(y/\delta)$) med linjära skalor för V/V_{∞} och δ/y .
- Fig 9 b. Dimensionslösa (normerade) profiler ($V/V_{\infty} = f(y/\delta)$) med logskalor för V/V_{∞} och δ/y .

En profil som ansluter till en potensfunktion enl pkt 2.1 ovan representeras i ett dylikt koordinatsystem av en rät linje, vars lutning är lika med exponenten n i potensfunktionen.

- Fig 9 c. Dimensionsbehäftade profiler ($v = f(y)$).

Som framgår av fig 9 c ansluter profilerna för de tre tunnare gränsskikten, motsvarande $\delta/H \approx 0,46, 1,2$ och $2,1$, relativt väl till en potensfunktion med $n \approx 7,4, 7,4$ resp $8,3$. Profilen för det tjockaste gränsskiktet, $\delta/H \approx 3,2$, kan anses sammansatt av två potensprofiler med en brytpunkt vid $y/\delta \approx 1,5$, motsvarande $y=45$ mm, dvs vid modellens halva höjd. Orsaken härtill har ej klarlagts vid försöken.

Resultat från tidigare preliminära försök, utförda vid KTH med ett liknande arrangemang med störplåtar med ungefär samma porositet, redovisas i [11]. Vid dessa försök uppmättes medelhastighetsfördelningen i tre stationer på avstånden $x_1 = 2,30, 3,10$ och $3,90$ m från störplåten, motsvarande $x_1/H \approx 79, 107$ resp 134 . Därvid konstaterades att gränsskiktprofilerna i de tre mätstationerna visade god överensstämmelse. Man kan härav dra slutsatsen att gränsskiktprofilen vid föreliggande undersökning har varit tillräckligt stationär i strömningsled.

Den naturliga vindens turbulensstruktur har ej simulerats vid föreliggande undersökning och turbulensstrukturen i vindtunnelns gränsskikt har ej bestämts.

3. MODELLBESKRIVNING

De undersökta modellkonfigurationerna bestod av en blockformad huskropp med väggar och tak av 5 mm mässingplåt, monterade på en bottenplatta av trä med ett centralt placerat grovt rör för genomföring av tryckslangarna från taket. Röret var lagrat i en bussning i markplattan för att medge vridning av modellen relativt vindriktningen. Takkanterna utgjordes av utbytbara mässinglister med olika profiler, identiska för alla fyra takkanterna. Samtliga fogar på modellen och mellan modellen och markplattan var tätade vid försöken.

Två stycken grundmodeller av huskroppen har undersökts, båda med höjden $H = 95$ mm och längd/breddförhållandet $L/B \approx 2$, men med olika längd/höjdförhållanden L/H (konf K 11 och K 13-18 med $L/H \approx 8,4$ samt konf K 12 med $L/H = 4,2$). Modelldimensioner och takkantprofiler vid olika modellkonfigurationer framgår av fig 5 sid 50.

För tryckmätningen har 240 st tryckhål tagits upp i taket. Vid de större modellkonfigurationerna, konf K 11 samt K 13-18, utgör mätytan en fjär-

dedel av taket, se fig 5 sid 50. Vid den mindre modellkonfigurationen, konf K 12, bildar mätytan hela taket. Tryckhålen är placerade så att en bestämning av medelvindlasten över delytor som överensstämmer med de i BABS 67 använda underlättas, se fig 6-7 sid 51-52.

Modellen har vid försöken varit placerad på en separat "markplatta" monterad ett stycke över vindtunnelns golv och försedd med ställbar bakkantklaff för kompensering av den osymmetriska blockering av strömningen i mätsträckan över och under markplattan som anordningen annars ger upphov till. Modellarrangemanget framgår av fig 2 och 3, sid 47-48.

4. MÄTMETODIK

4.1 Allmänt

Vid undersökningen har den statiska vindlasten på takets översida bestämts genom mätning av det statiska trycket i ett stort antal punkter på takytan. Dessa tryck redovisas i dimensionslös form såsom tryckkoefficienter (formfaktorer), definierade enligt

$$c_p = \frac{p - p_\infty}{q_{ref}}$$

där p = lokala statiska trycket på takytan

p_∞ = statiska trycket i friströmmen i vindtunneln, motsvarande atmosfärtrycket i fullskala

q_{ref} = dynamiska trycket (hastighetstrycket) på en höjd över markplanet = takhöjden H vid den aktuella gränsskiktprofilen vid modellens plats men utan modell.

Vid undertryck (sugkraft) på taket är $c_p < 0$.

p har bestämts med hjälp av ett statiskt tryckuttag i mätsträckans vägg, mitt för modellen, och q_{ref} har erhållits ur sambandet

$$q_{ref} = k_H \cdot q_\infty$$

där k_H = en för varje gränsskiktprofil karakteristisk faktor, definierad som

$$k_H = \left(\frac{V(H)}{V_\infty} \right)^2 \quad \text{Se fig 9 a, sid 53.}$$

q_∞ = dynamiska trycket i friströmmen, mätt med Prandtl-rör i en punkt ovanför modellen, se fig 3, sid 48.

Vid den större grundmodellen (konf K 11 samt K 13-18) utgör mätytan endast $1/4$ av hela takytan. För att trots detta kunna mäta tryckfördelningen över hela taket vid en viss nominell anblåsningsriktning α har mätningar i dessa fall fått utföras med modellen i fyra, vid de symmetriska anblåsningfallen två lägen, se fig 8 sid 52.

4.2 Datainsamlingssystem

Systemet för mätning och registrering av storheterna p , p_{∞} och q_{ref} innehöll följande komponenter, se även fig 4 sid 49.

1. 6 st tryckluftmanövrerade slangklämmor för vardera 40 slangar från modellens tryckhål.
2. 1 st tryckomkopplare typ Scanivalve, med tryckgivare.
3. Datainsamlingsenhet, typ Saab 550, för styrning av tryckomkopplaren och analog-digital omvandling av den primära mätsignalen från tryckgivaren.
4. 1 st xy-skrivare för analog registrering.
5. 1 st remsstans
6. 1 st skrivmaskin med remsläsare.

Analogsignalen från tryckgivaren gick dels till xy-skrivaren för preliminär kontroll av tryckmätutrustningens funktion under mätförloppet, dels till datainsamlingsenheten för analog-digital omvandling och utskrift på hålremsa i Telex-kod. Efter varje mätserie skrevs resultatet från hålremsan ut på skrivmaskin för slutlig kontroll av mätsystemets funktion.

5. FÖRSÖKSPROGRAM OCH REFERENSDATA

Försöken har omfattat dels tryckmätningar på 8 st modellkonfigurationer vid olika anblåsningvinklar och gränsskiktprofiler enligt nedanstående program, dels strömningsvisualisering med rök och färg. Tyngdpunkten har lagts på undersökning av effekten av takkantutformningen vid $\delta/H = 2,1$. Tryckmätningarna har utförts vid vindhastigheten $V \approx 28$ m/s, strömningsvisualiseringen vid $V \approx 15$ m/s.

Tablå över försöksprogram

Modell-konf	Gränsskikt kodnr	δ/H	α°
K 11	G 10	0,46	45, 90
	G 11	1,2	45, 90
	G 12	2,1	0, 15, 30, 40, 45, 50, 60, 75, 90
	G 13	3,2	45, 90
K 12	G 10	0,46	0, 45, 90
	G 11	1,2	0, 45, 90
	G 12	2,1	0, 15, 30, 40, 45, 50, 60, 75, 90
	G 13	3,2	0, 45, 90
K 13	G 10	0,46	45, 90
	G 12	2,1	0, 15, 30, 45, 60, 75, 90
K 14	G 10	0,46	45, 90
	G 12	2,1	0, 15, 30, 45, 60, 75, 90
K 15	G 10	0,46	45, 90
	G 12	2,1	0, 15, 30, 45, 60, 75, 90
K 16	G 10	0,46	45, 90
	G 12	2,1	0, 15, 30, 45, 60, 75, 90
K 17	G 10	0,46	45, 90
	G 12	2,1	45, 90
K 18	G 10	0,46	45, 90
	G 12	2,1	45, 90

6. RESULTAT

6.1 Bearbetning

Det primära resultatmaterialet omfattar c:a 45000 mätvärden, dels stansade på remsor för behandling i datamaskin, dels utskrivna i klartext i tabellform.

Databehandlingen, som utförts i IBM 360/75 vid Stockholms Datacentral, har avsett

1. Omräkning av samtliga lokala tryckvärden till dimensionslösa tryckkoefficienter, c_p .
2. Beräkning av c_p -medelvärden för dels hela taket, dels olika delytor enligt fig 7, sid 52, varvid ytorna valts så att de överensstämmer med normytorna i BABS 1967, fig 21:63234, [1]; se även fig 31 sid 84.

Effekten på trycknivån av modellens blockering av mätsträckan har korri-gerats för genom att det dynamiska friströmstrycket q_{∞} har mätts ovanför modellen. Som jämförelse kan noteras att blockeringskorrektionen i föreliggande fall, om i stället det dynamiska trycket i den icke-blockerade delen av mätsträckan hade valts som friströmstryck, skulle uppgått till ca 2% [13].

Ramen för undersökningen har ej medgivit en så långt driven bearbetning att resultatet kan presenteras i form av isobarkartor eller tryckfördelningsdiagram för varje mätsnitt, vilket med hänsyn till åskådligheten och lokaliseringen av extremvärden varit önskvärt. Dylik redovisning av mätresultatet avses därför om möjligt ske i en kommande rapport.

6.2 Presentation

Undersökningens resultat redovisas på följande sätt:

- | | |
|--|----------------------|
| - Tabeller över samtliga lokala c_p -värden | Bilaga I |
| - Tabeller över medel- och extremvärden av c_p för olika delytor | Tabell 1, sid 27- 45 |
| - Strömningsbilder, konf K 11 och K 12, $\alpha = 40^\circ$ | Fig 13 , " 59 |
| - c_p -fördelningar över några olika mätsnitt | " 14-21, " 60- 67 |

- Orter för c_p -minima i varje mätsnitt för några modellkonfigurationer vid olika värden på δ/H och α	Fig 22	sid 68-69
- Diagram över tryckkoefficientens extremvärde som funktion av α	23	70
- Tabell över takkantutformningens inflytande på undertryckets extremvärde	24	71
- Diagram över c_p -medelvärden för olika delytor som funktion av α vid $\delta/H = 2,1$	25	72-78
- Tabell över takkantutformningens inflytande på undertryckets medelvärde för takets delytor	26	79
- Diagram över c_p -medelvärden för olika delytor som funktion av δ/H vid $\alpha = 45^\circ$ och 90°	27-29,	80-82
- Diagram över några lokala c_p -värden som funktion av δ/H vid $\alpha = 45^\circ$ och 90°	30	83
- Diagram över inflytandet av randzonens bredd på undertryckets medelvärde i randzonen	32	85

6.3 Analys

6.3.1 Strömningstyper

Tryckfördelningen över ett plant tak bestäms väsentligen av strömningförloppet vid takets lovartkanter, vilket i sin tur är beroende av anblåsningvinkeln, takkantens utformning, huskroppens längd-bredd-höjdförhållande samt markgränsskiktets höjd och medelhastighetsfördelning.

Med hänsyn till anblåsningvinkeln kan två strömningstyper särskiljas, nämligen de som erhålles vid anblåsning vinkelrätt eller nära vinkelrätt mot en av sidoväggarna - $0^\circ < \alpha < 15^\circ$ och $75^\circ < \alpha < 90^\circ$ - resp vid anblåsning i vinkelområdet $30^\circ \lesssim \alpha \lesssim 60^\circ$.

Under pkt 6.3.11 och 6.3.12 nedan redogöres allmänt för dessa strömningstyper samt diskuteras schematiskt inflytandet på strömningen över takkanten av de parametrar som varierats vid försöken. En utförligare redogörelse för dessa effekter lämnas under pkt 6.3.2 - 6.3.4.

6.3.11 Anblåsningvinklar $0^\circ < \alpha < 15^\circ$ och $75^\circ < \alpha < 90^\circ$

Om takkanten är skarp avlöses strömningen vid lovartkanten och ett dödluftområde med stor utsträckning i strömningsriktningen utbildas, inom vilket undertrycket är nära konstant och av måttlig storlek, se fig 18, sid 64, konf K 11. En minskning av gränsskikthöjden påverkar ej tryckfördelningens karaktär, men medför en sänkning av undertryckets nivå över takets yttre lovartdel. För att klarlägga orsaken till denna effekt har strömningen över modellens lovartvägg och takkant visualiserats med hjälp av färgemulsion på en vertikal platta i modellens symmetrisnitt, parallell med friströmriktningen, se fig 12, sid 58. Av strömningsbilderna framgår att det tjockare gränsskiktet ger upphov till en kraftigare förträngning av strömlinjerna över avlösningens område framre del och därmed en högre lufthastighet och ett lägre statistiskt tryck, dvs större undertryck, i denna del av strömningsfältet.

Om takkanten är rundad med en viss minsta radie blir strömningen anligande över takets lovartkant och tryckfördelningen kännetecknas av en kraftig sugning nära kanten och ett brant avtagande undertryck över takets inre del, se fig 18, konf K 16. Strömningen påverkas i detta fall ej nämnvärt av gränsskiktets höjd.

Det ovan förda resonemanget gäller för området kring modellens symmetriplan. Mot ändarna av taket får tryckfördelningen delvis en annan karaktär på grund av omströmningen kring de med strömningsriktningen parallella kanterna, jämför fig 18 och 19, sid 64 - 65. Tryckets variation utmed två mot vindvektorn vinkelräta mätsnitt, nära takets lovartkant och i modellens symmetriplan, framgår av fig 20 och 21, sid 66-67.

6.3.12 Anblåsningvinklar $30^\circ < \alpha < 60^\circ$

Om takkanten är skarp avlöses strömningen vid de mot vinden vända takkanterna. Det virvelskikt som utbildas längs gränssytan av den avlösta strömningen utmed vardera takkanten rullas upp till en koncentrerad virvel, utgående från takets lovarthörn. Vardera virvelbanan bildar ca 15° vinkel med respektive takkanter. Under varje virvel är strömningshastigheten stor, vilket medför stora undertryck på takytan längs virvelbanan, se fig 15 - 17, sid 61-63, konf K 11 och K 12. Effekten är mest markant vid $\alpha = 45^\circ$, se fig 16.

Om takkanten fasas eller rundas minskar virvelstyrkan och därmed även det undertryck som induceras under virveln, se fig 16, konf K13 och K14. Vid en viss minsta rundningsradie undertrycks virvelbildningen helt och strömningen blir anliggande med den för denna strömningstyp karakteristiska sugtoppen nära takkanten, se fig 15 - 17, konf K16.

Virvelsystemet har vid försöken visualiserats med rök och med färgemulsion på takytan, se fig 13 sid 59.

Virvlarnas läge återspeglas även i läget av orten för tryckminima i olika mätsnitt på taket, se fig 22, sid 68-69.

I det följande granskas närmare inflytandet av de parametrar som varierats vid försöken på tryckets medel- och extremvärden för olika delytor på taket.

6.3.2 Inflytande av takkantens utformning

En fasning eller rundning av takkanten ger för vissa vindriktningar (α -områden) en minskning av undertryckets medelvärde över flertalet av de i fig 7 sid 52 definierade delytorna, men ger i andra α -områden en ökning av detta medelvärde, se fig 25 a-q, sid 72-78, samt tablån i fig 26, sid 79. Dessa effekter ökar med ökande fasnings-(rundnings)-grad.

Minskningen av medeltryckets medelvärde är mest markerad i följande fall:

- delyta D 4 vid $30^\circ < \alpha < 60^\circ$, varvid minskningen maximalt uppgår till $\Delta C_{p_{med}} \approx 0,35$ (ca 40%). Minskningen beror på att kantvirveln över taket, som enligt pkt 6.3.12 ovan medför en till kantzonen lokaliserad sugkraft, försvagas på grund av modifieringen av takkanten, se fig 16 sid 62.
- delyta D 5 vid $60^\circ < \alpha < 90^\circ$; maximala minskningen är $\Delta C_{p_{med}} \approx 0,3$ (ca 50%). Minskningen beror på att strömningen - vid fasad och rundad kant - är anliggande över hela eller större delen av takets inre lovartdel, vilket medför ett lägre undertryck än då strömningen är avlöst, se fig 18, sid 64.
- delyta D 7 vid $15^\circ < \alpha < 90^\circ$; maximala minskningen är $\Delta C_{p_{med}} \approx 0,3$ (50%). Orsaken till denna minskning är densamma som vid delyta 5, se ovan.

Ökningen av undertryckets medelvärde är mest markerad i följande fall:

- delyta D 4 vid $75^\circ < \alpha < 90^\circ$; maximala ökningen är $\Delta C_{p_{\max}} \approx 0,15$ (ca 20%). Ökningen beror på den ändring av strömningsförloppet över kantytan som åtföljer en fasning eller rundning av takkanten och som lokalt ger upphov till ett kraftigt undertryck, särskilt vid kanten med den större radien, konf K 16, se fig 18 sid 62.
- delyta D 6 vid $50^\circ < \alpha < 90^\circ$; maximala ökningen är $\Delta C_{p_{\max}} \approx 0,2$ (ca 30%). Orsaken till denna ökning är densamma som vid delyta D 4, se ovan.

Undertryckets extremvärden, dvs storleken av lokalt uppträdande sugtoppar, minskar avsevärt genom fasning eller rundning av takkanten vid vindriktningar $15^\circ < \alpha < 75^\circ$, men ökar för α nära 0 och 90° , se fig 23, sid 70, samt tablån i fig 24, sid 71. Dessa effekter är mera markerade ju större fasningen eller rundningen är. Samtliga uppmätta extremvärden ligger inom randzonen på taket, delyta D 4, dvs på den yta för vilken BABS 1967 föreskriver en överlagrad "rörlig last".

Den största minskningen av undertryckets extremvärde erhålles i α -området $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ till följd av att kantvirvlarna försvagas eller helt undertrycks genom modifieringen av takkanten. Minskningen är mest markerad vid $\alpha = 30^\circ$ och uppgår då till $\Delta C_{p_{\text{extr}}} \approx -3,0$ (ca 65%) vid fasad kant och $\Delta C_{p_{\text{extr}}} \approx -3,2$ (ca 70%) vid rundad kant.

Ökningen av undertryckets extremvärde vid anblåsning vinkelrätt mot modellens lång- eller kortsida beror på att den fasade eller rundade takkanten ger anliggande strömning över kanten och därmed en kraftig lokal sugtopp. Ökningen uppgår vid $\alpha = 0^\circ$ till $\Delta C_{p_{\text{extr}}} \approx 0,3$ (ca 30%) för den fasade kanten och $\Delta C_{p_{\text{extr}}} \approx 0,7$ (ca 70%) för den rundade kanten. Motsvarande ökning vid $\alpha = 90^\circ$ är $\Delta C_{p_{\text{extr}}} \approx 0,45$ (ca 40%) resp 0,70 (ca 65%).

Som framgår av fig 5 sid 50, har trycket ej mätts på de fasade och rundade kantprofilerna. En bestämning av trycket över dessa ytor hade visserligen varit önskvärd men kunde av modelltekniska skäl ej utföras i denna undersökning. Över den rundade kanten uppträder med säkerhet undertryck som är avsevärt högre än det största uppmätta undertrycket nära kanten av mätytan, medan undertrycket på de övriga kanttyperna sannolikt är av ungefär samma storlek som det största uppmätta värdet. För ström-

ningen kring en slät rundad kant har man anledning räkna med en Reynolds'-taleffekt på analogt sätt som för strömningen kring en cirkulär cylinder.

De omslagsanvisningar i form av tunn pianotråd, se fig 5, sid 50, som placerats i olika lägen nära den rundade takkanten för att fördröja en eventuell avlösning genom ombildning av ytgränsskiktet från laminär till turbulent struktur, har ej i nämnvärd grad påverkat tryckfördelningen över taket, se fig 25 d-e, sid 73, konf K 16, K 17, K 18. Detta torde också vara naturligt, enär ytgränsskiktet kan antas vara turbulent från början på grund av strömningen längs 'markytan' framför modellen.

6.3.3 Inflytande av förhållandet gränsskiktthöjd/modellhöjd

Gränsskiktets höjd, δ , och hastighetsfördelning påverkar tryckfördelningen i höjddled utmed de mot vinden vända väggarna, och därmed även strömningen över motsvarande takkanter så att medelvärdet av undertrycket över takytan i lovart - för de δ -värden som prövats vid denna orienterande undersökning - ökar med ökande δ/H vid $\alpha=90^\circ$, men varierar oregelbundet med δ/H för övriga delytor och vid $\alpha=45^\circ$, se fig 27-29, sid 80-82. Tendensen hos c_p -medelvärdets variation med δ/H är dock densamma för alla undersökta delytor, med undantag för D 4, samt för den större och den mindre modellen.

För att ytterligare belysa gränsskikthöjdens inverkan på trycket på taket har i fig 30, sid 83, den lokala tryckkoefficienten i olika stationer på taket - mitt på taket samt mitt på takets lovartkvadrant - uppritats som funktion av δ/H . För jämförelse har inlagts en kurva som avser trycket mitt på taket av en kub enligt [14].

Det bör påpekas att det dynamiska referenstrycket q_{ref} för samtliga gränsskiktprofiler mätts på en höjd över markytan som är lika med takets höjd. De konstaterade δ/H -effekterna kan därför orsakas bl a av olikheten i gränsskiktens vertikala medelhastighetsgradient vid taknivån.

Även om vissa av dessa effekter torde kunna tillskrivas bristande likformighet mellan gränsskiktprofilerna, visar resultatet att förhållandet δ/H i avsevärd grad påverkar trycknivån på vissa delar av taket. Resultatet är dock för ofullständigt för att medge en säker bedömning av karaktären och storleken av δ/H -inflytandet.

6.3.4 Inflytande av förhållandet modelllängd/modellhöjd

Denna effekt har studerats genom prov med två modeller med samma höjd ($H = 95 \text{ mm}$) och samma längd/breddförhållande ($L/B = 2$) men med olika längd/höjdförhållande ($L/H = 4,2$ resp $8,4$).

På grund av att samma mätyta använts för båda modellerna, utgörande i ena fallet en fjärdedel av taket, i andra fallet hela taket, se fig 6 b sid 51, har delningen mellan tryckhålen relativt takets längd ej överallt varit densamma i de båda fallen. Det har därför ej varit möjligt att för den mindre modellen bestämma c_p -medelvärden för alla delytor på ett sätt som gör dem direkt jämförbara med motsvarande värden för den större modellen. En sådan direkt jämförelse kan beträffande c_p -medelvärden endast göras för delytorna D 4 och D 5 samt för de lokala c_p -värdena i hela takets och lovartkvadrantens mitt.

c_p -medelvärden för delytorna D 4 och D 5 vid $\delta/H = 2,1$ redovisas för konf K 11 och K 12 i fig 25 d-e, sid 73-74, och lokala c_p -värden för takets och lovartkvadrantens mitt i fig 30, sid 83.

För båda delytorna gäller att undertryckets medelvärde blir avsevärt högre vid den mindre modellen än vid den större, med en maximal ökning på $|\Delta c_{p_{med}}| \approx 0,45$ (ca 50 %) för randzonen i lovart, delyta D 4, vid $\alpha = 45^\circ$, se fig 25 d.

Orsaken till denna skillnad i medeltryck är att kantvirvlarna, som har ett dominerande inflytande på undertryckets storlek i randzonen, har ungefär samma dimensioner vid de två modellerna, medan randzonens bredd a är beroende av modellens bredd B ($a = 0,1 B$). Kantvirvlarnas dimensioner torde snarare vara relaterade till modellens höjd (H) än till dess längdutsträckning (L resp B). I fig 32 sid 85, visas hur tryckmedelvärdet för ett snitt av randzonen varierar med randzonens bredd för konf K 11 och K 12 vid $\alpha = 45^\circ$, $\delta/H = 2,1$. (Tryckfördelningen över detta snitt ges i fig 16, sid 62.) Som framgår av fig 31 ökar $c_{p_{med}}$ med a upp till $a \approx 28 \text{ mm}$ och minskar sedan. I figuren har inlagts skalor för a uttryckt i modellens bredd B - avseende den större resp mindre modellen - med markering av det värde, $A/B = 0,1$, som gäller för randzonen enligt BABS 1967.

Undertryckets extremvärde påverkas endast obetydligt av ändringen i modellstorlek. I båda fallen är det största uppmätta extremvärdet $c_{p_{extr}} \approx -4,5$, se fig 23, sid 70.

6.3.5 Jämförelse med vindlastnormerna i BABS 1967

I BABS 1967 [1], se fig 31 sid 84, tages hänsyn till de lokalt uppträdande höga undertrycken nära takkanten, dels genom att ett högre medelvärde på sugkraften, $c_p = -1,8$, anges för en randzon utmed takkanterna, motsvarande delyta D 9 i föreliggande undersökning, dels genom föreskrifter om en på medelvärdet överlagrad "rörlig last" på $c_p = -1,8$ över en mindre yta inom randzonen. Maximilasten anses sålunda motavvara $c_p = -3,6$.

Vid föreliggande undersökning har - med modeller med skarp takkant - erhållits c_p -medelvärden som ligger under de i [1] angivna för såväl randzonen som takets inre delar. De uppmätta extremvärdena på undertryckets i randzonen är dock vid vissa vindriktningar högre än de i [1] förutsatta, t ex $c_p \approx -4,6$ vid konf K 11, $\alpha = 30^\circ$, jämfört med $c_p = -3,6$ enligt normerna.

6.4 Slutord

6.4.1 Sammanfattning av resultat

Undersökningens resultat kan sammanfattas i följande punkter:

1. Fasning eller rundning av kanten på ett plant tak medför i vissa fall en minskning, i andra fall en ökning av medel- och extremvärdena av det undertryck som utbildas över taket innanför den fasade eller rundade kantprofilen. Den dominerande effekten är en minskning av undertryckets medelvärde för flertalet delytor på taket och vid flertalet vindriktningar, samt en minskning av undertryckets extremvärde vid alla vindriktningar utom omkring $\alpha = 0^\circ$ och 90° . Dessa effekter ökar genomgående med ökande fasnings(rundnings)-grad.

Minskningen av medelvärdet uppgår maximalt till ca 50 % för takets inre lovartdel, delyta D 5, vid $\alpha = 90^\circ$. Den maximala ökningen av medelvärdet är ca 30 % för randzonen, delyta D 6, vid $\alpha \approx 75^\circ$.

Undertryckets extremvärde minskar maximalt med ca 70 % vid $\alpha \approx 30^\circ$. Den maximala ökningen av extremvärdet är av samma storlek och har erhållits vid $\alpha \approx 0^\circ$. Trycket på kantprofilerna har ej mätts vid föreliggande undersökning; det kan dock med säkerhet sägas att undertrycket över de rundade profilerna är högre än det största värde som uppmätts vid mätytans yttre kant, medan undertrycket över de fasade profilerna sannolikt är av samma storlek som det största uppmätta värdet.

2. Så som takets delytor är definierade i BABS 1967 påverkas vindlastens medelvärde över dessa delytor i avsevärd grad av byggnadens geometriska proportioner, vilket tydligt framgår av de resultat som erhållits vid föreliggande undersökning. Sålunda medför en halvering av byggnadens längd med bibehållen höjd och bibehållet längd/breddförhållande en avsevärd ökning av undertryckets medelvärde över takets lovartkvadrant, speciellt markerad vid $\alpha = 45^\circ$ då den uppgår till ca 70 % för takets inre yta och ca 50 % för randzonen.

Undertryckets extremvärden påverkas ej i nämnvärd grad av den ändring i modellgeometrin som undersökts. Prov som omfattar en variation av längd/bredd/höjdförhållandena inom vidare gränser fordras dock innan generella slutsatser kan dras.

3. Modellgränsskiktets tjocklek påverkar trycknivån på taket så att medeltrycket ökar med ökande δ/H över takets lovartdel vid $\alpha = 90^\circ$, men varierar oregelbundet med δ/H för andra delytor och vid $\alpha = 45^\circ$. Föreliggande preliminära prov har ej givit tillräckligt underlag för en säker bedömning av storleken och karaktären hos denna effekt.

6.4.2 Förslag till fortsatt resultatbearbetning

Bearbetningen av resultatmaterialet har av skäl som ovan nämnts huvudsakligen begränsats till framtagning av c_p -medelvärden för olika delytor på taket.

En fortsatt bearbetning av resultatet är önskvärd för att möjliggöra ett detaljstudium av tryckfördelningen över taket samt en noggrannare bestämning av tryckkoefficientens extremvärden. En sådan bearbetning skulle omfatta uppritning av c_p -fördelningar över samtliga mätsnitt, samt uppritning av isobarkartor över taket och ingå i en kommande rapport.

6.4.3 Förslag till fortsatta prov

Undersökningen har gett belägg för att såväl byggnadens geometriska proportioner, vilka ej beaktas i BABS 1967, som modellgränsskiktets tjocklek i avsevärd grad påverkar tryckfördelningen och trycknivån på taket.

Fortsatta prov av systematisk karaktär beträffande storleken av dessa effekter får därför anses önskvärda. Sådana prov skulle bl a omfatta:

1. Bestämning av inverkan av byggnadens längd-bredd-förhållande på tryckfördelningen (lokala, medel- och extremvärden på c_p) över ett plant tak vid olika anblåsningsriktningar.
2. Detaljstudium av inströmningen över taket. Av intresse är att klarlägga takkantvirvlarnas beroende av takhöjd i relation till inloppshastighetsprofil vid givna avströmningsförhållanden på baksidan.
3. Detaljstudium av avströmningen från taket. Av intresse är att klarlägga taköverströmningens beroende av modelllängd i relation till takhöjd vid givna inströmningsförhållanden på framsidan.
4. Av intresse är också att studera omströmningen omkring rundad resp fasad takkant i syfte att klarlägga den lokala tryckfördelningen på och invid takkanten.

REFERENSER

- | | | |
|-----|----------------------------------|--|
| [1] | | Svensk Byggnorm 67.
Statens Planverk (1967) |
| [2] | Panofsky, H A
Mc Cormick, R A | Quart. Journ. of The Royal Met. Soc.,
80, 546, 1954. |
| [3] | Panofsky, H A
Mc Cormick, R A | Quart. Journ. of The Royal Met. Soc.,
86, 495, 1960. |
| [4] | Smith, F B
Abbott, P F | Quart. Journ. of The Royal Met. Soc.,
87, 1961. |
| [5] | van der Hoven, I | Journ. of Met., 14, 160, 1957. |
| [6] | Webb, E K | Tech. Paper No 5, C.S.I.R.O.
Div. Met. Physics, Melbourne, 1955. |
| [7] | Panofsky, H A | Quart. Journ. of The Royal Met. Soc.,
88, 57, 1962. |
| [8] | Counihan, J | An improved method of simulating an
atmospheric boundary layer in a wind
tunnel.
Atmospheric Environment 3, 1969. |

- [9] Counihan, J
Further measurements in a simulated boundary layer.
Centr. Electr. Res. Lab. Note RD/L/N 68/69, 1969.
- [10] Wirén, B
Undersökning i vindtunnel av tryckfördelningar i hörnet på ett horisontellt tak samt snöanhopningen vid en byggnadsentré med olika skärmarrangemang.
Sammanställning av resultat från laborationer för arkitektstuderande vid KTH.
KTH AERO MEMO FI 158 (1968)
- [11] Thunholm, H
Försök med anknytning till vindtunnelundersökning av byggnader.
KTH AERO MEMO FI 150 (1967)
- [12] Davenport, A G
Wind load on structures.
NRC Techn. Paper No 88, Division of Building Research (1960).
- [13] Pope, A
Harper, J J
Low-speed wind tunnel testing.
John Wiley & Sons, Inc., New York (1966).
- [14] Leutheusser, H J
Pressure distribution on a cube at various degrees of boundary-layer immersion.
UTMech E T P 6502, University of Toronto, 1965.
- [15] Chien, N
Feng, Y
Wang, H J
Siao, T T
Wind-tunnel studies of pressure distribution on elementary building forms.
Iowa Inst. of Hydr. Res., Iowa City, 1951.
- [16] Baines, W D
Effects of velocity distribution on wind loads and flow patterns on buildings.
Proc. of Conf. on "Wind Effects on Buildings and Structures", NPL 1963.

TABELL 1

SAMMANSTÄLLNING AV TRYCKKOEFFICIENTER (MEDEL- OCH EXTREMVÄRDEN)
FÖR DELYTOR

Tryckkoefficienter (<0 där ej annat anges)										
Konf	δ/H	α	Delyta nr	Medelvärde $C_{p_{med}}$	Extremvärden					
					$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr		
11	0,46	45	1	0,29	4,71	a 4	+0,07	i 14		
			2	0,49						
			3	0,21						
			4	1,07						
			5	0,25						
			6	0,36						
			7	0,37						
			8	0,37						
			9	0,76						
			10	0,22						
			11	0,08						
			12	0,04						
			13	0,45						
			14	0,18						
			15	0,21						
			16	0,22						
			17	0,21						
				90	1	0,38	0,90	b 1	0,01	r 35
					2	0,33				
					3	0,40				
					4	0,61				
					5	0,59				
					6	0,61				
					7	0,59				
					8	0,38				
					9	0,33				
					10	0,40				
					11	0,05				
					12	0,21				
					13	0,05				
					14	0,21				
					15	0,38				
					16	0,33				
					17	0,40				

Tabell 1, forts

Konf	δ/H	α	Delyta nr	Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat anges)						
				Medelvärde $C_{p_{med}}$	Extremvärden					
					$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr		
11	1,2	45	1	0,26	3,48	a 4	0,01	x 27		
			2	0,43						
			3	0,19						
			4	0,87						
			5	0,23						
			6	0,36						
			7	0,30						
			8	0,32						
			9	0,64						
			10	0,20						
			11	0,08						
			12	0,06						
			13	0,41						
			14	0,16						
			15	0,19						
			16	0,22						
			17	0,18						
			90	1	0,34	1,09	a 2	0,02	x 19	
				2	0,35					
				3	0,33					
				4	0,66					
				5	0,55					
				6	0,66					
				7	0,55					
				8	0,34					
				9	0,35					
				10	0,33					
				11	0,05					
				12	0,12					
				13	0,05					
				14	0,12					
				15	0,34					
				16	0,35					
				17	0,33					
		2,1	0	1	0,15	1,03	a 1	0	a 21 — x 21	
					2					0,22
					3					0,13
					4					0,41
					5					0,24
					6					0,03
					7					0,01
					8					0,29
					9					0,41
					10					0,24
					11					0,03
					12					0,01
					13					0,41
					14					0,24
					15					0,02
					16					0,03
					17					0,01

Tabell 1, forts

Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat angives)									
Konf	δ/H	α	Delyta nr	Medelvärde	Extremvärden				
				$C_{p_{med}}$	$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr	
11	2,1	15	1	0,17	2,27	b 1	0	m 21	
			2	0,28					
			3	0,13					
			4	0,48					
			5	0,18					
			6	0,12					
			7	0,04					
			8	0,29					
			9	0,46					
			10	0,22					
			11	0,07					
			12	0,03					
			13	0,44					
			14	0,25					
			15	0,05					
			16	0,10					
			17	0,04					
			30	1	0,23	4,59	o 1	+ 0,01	x 30
				2	0,40				
				3	0,16				
				4	0,78				
				5	0,17				
				6	0,30				
				7	0,18				
				8	0,31				
				9	0,61				
				10	0,20				
				11	0,09				
				12	0,06				
				13	0,44				
				14	0,23				
				15	0,14				
				16	0,19				
				17	0,12				
			40	1	0,26	3,73	d 1	0	v 29
				2	0,44				
				3	0,18				
				4	0,89				
				5	0,21				
				6	0,37				
				7	0,29				
				8	0,33				
				9	0,66				
				10	0,20				
				11	0,08				
				12	0,05				
				13	0,44				
				14	0,19				
				15	0,19				
				16	0,23				
				17	0,17				

Tabell 1, forts

Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat angives)										
Konf	δ/H	α°	Delyta nr	Medelvärde	Extremvärden					
				$C_{p_{med}}$	$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr		
11	2,1	45	1	0,29	3,59	a 4	0,02	m 22 , x 28		
			2	0,47						
			3	0,21						
			4	0,94						
			5	0,26						
			6	0,40						
			7	0,34						
			8	0,35						
			9	0,69						
			10	0,22						
			11	0,10						
			12	0,08						
			13	0,44						
			14	0,18						
			15	0,22						
			16	0,25						
			17	0,21						
				50	1	0,29	3,90	a 4	0,01	k 17
					2	0,46				
					3	0,23				
					4	0,91				
					5	0,28				
					6	0,42				
					7	0,36				
					8	0,35				
					9	0,66				
					10	0,22				
					11	0,10				
					12	0,10				
					13	0,42				
					14	0,16				
					15	0,24				
					16	0,26				
					17	0,23				
				60	1	0,32	4,51	a 3	0,01	k 15
					2	0,46				
					3	0,27				
					4	0,88				
					5	0,37				
					6	0,53				
					7	0,46				
					8	0,34				
					9	0,59				
					10	0,24				
					11	0,12				
					12	0,15				
					13	0,30				
					14	0,11				
					15	0,31				
					16	0,32				
					17	0,31				

Tabell 1, forts

Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat anges)									
Konf	δ/H	α	Delyta nr	Medelvärde	Extremvärden				
				$C_{p_{med}}$	$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr	
11	2,1	75	1	0,36	2,41	a 3	0,02	n 14	
			2	0,41					
			3	0,34					
			4	0,77					
			5	0,52					
			6	0,66					
			7	0,58					
			8	0,34					
			9	0,44					
			10	0,30					
			11	0,10					
			12	0,17					
			13	0,11					
			14	0,08					
			15	0,38					
			16	0,38					
			17	0,37					
			90	1	0,37	1,10	d 1	0,04	o 4, o 37
				2	0,39				
				3	0,37				
				4	0,71				
				5	0,60				
				6	0,71				
				7	0,60				
				8	0,37				
				9	0,39				
				10	0,37				
				11	0,06				
				12	0,14				
				13	0,06				
				14	0,14				
				15	0,37				
				16	0,39				
				17	0,37				
	3,2	45	1	0,29	2,39	a 4	0,02	x 32	
				2					0,49
				3					0,21
				4					0,83
				5					0,22
				6					0,54
				7					0,31
				8					0,33
				9					0,65
				10					0,21
				11					0,12
				12					0,10
				13					0,48
				14					0,19
				15					0,24
				16					0,33
				17					0,20

Tabell 1, forts

Konf	δ/H	α	Delyta nr	Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat anges)					
				Medelvärde $C_{p_{med}}$	Extremvärden				
					$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr	
11	3,2	90	1	0,39	1,51	a 1	0,06	t 20	
			2	0,52					
			3	0,33					
			4	0,95					
			5	0,55					
			6	0,95					
			7	0,55					
			8	0,39					
			9	0,52					
			10	0,33					
			11	0,10					
			12	0,12					
			13	0,10					
			14	0,12					
			15	0,39					
			16	0,52					
			17	0,33					
12	0,46	0	4	0,51	0,82	a 3	0	g 16	
			5	0,43					
			18	0,45					
			18	0,45					
		45	0	4	1,60	5,06	a 4	0,02	j 16
				5	0,49				
				18	0,80				
				18	0,80				
	90	0	4	0,77	0,90	o 2	0,12	l 1	
			5	0,77					
			18	0,77					
			18	0,77					
	1,2	0	0	4	0,49	0,85	l 3	0,01	h 16
				5	0,38				
				18	0,41				
				18	0,41				
45		0	0	4	1,28	3,74	a 4	0,08	j 15
				5	0,42				
				18	0,67				
				18	0,67				
90	0	0	4	0,78	0,96	o 3	0,10	l 3	
			5	0,77					
			18	0,77					
			18	0,77					

Tabell 1, forts

Konf	δ/H	α	Delyta nr	Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat angives)				
				Medelvärde $C_{p_{med}}$	Extremvärden			
					$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr
12	2,1	0	4	0,54	0,92	a 4	0,02	h 17
			5	0,42				
			18	0,46				
		15	4	0,71	1,94	a 1	0,06	k 16
			5	0,36				
			18	0,46				
		30	4	1,18	4,36	c 1	0,08	j 19
			5	0,33				
			18	0,57				
		40	4	1,36	3,89	d 1	0,08	k 19
			5	0,41				
			18	0,67				
	45	4	1,38	3,93	a 4	0,08	k 18	
		5	0,45					
		18	0,71					
	50	4	1,33	4,50	a 4	0,10	i 11	
		5	0,52					
		18	0,75					
	60	4	1,19	4,30	a 3	0,18	l 15	
		5	0,64					
		18	0,80					
	75	4	0,95	1,98	b 2	0,13	l 7	
		5	0,81					
		18	0,85					
90	4	0,84	1,06	a 20	0,13	l 3		
	5	0,82						
	18	0,83						
3,2	0	4	0,61	1,44	c 1	0,19	h 16	
		5	0,34					
		18	0,42					
	45	4	1,23	2,89	a 4	0,13	l 19	
		5	0,43					
		18	0,66					
	90	4	1,12	1,46	a 3	0,15	l 14	
		5	0,88					
		18	0,94					

Tabell 1, forts

Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat anges)														
Konf	δ/H	α	Delyta nr	Medelvärde	Extremvärden									
				$C_{p_{med}}$	$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr						
13	0,46	45	4	0,79	1,86	a 5	0,01	j 17						
			5	0,20										
		90	4	0,76					1,50	a 2	0,05	t 20		
			5	0,50										
		2,1	0	0					1	0,14	1,30	b 1	0,01	a - x 22
									2	0,23				
	3				0,10									
	4				0,42									
	5				0,17									
	6				0,04									
	7				0,03									
	8				0,24									
	9				0,42									
	10				0,17									
	11				0,04									
	12	0,03												
	13	0,42												
14	0,17													
15	0,03													
16	0,04													
17	0,03													
		15	1	0,15	1,81	d 1	0,04	n 22						
			2	0,27										
			3	0,11										
			4	0,42										
			5	0,14										
			6	0,11										
			7	0,05										
			8	0,25										
			9	0,44										
			10	0,17										
			11	0,08										
			12	0,05										
			13	0,46										
			14	0,20										
			15	0,06										
			16	0,10										
			17	0,05										

Tabell 1, forts

Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat anges)										
Konf	δ/H	α	Delyta nr	Medelvärde $C_{p_{med}}$	Extremvärden					
					$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr		
13	2,1	30	1	0,20	1,62	e 1	0	x 30		
			2	0,35						
			3	0,13						
			4	0,58						
			5	0,14						
			6	0,29						
			7	0,13						
			8	0,27						
			9	0,51						
			10	0,17						
			11	0,09						
			12	0,07						
			13	0,45						
			14	0,19						
			15	0,13						
			16	0,19						
			17	0,10						
				45	1	0,24	1,40	a 5	0,02	x 27 - 31
					2	0,41				
					3	0,18				
					4	0,70				
					5	0,20				
					6	0,44				
					7	0,27				
					8	0,29				
					9	0,55				
					10	0,18				
					11	0,09				
					12	0,08				
					13	0,41				
					14	0,17				
					15	0,20				
					16	0,26				
					17	0,17				
				60	1	0,29	1,90	a 4	0,06	v 32
					2	0,43				
					3	0,23				
					4	0,73				
					5	0,29				
					6	0,62				
					7	0,39				
					8	0,29				
					9	0,50				
					10	0,20				
					11	0,11				
					12	0,12				
					13	0,26				
					14	0,12				
					15	0,29				
					16	0,37				
					17	0,26				

Tabell 1, forts

Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat angives)											
Konf	δ/H	α	Delyta nr	Medelvärde $C_{p_{med}}$	Extremvärden						
					$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr			
13	2,1	75	1	0,32	1,96	a 2	0,07	m 11, p 21			
			2	0,44							
			3	0,27							
			4	0,76							
			5	0,37							
			6	0,79							
			7	0,47							
			8	0,29							
			9	0,43							
			10	0,23							
			11	0,11							
			12	0,12							
			13	0,11							
			14	0,10							
			15	0,34							
			16	0,45							
			17	0,30							
						1	0,32	1,55	a 2	0,05	t 21
						2	0,44				
						3	0,28				
						4	0,79				
						5	0,46				
						6	0,79				
						7	0,46				
						8	0,32				
						9	0,44				
						10	0,28				
						11	0,08				
						12	0,10				
						13	0,08				
						14	0,10				
						15	0,32				
						16	0,44				
						17	0,28				
14	0,46	45	4	0,76	1,97	a 4	+ 0,02	1 15			
			5	0,19							
				90	4	0,80	1,78	a 2	0,08	1 1	
					5	0,47					

Tabell 1, forts

Konf	δ/H	α	Delyta nr	Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat anges)						
				Medelvärde $C_{p_{med}}$	Extremvärden					
					$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr		
14	2,1	0	1	0,13	1,54	b 1	0,01	a - x 20		
			2	0,23						
			3	0,09						
			4	0,42						
			5	0,16						
			6	0,04						
			7	0,03						
			8	0,23						
			9	0,42						
			10	0,16						
			11	0,04						
			12	0,03						
			13	0,42						
			14	0,16						
			15	0,03						
			16	0,04						
			17	0,03						
				15	1	0,15	2,00	b 1	0,02	j - o 23
		2	0,26							
		3	0,10							
		4	0,41							
		5	0,13							
		6	0,11							
		7	0,04							
		8	0,24							
		9	0,44							
		10	0,16							
		11	0,08							
		12	0,04							
		13	0,46							
		14	0,19							
		15	0,06							
		16	0,09							
		17	0,04							
				30	1	0,19	1,86	c 1	0,01	x 28
		2	0,35							
		3	0,13							
		4	0,56							
		5	0,14							
		6	0,28							
		7	0,12							
		8	0,26							
		9	0,50							
		10	0,16							
		11	0,10							
		12	0,07							
		13	0,45							
		14	0,18							
		15	0,12							
		16	0,19							
		17	0,10							

Tabell 1, forts

Konf	δ/H	α	Delyta nr	Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat angives)						
				Medelvärde $C_{p_{med}}$	Extremvärden					
					$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr		
14	2,1	45	1	0,23	1,42	a 4	0,02	x 29		
			2	0,40						
			3	0,17						
			4	0,66						
			5	0,18						
			6	0,44						
			7	0,25						
			8	0,27						
			9	0,53						
			10	0,17						
			11	0,09						
			12	0,08						
			13	0,40						
			14	0,16						
			15	0,19						
			16	0,27						
			17	0,17						
				60	1	0,28	1,95	a 3	0,06	u 33
					2	0,43				
					3	0,22				
					4	0,71				
					5	0,27				
					6	0,64				
					7	0,37				
					8	0,27				
					9	0,48				
					10	0,19				
					11	0,11				
					12	0,11				
					13	0,25				
					14	0,12				
					15	0,28				
					16	0,37				
					17	0,24				
				75	1	0,32	1,93	a 3	0,07	m 8, v 22
					2	0,45				
					3	0,25				
					4	0,75				
					5	0,34				
					6	0,81				
					7	0,44				
					8	0,28				
					9	0,43				
					10	0,22				
					11	0,12				
					12	0,13				
					13	0,11				
					14	0,09				
					15	0,33				
					16	0,47				
					17	0,28				

Tabell 1, forts

Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat anges)									
Konf	δ/H	α	Delyta nr	Medelvärde $C_{p_{med}}$	Extremvärden				
					$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr	
14	2,1	90	1	0,31	1,38	a 2	0,05	x 21	
			2	0,45					
			3	0,26					
			4	0,82					
			5	0,42					
			6	0,82					
			7	0,42					
			8	0,31					
			9	0,45					
			10	0,26					
			11	0,09					
			12	0,10					
			13	0,09					
			14	0,10					
			15	0,31					
			16	0,45					
			17	0,26					
15	0,46	45	4	0,89	2,32	f 1, a 5, e 9	+0,03	j 18	
			5	0,20					
		90	4	0,82	1,49	a 2	0,09	l 1	
			5	0,50					
	2,1	0		1	0,14	1,38	e 1	0	v 22
				2	0,24				
				3	0,10				
				4	0,43				
				5	0,17				
				6	0,04				
				7	0,02				
				8	0,25				
				9	0,43				
				10	0,17				
				11	0,04				
				12	0,02				
				13	0,43				
14	0,17								
15	0,03								
16	0,04								
17	0,02								

Tabell 1, forts

Konf	δ/H	α	Delyta nr	Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat anges)						
				Medelvärde $C_{p_{med}}$	Extremvärden					
					$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr		
15	2,1	15	1	0,15	1,97	d 1	0,04	o 23		
			2	0,27						
			3	0,11						
			4	0,43						
			5	0,14						
			6	0,12						
			7	0,04						
			8	0,25						
			9	0,45						
			10	0,17						
			11	0,08						
			12	0,05						
			13	0,47						
			14	0,20						
			15	0,06						
			16	0,10						
			17	0,05						
				30	1	0,20	1,91	f 1	0,01	v 29
					2	0,37				
					3	0,13				
					4	0,61				
					5	0,14				
					6	0,32				
					7	0,14				
					8	0,27				
					9	0,54				
					10	0,17				
					11	0,10				
					12	0,06				
					13	0,47				
					14	0,19				
					15	0,13				
					16	0,21				
					17	0,10				
				45	1	0,25	1,45	a 7, h 1	0,02	t 28
					2	0,44				
					3	0,18				
					4	0,76				
					5	0,20				
					6	0,45				
					7	0,28				
					8	0,30				
					9	0,60				
					10	0,18				
					11	0,10				
					12	0,08				
					13	0,44				
					14	0,17				
					15	0,21				
					16	0,28				
					17	0,18				

Tabell 1, forts

Konf	δ/H	α	Delyta nr	Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat angives)						
				Medelvärde $C_{p_{med}}$	Extremvärden					
					$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr		
15	2,1	60	1	0,29	2,02	a 5	0,07	v 30		
			2	0,45						
			3	0,24						
			4	0,77						
			5	0,29						
			6	0,62						
			7	0,40						
			8	0,30						
			9	0,53						
			10	0,21						
			11	0,12						
			12	0,12						
			13	0,28						
			14	0,12						
			15	0,29						
			16	0,37						
			17	0,26						
				75	1	0,32	1,87	a 5	0,07	m 10, t21
		2	0,45							
		3	0,27							
		4	0,78							
		5	0,37							
		6	0,80							
		7	0,50							
		8	0,29							
		9	0,45							
		10	0,23							
		11	0,11							
		12	0,13							
		13	0,11							
		14	0,09							
		15	0,35							
		16	0,45							
		17	0,31							
				90	1	0,33	1,49	a 2	0,04	v 20
		2	0,46							
		3	0,28							
		4	0,83							
		5	0,47							
		6	0,83							
		7	0,47							
		8	0,33							
		9	0,46							
		10	0,28							
		11	0,08							
		12	0,10							
		13	0,08							
		14	0,10							
		15	0,33							
		16	0,46							
		17	0,28							

Tabell 1, forts

Konf	δ/H	α	Delyta nr	Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat anges)					
				Medelvärde $C_{p_{med}}$	Extremvärden				
					$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr	
16	0,46	45	4	0,70	1,49	a 6	0,05	j 17	
			5	0,17					
		90	4	0,88	1,87	a 19	0,09	l 1 - 4	
			5	0,29					
	2,1	0	0	1	0,11	1,69	k 1	0,01	a - x 23
				2	0,22				
				3	0,07				
				4	0,39				
				5	0,12				
				6	0,05				
				7	0,03				
				8	0,19				
				9	0,39				
				10	0,12				
				11	0,05				
				12	0,03				
				13	0,39				
14	0,12								
15	0,03								
16	0,05								
17	0,03								
		15	1	0,13	1,49	f 1	0,02	l 23	
			2	0,24					
			3	0,09					
			4	0,34					
			5	0,11					
			6	0,11					
			7	0,05					
			8	0,20					
			9	0,39					
			10	0,13					
			11	0,09					
			12	0,05					
			13	0,44					
			14	0,15					
			15	0,06					
			16	0,10					
			17	0,05					

Tabell 1, forts

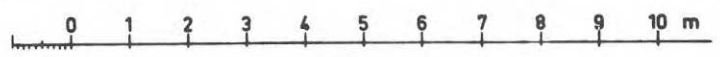
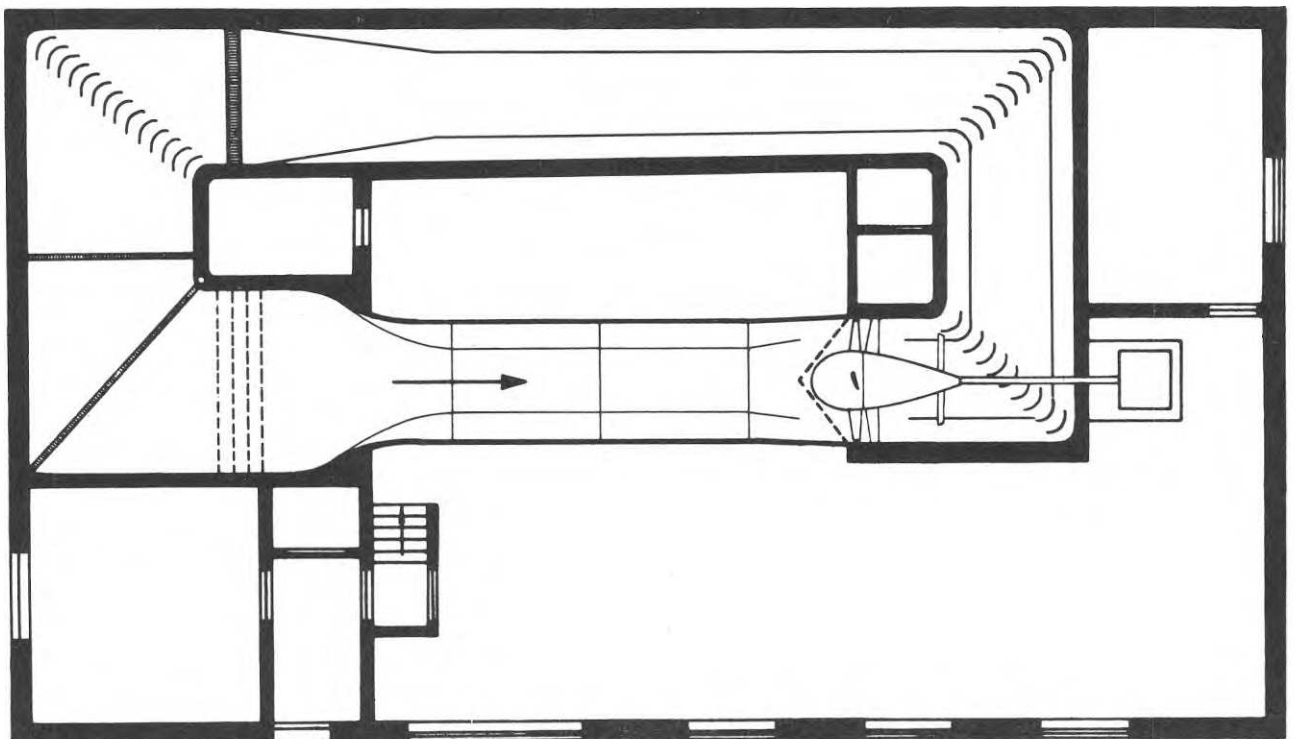
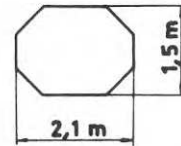
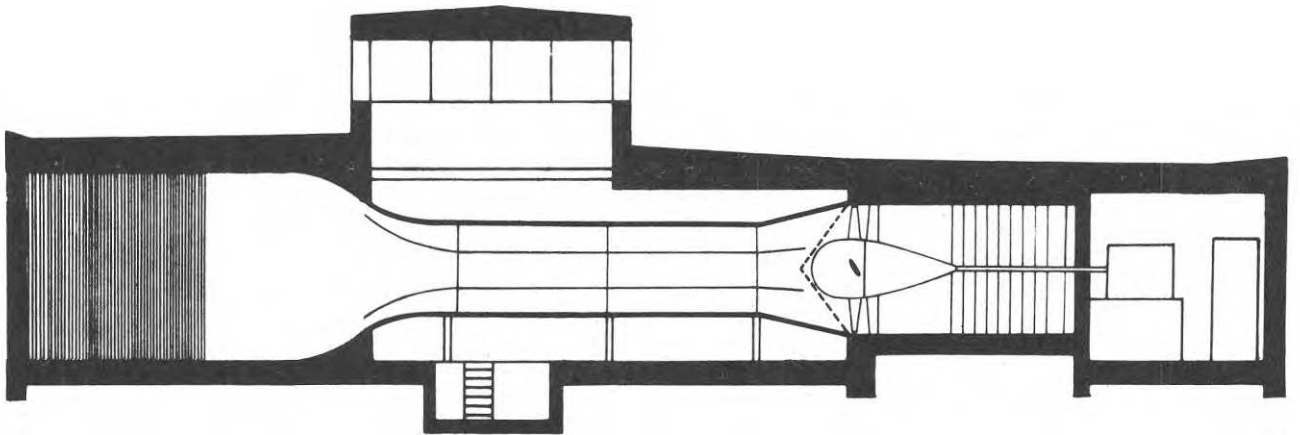
Konf	δ/H	α	Delyta nr	Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat angives)						
				Medelvärde $C_{p_{med}}$	Extremvärden					
					$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr		
16	2,1	30	1	0,18	1,35	g 1	0,01	v 28		
			2	0,32						
			3	0,12						
			4	0,46						
			5	0,12						
			6	0,30						
			7	0,11						
			8	0,23						
			9	0,45						
			10	0,14						
			11	0,10						
			12	0,07						
			13	0,44						
			14	0,16						
			15	0,12						
			16	0,20						
			17	0,09						
				45	1	0,22	1,05	a 9	0,04	s 26
					2	0,40				
					3	0,16				
					4	0,59				
					5	0,16				
					6	0,50				
					7	0,21				
					8	0,25				
					9	0,49				
					10	0,16				
					11	0,10				
					12	0,09				
					13	0,40				
					14	0,16				
					15	0,19				
					16	0,30				
					17	0,15				
				60	1	0,26	1,39	a 7	0,07	u 31
					2	0,44				
					3	0,19				
					4	0,66				
					5	0,21				
					6	0,73				
					7	0,29				
					8	0,24				
					9	0,45				
					10	0,16				
					11	0,12				
					12	0,13				
					13	0,24				
					14	0,12				
					15	0,27				
					16	0,43				
					17	0,21				

Tabell 1, forts

Konf	δ/H	α	Delyta nr	Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat anges)									
				Medelvärde $C_{p_{med}}$	Extremvärden								
					$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr					
16	2,1	75	1	0,28	1,63	a 20	0,07	m 8					
			2	0,47									
			3	0,20									
			4	0,75									
			5	0,24									
			6	0,88									
			7	0,32									
			8	0,24									
			9	0,43									
			10	0,17									
			11	0,14									
			12	0,14									
			13	0,11									
			14	0,10									
			15	0,31									
			16	0,51									
			17	0,23									
			90	1	0,28	1,77	a 20	0,07	n1, x20				
				2	0,48								
				3	0,20								
				4	0,86								
				5	0,29								
				6	0,86								
				7	0,29								
				8	0,28								
				9	0,48								
				10	0,20								
				11	0,10								
				12	0,11								
				13	0,10								
				14	0,11								
				15	0,28								
				16	0,48								
				17	0,20								
17	0,46	45	4	0,61	1,40	a 7	0,09	1 20					
			5	0,16									
			90	4					0,84	1,95	a 12	0,08	1 1
		5		0,27									
		2,1	45	4	0,54	0,96	a 8	0,10	1 20				
	5			0,16									
			90	4	0,82					1,85	a 19	0,08	1 2
	5			0,28									

Tabell 1, forts

Tryckkoefficienter (< 0 där ej annat anges)									
Konf	δ/H	α	Delyta nr	Medelvärde	Extremvärden				
				$C_{p_{med}}$	$C_{p_{min}}$	Tryckhål nr	$C_{p_{max}}$	Tryckhål nr	
18	0,46	45	4	0,67	1,49	j 1	0,05	j 17	
			5	0,17					
		90	4	0,87	1,93	a 19	0,08	1 1	
			5	0,28					
	2,1	45	45	4	0,56	1,05	j 1	0,10	1 20
				5	0,16				
		90	45	4	0,86	1,77	a 20	0,08	1 1
				5	0,29				



FLYGTEKNISKA INSTITUTIONEN
KTH
LÅGHASTIGHETSVINDTUNNEL L1

Fig 1

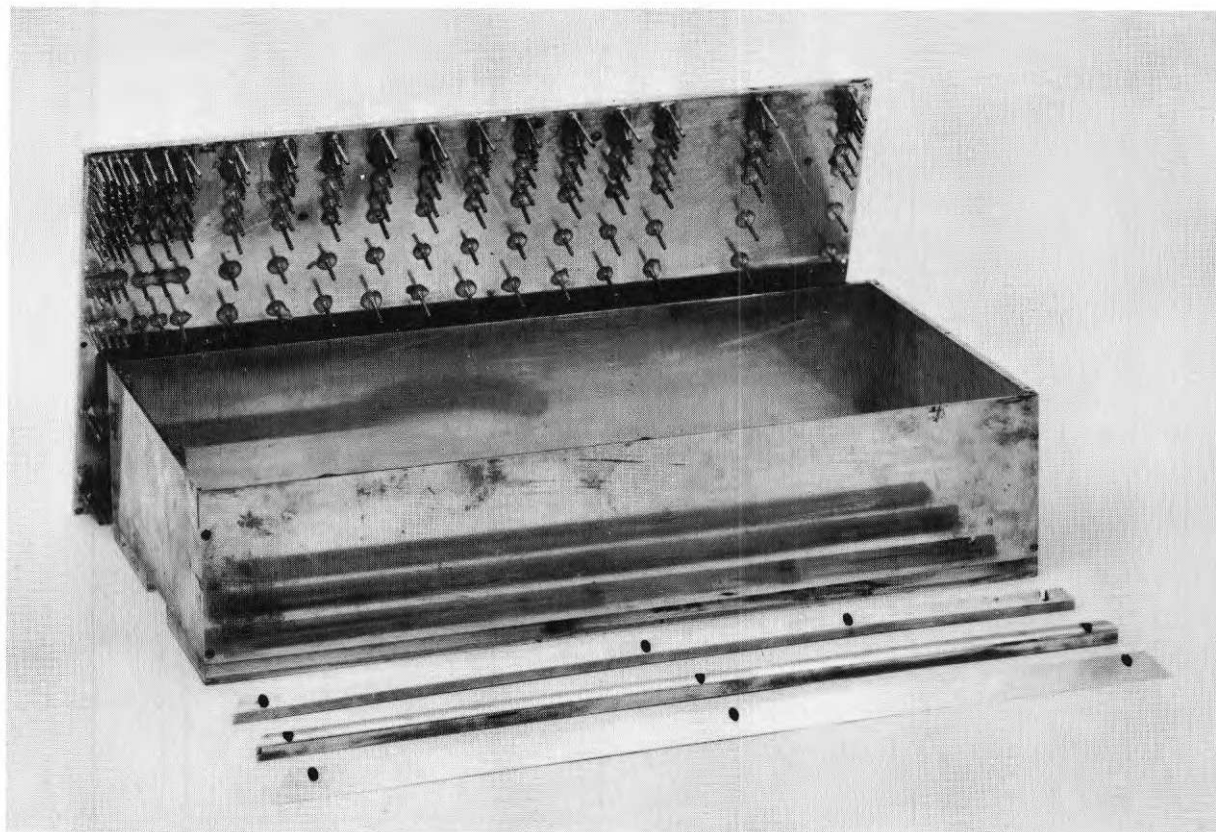
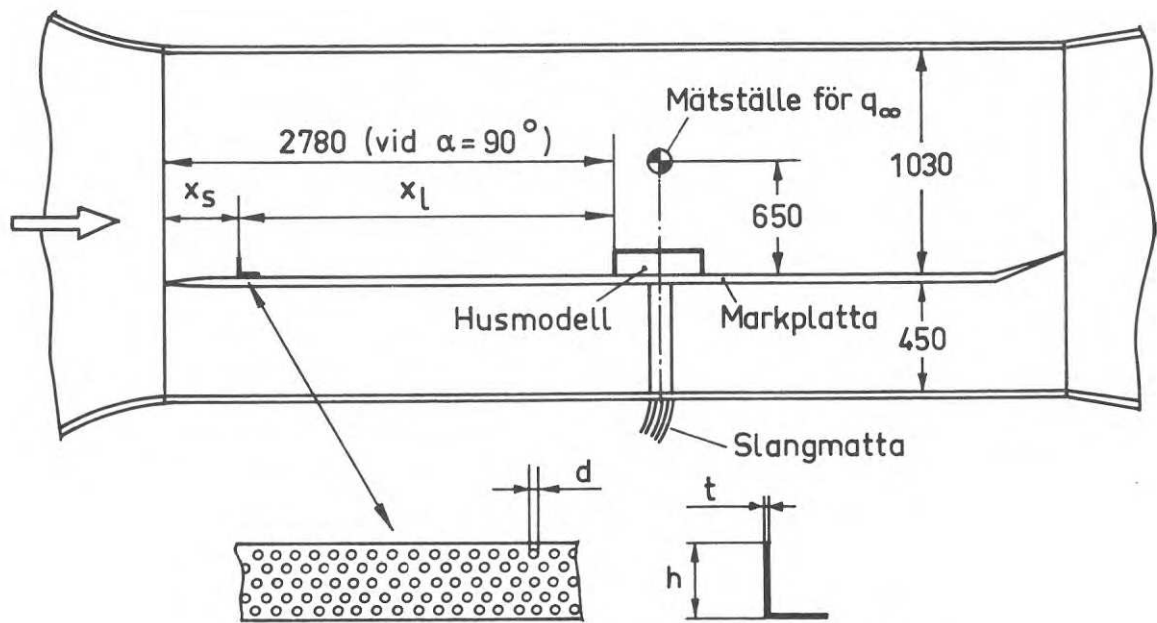


Fig 2. Modell , konf K12 , med avlyft tak .



Perforerad L-profil för gränsskiktgenerering

Geometri och placering enl tablån nedan.

STÖRPLÅT				PLACERING			GENERERAT GRÄNSSKIKT		
h mm	d mm	t mm	ψ	x_s mm	x_l mm	$\frac{x_l}{h}$	δ mm	$\frac{\delta}{H}$	n
22	3	1	0,33	1400	1380	62,7	110	~ 1,2	~ 7,4
35	3	1	0,33	350	2430	69,4	200	~ 2,1	~ 8,3
70	5	1	0,36	250	2530	36,1	300	~ 3,2	~ 12/4,5

Fig 3. Modellinstallation i vindtunneln

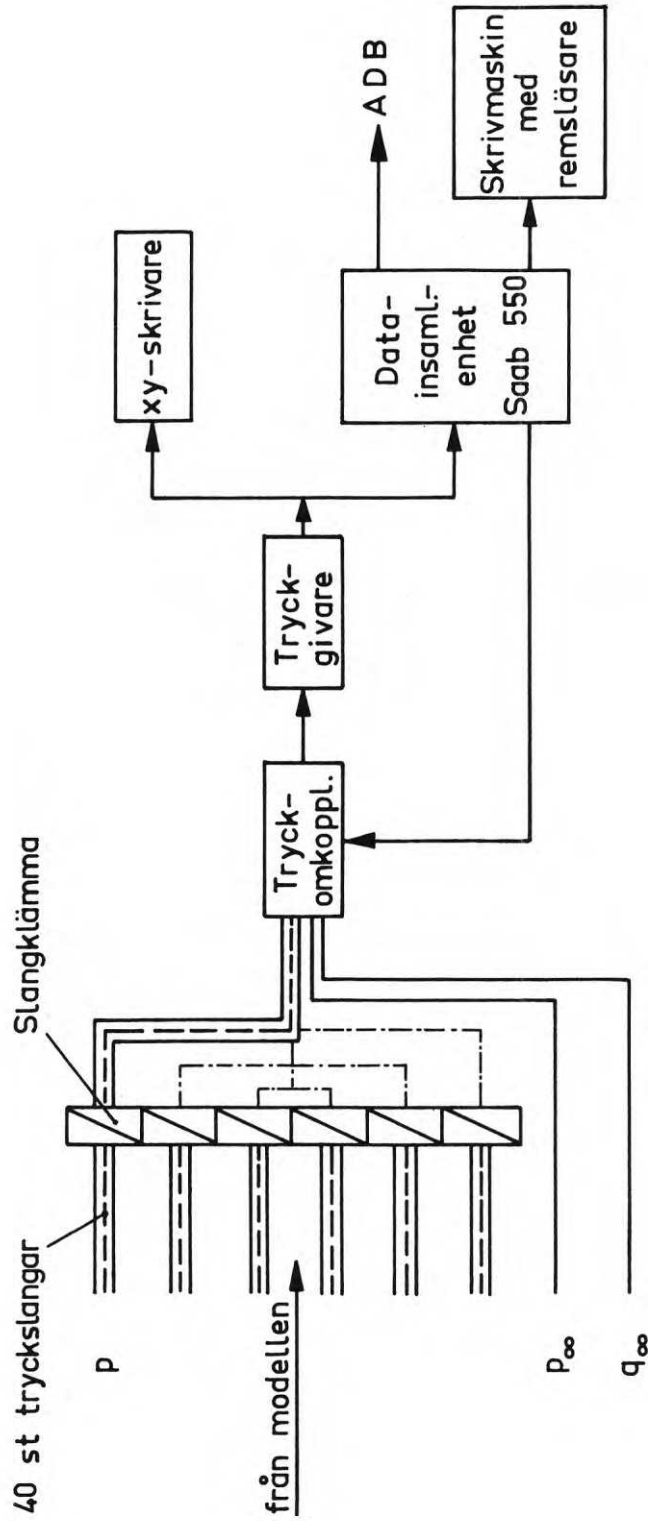
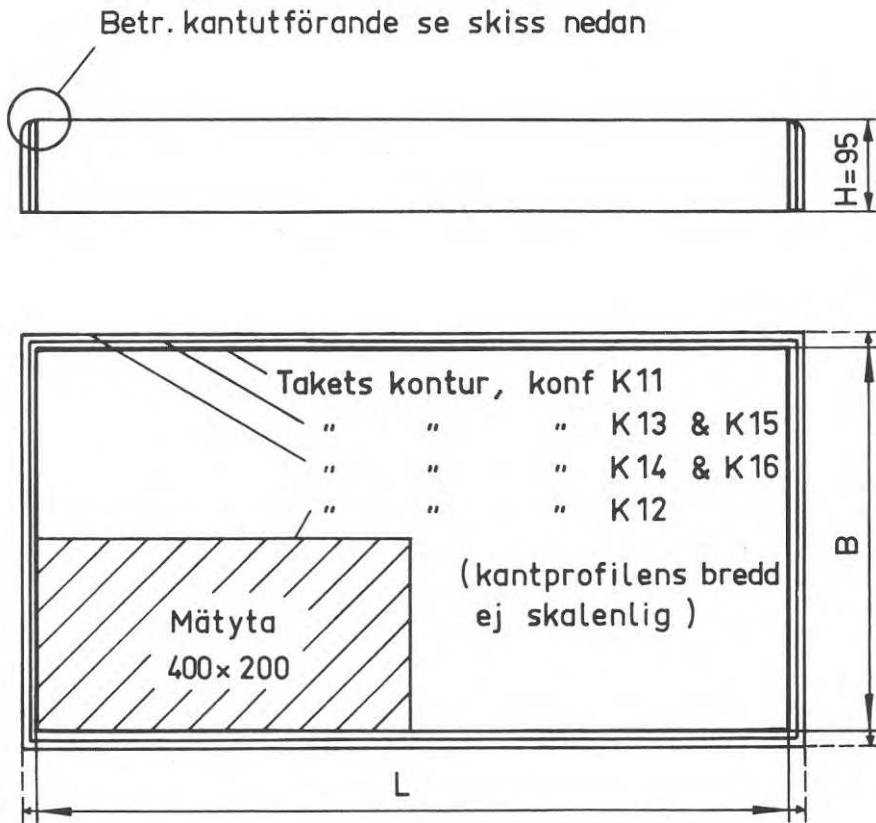
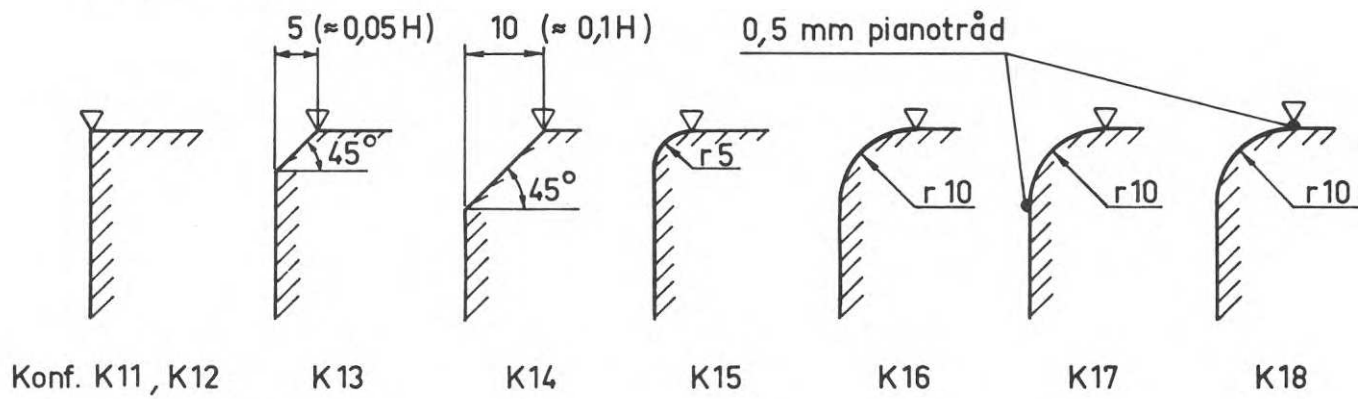


Fig 4. Datainsamlingsystem , blockschema



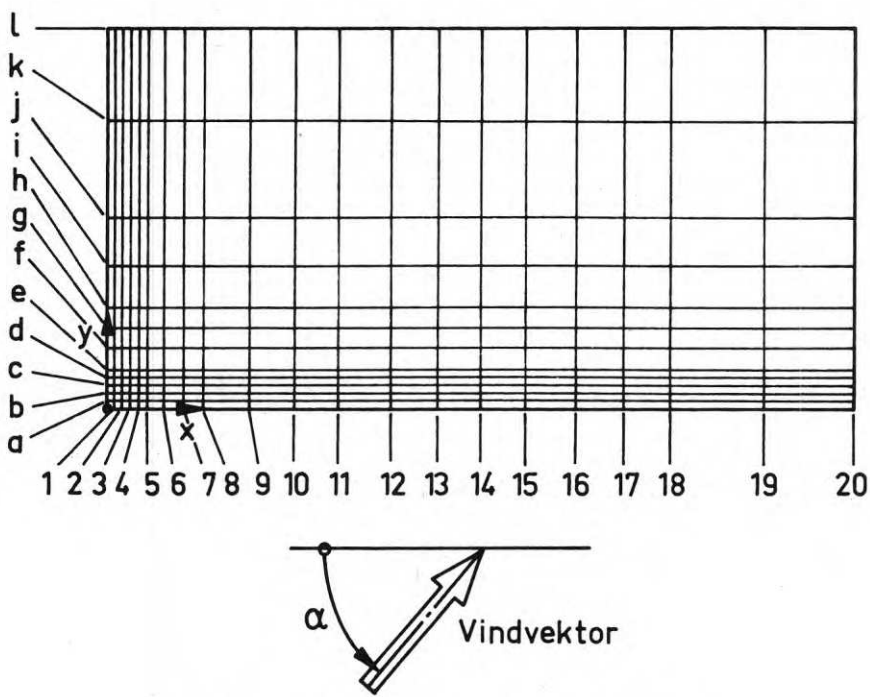
Konf.	L mm	B mm
K 11	800	400
K 12	400	200
K 13	810	410
K 14	820	420
K 15	810	410
K 16	820	420
K 17	820	420
K 18	820	420

Kantutförande :

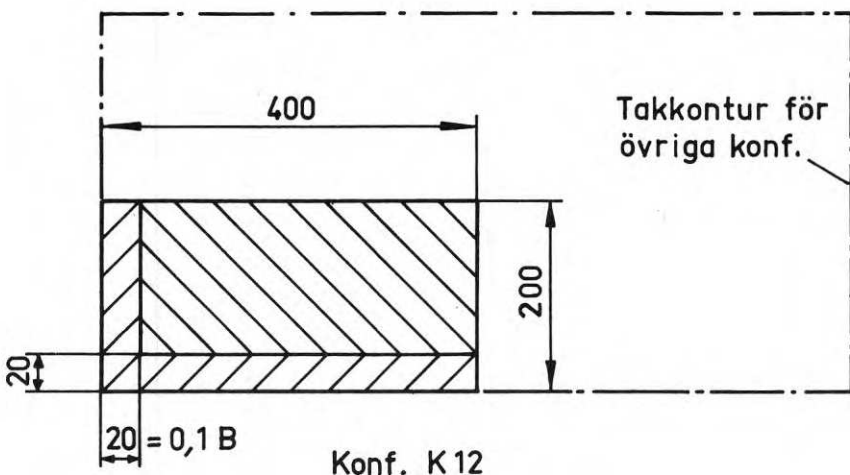
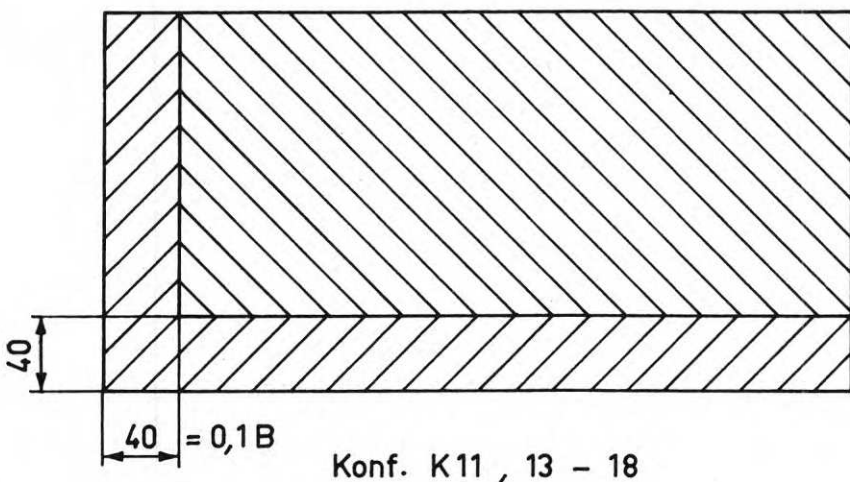


▽ markerar mätytans gräns mot kanten

Fig 5. Modellkonfigurationer



a. Tryckhålsplacering på mätytan



b. Mäytans uppdelning i deltor för resultatpresentationen, (enl BABS 1967)

Koordinattabell, tryckhål

Snitt	x mm	Snitt	y mm
1	4	a	4
2	8	b	8
3	12	c	12
4	16	d	16
5	20	e	20
6	30	f	30
7	40	g	40
8	50	h	50
9	75	i	75
10	100	j	100
11	125	k	150
12	150	l	200
13	175	m	250
14	200	n	300
15	225	o	325
16	250	p	350
17	275	q	360
18	300	r	370
19	350	s	380
20	400	t	384
21	450	u	388
22	500	v	392
23	525	x	396
24	550		
25	575		
26	600		
27	625		
28	650		
29	675		
30	700		
31	725		
32	750		
33	760		
34	770		
35	780		
36	784		
37	788		
38	792		
39	796		

I. Tryckhålskoordinater på mätytan.

II. Tryckhålskoordinater på hela taket vid kombination av mätytor.

Fig 6. Tryckhålsplacering på mätytan m.m.

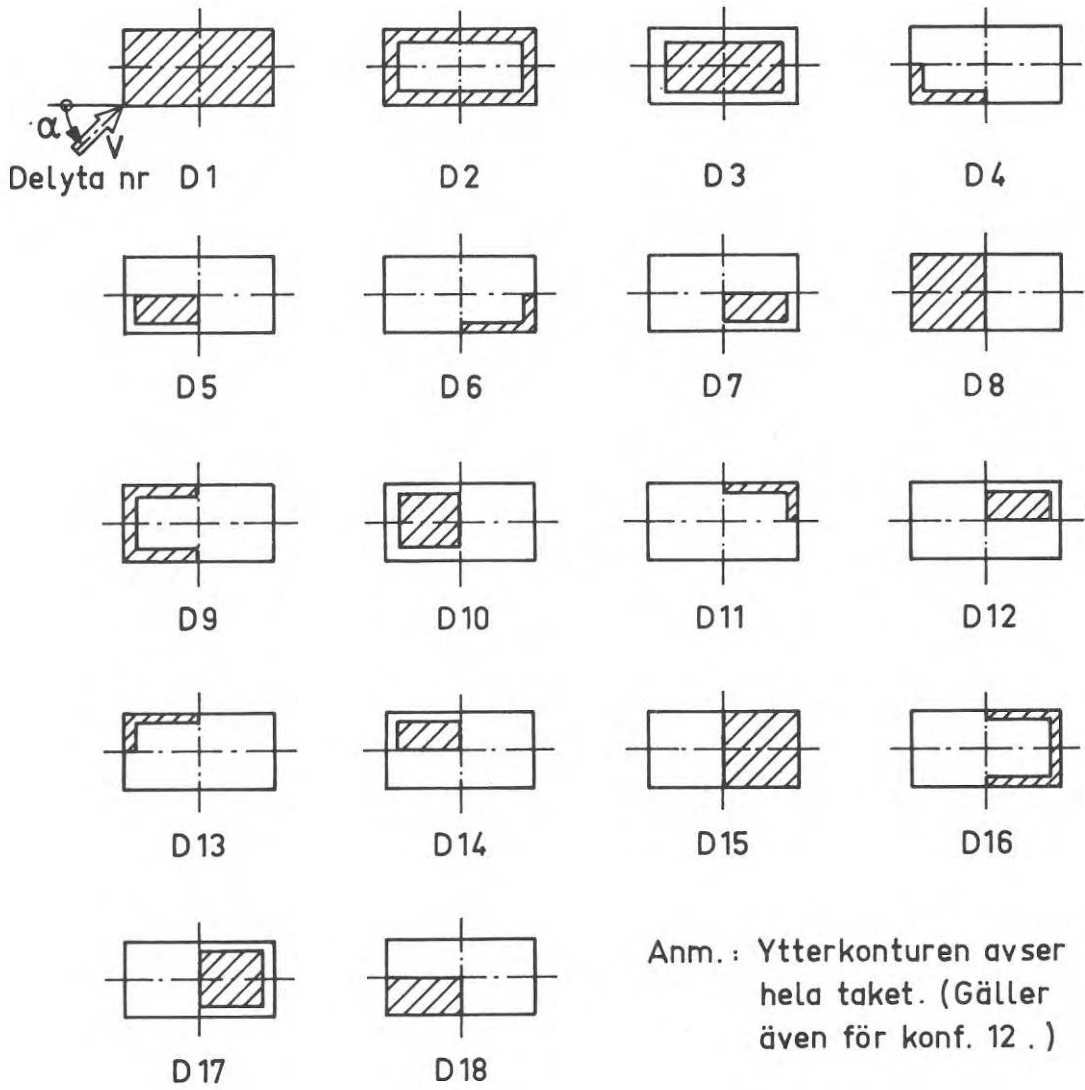


Fig 7. Definition av delytor för samtliga modellkonfigurationer

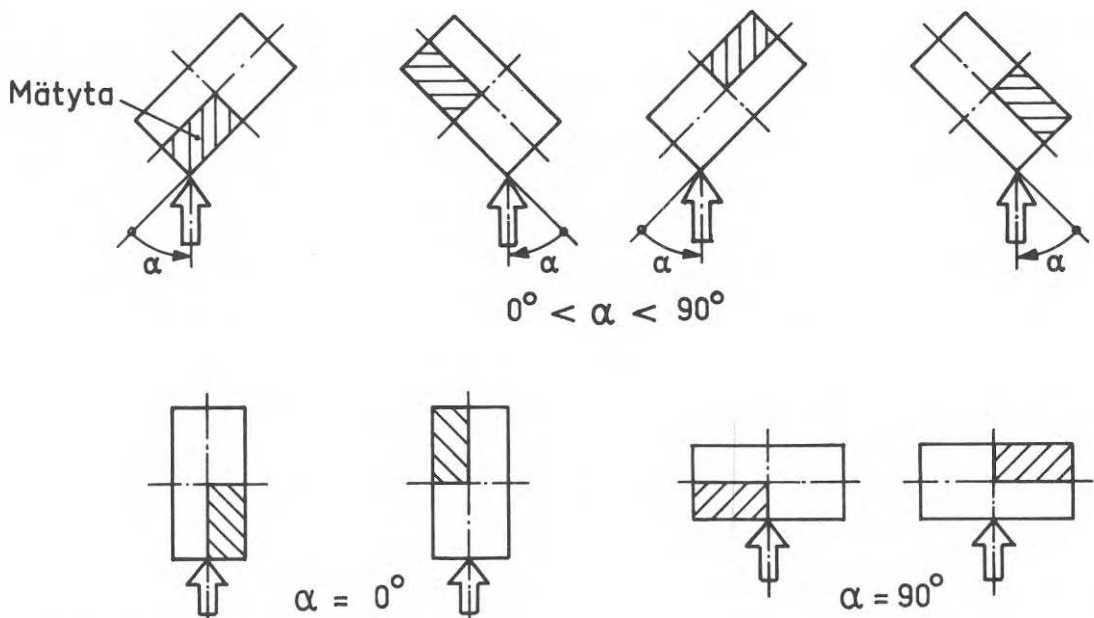


Fig 8. Kombination av anblåsingsfall för tryckmätning på hela takytan genom vridning av modellen

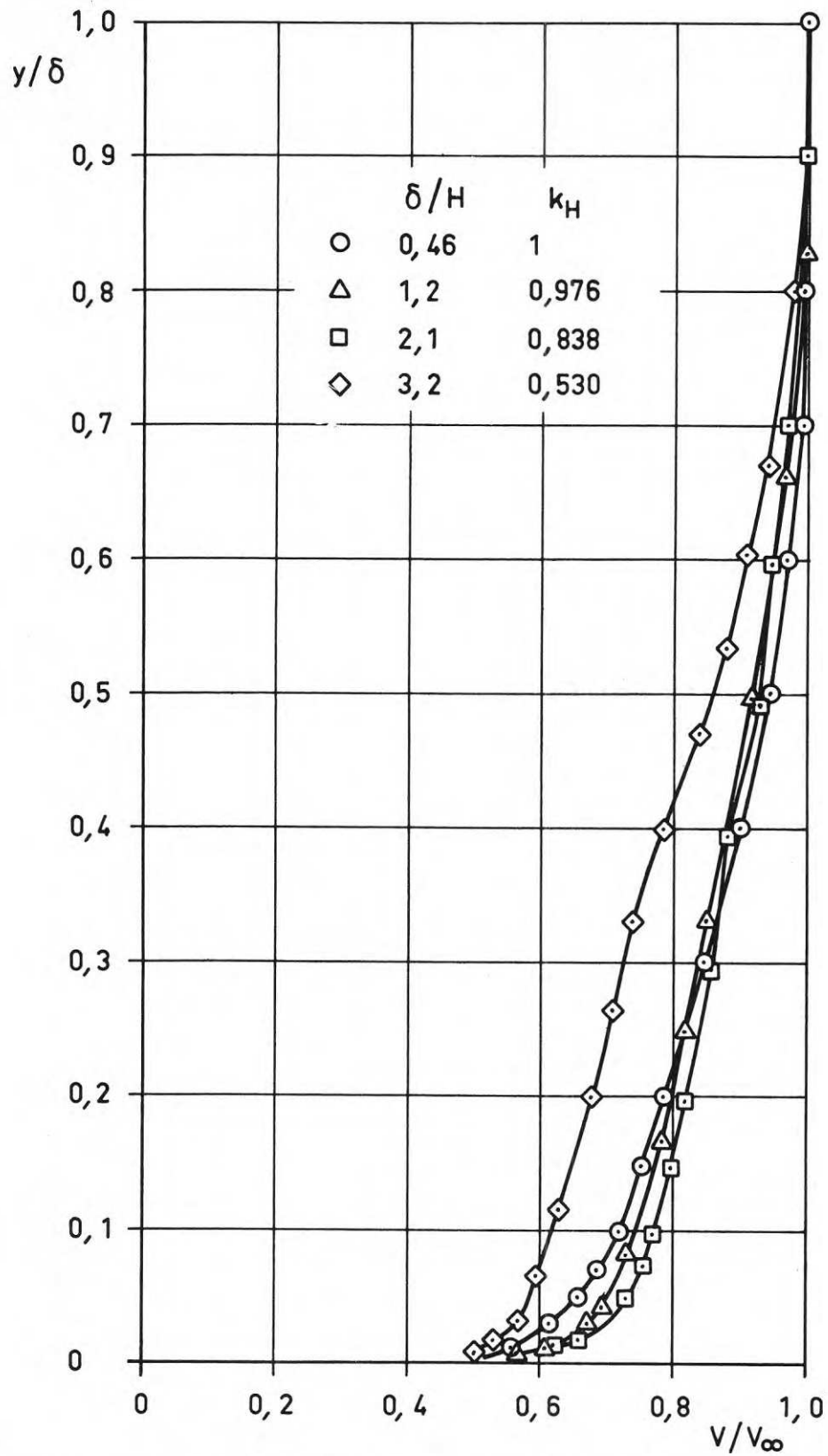


Fig 9 . Gränsskiktprofiler vid $x = 2780$ mm, utan modell i tunneln.
 a . Normerade profiler.

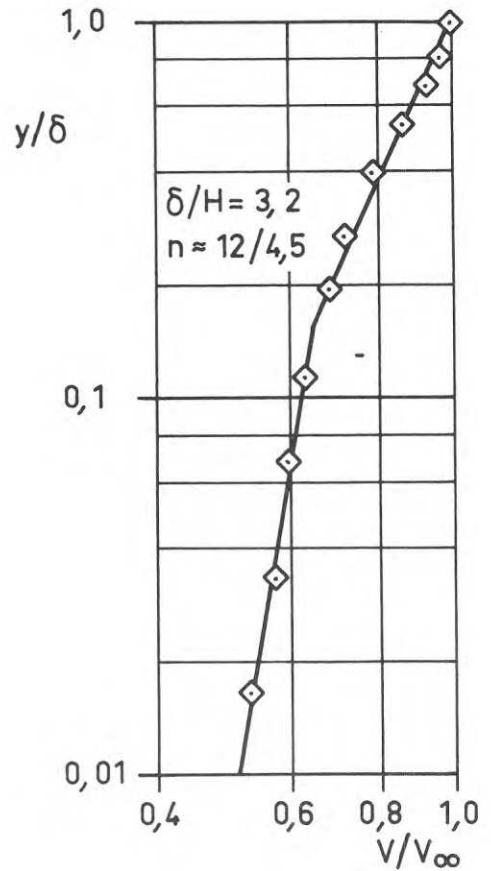
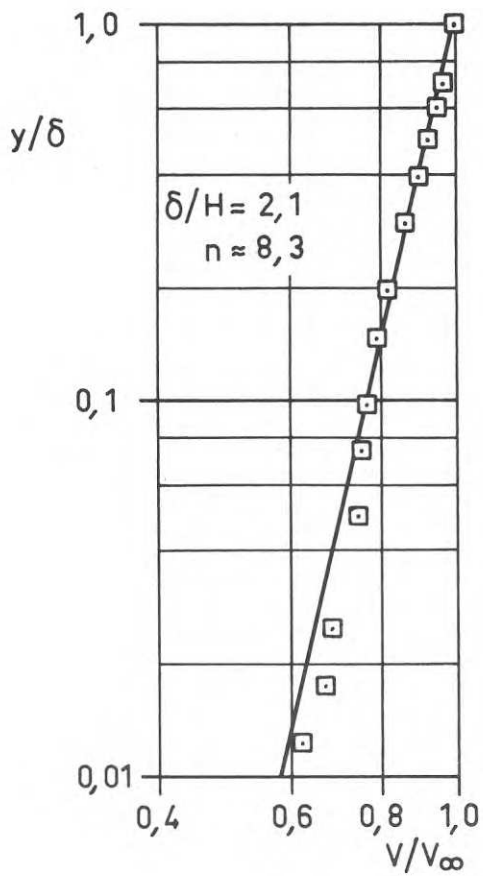
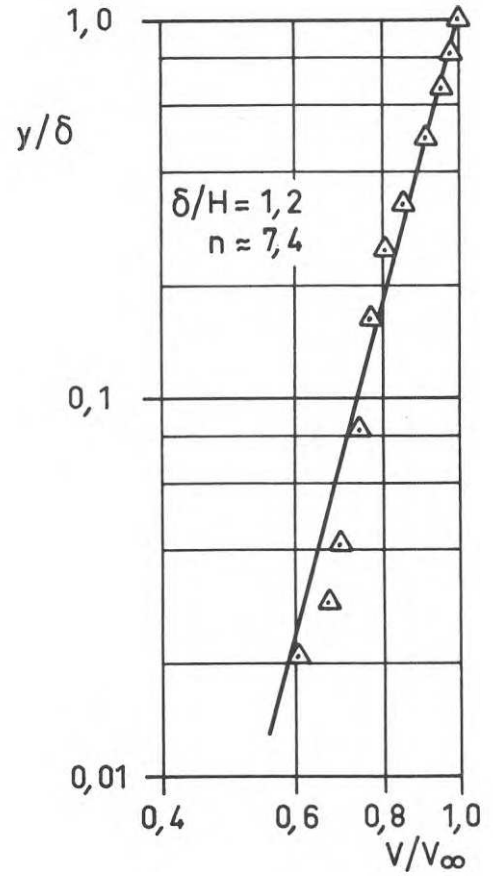
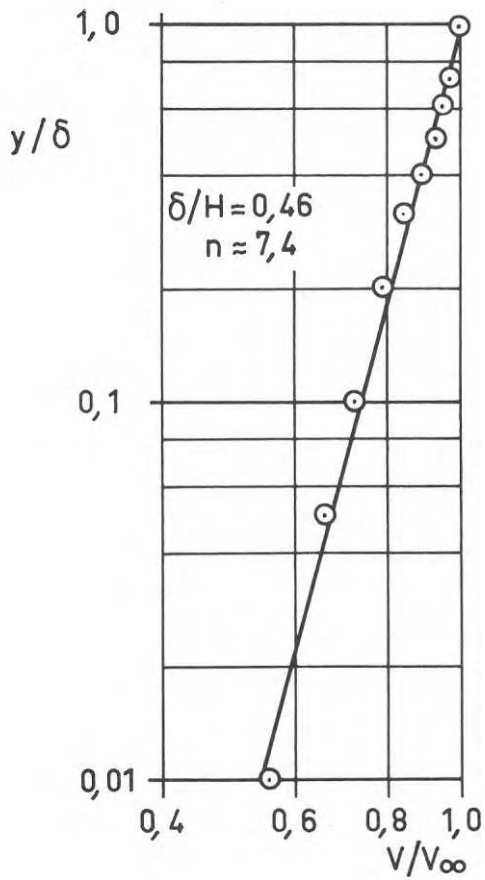


Fig 9, forts.

b. Normerade profiler , log-log-diagram

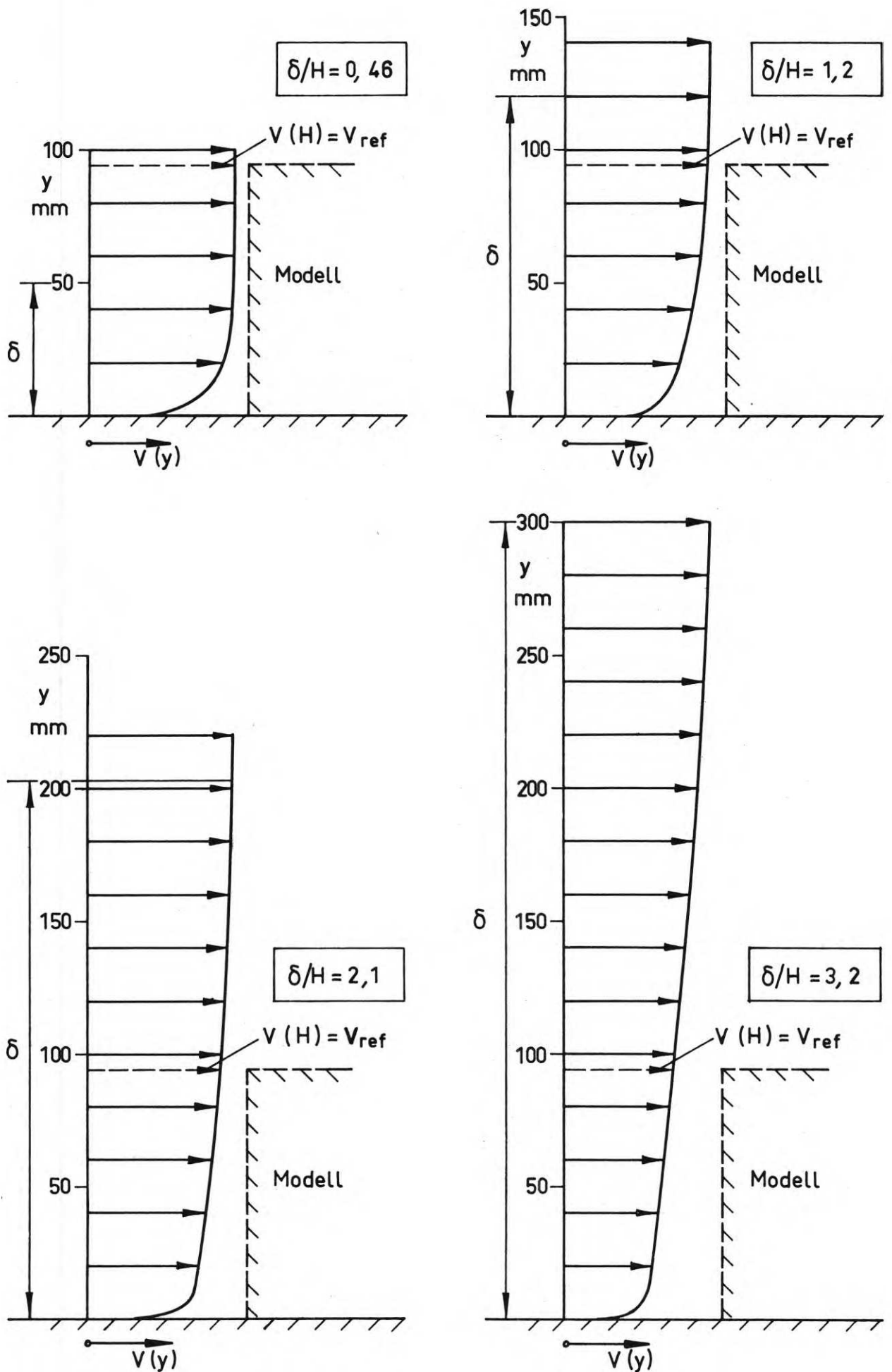


Fig 9, forts.

c. Icke normerade gränsskiktprofiler.

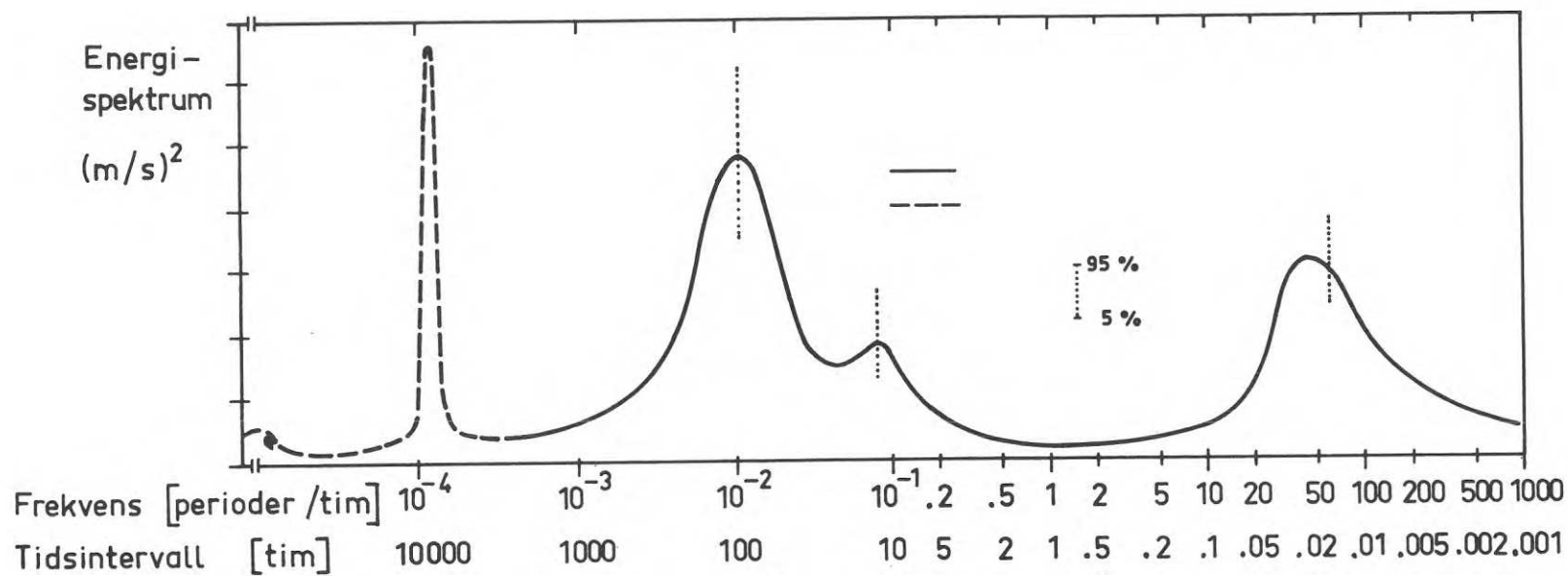
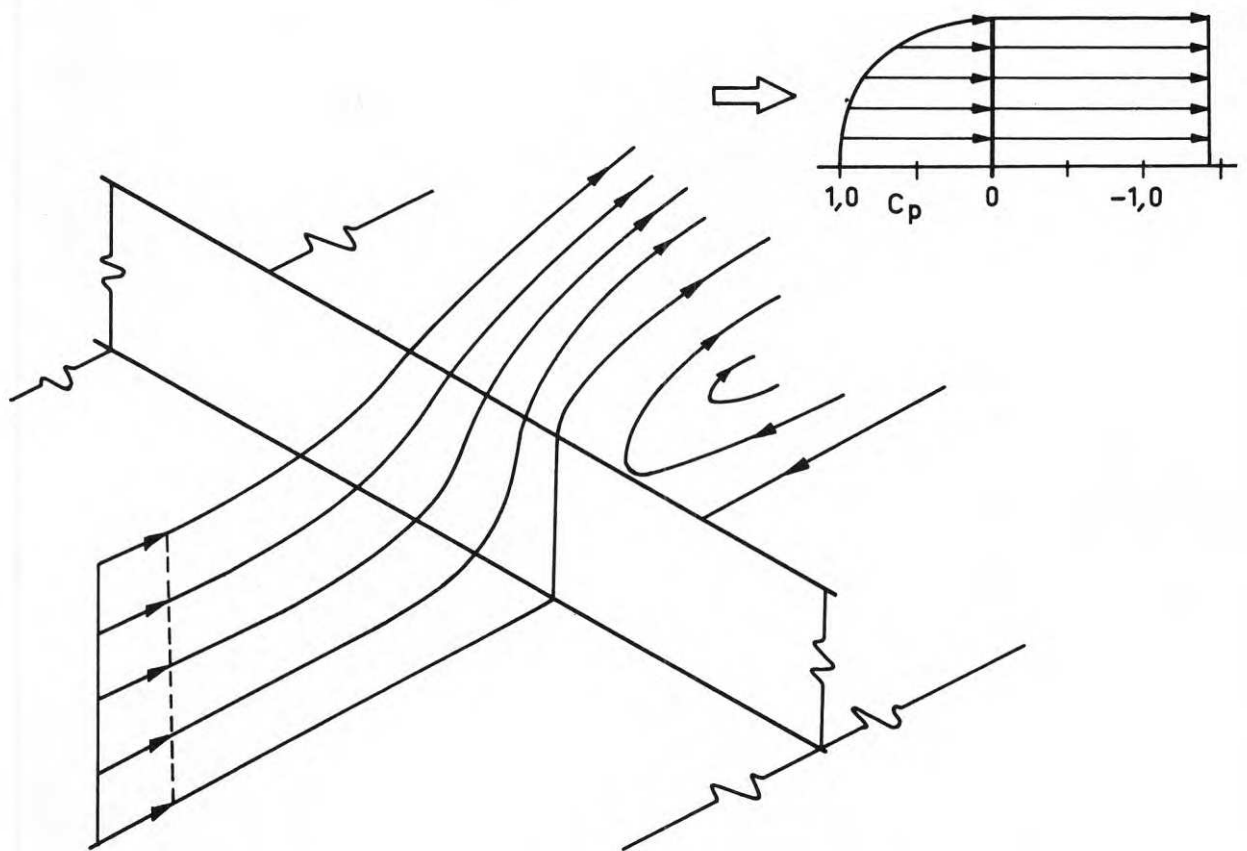
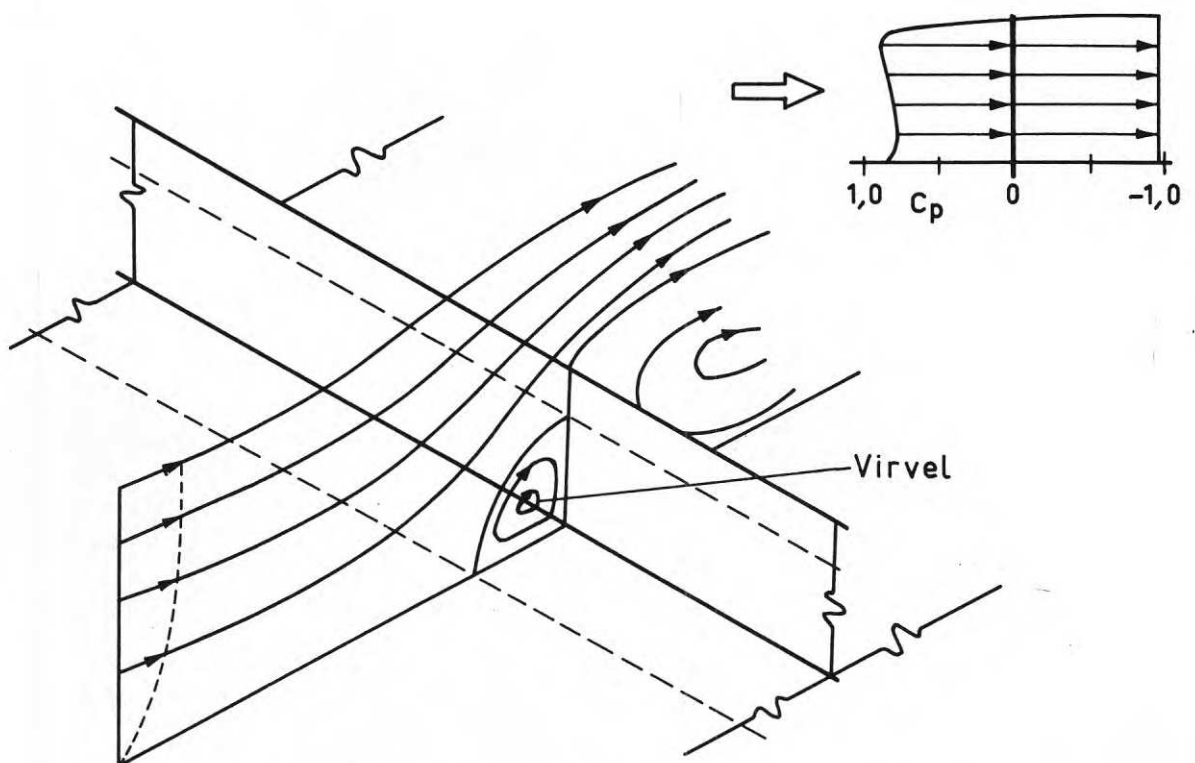


Fig 10. Energispektrum för den horisontella vindhastighetskomponenten på 100 m höjd vid Brookhaven, N.Y., U.S.A., [5].



a. konstant vindhastighet i vertikal led (utan gränsskikt)



b. vertikal hastighetsgradient (med gränsskikt)

Fig 11. Strömningsbild och tryckfördelning vid en tvådimensionell skärm, utan och med vertikal hastighetsgradient i strömningsfältet [16].

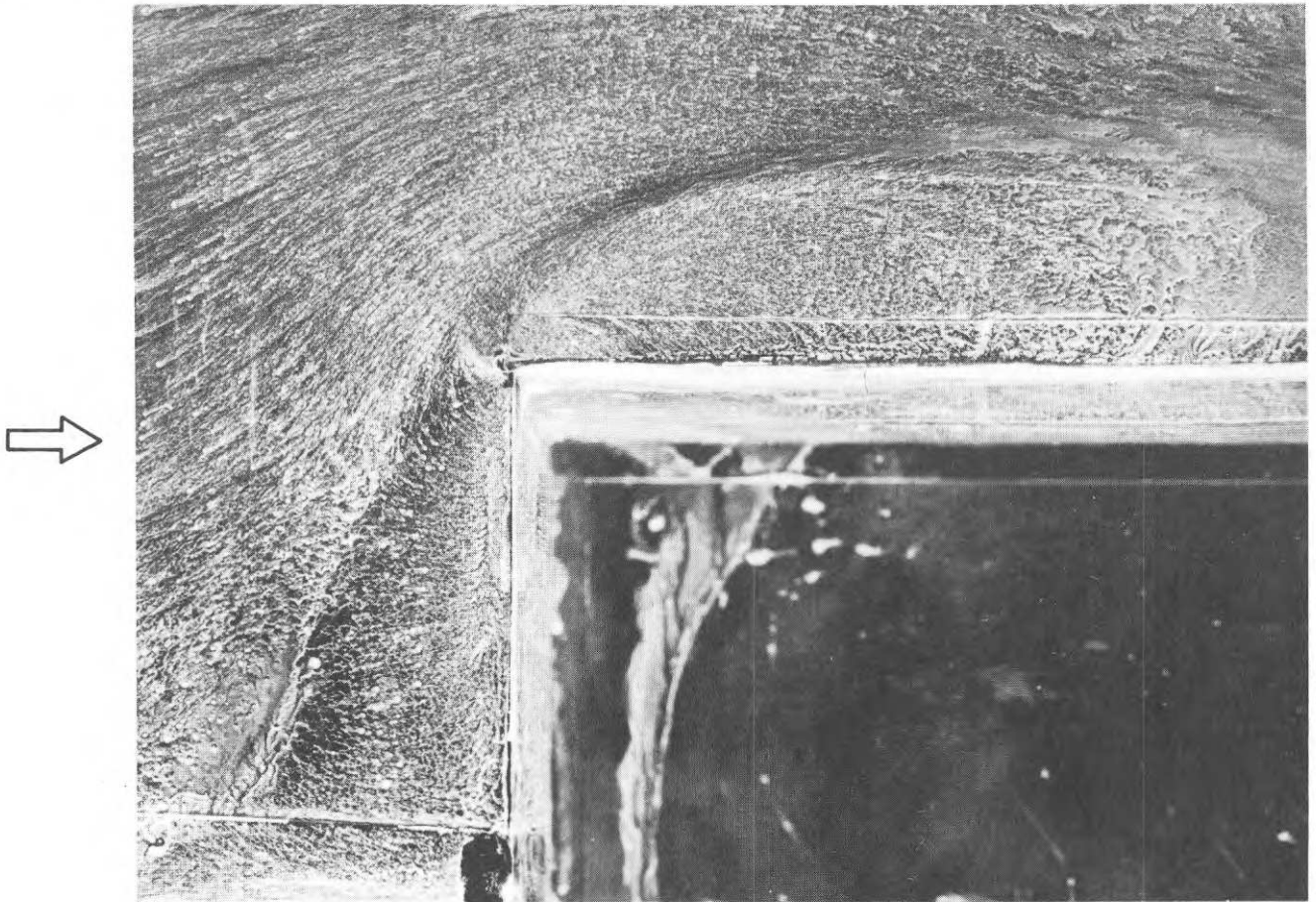
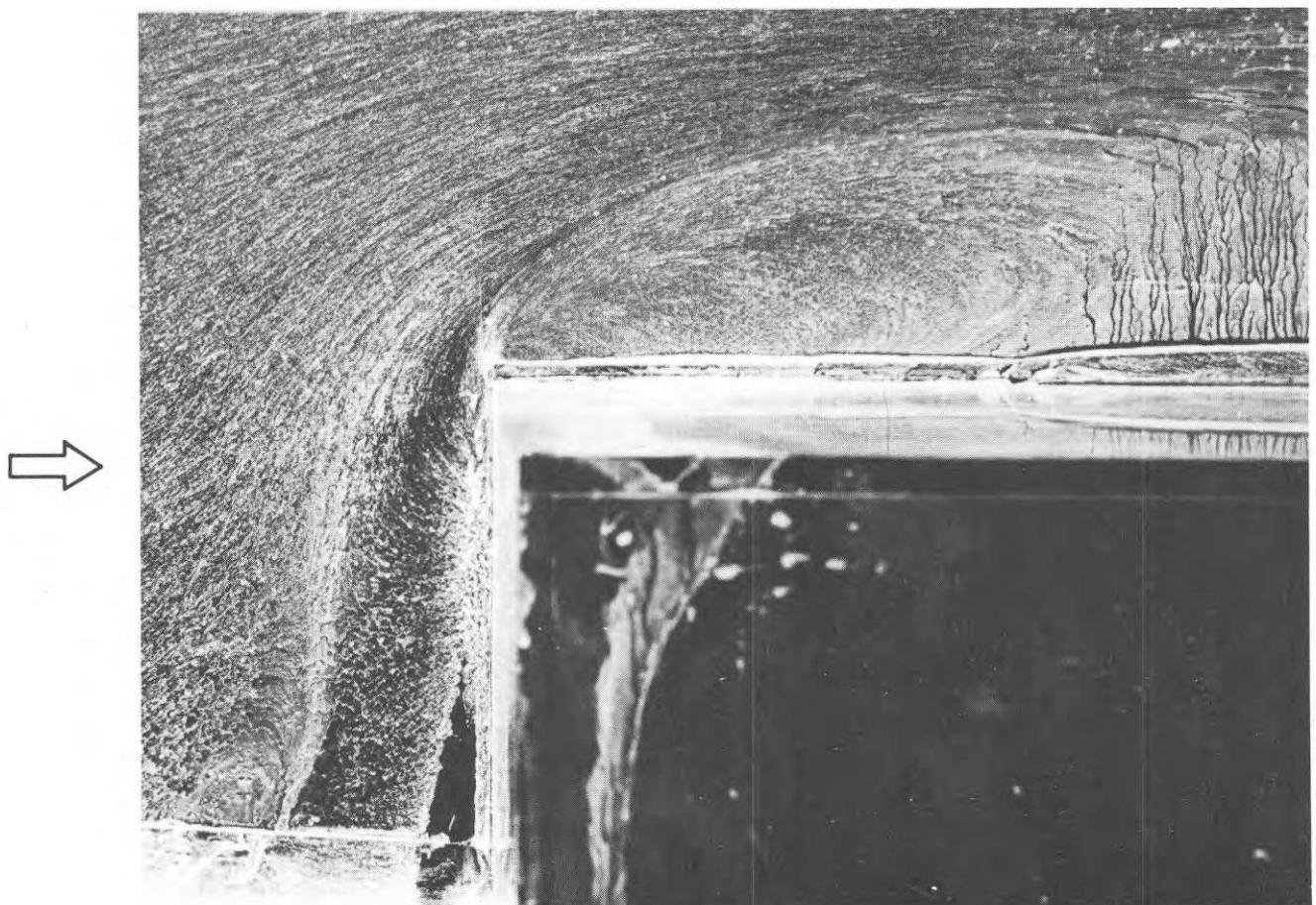
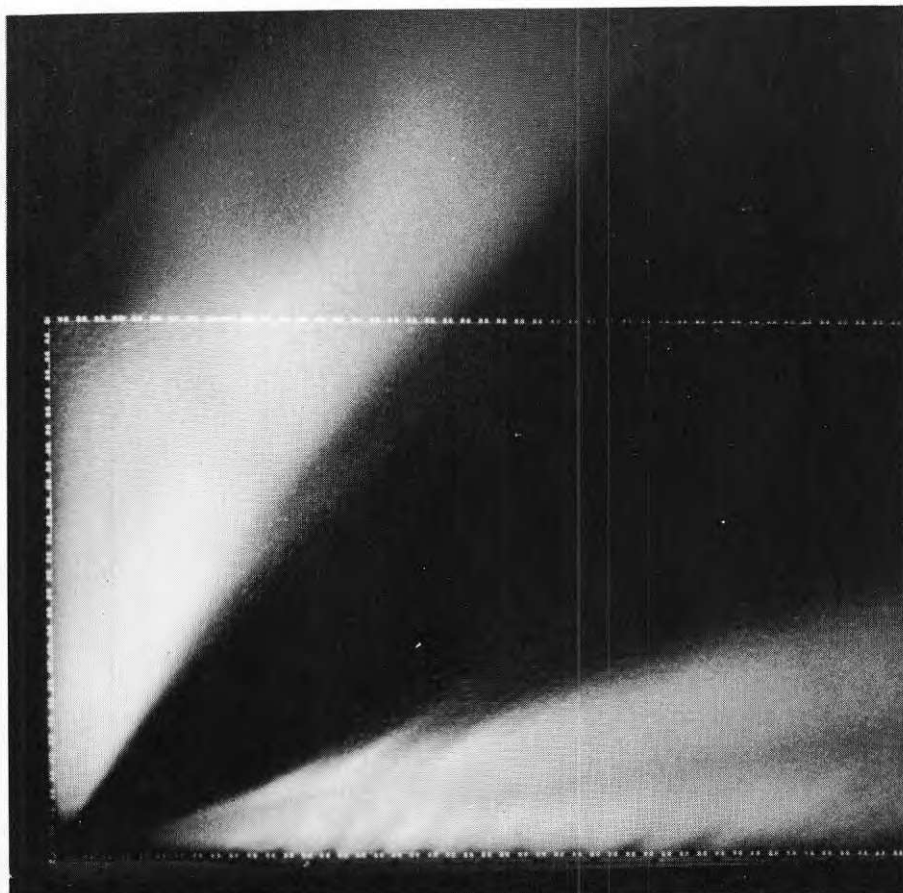
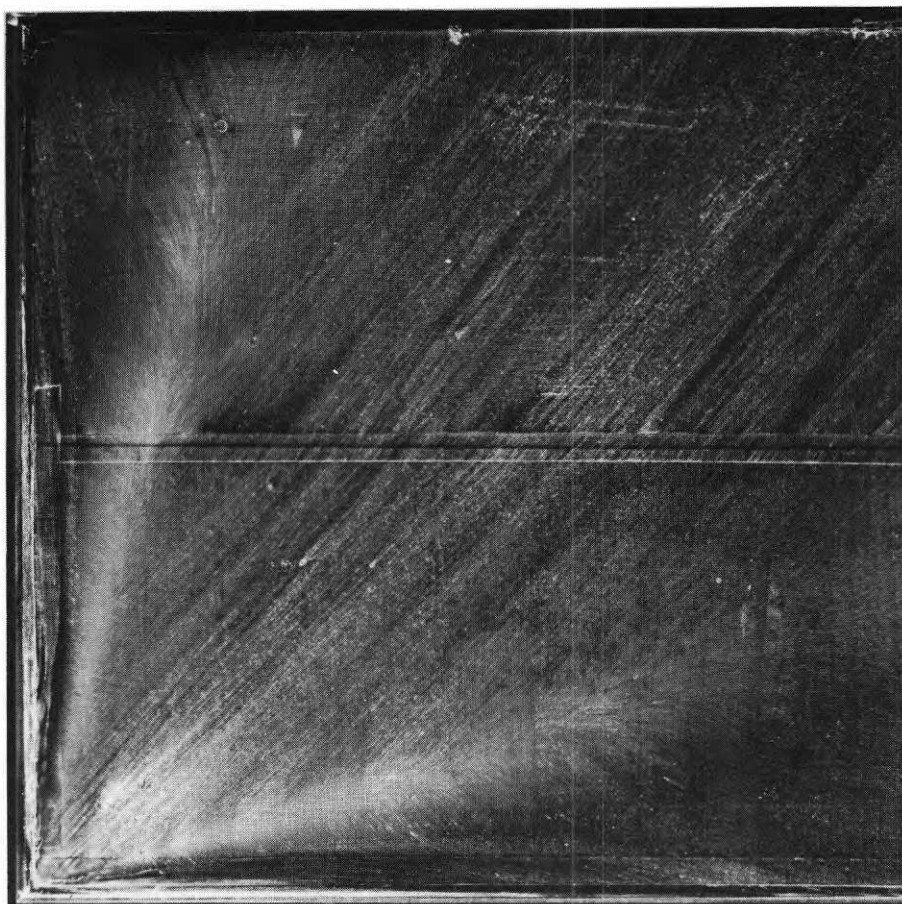
a. $\delta/H = 0,046$ b. $\delta/H = 2,1$

Fig 12. Strömningen över lovartvägg och takkant i modellens symmetri-snitt vid olika modellgränsskikthöjder. Konf K12 , $\alpha = 90^\circ$.



a. Rök
Konf K12



b. Färg
Konf K11



Fig 13. Visualisering av virvelsystemet vid takets lovarthörn. Konf K11 och K12 $\alpha = 40^\circ$.

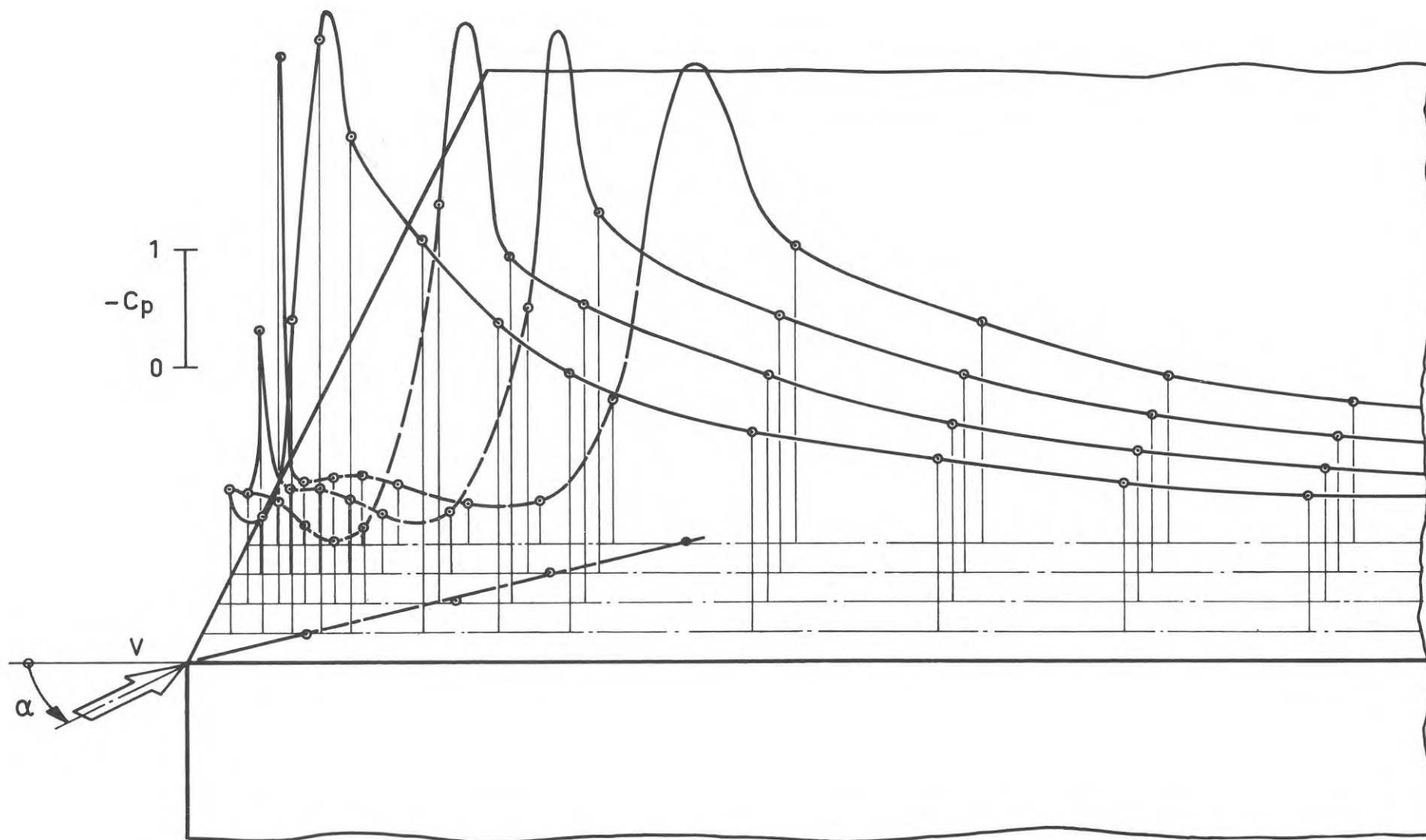


Fig 14. Tryckfördelning vid takhörnet. Konf. K12 , $\delta/H = 0,46$, $\alpha = 45^\circ$

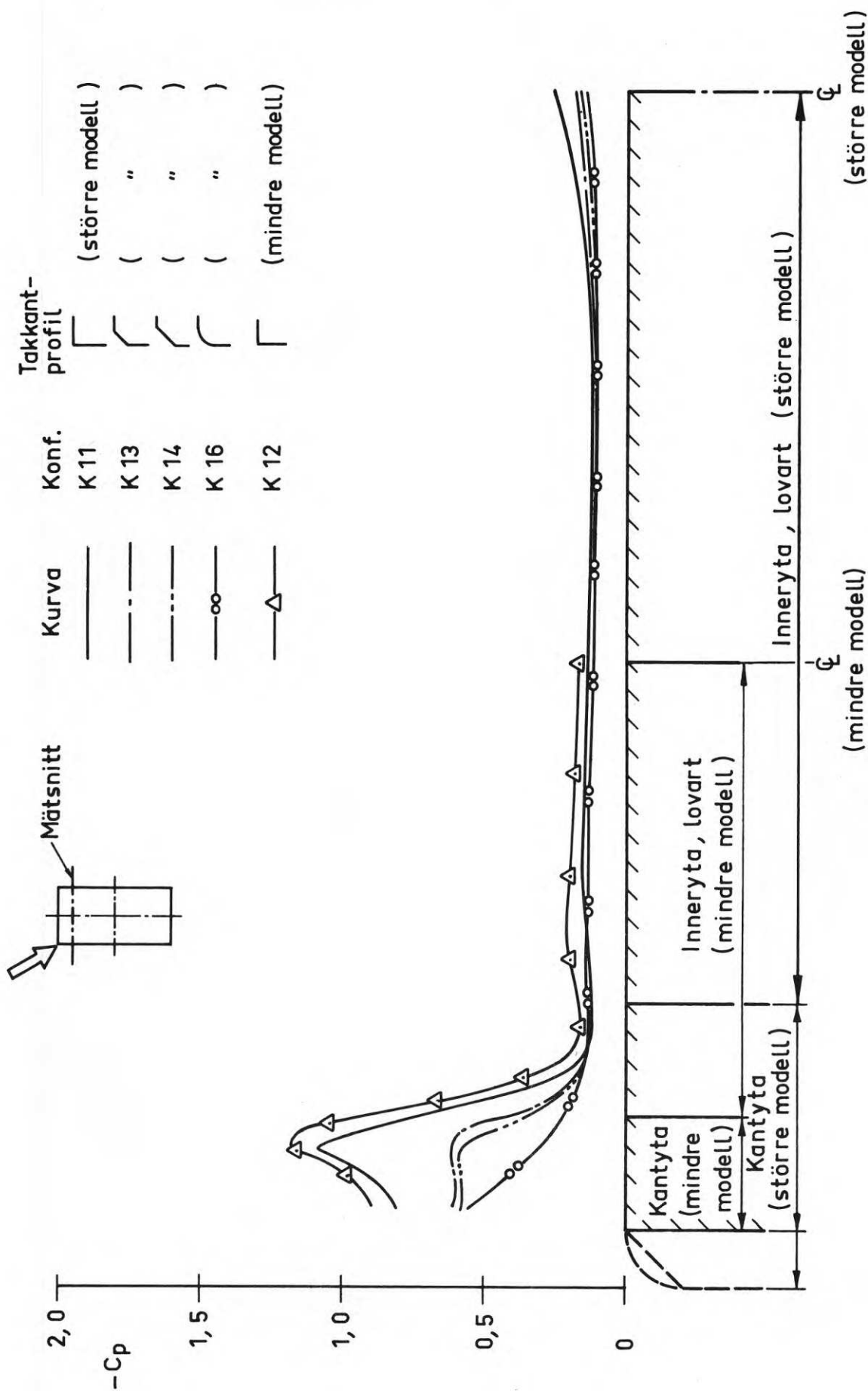


Fig 15. Tryckfördelningar i ett snitt 0,125 L från takets kant (snitt 10, större mod., resp. snitt 8, mindre mod., se fig 6.) Konf K 11, K 12, K 13, K 14 och K 16 . $\alpha = 30^\circ$. $\delta/H = 2,1$.

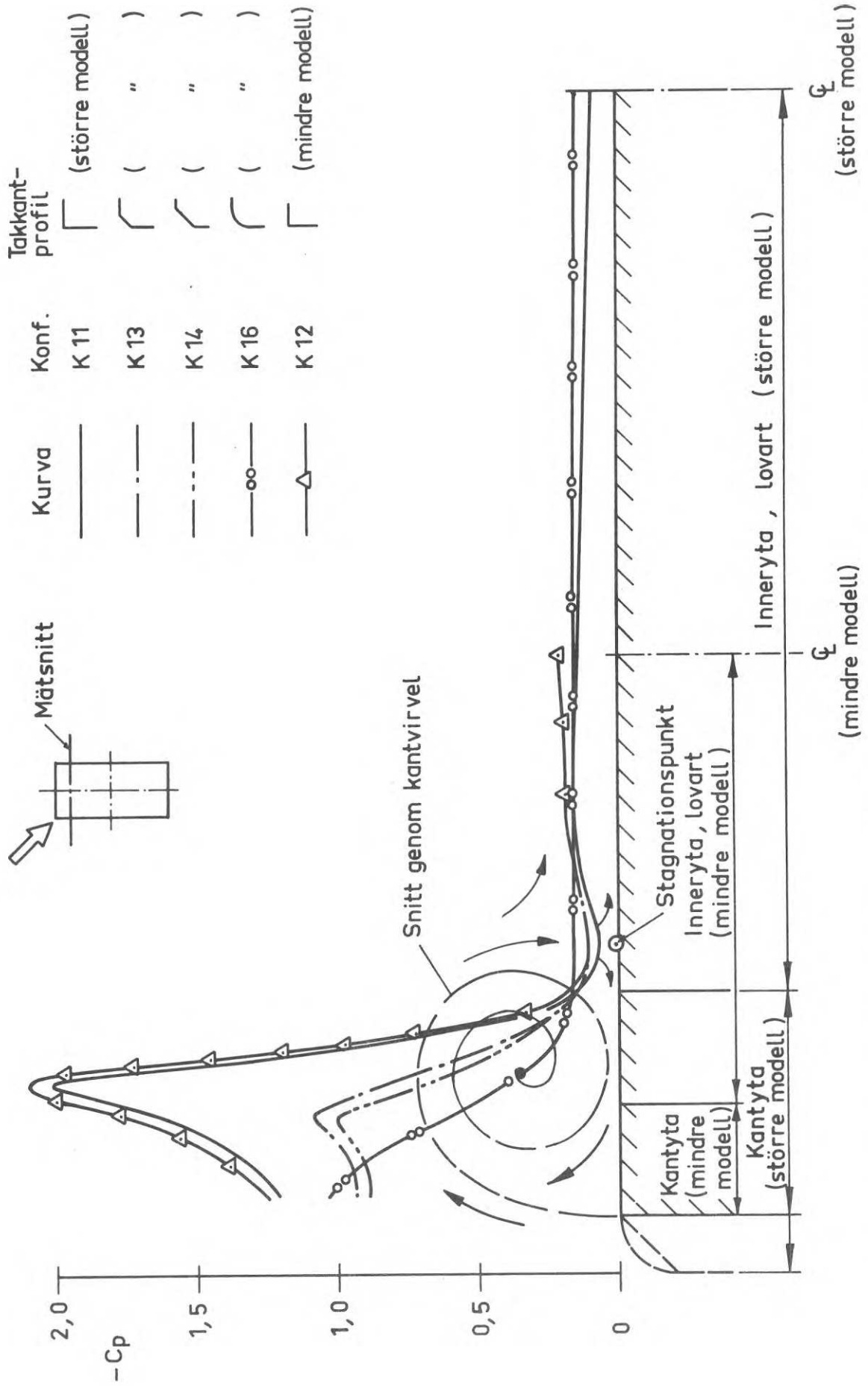


Fig 16 . Tryckfördelningar i ett snitt 0,125 L från takets kant (snitt 10, större mod., resp snitt 8, mindre mod., se fig 6.) Konf K 11, K 12, K 13, K 14 och K 16. $\alpha = 45^\circ$, $\delta/H = 2,1$.

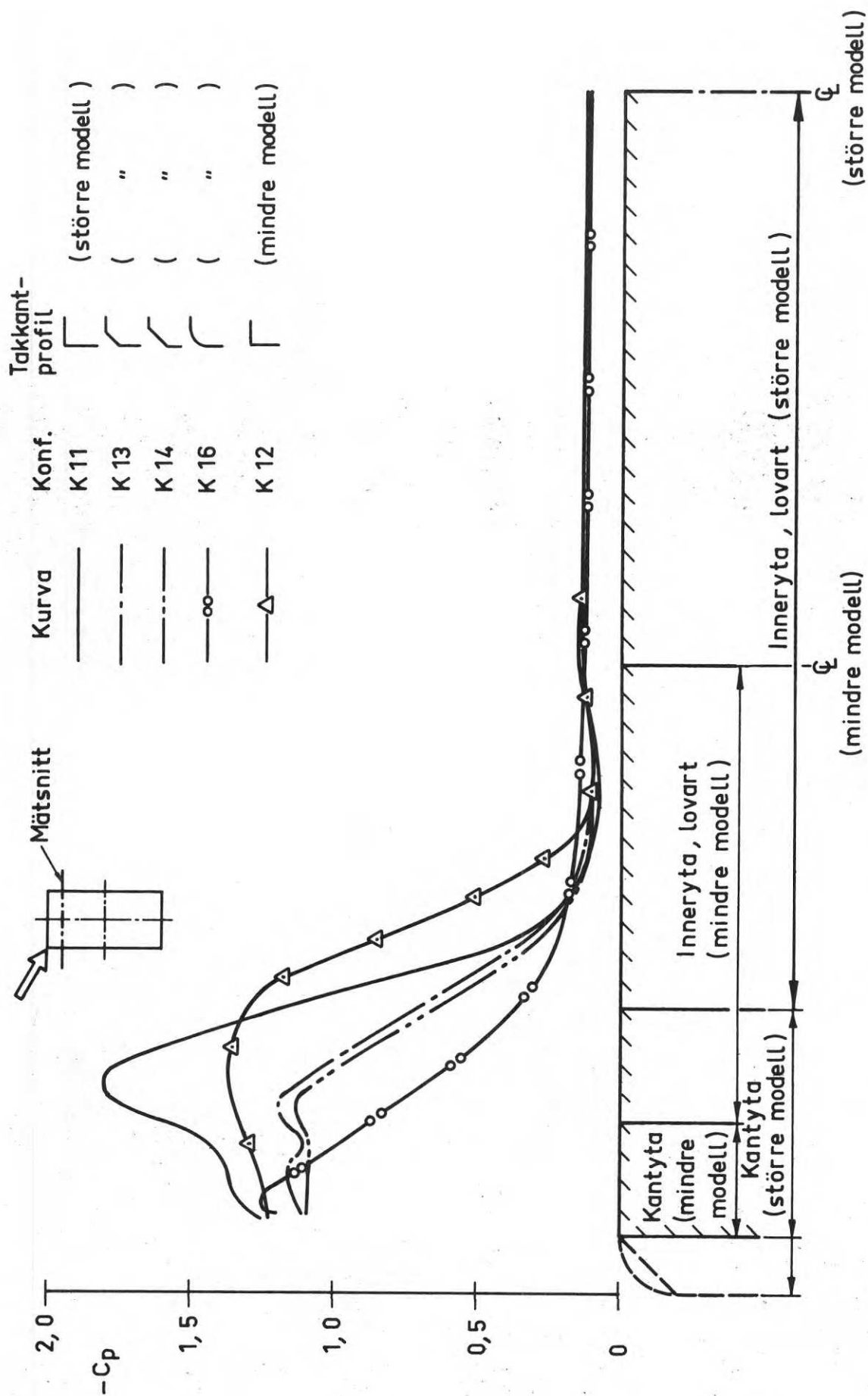


Fig 17. Tryckfördelningar i ett snitt 0,125 L från takets kant (snitt 10, större mod., resp snitt 8, mindre mod, se fig 6.) Konf K 11, K 12, K 13, K 14 och K 16 . $\alpha = 60^\circ$, $\delta/H = 2,1$.

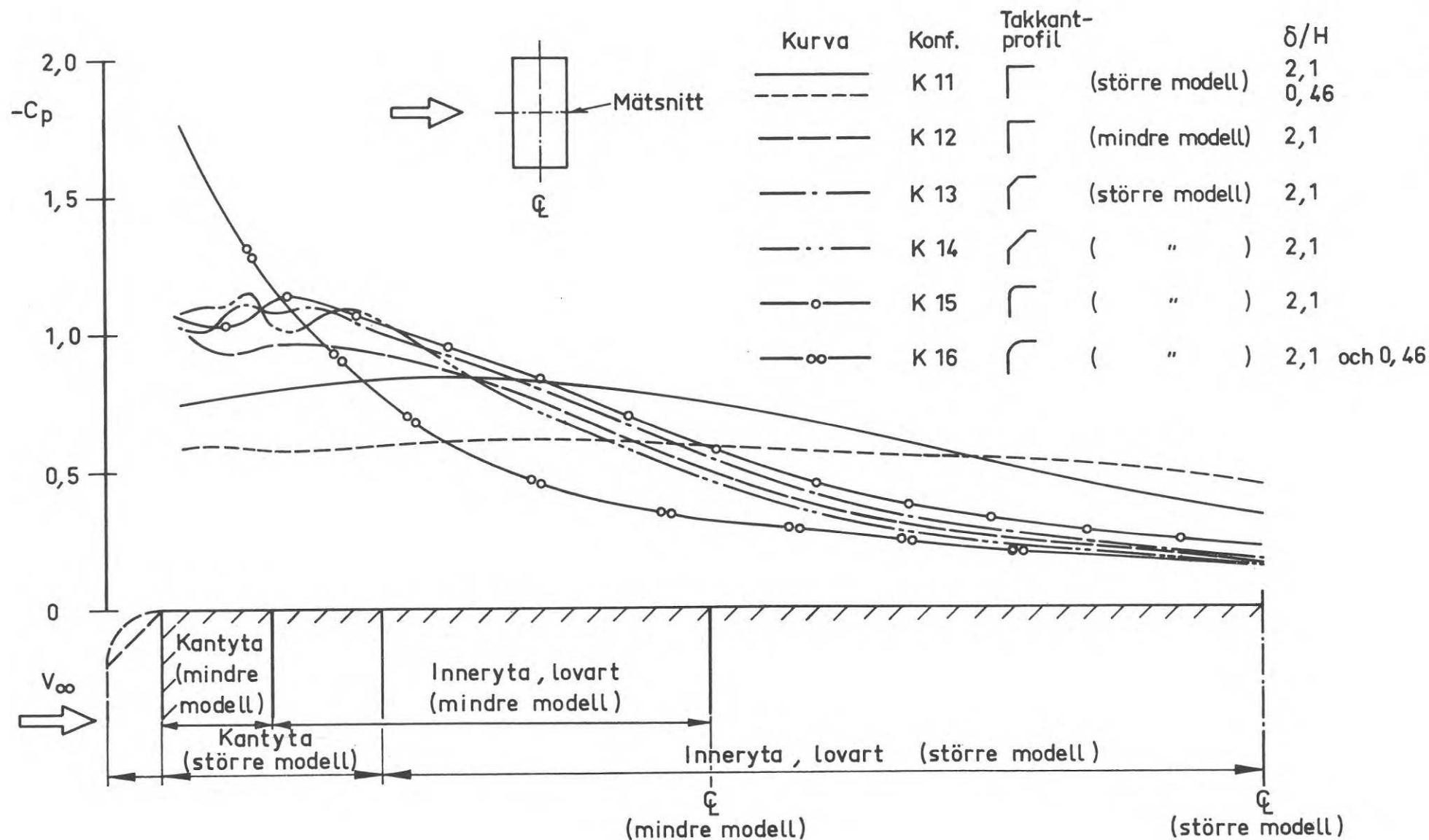


Fig 18. Tryckfördelningar i symmetrisnittet (snitt 20, större mod, resp snitt 14, mindre mod, se fig 6), takets lovartdel, samtliga konf., $\alpha = 90^\circ$.

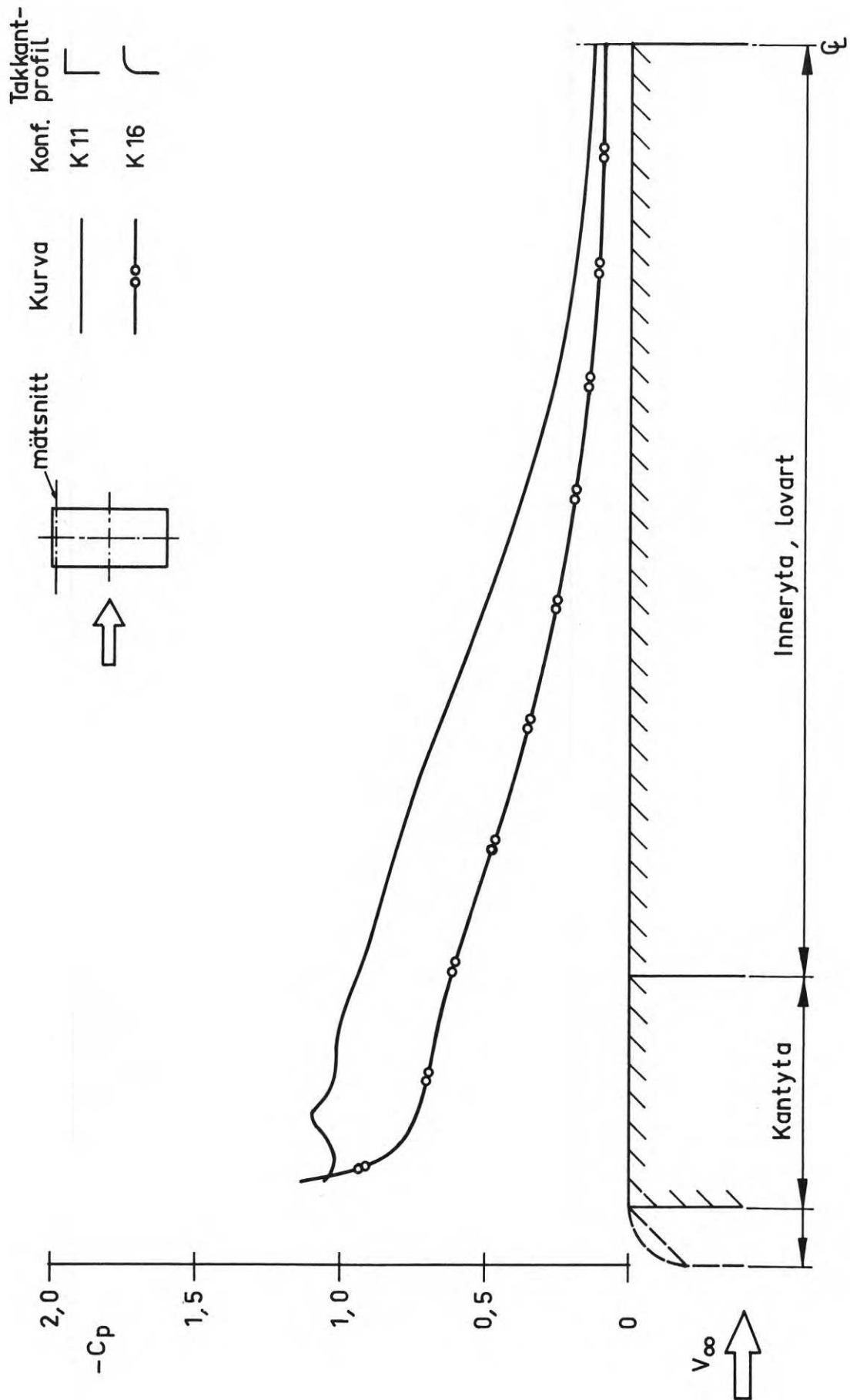


Fig 19. Tryckfördelningar i snittet närmast modellens kortsida (snitt 1, fig 6), takets lovardel, $\alpha = 90^\circ$.
Konf. K11 och K16 .

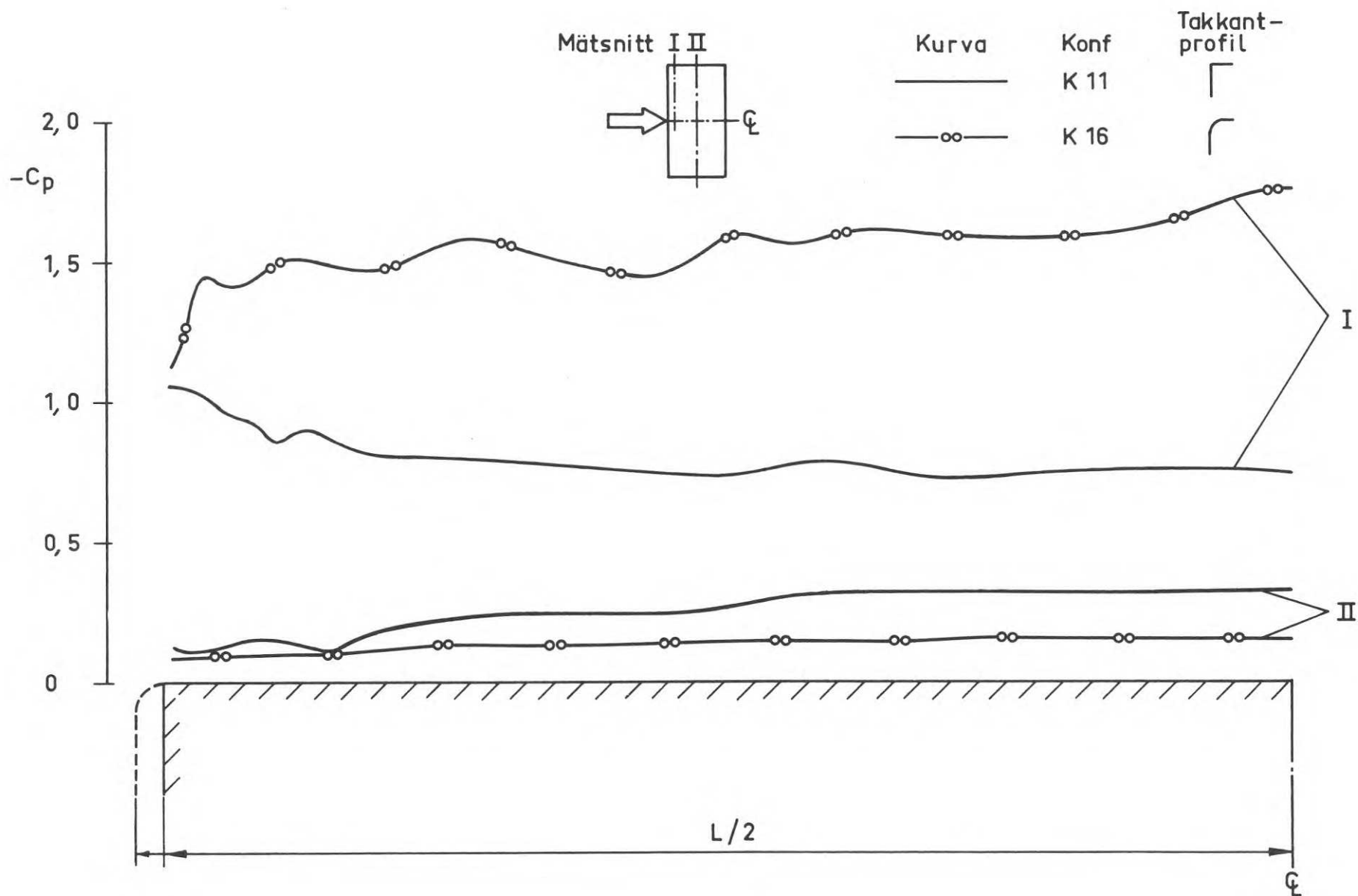


Fig 20. Tryckfördelningar i två snitt parallella med modellens långsida, (snitt a och l, fig 6.)
 $\alpha = 90^\circ$, $\delta/H = 2,1$, Konf K11 och K16.

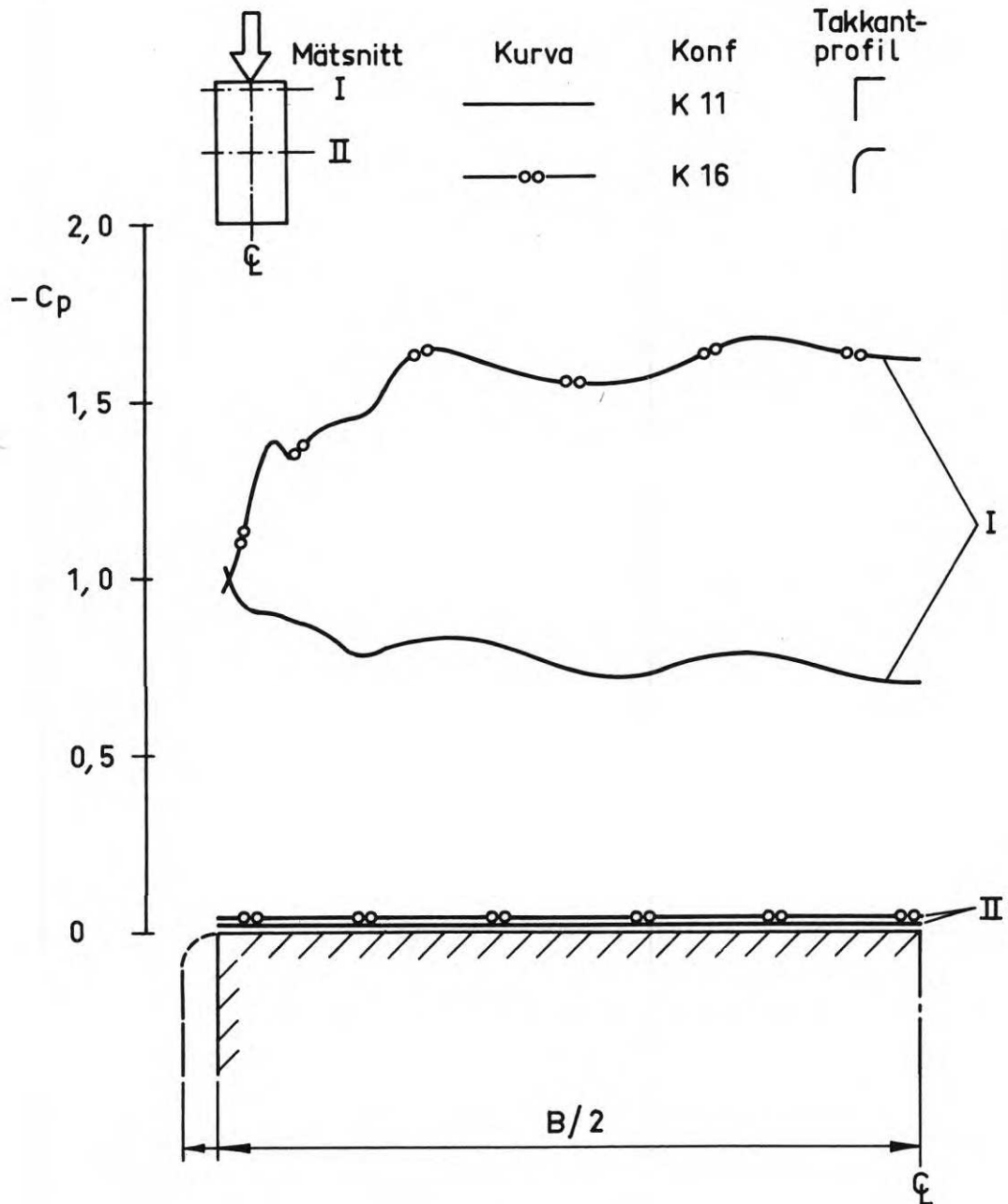
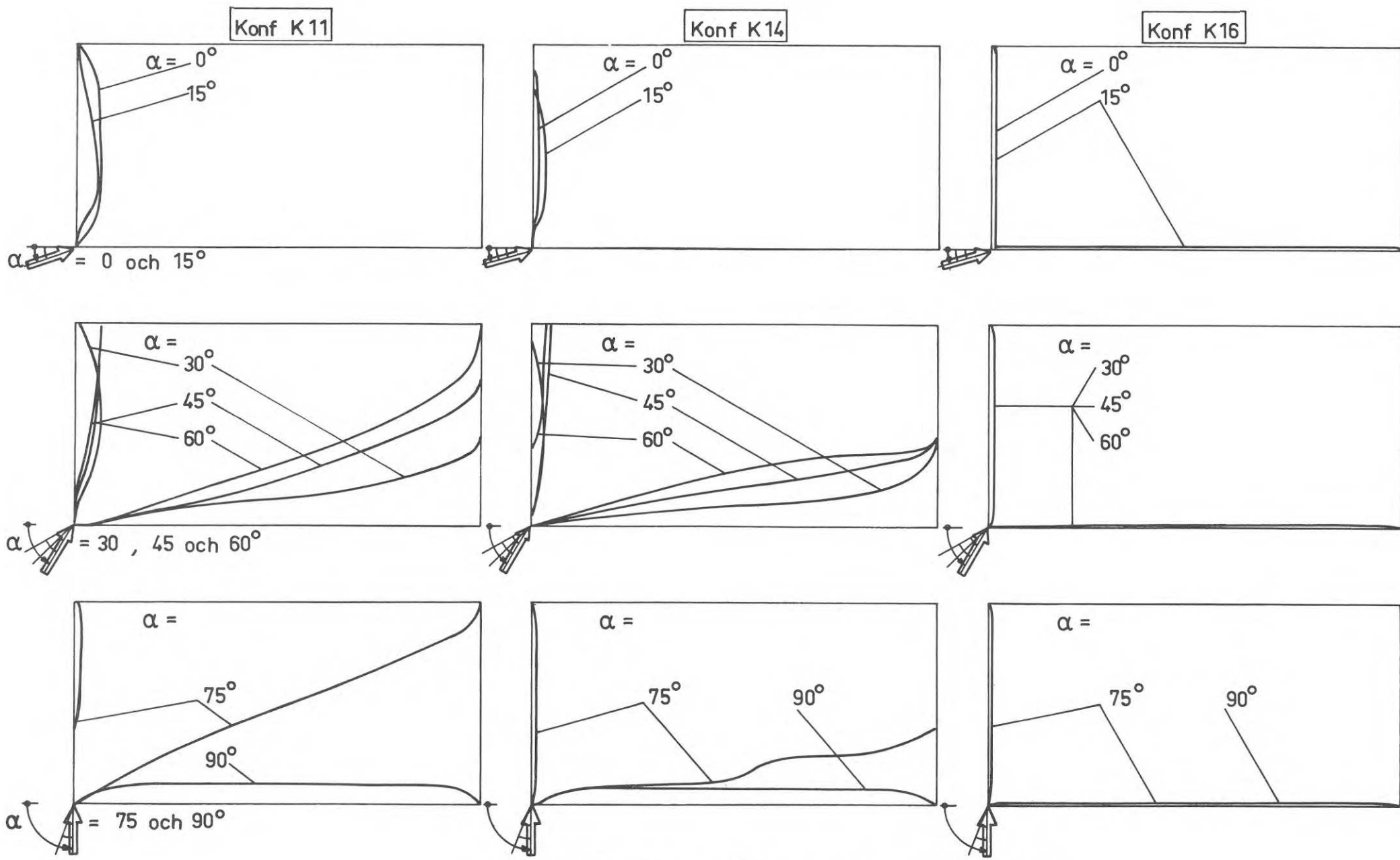


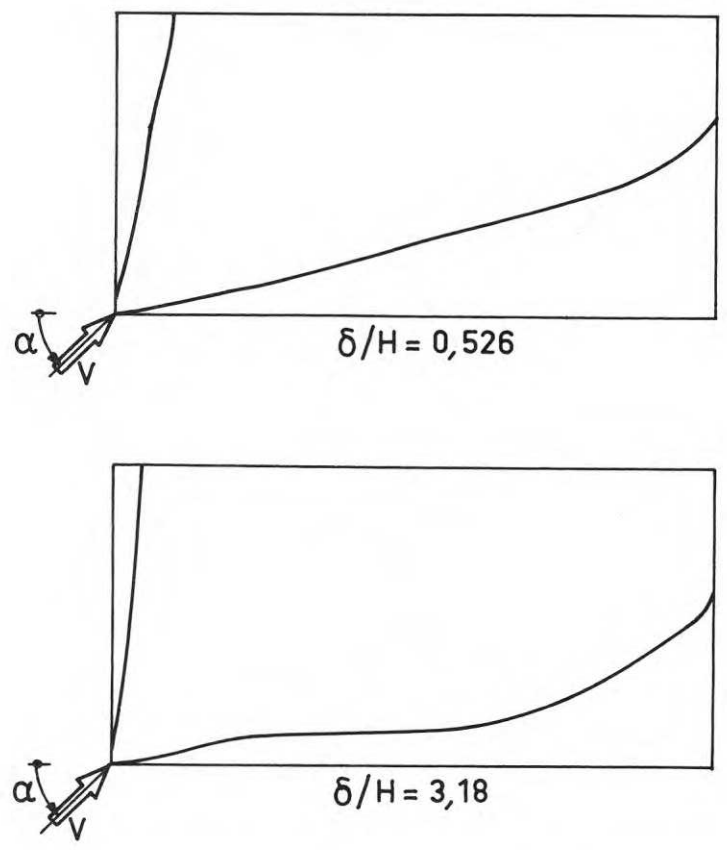
Fig 21. Tryckfördelningar i två snitt parallella med modellens kortsida, (snitt 1 och 20, fig 6.)
 $\alpha = 0^\circ$, $\delta/H = 2,1$, Konf K 11 och K 16.



a. Konf K11, K14 och K16, $\alpha = 0 - 90^\circ$, $\delta/H = 2,1$
 Fig 22. Orter för tryckminima i varje mätsnitt (skala 1:10)

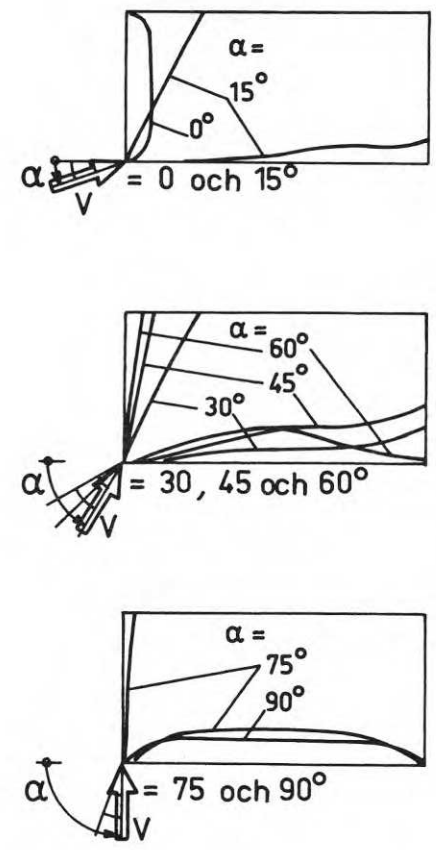
Konf K11

$\alpha = 45^\circ$

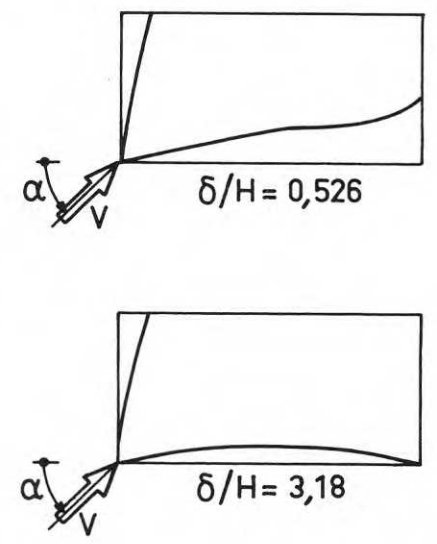


Konf K12

$\delta/H = 2,14$



$\alpha = 45^\circ$



b. Konf K11 , $\alpha = 45^\circ$, $\delta/H = 0,526$ och $3,18$

c. Konf K12 , $\alpha = 0 - 90^\circ$, $\delta/H = 0,46$, $2,1$ och $3,2$

Fig 22 forts. Orter för tryckminima i varje mätsnitt (skala 1:10)

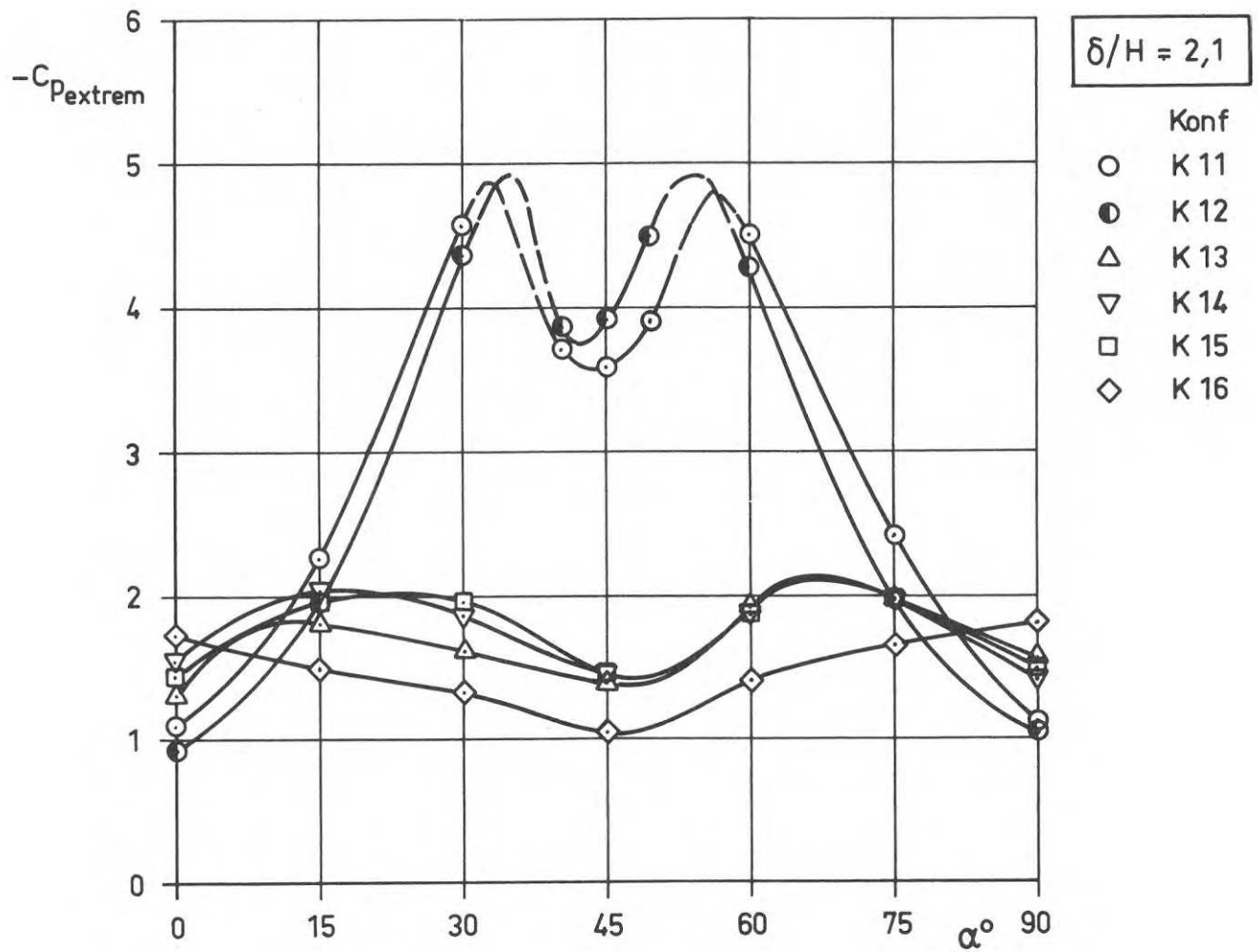


Fig 23. Tryckkoefficientens extremvärde som funktion av anblåsningens vinkel. $\delta/H = 2,1$, konf K 11 - 16.

α°	Ökning ($\Delta C_p > 0$) resp minskning ($\Delta C_p < 0$) av medeltryckets extremvärde ^{x)} vid			
	fasning av takkanten		rundning av takkanten	
	$a \approx 0,05 H$	$a \approx 0,1 H$	$r \approx 0,05 H$	$r \approx 0,1 H$
0	+ 0,30	+ 0,50	+ 0,35	+ 0,70
15	- 0,45	- 0,30	- 0,30	- 0,80
30	- 3,0	- 2,8	- 2,7	- 3,2
45	- 2,2	- 2,2	- 2,1	- 2,5
60	- 2,6	- 2,6	- 2,5	- 3,1
75	- 0,45	- 0,50	- 0,50	- 0,80
90	+ 0,45	+ 0,30	+ 0,40	+ 0,70

^{x)} Största uppmätta undertryck på hela taket .

Fig 24. Takkantutformningens inverkan på extremtrycket på taket .
Sammanfattning av resultat från tabell 1 . Konf K11, $\delta/H=2,1$.

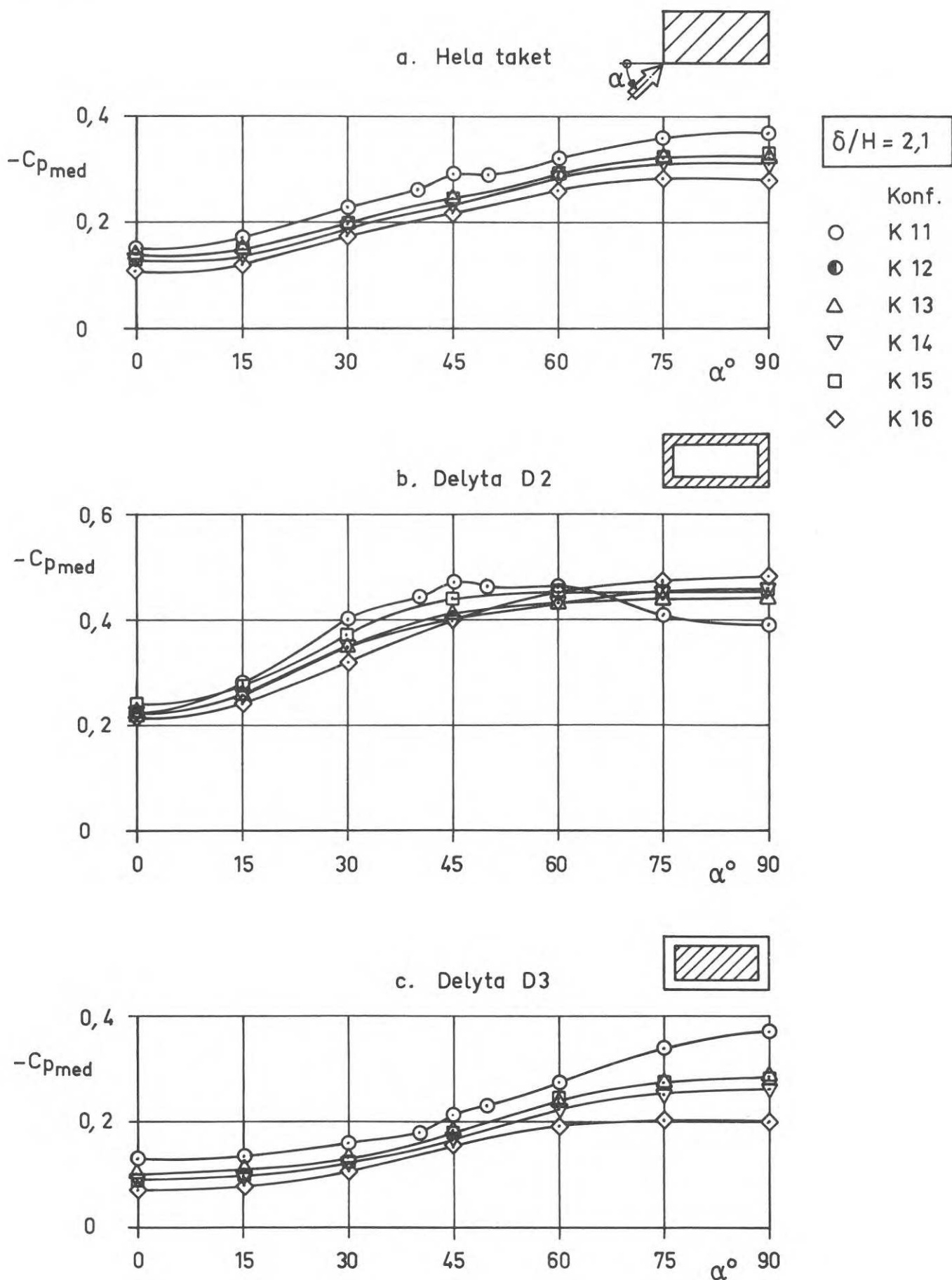


Fig 25 a-c. Tryckkoefficientens medelvärde som funktion av anblåsningvinkeln. $\delta/H = 2,1$, delytor D 1 - 3.

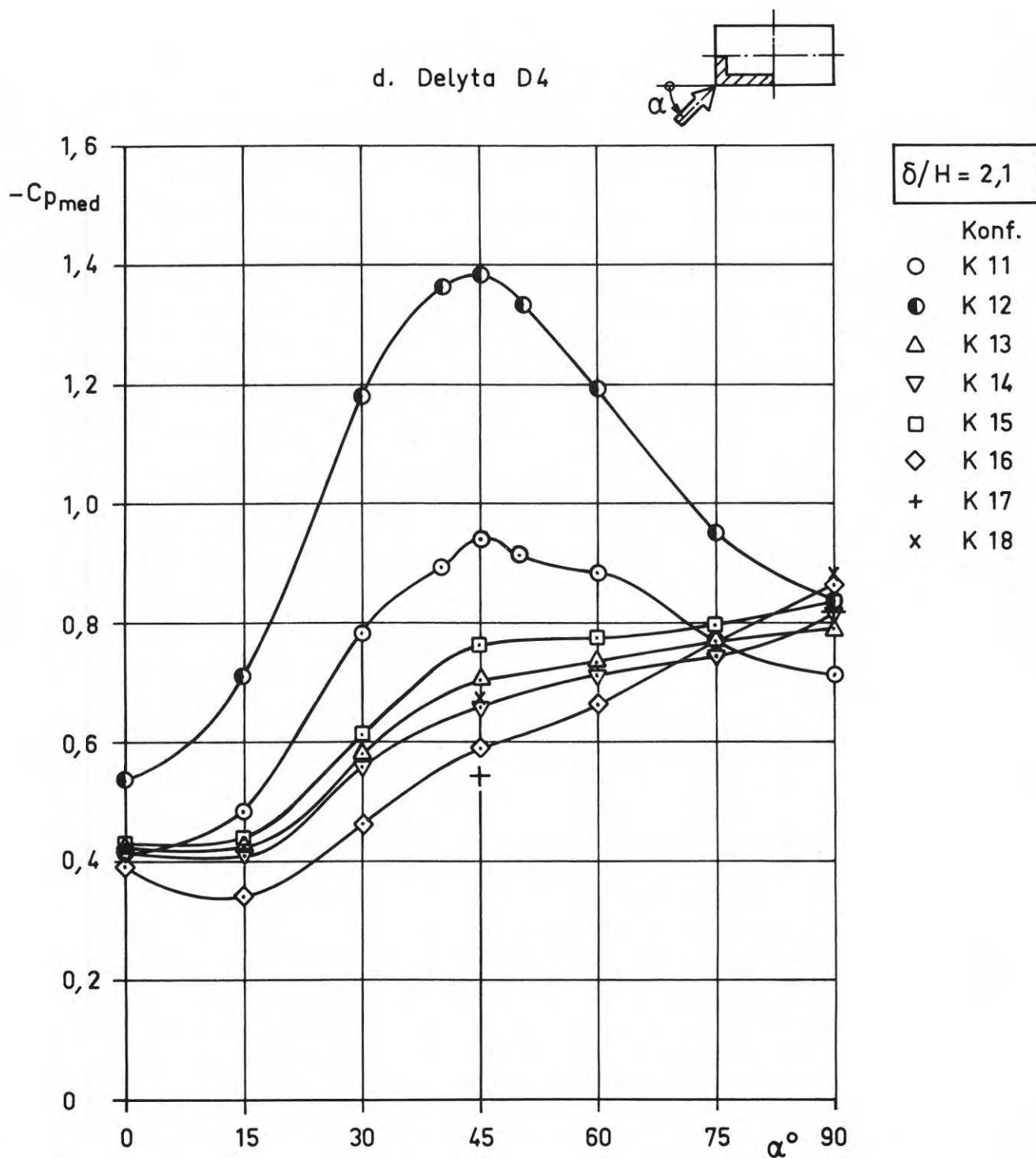
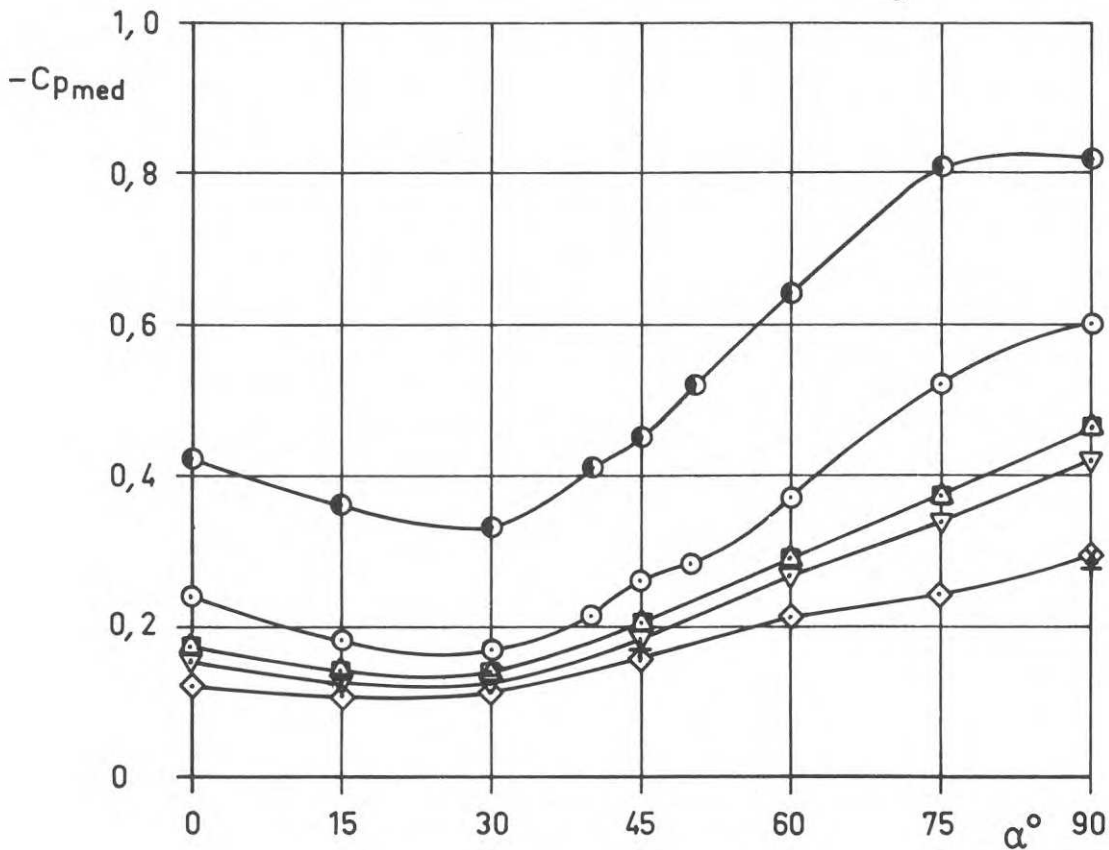
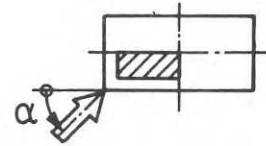


Fig 25 d. Tryckkoefficientens medelvärde som funktion av anblåsningvinkeln.
 $\delta/H = 2,1$, delyta D4 .

e. Delyta D5



$\delta/H = 2,1$

- Konf.
- K 11
 - K 12
 - △ K 13
 - ▽ K 14
 - K 15
 - ◇ K 16
 - + K 17
 - x K 18

f. Delyta D6

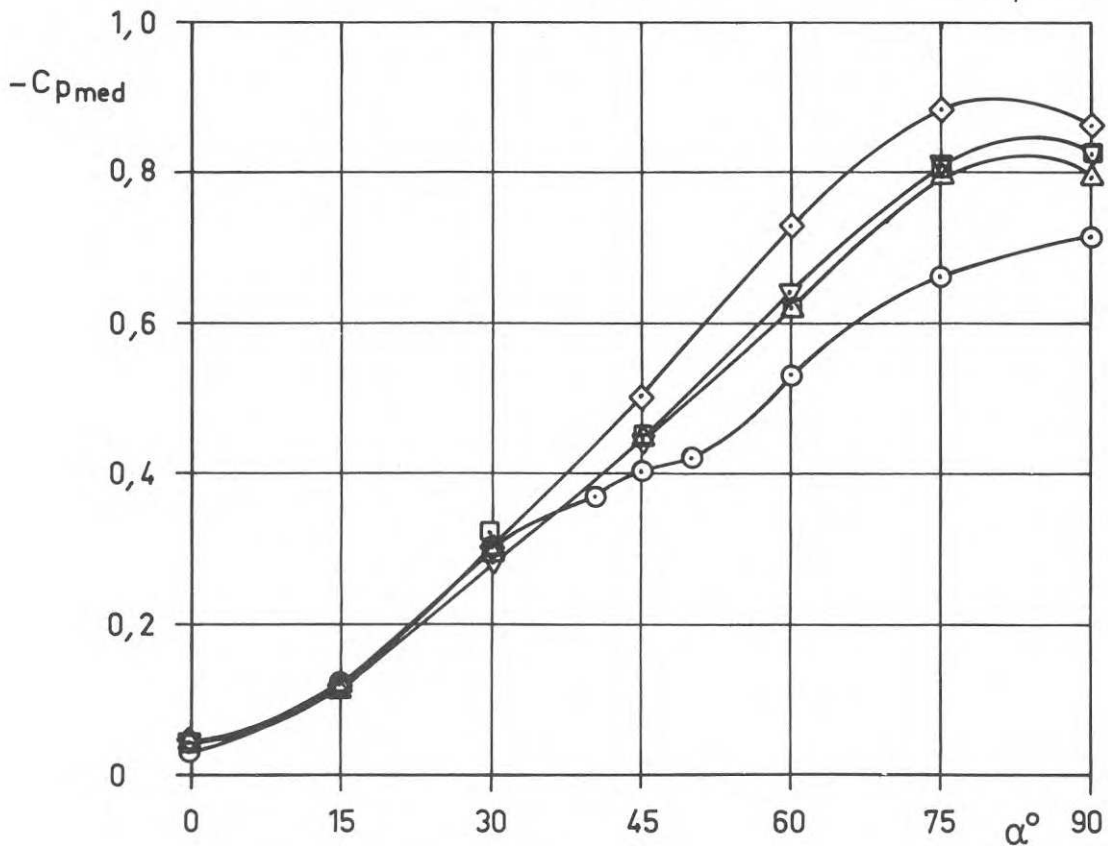
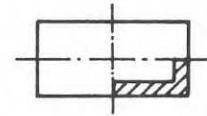


Fig 25e-f. Tryckkoefficientens medelvärde som funktion av anblåsningens vinkel. $\delta/H = 2,1$, delytor D5-6.

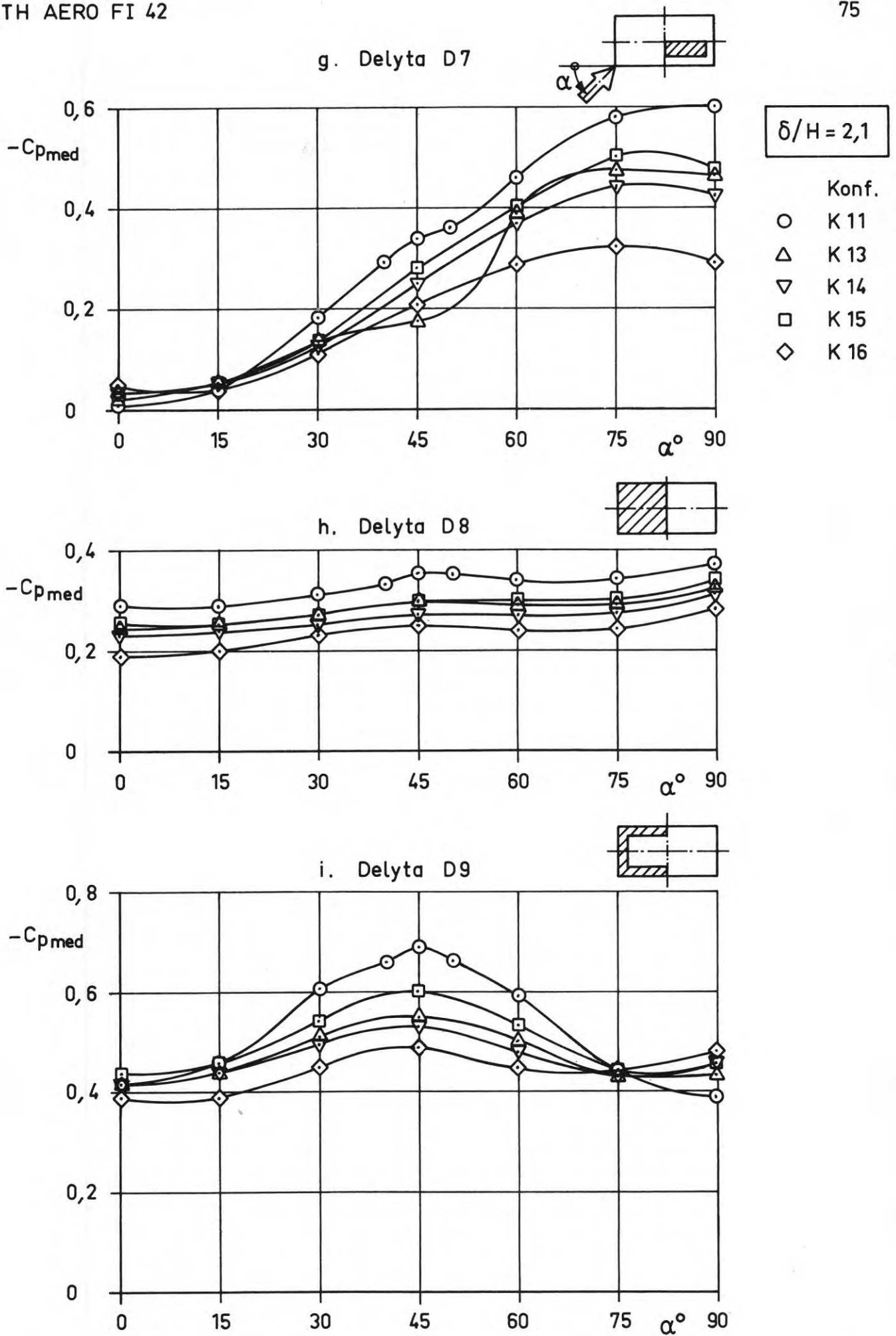


Fig 25 g - i. Tryckkoefficientens medelvärde som funktion av anblåsningvinkeln. $\delta/H = 2,1$, delytor D7-9.

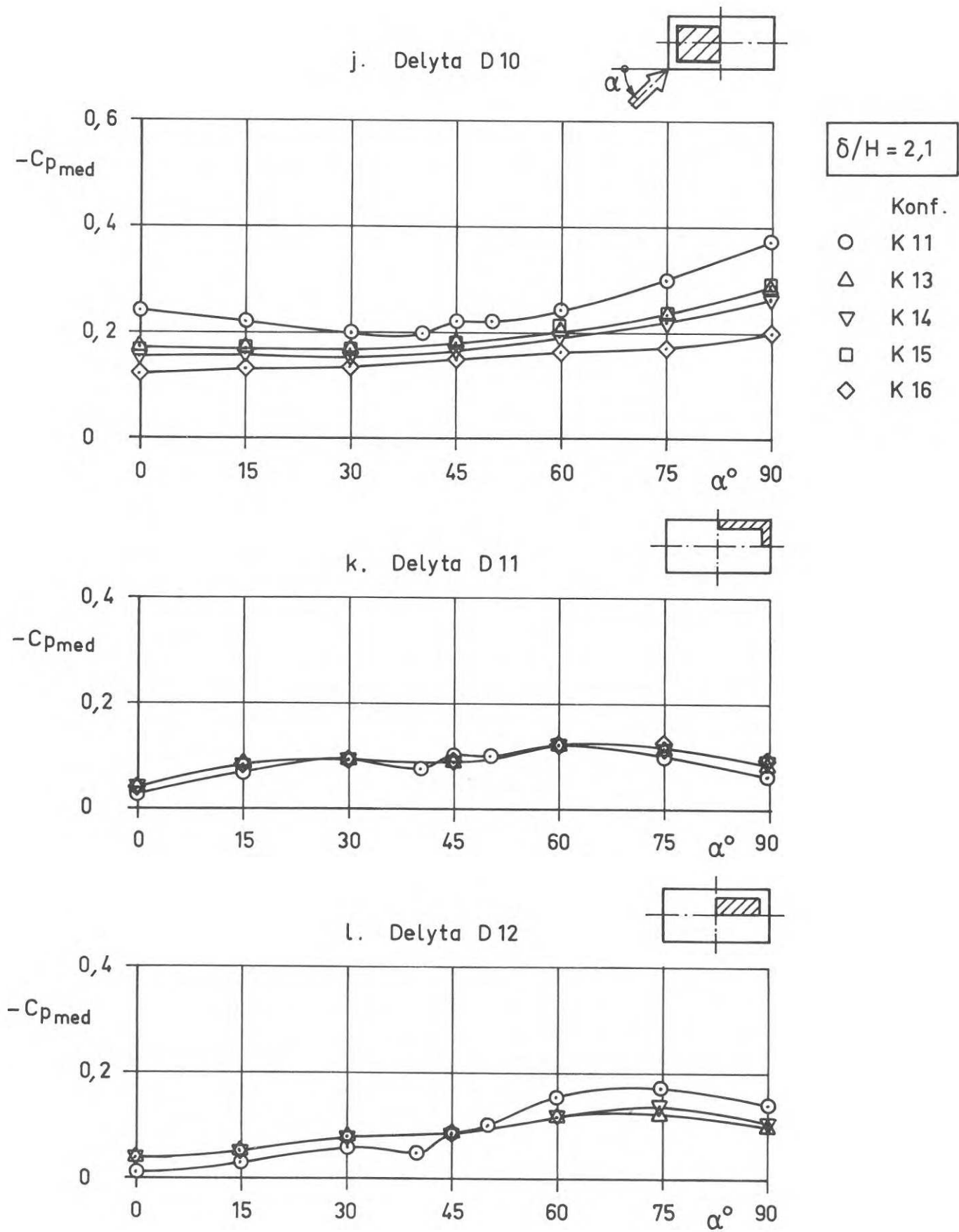


Fig 25 j-l. Tryckkoefficientens medelvärde som funktion av anblåsningvinkeln. $\delta/H = 2,1$, delytor D 10 - 12 .

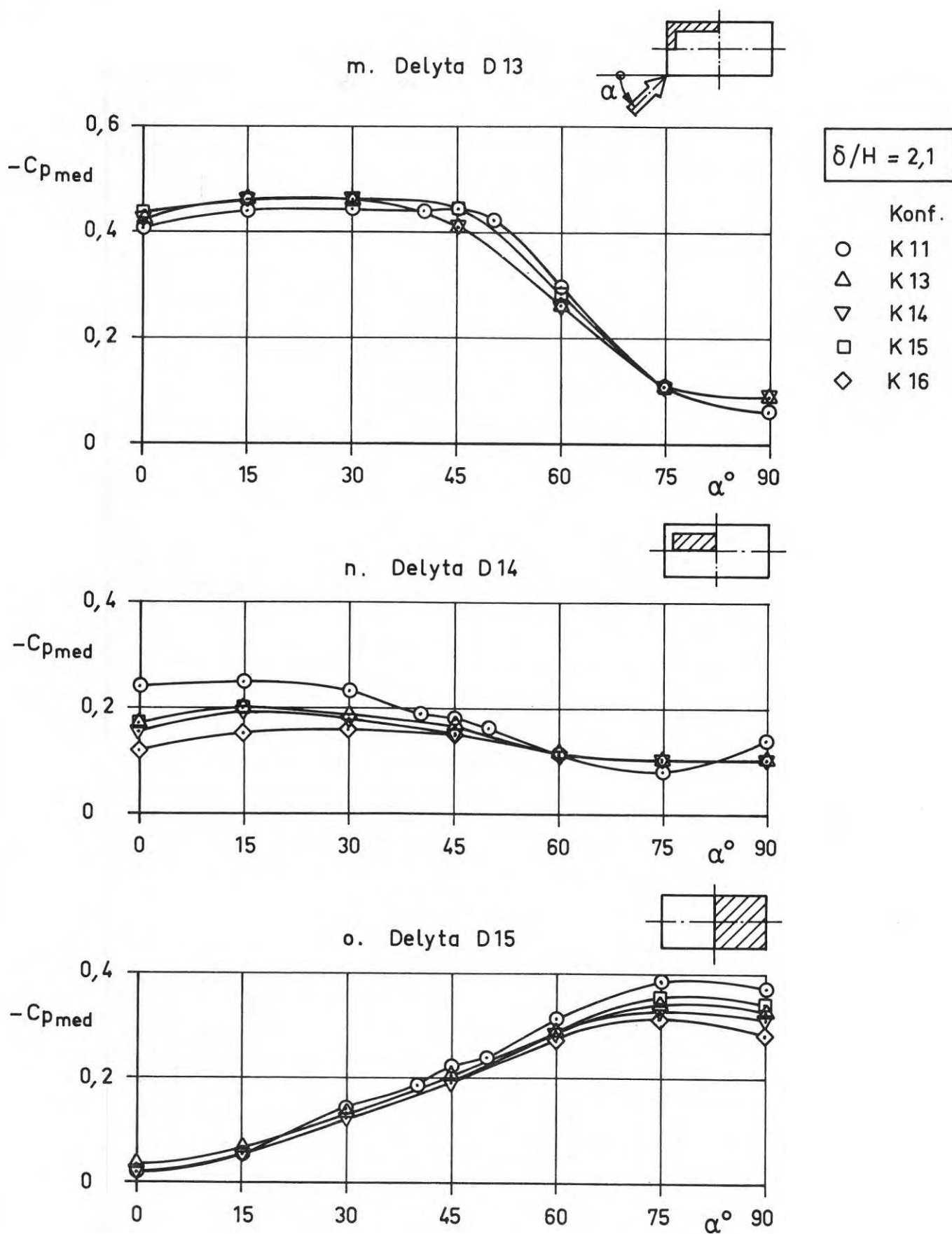


Fig 25 m - o. Tryckkoefficientens medelvärde som funktion av anblåsningvinkeln $\delta/H = 2,1$, delytor D13 - 15 .

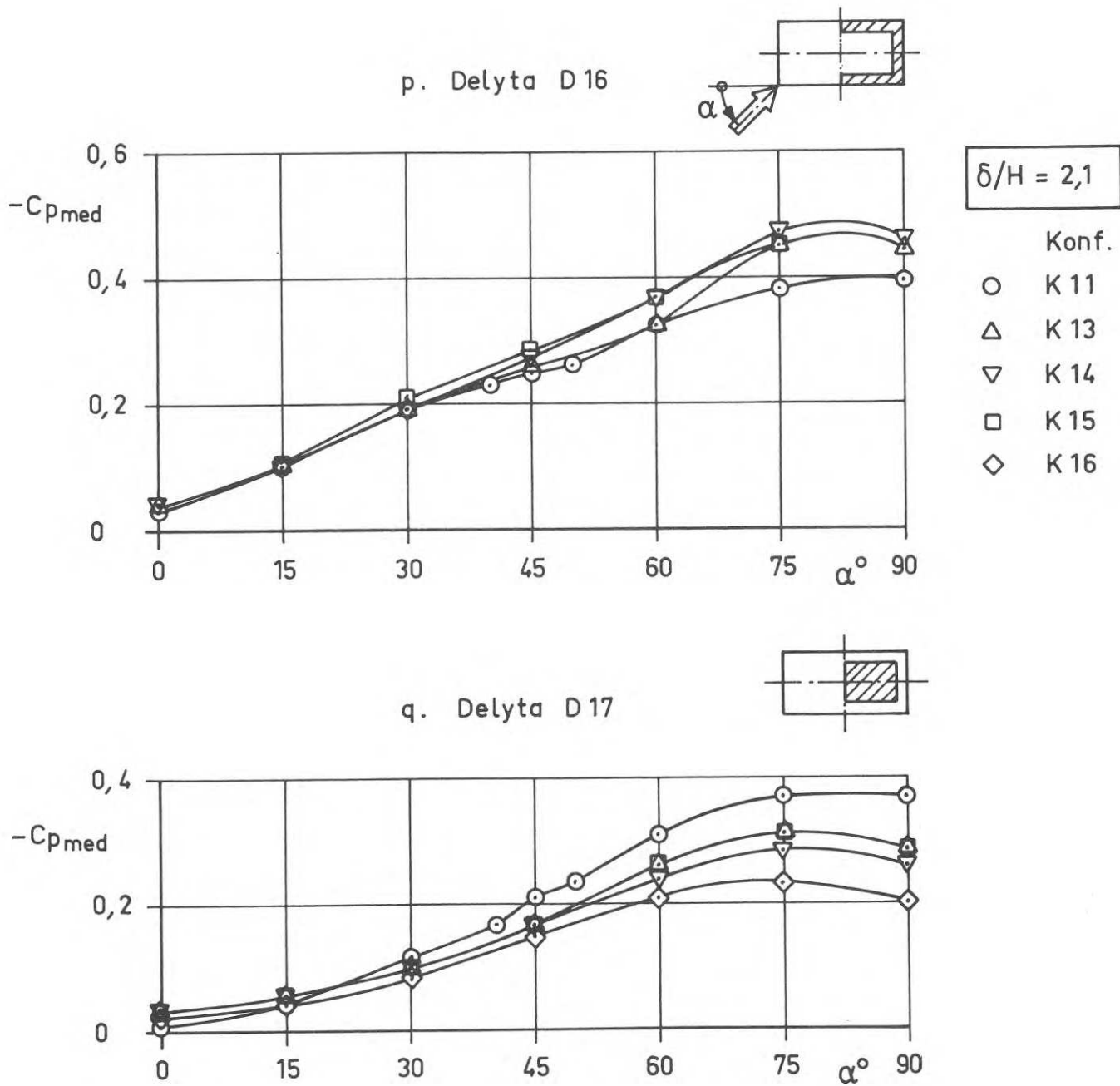


Fig 25 p-q. Tryckkoefficientens medelvärde som funktion av anblåsningens vinkel, $\delta/H = 2,1$, delytor D 16-17.

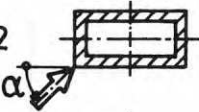

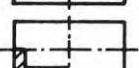
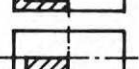
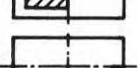
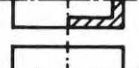
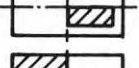
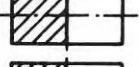
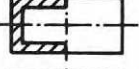
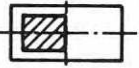
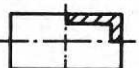
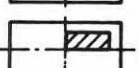
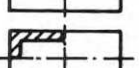
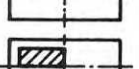
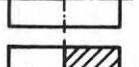
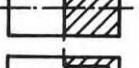
Delyta	Rundning av takkanten med $r \approx 0,1 H$ medför			
	minskat undertryck inom α -området		ökat undertryck inom α -området	
		$ \Delta C_{p_{med}} $		$ \Delta C_{p_{med}} $
D 2 	$0^\circ < \alpha < 65^\circ$	0 - 0,05	$65^\circ < \alpha < 90^\circ$	0 - 0,1
D 3 	$0^\circ < \alpha < 90^\circ$	0,05 - 0,2		
D 4 	$0^\circ < \alpha < 75^\circ$	0 - 0,35	$75^\circ < \alpha < 90^\circ$	0 - 0,15
D 5 	$0^\circ < \alpha < 90^\circ$	0,1 - 0,3		
D 6 	$0^\circ < \alpha < 30^\circ$	≈ 0	$30^\circ < \alpha < 90^\circ$	0 - 0,25
D 7 	$15^\circ < \alpha < 90^\circ$	0 - 0,3	$0^\circ < \alpha < 15^\circ$	0 - 0,05
D 8 	$0^\circ < \alpha < 90^\circ$	$\approx 0,1$		
D 9 	$0^\circ < \alpha < 75^\circ$	0,05 - 0,2	$75^\circ < \alpha < 90^\circ$	0 - 0,1
D 10 	$0^\circ < \alpha < 90^\circ$	0,05 - 0,2		
D 11 	$0^\circ < \alpha < 90^\circ$	≈ 0		
D 12 	$45^\circ < \alpha < 90^\circ$	0 - 0,05	$0^\circ < \alpha < 45^\circ$	0 - 0,05
D 13 	$40^\circ < \alpha < 75^\circ$	0 - 0,05	$0^\circ < \alpha < 40^\circ ; 75^\circ < \alpha < 90^\circ$	0 - 0,05
D 14 	$0^\circ < \alpha < 60^\circ$	0 - 0,1	$60^\circ < \alpha < 90^\circ$	0 - 0,05
D 15 	$20^\circ < \alpha < 90^\circ$	0 - 0,1	$0^\circ < \alpha < 20^\circ$	≈ 0
D 16 	$0^\circ < \alpha < 30^\circ$	≈ 0	$30^\circ < \alpha < 90^\circ$	0 - 0,1
D 17 	$15^\circ < \alpha < 90^\circ$	0 - 0,2	$0^\circ < \alpha < 15^\circ$	≈ 0

Fig 26. Takkantutformningens inverkan på medeltrycket på takets delytor. Sammanfattning av resultat från fig a - q. $\delta/H = 2,1$.

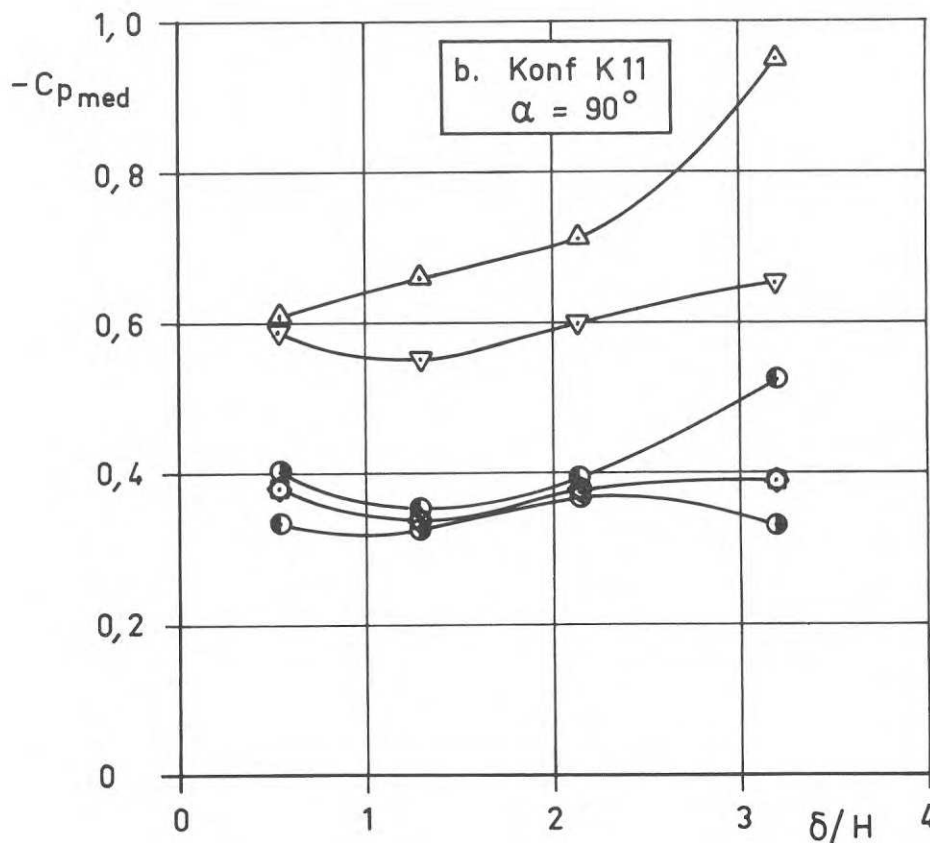
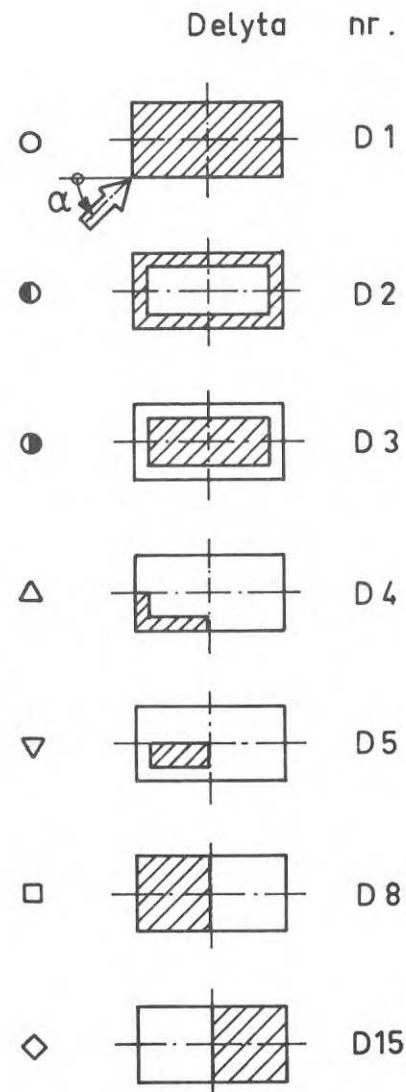
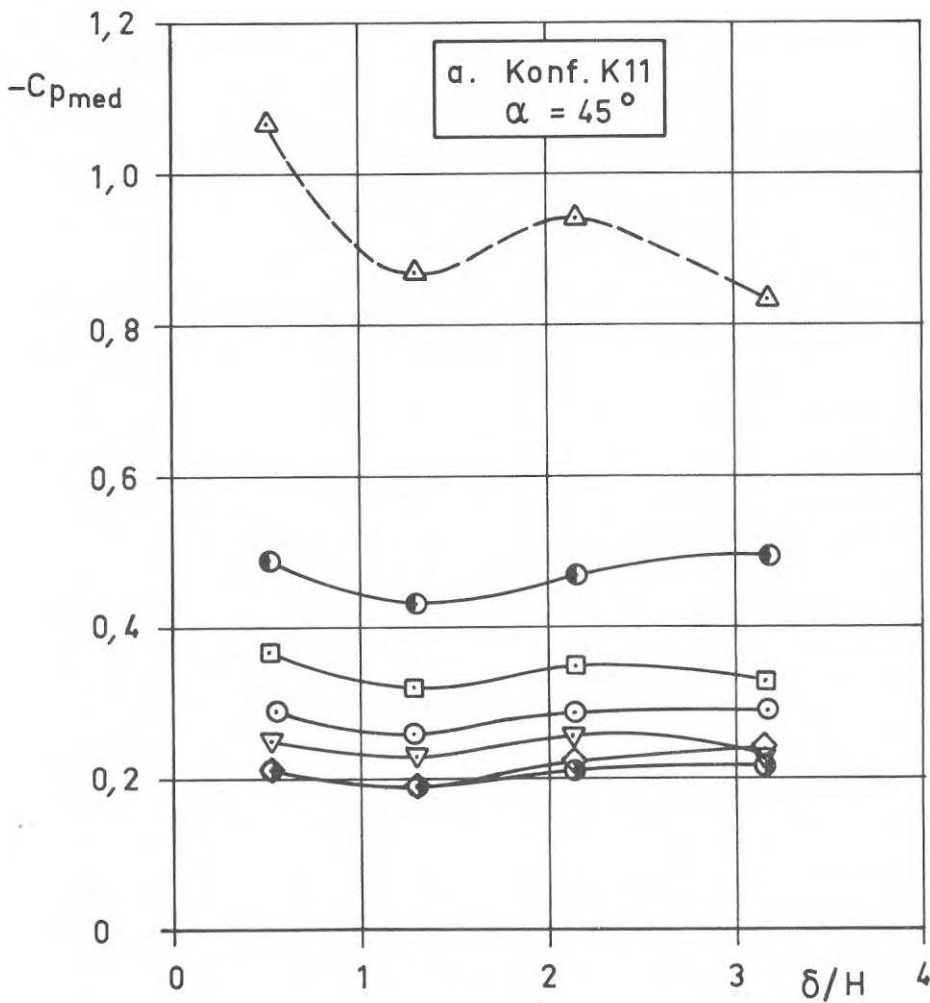


Fig 27. Tryckkoefficientens medelvärde för olika delytor som funktion av förhållandet gränsskiktjocklek / modellhöjd . Konf. K11 , $\alpha = 45^\circ$ och 90° .

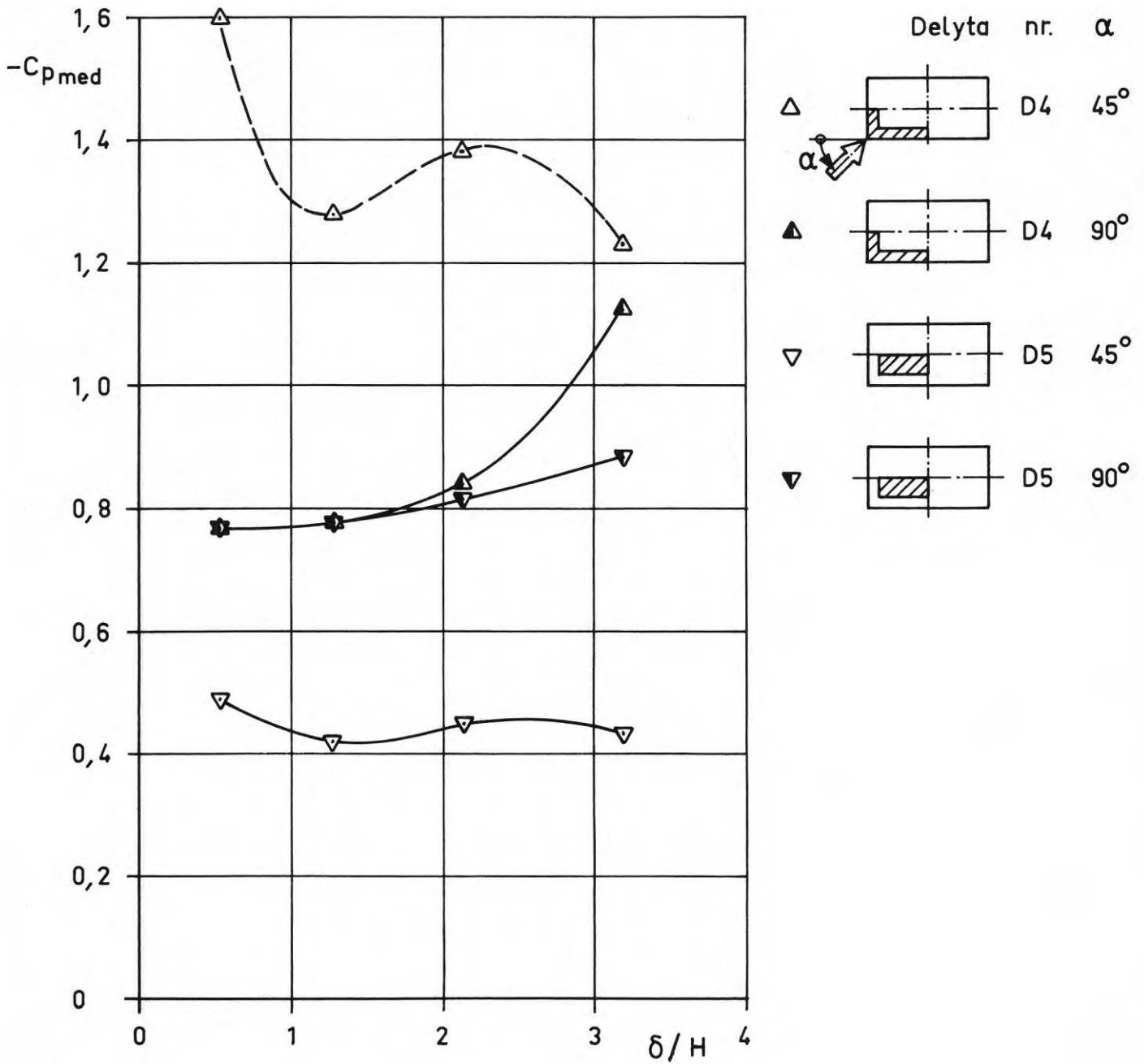


Fig 28. Tryckkoefficientens medelvärde för olika delytor som funktion av förhållandet gränsskiktjocklek/modellhöjd. Konf. K 12 , $\alpha = 45^\circ$ och 90° .

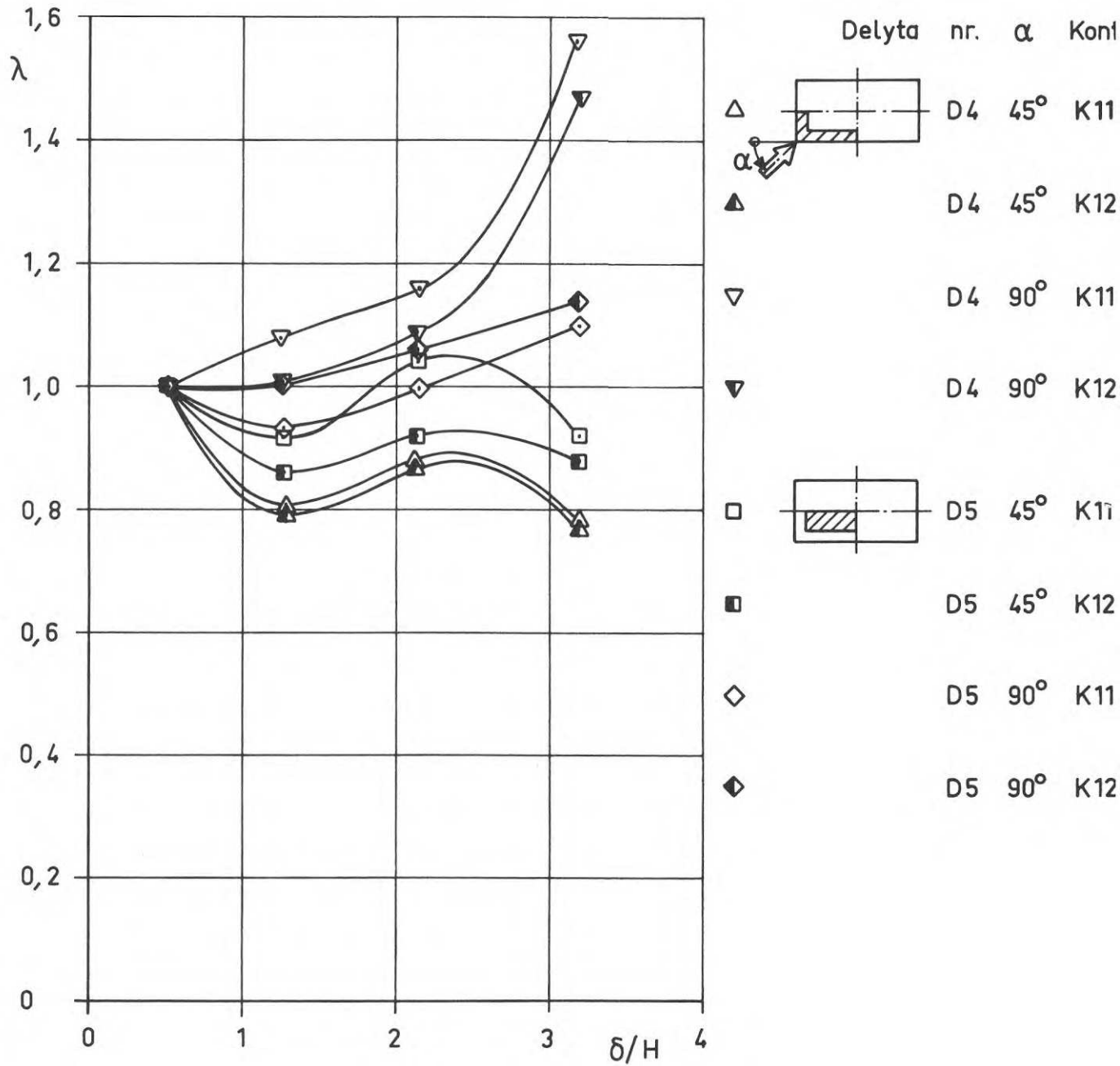


Fig 29 . Tryckförhållandet $\lambda = \frac{C_{pmed}}{(C_{pmed})_{\delta/H = 0,526}}$ för olika delytor som funktion av förhållandet gränsskiktjocklek/ modellhöjd. Konf. K11 och K12, $\alpha = 45^\circ$ och 90° .

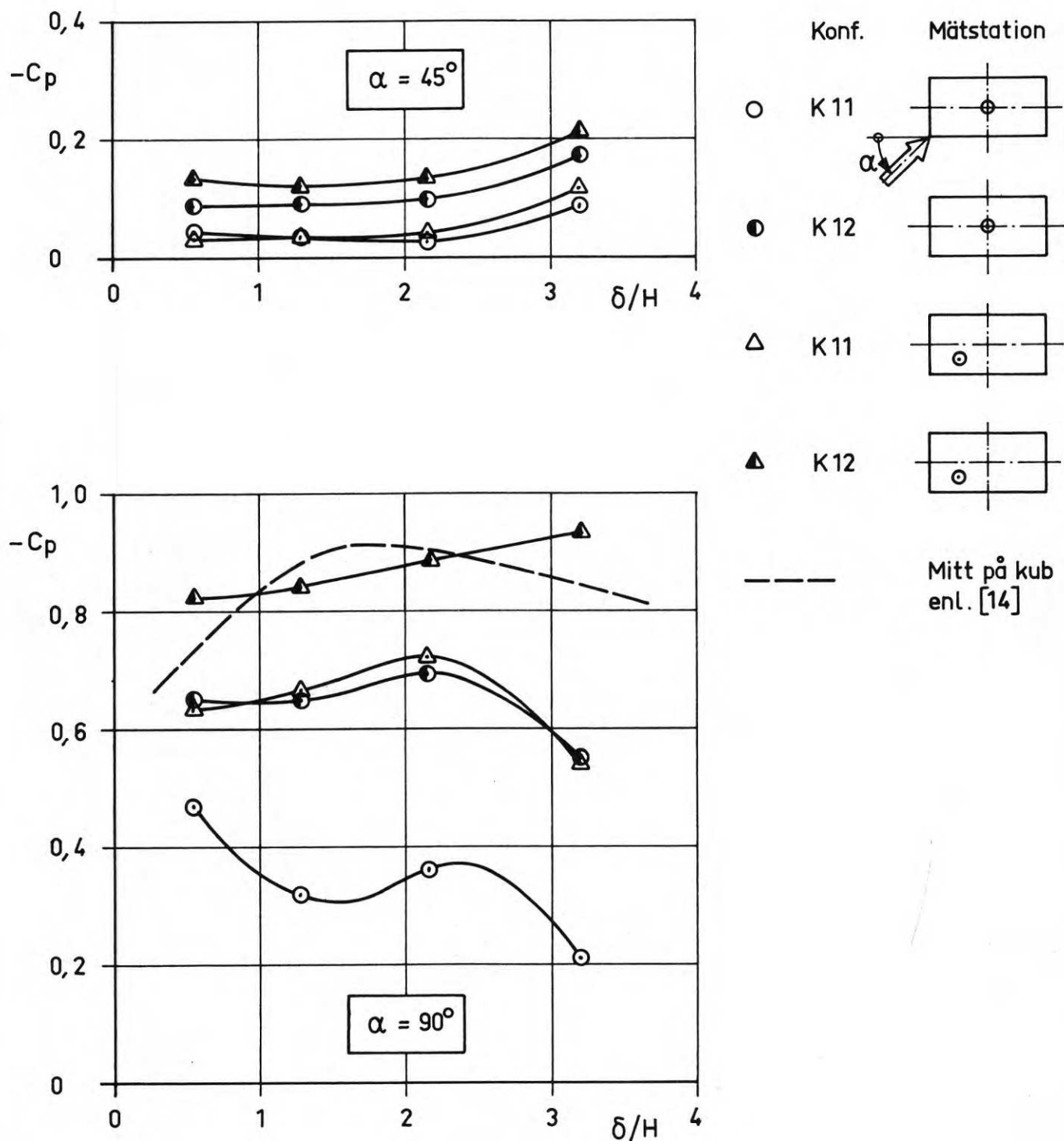


Fig 30. Tryckkoefficienten i mitten på taket resp. lovartkvadranten som funktion av förhållandet gränsskiktjocklek / modellhöjd, Konf. K11 och K12, $\alpha = 45^\circ$ och 90° .

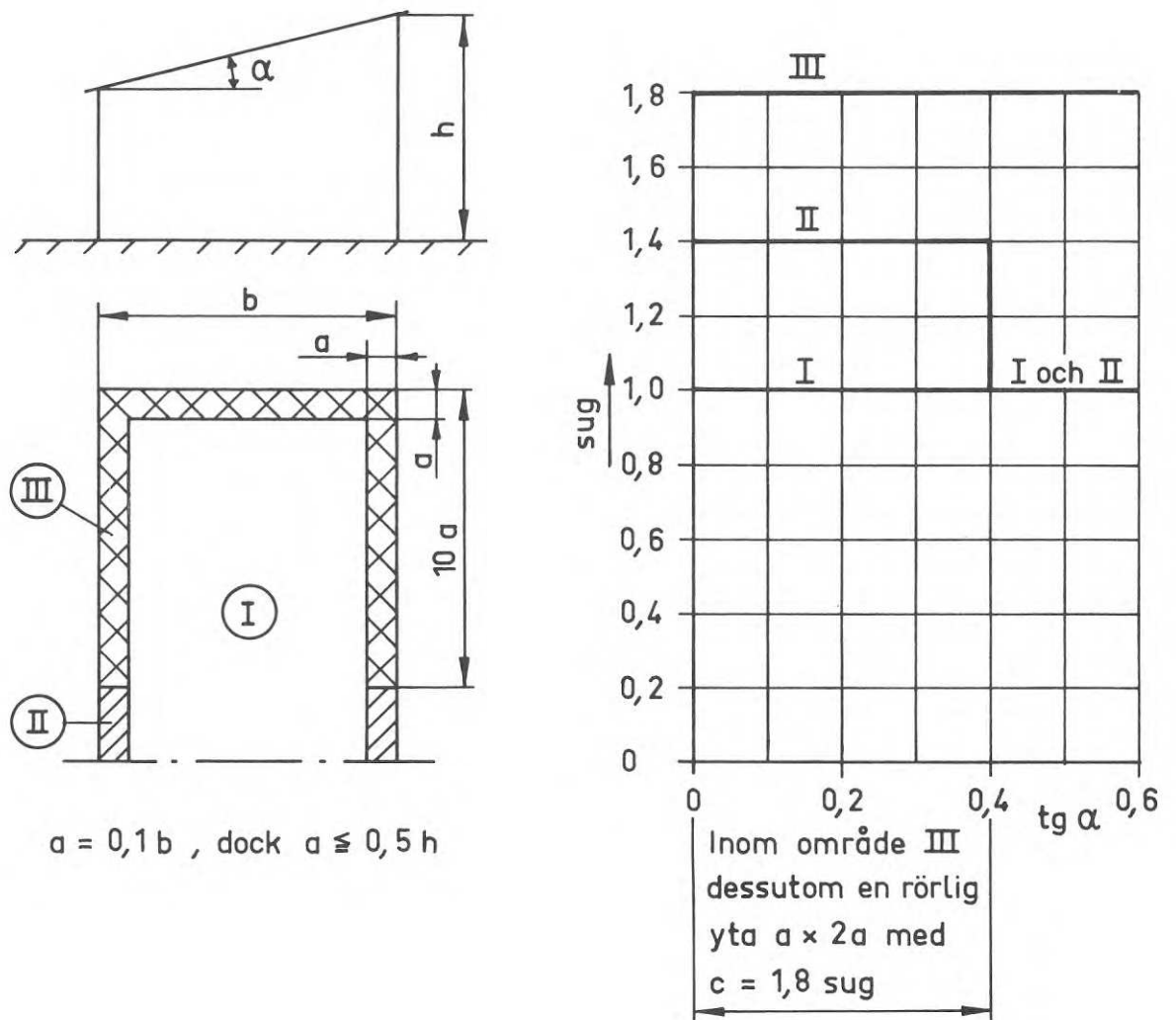


Fig 31. C_p -medelvärden (formfaktorer) för pulpettak enl [1] .

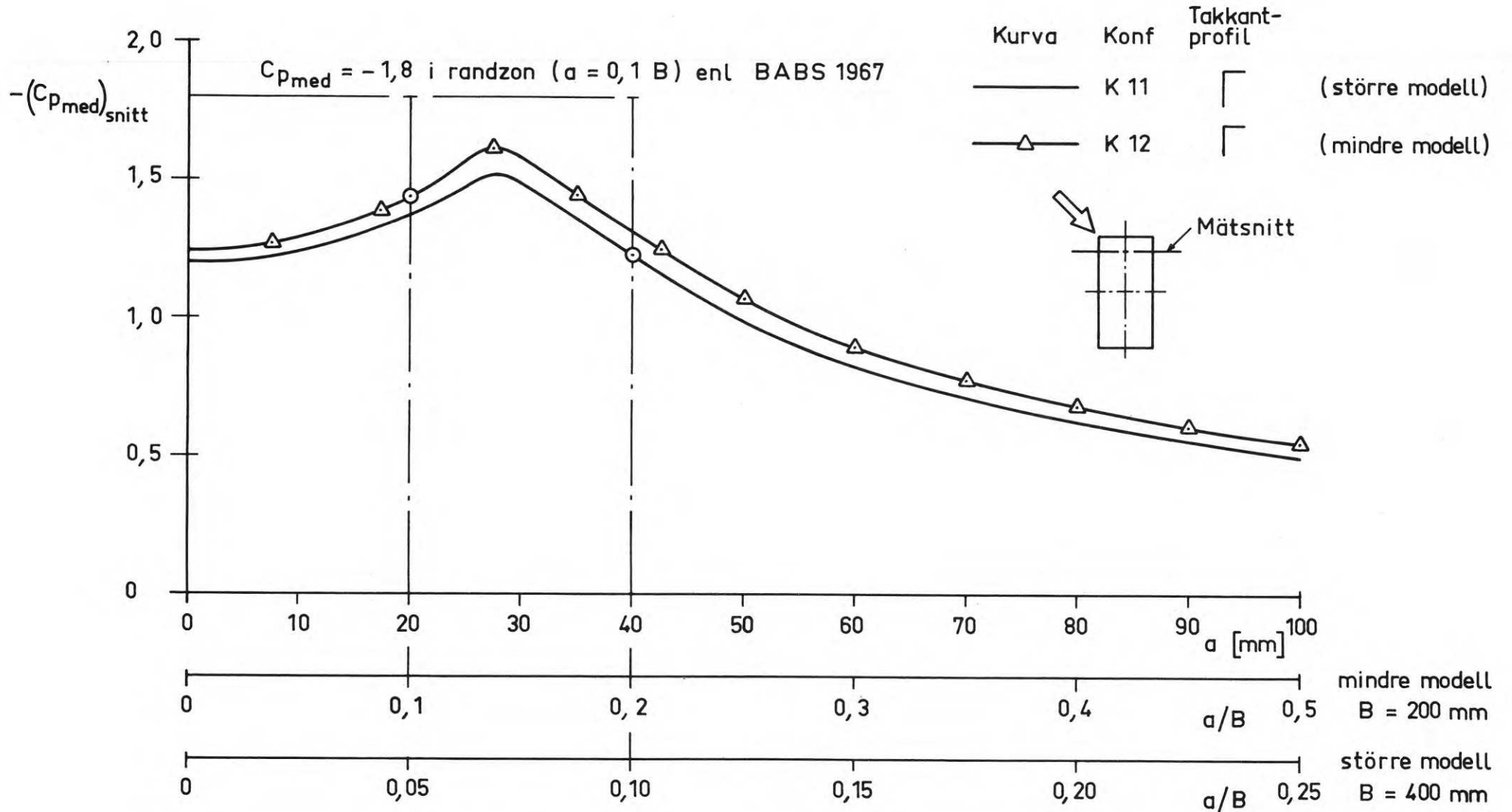


Fig 32. Tryckets medelvärde över randzon med bredden a i snitt 10, konf K 11, resp snitt 8, konf K 12.
 $\alpha = 45^\circ$, $\delta/H = 2,1$, (tryckfördelning enl fig 16.)

R35 : 1970

**Denna rapport avser anslag nr C 516:1—2 från Statens råd för
byggnadsforskning till Flygtekniska institutionen, KTH**

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm
Abonnemangsgrupp: k (konstruktion)**

Pris: 16 kronor