

Institutionen för vattenbyggnad
Chalmers tekniska högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

ÖKNING AV EN LUFTBUBBELRIDÅS YTVATTENHASTIGHET
MED HJÄLP AV SKÄRMAR

av

Katarina Grauers

Examensarbete nr 1989:2

Göteborg 1989

Adress: Institutionen för vattenbyggnad
Chalmers tekniska högskola
412 96 GÖTEBORG

Telefon: 031-72 10 00

FÖRORD

Detta examensarbete är utfört på institutionen för vattenbyggnad, Chalmers.Handledare har varit professor Anders Sjöberg och jag vill tacka honom för all hjälp jag fått under arbetets gång.

Dessutom vill jag tacka alla andra på institutionen som har bidragit med hjälp och goda råd under arbetets gång.

Katarina Grauers

INNEHÅLL

1.	INLEDNING	1
2.	STRÖMNINGSHASTIGHETER KRING BUBBELRIDÅ UTAN SKÄRMAR	2
3.	FÖRSÖK ATT ÖKA YTHASTIGHETEN MHA OLIKA SKÄRMARRANGEMANG	
3.1	Försöksuppställning och försöksplanering	8
3.2	Studerade skärmarrangemang	12
3.3	Svårigheter vid mätningarna	14
3.4	Metod för utvärdering av ythastigheten	15
4.	RESULTAT	16
4.1	Skärm 1 (halvcirkel)	17
4.2	Skärm 2 (rak)	18
4.3	Skärmutformningens betydelse	19
4.4	Resultatdiagram	21
5.	SLUTSATSER	27

BILAGOR

- Bilaga 1: Hastighetsprofiler
Bilaga 2: Sammanställning över ytvattenhastigheten för varierande flöden

REFERENSER

1. INLEDNING

Luftbubbelridåer används idag i vissa hamnar för att förhindra spridning av olja vid ett utsläpp. Dessutom kan en bubbelridå förhindra isbildning eller placeras vid en flodmynning för att förhindra saltvattenuppträngning.

Tidigare har institutionen för vattenbyggnad vid Chalmers utfört experiment med luftbubbelridå med avseende på genererade strömningshastigheter, förmåga att stoppa spridning av ytskikt av olja under inverkan av vind samt möjligheten att reducera saltvattenuppträngning i flodmynningar. De flesta av dessa försök har utförts av professor Anders Sjöberg [1,2,3,4].

Denna experimentella undersökning av en luftbubbelridå är ett examensarbete som utförts vid institutionen för vattenbyggnad. Undersökningen går ut på att se om ytvattenhastigheten vid ett givet luftflöde kan ökas genom placering av skärmar på ömse sidor av ridån. Det är en inledande undersökning som ska tala om ifall det är värt att forska vidare inom området. Två skärmformer har testats och placeringen i förhållande till ridån har varierats.

2. STRÖMNINGSHASTIGHETER KRING BUBBELRIDÅER UTAN SKÄRMAR

I den tidigaste undersökningen av Sjöberg [1] redovisas hur vattenströmningarna kring en luftbubbelridå ser ut (se fig 2.2). På varje sida av ridån bildas en cell pga cirkulationsströmningen som genereras av luftbubblorna. Strömningen närmast ridån är starkast. Tack vare denna cirkulation (se fig 2.1) uppstår en ytvattenström från ridån.

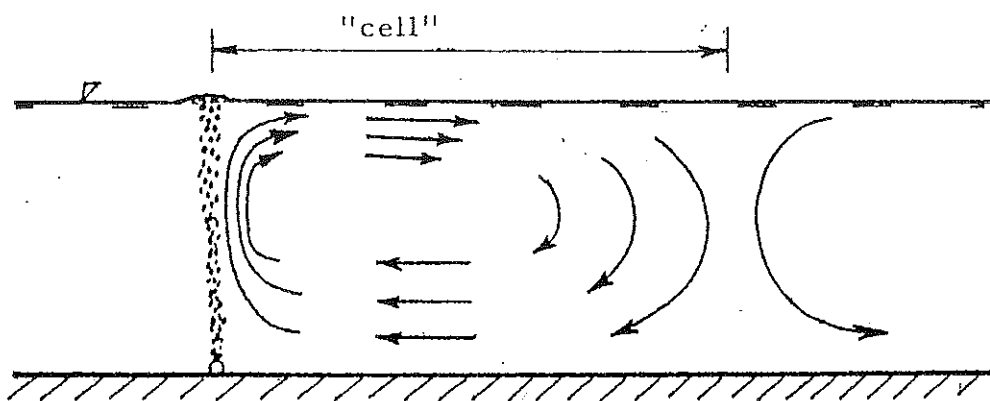


Fig 2.1 Bild över cirkulationsströmningen [1].

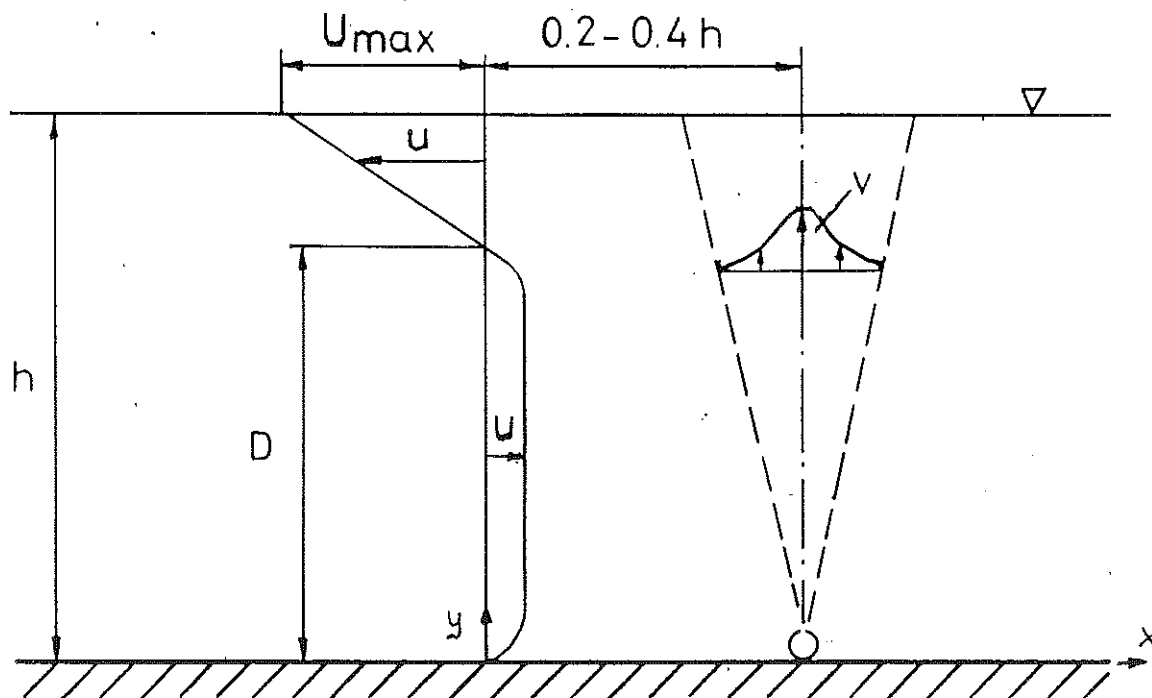
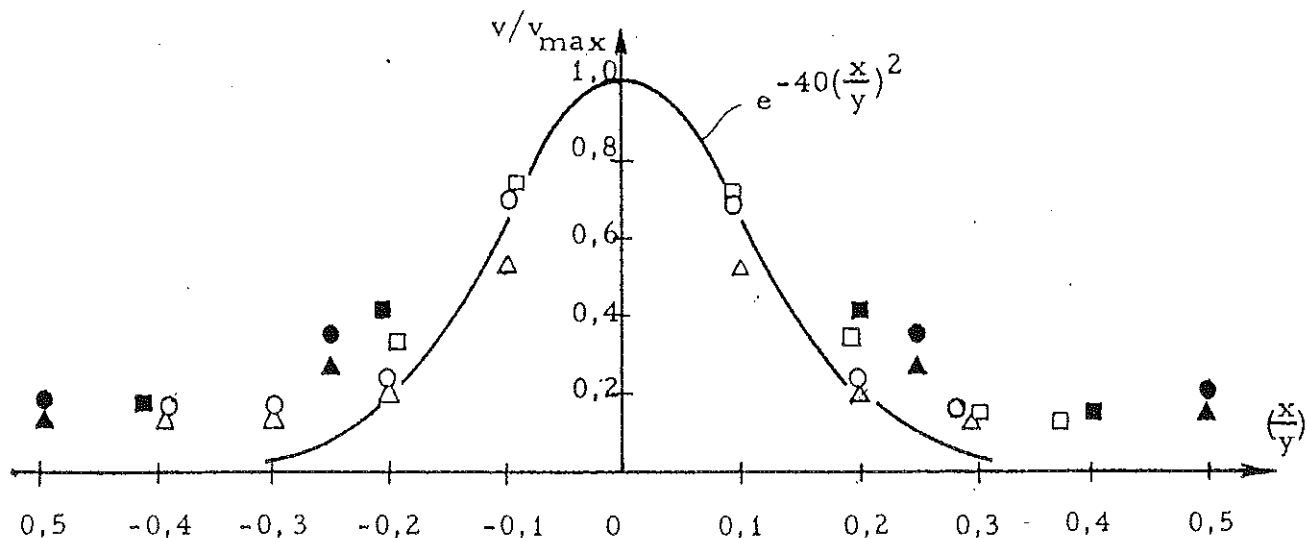


Fig 2.2 Horisontell och vertikal hastighetsprofil för bubbelridå utan skärmar.

Närmast ridån är flödet vertikalt medan det på avstånd från ridån huvudsakligen är horisontellt.

Hastighetsprofilen för den vertikala strömningen visar att strömningarna är starkast i mitten av bubbelridån och avtar likformigt åt båda hållen. Variationen, som approximativt är normalfördelad, visas i fig 2.3. Det är denna vertikala strömning som är orsak till att vattenytan rakt över bubbelridån höjer sig något.



x är horisontellt avstånd från bubbleridån
 y är höjd över munstycket

Fig 2.3 Hastighetsprofiler i det vertikala flödet vid en luftbubbelridå [1].

Den vertikala hastigheten kan beskrivas mha ekvation (1). Denna ekvation visar att hastigheten v , är beroende av vattendjupet h , samt luftflödet Q .

$$V_{\max} \approx \text{konst} \left(1 + \frac{h}{H} \right)^{-1/3} \cdot (g Q)^{1/3} \quad (1)$$

H är atmosfärstrycket uttryckt i meter vattenpelare

Q är luftflöde per längdmeter

g är jordaccelerationen, $9,81 \text{ m/s}^2$

Enligt Sjöberg [4] kan konstanten sättas till 1,9.

Den horisontella strömningens hastighetsprofil består av två delar. Den undre delen av profilen är riktad in mot ridån och här dras vatten med mot ytan av luftbubblorna. Enligt Sjöberg [3] har denna del av profilen höjden $D=0,75h$. Då hastighetsprofilen ritades upp efter mätningar utan skärm i dessa försök visade det sig att $D=0,80h$ (se bilaga 1 sid 1-10). Då antalet mätningar i denna undersökning är få i förhållande till det antal som utfördes i [3] kan resultatet $D=0,80h$ anses som osäkert.

I ytskiktet är vattenströmen riktad från ridån. På det avstånd från ridån där maximal ythastighet uppnås kan hastigheten antas variera linjärt med djupet.

I [4] har uppställts generella samband som beskriver hur maximal horisontell hastighet U_{\max} beror av luftflödet Q , vattendjupet h och bubblornas relativa stighastighet U_s . Det fullständiga sambandet är:

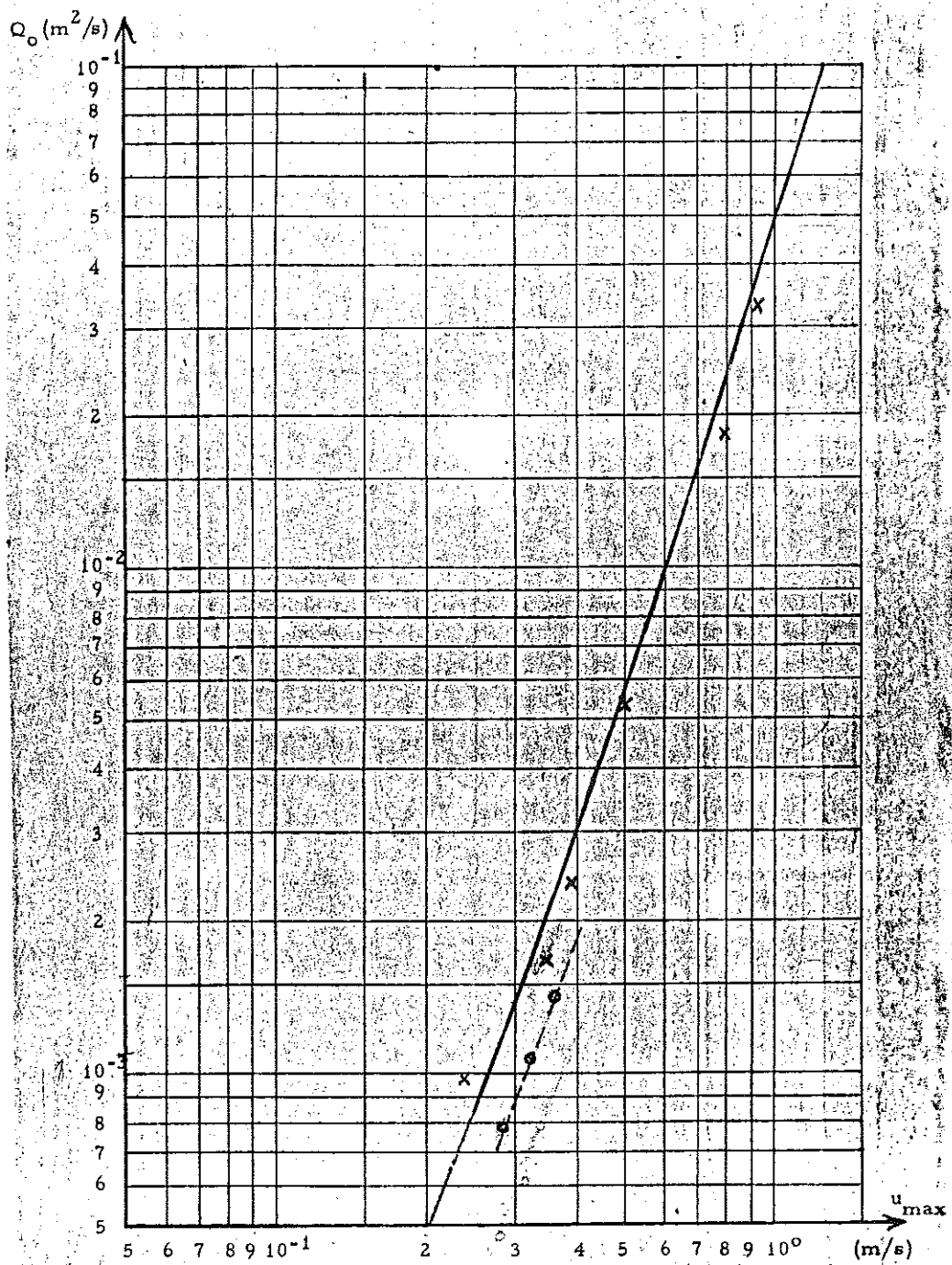
$$f \left(\frac{U_{\max}}{(gQ)^{1/3}} ; \frac{(gy)^{1/2}}{(gQ)^{1/3}} ; \frac{U_s}{(gQ)^{1/3}} ; \frac{h}{H} \right) = 0 \quad (2)$$

Eftersom U_{\max} ej kan uttryckas explicit som funktion av övriga variabler är sambandet svårt att utnyttja. För aktuellt vattendjup kan dock sambandet approximativt skrivas:

$$U_{\max} \approx 1,2 (gQ)^{1/3} \quad (3)$$

De hastigheter som är mätta utan skärm i försöken är lägre än de som Sjöberg tidigare har uppmätt (se fig 2.4). Skillnaden är 15-18% så det rör sig nog inte enbart om avläsningsfel. Vad man kan se är att de hastigheter som är uppmätta i denna undersökning avviker konsistent mot de från [3] som har redovisats i diagrammet på nästa sida. Både flyglar och luftflödesmätaren har kalibrerats för att undersöka om differansen beror på instrumentfel.

Det är svårt att med säkerhet säga vad som är orsak till denna skillnad i ythastigheter. Den troliga orsaken till avvikelserna är att flyglarna som användes vid hastighetsmätningen hade en fix placering. Det kan alltså vara så att mätningarna av vattenhastigheten har gjorts en bit ifrån det ställe där maxhastigheten uppträder. Om man studerar fig. 3.1 ser man dels att spridningen i försöksresultaten är relativt stor, dels att vattenhastigheten på avståndet 0,5h från ridån är vattenhastigheten 85-95% av maxhastigheten.



x = experimentellt bestämda värden (Sjöberg)
 - = teoretiskt samband enligt [1]
 o = uppmätta hastigheter från dessa försök

Fig 2.4 Maximala ythastigheten u_{max} som funktion av luftflödet Q_0 vid vattendjupet 0,7m och hålavstånd 10mm [3].

3. FÖRSÖK ATT ÖKA YTHASTIGHETEN MHA OLIKA SKÄRMARRANGEMANG

3.1 Försökupställning och försöksplanering

Försöken har utförts i en 30 meter lång och 1 meter bred vattenränna i vattenlaboratoriet på Chalmers. På botten av rännan ligger ett rör med innerdiametern 38 mm. Hål med diametern 1 mm har borrats längs röret med centrumavståndet 10 mm.

Luft förs in i röret via en slang som anslutits på mitten. Med hjälp av en rotameter, dvs en flödesmätare av svävkroppstyp, har luftflödet hållits konstant. Då luft pressas ur hålen bildas en luftbubbelridå som skapar en ytström riktad från ridåns centrum.

Tre olika luftflöden valdes för att se om hastighetsförändringen är olika vid de olika flödena eller om den procentuella förändringen av hastigheten jämfört med mätningar utan skärm är densamma. De flöden som mätningarna utfördes vid var 0,79, 1,14 och 1,43 l/s. Dessa flöden låg inom det intervall som rotametern kan mäta i och dessutom genererade de en så stark vattenström att flyglarna kunde mäta den.

Vattendjupet var 0,70 meter. Detta har inte varierats eftersom strömningsbilden för ett givet luftflöde är praktiskt sett oberoende av vattendjupet. Vattnet i rännan har varit stillastående då försöken har utförts.

Hastigheten har mätts med hjälp av 2 flyglar placerade mitt i rännan på var sin sida om ridån 0,04 m under vattenytan. Flyglarna har placerats på avståndet 0,35 m, dvs 0,5 h, från ridåns centrum för att göra det möjligt att variera skärmarnas placering.

Tidigare mätningar av Sjöberg [1] har visat att den maximala ytvattenhastigheten uppträder någonstans mellan $0,2h$ och $0,4h$ från ridåns centrum (se fig 3.1). Egentligen skulle mätningar för varje skärmuppsättning gjorts på olika avstånd eftersom området för maximal ythastighet troligen varierar med skärmarnas läge. Att även variera flyglarnas läge skulle innebära mycket mer mätarbete och arbetsinsatsen skulle ha ökats långt över vad som ingår i ett examensarbete. Därför har flyglarna placerats på avståndet $0,5h$ från centrum och deras läge har inte varierats. Fig 3.1 visar att det u_{\max} som fåtts vid mätning $0,5h$ från centrum kan vara något lägre än maximal ythastighet.

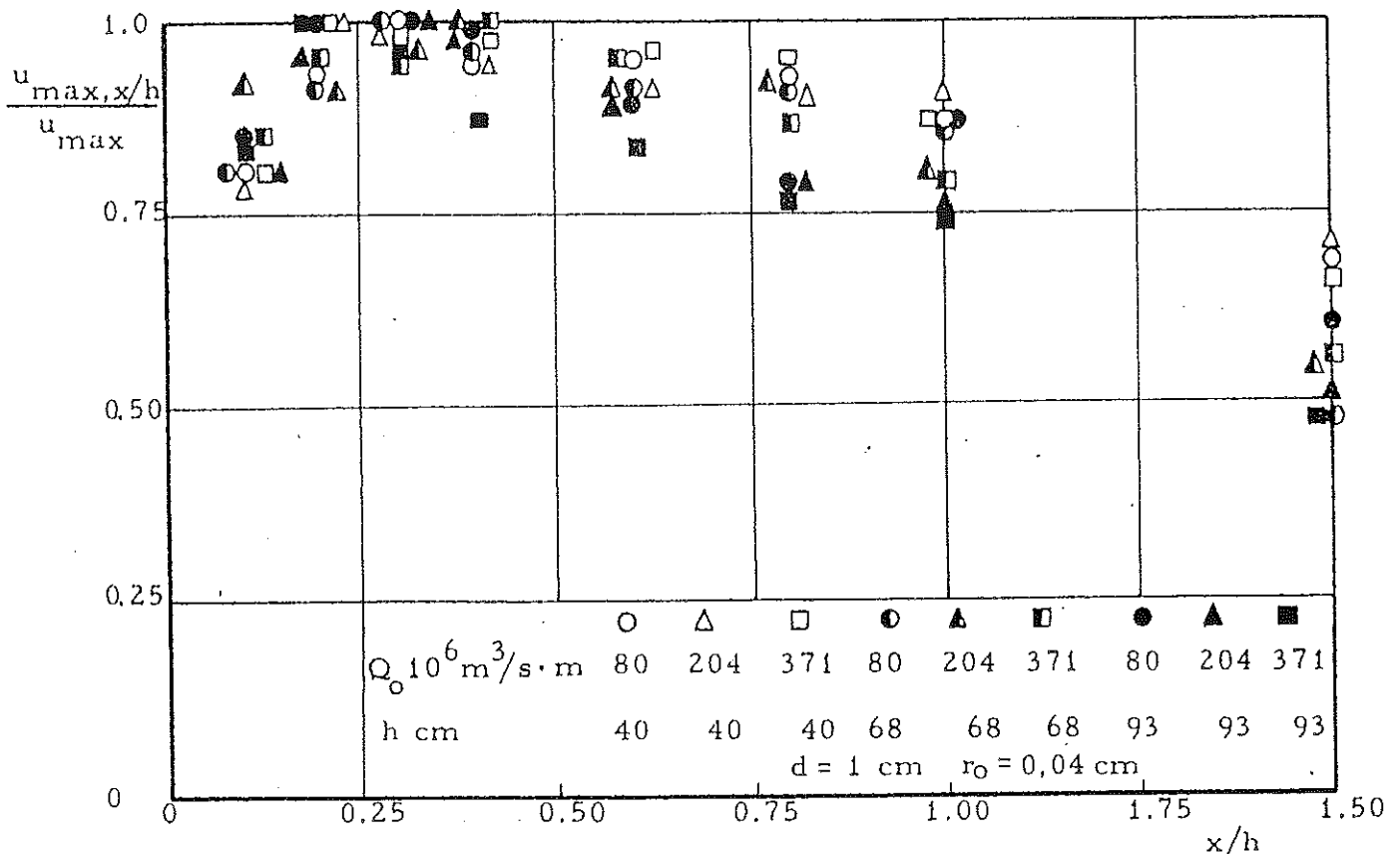


Fig 3.1 Ythastighetens variation med avståndet från bubbelridån [1].

Till flyglarna finns varvräknare anslutna och vattenhastigheten har beräknats med hjälp av formlerna:

För flygel nr 1:

$$\begin{array}{lll} 0,5 < n < 3 & U_1 = 0,0510 \cdot n + 0,0620 & (\text{m/s}) \\ n > 3 & U_1 = 0,0538 \cdot n + 0,0510 & (\text{m/s}) \end{array}$$

För flygel nr 2:

$$n > 0,7 \quad U_2 = 0,0490 \cdot n + 0,0756 \quad (\text{m/s})$$

där n =antal varv per sekund för respektive flygel.

Vid kalibrering av flyglarna i den stora rännan i vattenlaboratoriet på CTH, visade det sig att en av de ekvationer som fanns för flyglarna stämde dåligt. Genom att fästa flyglarna vid en vagn som går på spår ovanför rännan och sedan låta vagnen gå framåt med känd hastighet erhöles ett antal mätpunkter. Dessa mätpunkter ritades in i ett diagram med varvtal, n , respektive horisontell hastighet, U , på axlarna och en ny ekvation för den räta linjen beräknades med minsta kvadratmetoden.

Som referens mättes först vattenhastigheten för de tre olika luftflödena utan skärm. Efter det har en skärm placerats i rännan och dess placering har varierats. Både skärmens djup d under vattenytan och bredden b mellan skärmarna har varierats. För varje skärmdjup d har mätningar skett för alla bredder b förutom då det varit uppenbart att en ökning av bredden inte ger någon ökning av hastigheten.

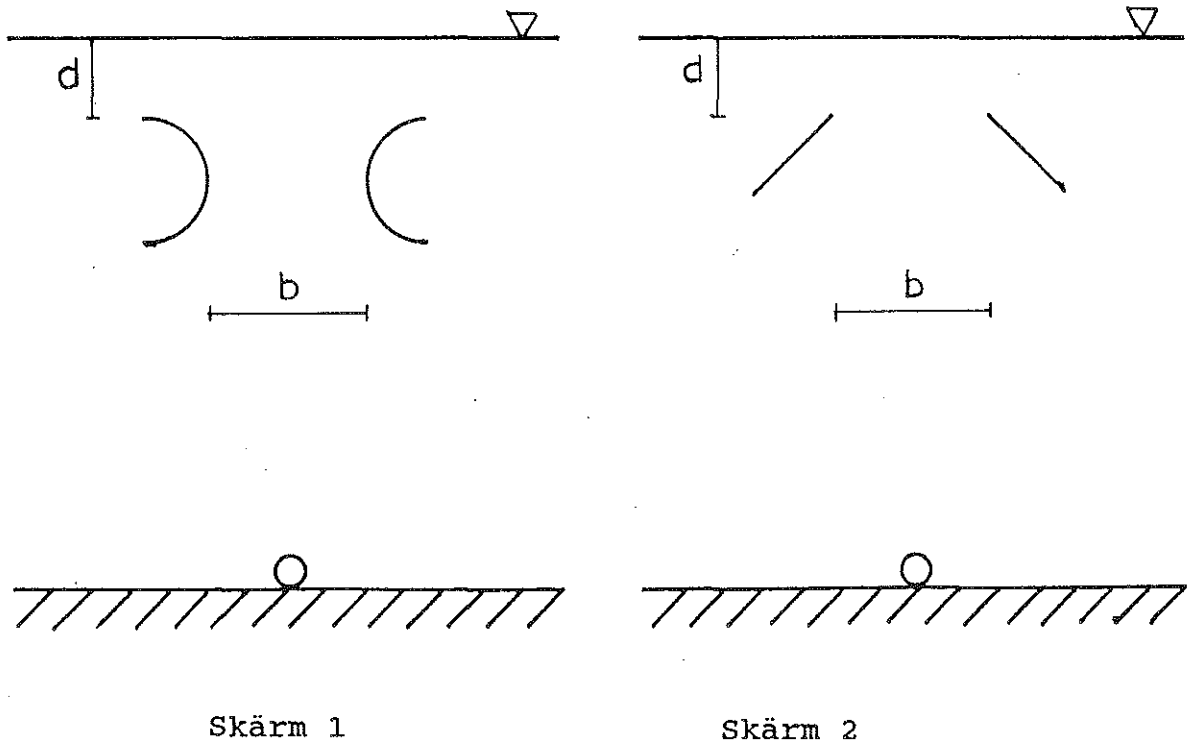


Fig 3.2 Försökupställning med definition av djupet d och bredden b .

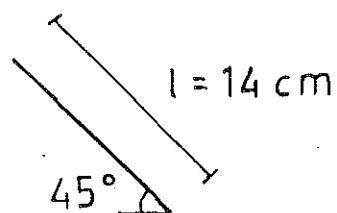
3.2 Studerade skärmarrangemang

Skärmarna har tillverkats i 10 mm tjock plast och är lika breda som vattenrännan. I ändarna på varje skärm sitter en lång platta som används för att fästa skärmen uppe på kanten av rännan. För att lätt kunna variera skärmarnas placering har de fästs med en skruvtving i rännans överkant. Vid försöken har skärmarna hela tiden placerats symmetriskt i förhållande till bubbelridån.

Två olika skärmformer har testats. Dels en cirkulär skärm med radien $r=8$ cm och dels en rak skärm 14 cm lång och med 45° lutning (se fig 3.3).



Skärm 1



Skärm 2

Fig 3.3 Utnyttjade skärmar

Tabell 1 på nästa sida visar hur b och d har varierats. Alla de skärmplaceringar som testats finns representerade i tabellen.

Tabell 1 Skärmarnas olika placering som testades.

Skärm 1

b (m)	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
d (m)						
0,02	X	X	X	X		
0,035	X	X	X	X	X	
0,05	X	X	X	X	X	X
0,10	X	X	X	X	X	X
0,15	X	X	X	X	X	

Skärm 2

b (m)	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
d (m)					
0,05	X	X	X	X	
0,075	X	X	X	X	X
0,10	X	X	X	X	X
0,15	X	X	X		

3.3 Svårigheter vid mätningarna

Vid försökens gång har själva luftbubbelridån svängt ganska mycket och detta har gjort att det har varit svårt att mäta vattenhastigheten. Man säger att bubbelridån meandrar. Dessa svängningar är ett naturligt tillstånd för strålar i vatten så det går inte att undvika.

Dels har ridån svängt från sida till sida men ibland har också en S-formad svängning observerats (fig 3.4). Pga dessa svängningar har många mätningar gjorts och ett medelvärde av hastigheten har beräknats. Vid varje skärmplacering har 10 mätningar över tidsintervallet 180 sekunder var skett. Detta för att ett så tillförlitligt resultat som möjligt skulle erhållas.

En stor nackdel med dessa svängningar är att de leder till att hastigheten på ena sidan av ridån sjunker kraftigt under kortare perioder. Eftersom en hög och jämn ytvattenhastighet krävs för att förhindra att t ex olja bryter igenom ridån bör denna hastighetsvariation minskas.

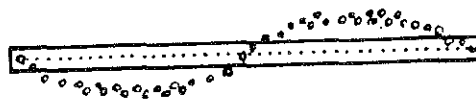


Fig 3.4 S-formad bubbelridåsvängning sedd uppifrån.

3.4 Metod för utvärdering av mätresultat

Undersökningen har gått ut på att jämföra ytvattenhastigheten för en luftbubbelridå med och utan skärm. De flyglar som har använts vid mätningarna måste placeras minst 0,04 m under vattenytan för att ge ett riktigt värde. För att kunna räkna ut ythastigheten har vattnets hastighetsprofil bestämts för varje skärmdjup.

Genom att mäta hastigheten med flyglar på djupen 0,04, 0,05, 0,06 och 0,07 m och sedan rita upp grafer för varje provomgång har hastighetsprofilen kunnats bestämmas. Denna horisontella profils övre del antas variera rätlinjigt. Hastighetsprofilen för de olika skärmlaceringarna redovisas i bilaga 1. Med hjälp av dessa hastighetsprofiler har ytvattenhastigheten kunnat uppskattas.

Då skärmar har placerats vid ridån har hastighetsprofilen förändrats. Tyvärr visar denna förändring inget tydligt mönster som man kan säga är allmängiltigt. För vissa skärmlaceringar flackas den övre hastighetsprofilen ut men för andra placeringar blir den brantare.

4. RESULTAT OCH SAMMANFATTNING

Genom att jämföra ytvattenhastigheten vid olika skärmplaceringar går det att se var en skärm bör placeras för att ge störst ökning av ythastigheten.

I bilaga 2 finns en sammanställning i tabellform som redovisar ythastigheten för olika flöden och för de olika skärmarna och deras placeringar. Ytvattenhastigheten har därvid jämförts med referenshastigheten utan skärm. Den procentuella skillnaden är redovisad under varje hastighet.

På sidorna 21-26 redovisas sex diagram som åskådliggör mätresultaten från bilaga 2. På den horisontella axeln visas hur bredden b mellan skärmarna varierar och på den vertikala axeln finns medelvärdet av ythastigheten för flygel 1 och 2 representerad. För varje undersökt vattendjup d är en kurva ritad. Den heldragna linjen visar referenshastigheten utan skärm, U_{ref} .

Luftflödet i försöken har varierats för att bestämma hastighetsprofiler samt se om hastigheten får en likformig ökning. Mätresultaten har visat att hastighetsprofilerna blir likaformiga för de tre olika flödena vid samma skärmplacering, vilket de också rimligtvis borde bli.

Dessutom har de procentuella hastighetsförändringarna vid denna jämförande studie varit av samma storleksordning. Detta visar att oberoende av vilket flöde man använder till luftbubbelridån, så blir den procentuella förändringen, i förhållande till mätningar utan skärm densamma för en viss skärmplacering.

4.1 Skärm 1 (halvcirkel)

Försöken visade att skärmens geometri samt placering är av betydelse. Den geometriska strömningsformens variation kan antas likformig och oberoende av luftflödet för samma skärmform. Detta innebär att kvoten $U_{\max} / (gQ)^{1/3}$ är konstant för givna värden på d/h samt b/h .

Ur resultatdiagrammen för den halvcirkulära skärmen kan man utläsa vilken som är den optimala placeringen av skärmen med avseende på alla de placeringar som testats i denna undersökning.

Om bredden b mellan skärmarna studeras medan man bortser från djupet d under vattenytan ser man att ytvattenhastigheten är mycket låg för $b=0,10\text{m}$. Med ökad bredd ökar ytvattenhastigheten upp till $b=0,25\text{m}$ som ser ut att vara ett optimum för den skärm 1.

Ett optimum finns även map placering i djupled. Placeras skärmen för djupt ($d \geq 0,10\text{ m}$) uppstår en hastighets försämring i vissa fall och i andra fall märks nästan ingen hastighetsändring alls. På djupet $d=0,05\text{m}$ blir det en hastighetsökning då bredden mellan skärmarna är större än $0,15\text{m}$. Som störst är denna ökning omkring 13%. Kurvan för $d=0,02\text{m}$ har helt olika utseende än alla de andra. Detta kan bero på att ytvattenströmmen är för tunn och därför bortses från denna kurva i resultatjämförelsen.

4.2 Skärm 2 (rak)

Studerar man nu istället resultatdiagrammen för den andra skärmen kan man se att den optimala placeringen inte är lika som för skärm 1. Detta beror naturligtvis på att skärmarnas geometri och storlek är olika.

Den raka skärmen uppvisar ingen tydlig tendens map vilken bredd som ger bästa hastighetsökning vilket den halvcirkulära skärmen gjorde. En optimal bredd är därför svår att bestämma för detta fall. Om fler mätningar hade kunnat göras med ännu fler bredder så hade det kanske gått att se någon tendens i dessa mätningar.

Om man nu istället studerar djupet som skärm 2 bör placeras på och bortser från bredden mellan skärmarna finner man ett tydligt optimalt djup. Ytvattenhastigheten är lägre än referenshastigheten utan skärm i alla fall förutom då $d=0,10\text{m}$. Vid detta djup erhöles en hastighetsökning som varierar mellan 5 och 10 procent.

Om man jämför maximal hastighetsökning för de olika skärmarna visar sig skärm 1 vara något bättre då dessa försök visat att ytvattenhastigheten gick att öka mer än för skärm 2.

4.3 Skärmutformningens betydelse

Iakttagelser under mätningarnas gång visade att skärm 2 (se fig 3.3) med 45° lutning stabiliserar ridån mer än skärm 1. Att skärm 1 var sämre beror på att den understa delen av denna skärm nästan är horisontell. Då luftbubblor på sin väg upp mot ytan stöter på denna del av skärmen kan de väldigt lätt "vandra" åt fel håll och hamna utanför skärmen. Detta förlopp initierar en svängning av ridån. Svängningarna var störst då bredden, b , mellan skärmarna var liten.

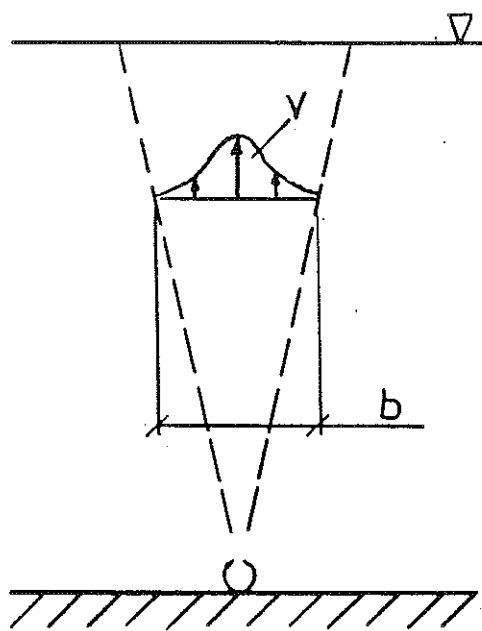


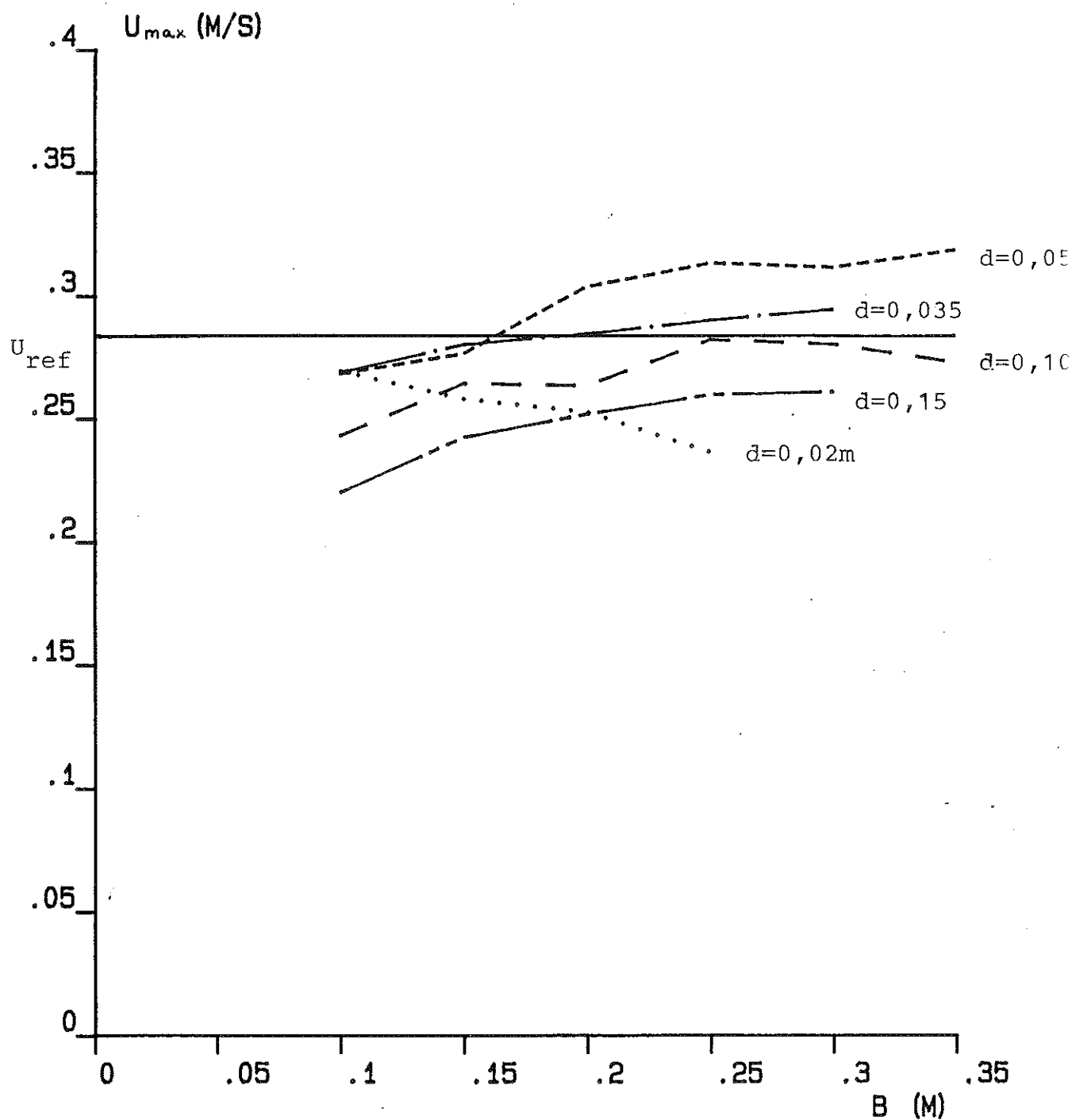
Fig 4.1 Vertikal stömningsprofil för bubbelridå.

Fig 4.1 visar den vertikala strömningsprofilen. Det förefaller rimligt att en skärm som placeras vid ridån ska sitta i utkanten av denna profil för att ythastigheten ska öka så mycket som möjligt. Hastighetsprofilen är normalfördelad [3] (se även fig 2.3) och den vertikala hastigheten v kan beskrivas med ekvation (4).

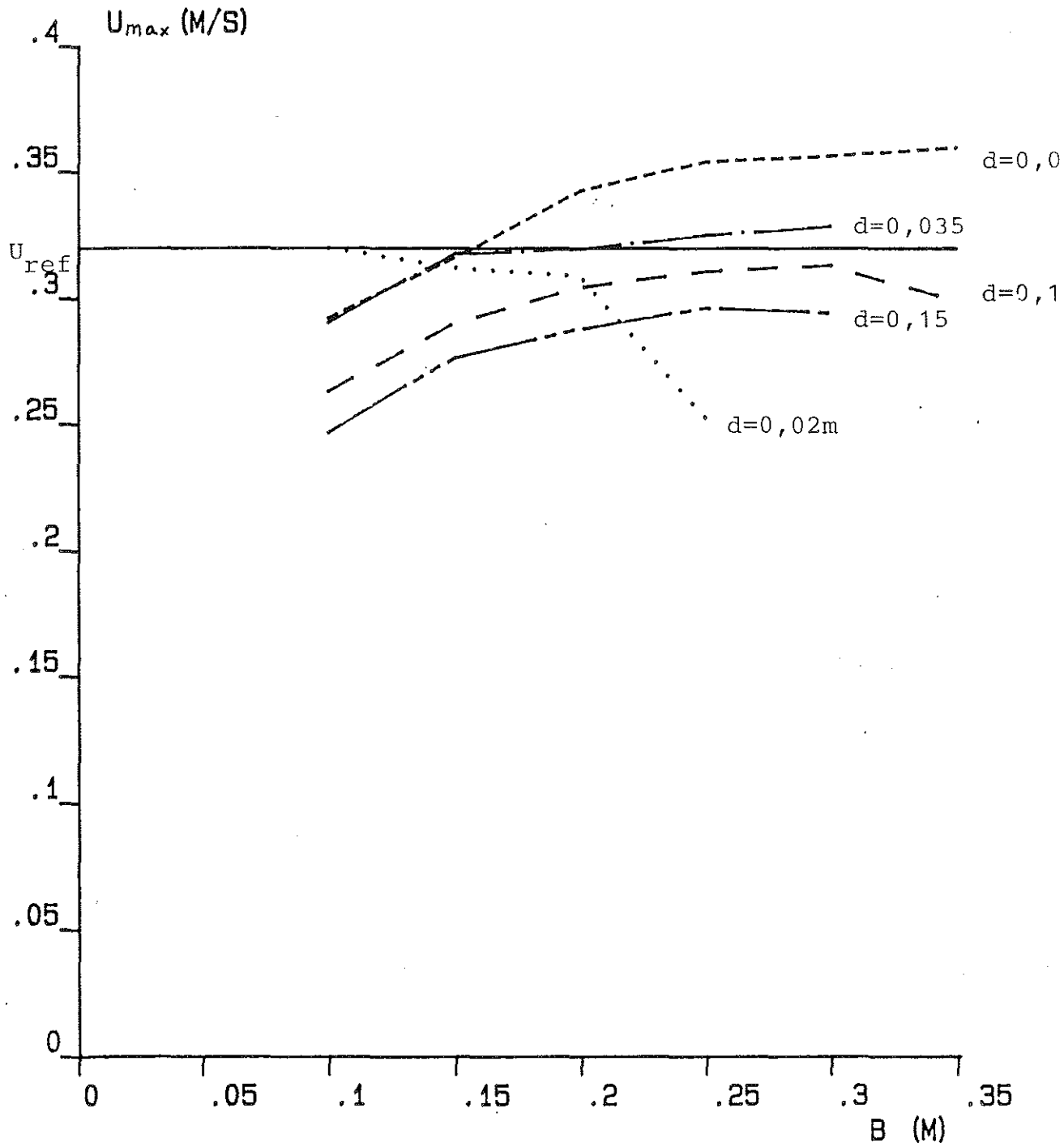
$$\frac{V}{V_{\max}} = e^{-40(x/y)(x/y)} \quad (4)$$

Vid skärmavståndet $b=0.20\text{m}$ och $y=0.60\text{m}$ dvs då $x/y=0,17$ blir $V/V_{\max}=0,33$ varför en stor del av profilen blir ostörd av skärmen (se fig 2.3). Teoretiskt bör därför skärmar placeras med en bredd på 0.20m eller större för att ej störa den vertikala hastighetsprofilen. Detta verkar stämma ganska bra med de experimentella resultaten för den cirkulära skärmen där det optimala b -värdet befanns vara ca $0,25\text{m}$. För skärm 2 har mätresultaten visat att b -värdet inte är lika kritiskt som för skärm 1. Detta kan bero på att den andra skärmen längst ner är 20 cm bredare än b -värdet och att skärmarna därför samlar upp hela det vertikala flödet.

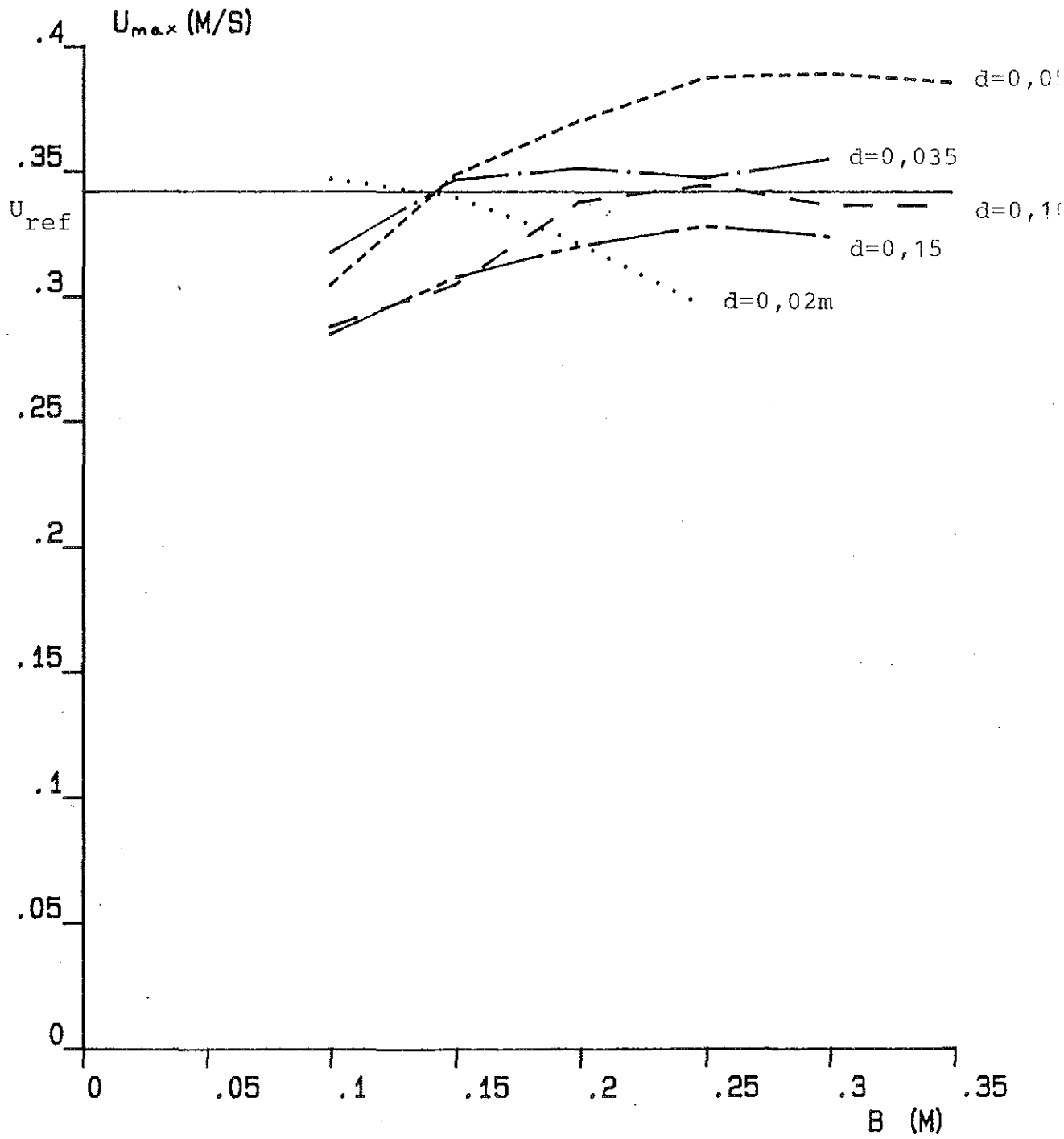
4.4 Resultatdiagram



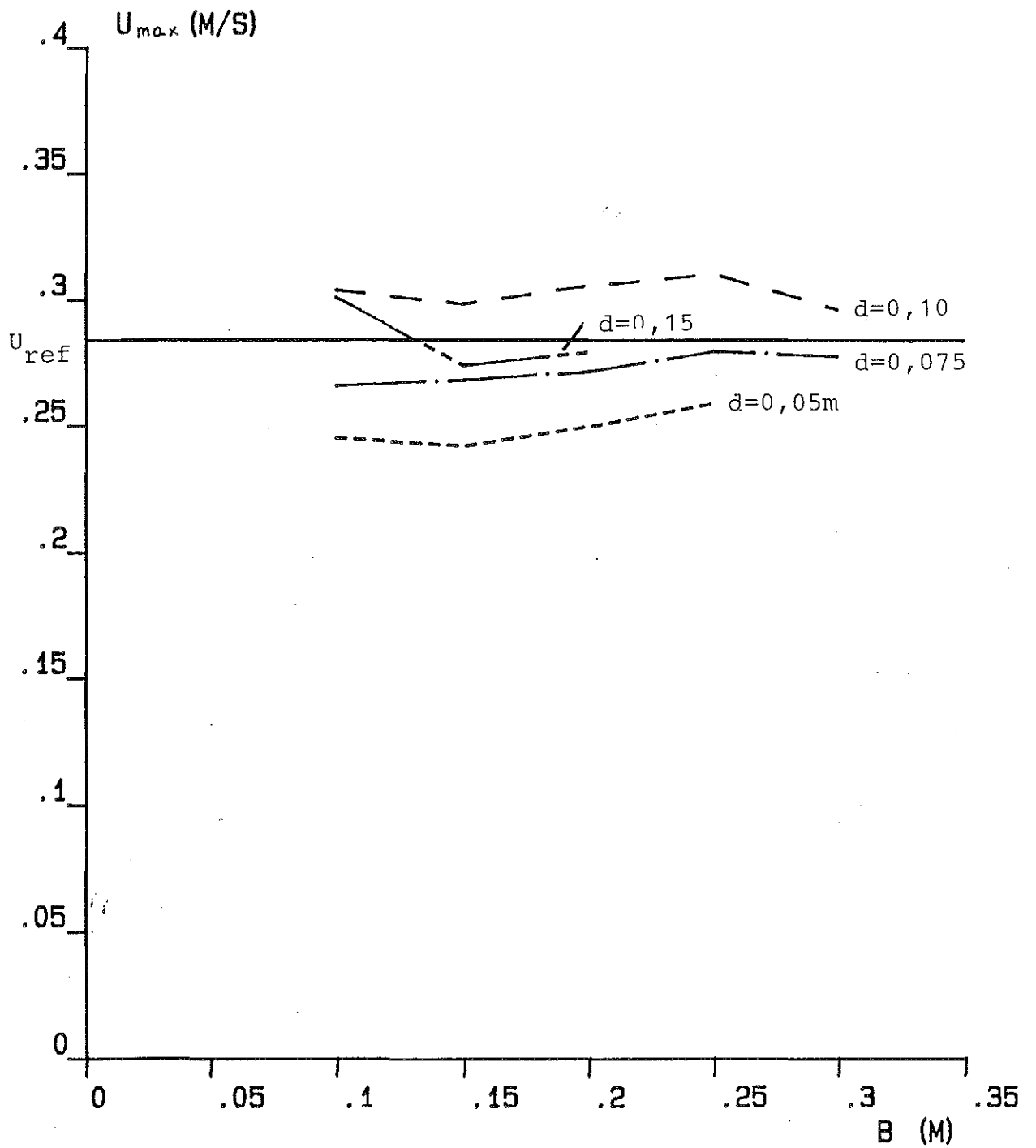
Skärm 1, luftflöde $Q=0,79$ l/s



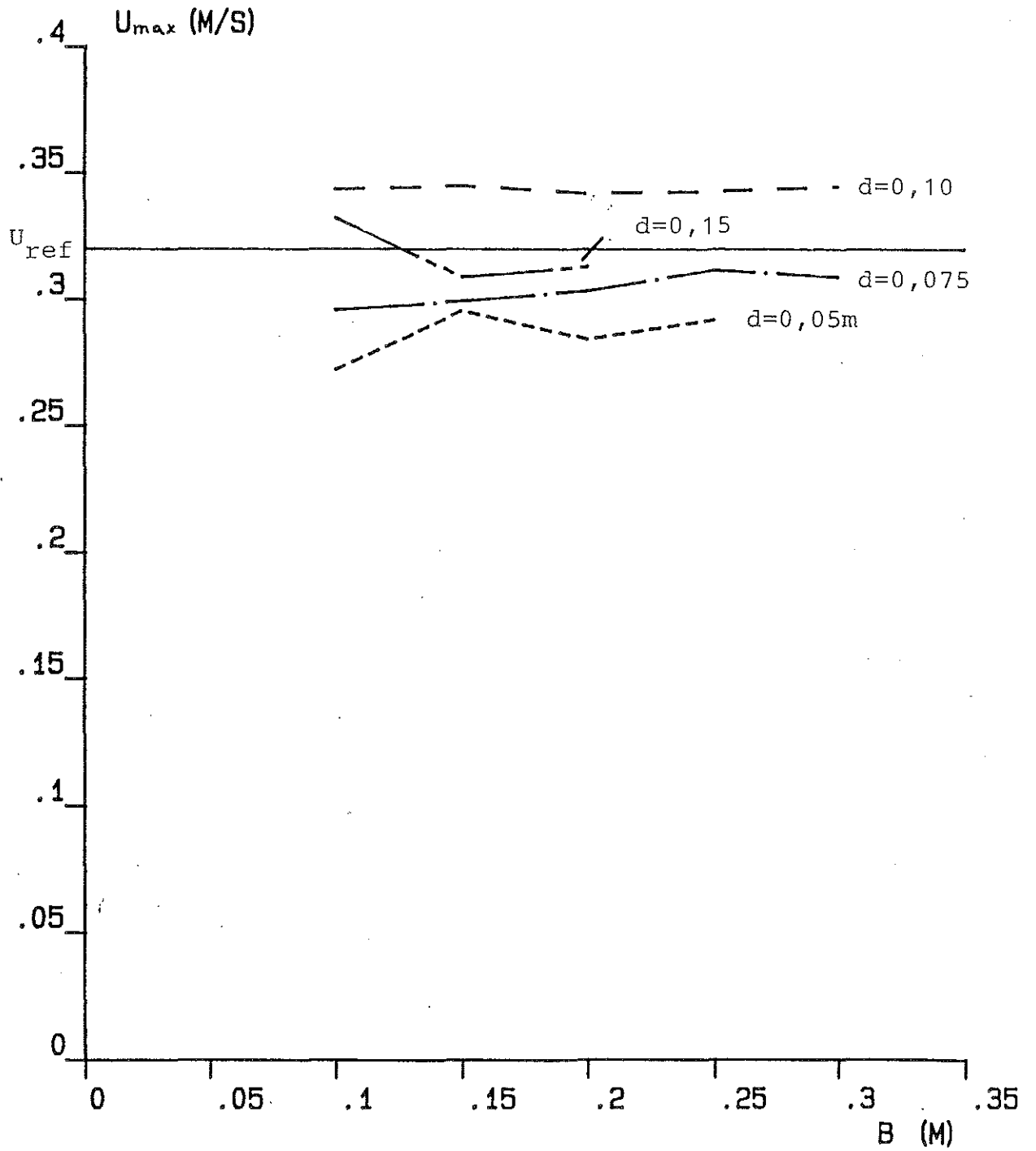
Skärm 1, $Q=1,14$ l/s



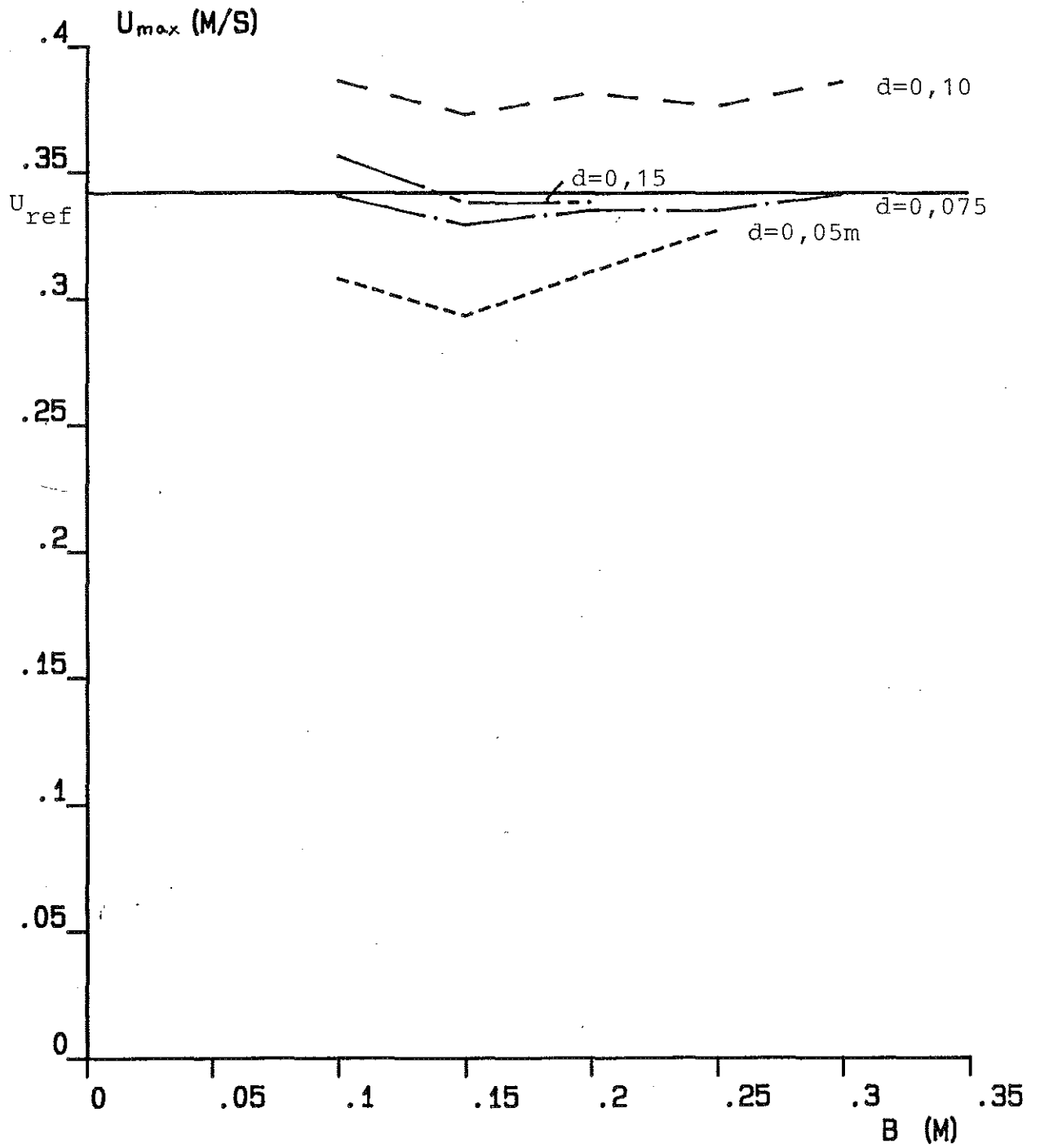
Skärm 1, Q=1,43 l/s



Skärm 2, $Q = 0,79$ l/s



Skärm 2, $Q=1,14$ l/s



Skärm 2, $Q=1,43$ l/s

5. SLUTSATSER

Den genomförda experimentella studien visar att man med hjälp av ett skärmarrangemang kan höja den av luftbubbelridån genererade ythastigheten med 10 à 15%.

En motsvarande ökning av luftbubbelridåns ythastighet går givetvis även att uppnå genom att öka luftflödet. Som jämförelse bör nämnas att en hastighetsökning av 13% motsvaras av en ökning av luftflödet på ca 30%. Frågan är dock om inte kostnaden för ett skärmarrangemang överskrider kostnaden för erforderlig ökning av luftflödet. Dessutom är det så att den stora fördelen med luftbubbelridåer, nämligen att båtar kan passera obehindrat över ridån, kan gå förlorad om skärmar används eftersom dessa måste placeras nära vattenytan. Både praktiska, tekniska och ekonomiska aspekter synes därför tala mot ett skärmarrangemang.

Omfattningen av denna studie har varit liten eftersom det är ett examensarbete utfört av en person. Det finns ganska mycket i den experimentella delen som bör undersökas bättre för att kunna säga entydigt att en skärm med en viss placering vid en luftbubbelridå förbättrar vattenhastigheten vid ytan.

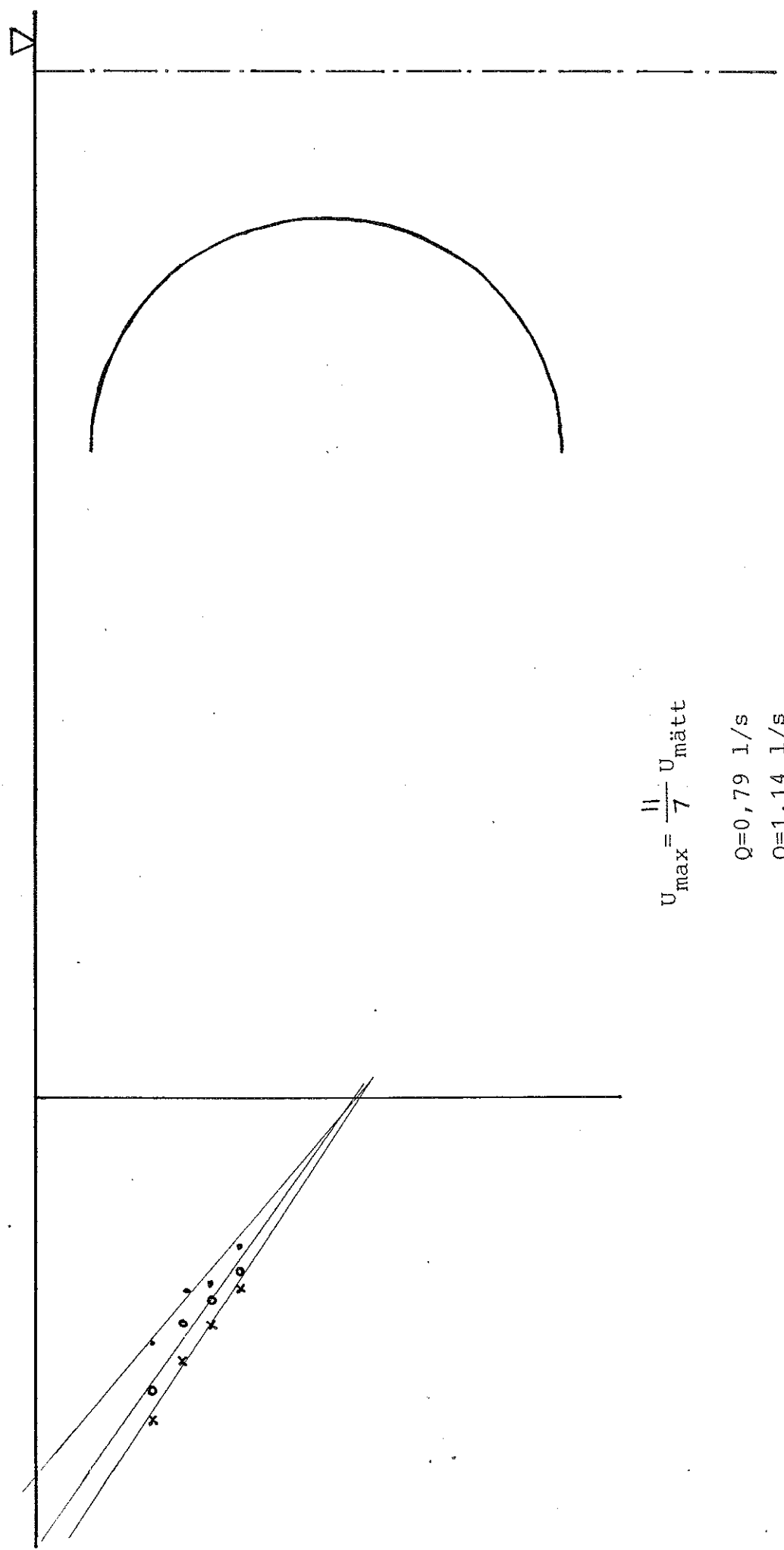
Först och främst bör man göra en större mätserie med de skärmar som testats i denna studie för att se så att inga möjliga placeringar har missats. Dessutom är det diskutabelt om den hastighet som mätts i denna studie verkligen är den maximala hastigheten eller ej. Flyglarnas placering i förhållande till ridån samt skärm måste varieras för att man med säkerhet kan säga att man funnit den maximala ytvattenhastigheten.

REFERENSER

- [1] Sjöberg, A. Strömningshastigheter kring luftbubbelridå i täthetshomogent och stillastående vatten. 1967
- [2] Sjöberg, A. Reducering av täthetsberoende utbytesströmning med hjälp av luftbubbelridå. Användning av luftbubbelridå som hinder mot saltvattenuppträngning i flodmynningar. 1967
- [3] Bergdahl, L. , Sjöberg, A. Luftbubbelridå som spärr mot spridning av olja på stagnant vatten. 1968
- [4] Sjöberg, A. , Verner, B. Pneumatic barriers against the spreading of oil on water.

Bilaga 1: Hastighetsprofiler

Skärm 1, $d=0,02\text{ m}$



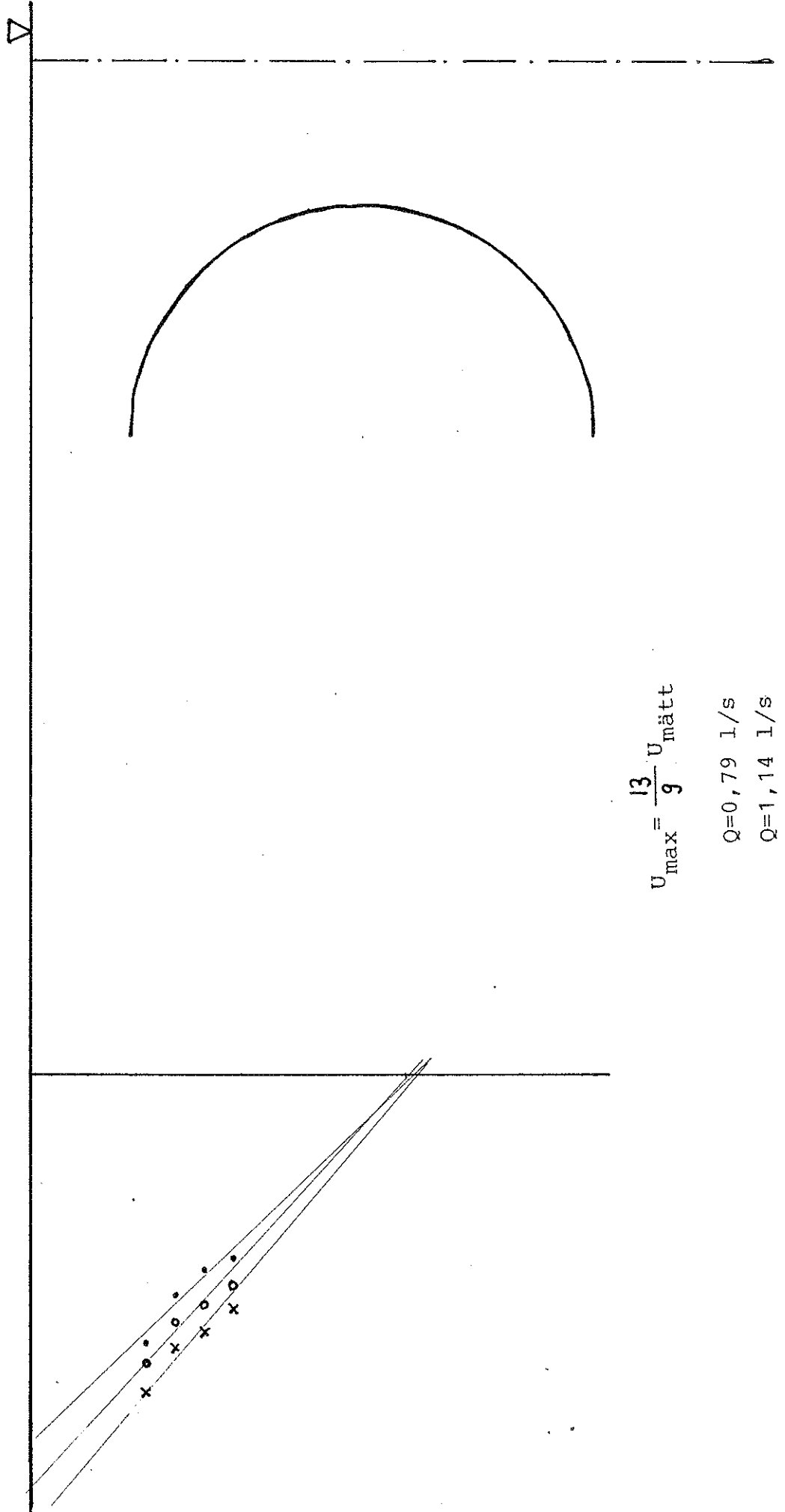
$$U_{\max} = \frac{11}{7} U_{\text{mätt}}$$

$Q=0,79 \text{ l/s}$

$Q=1,14 \text{ l/s}$

$Q=1,43 \text{ l/s}$

Skärm 1, $d=0,035$ m



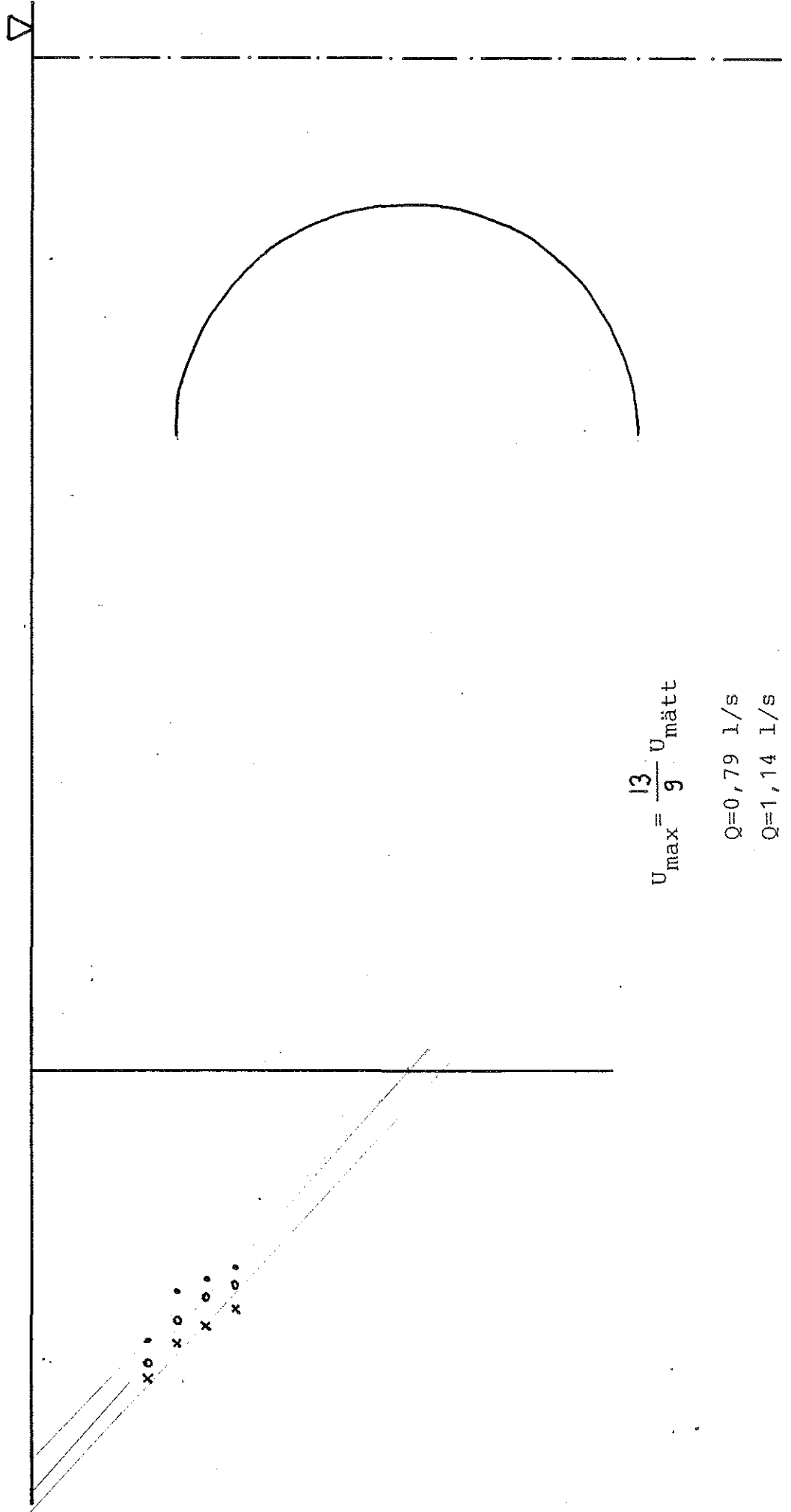
$$U_{\max} = \frac{13}{9} U_{\text{mätt}}$$

$Q=0,79$ l/s

$Q=1,14$ l/s

$Q=1,43$ l/s

Skärm 1, $d=0,05\text{ m}$



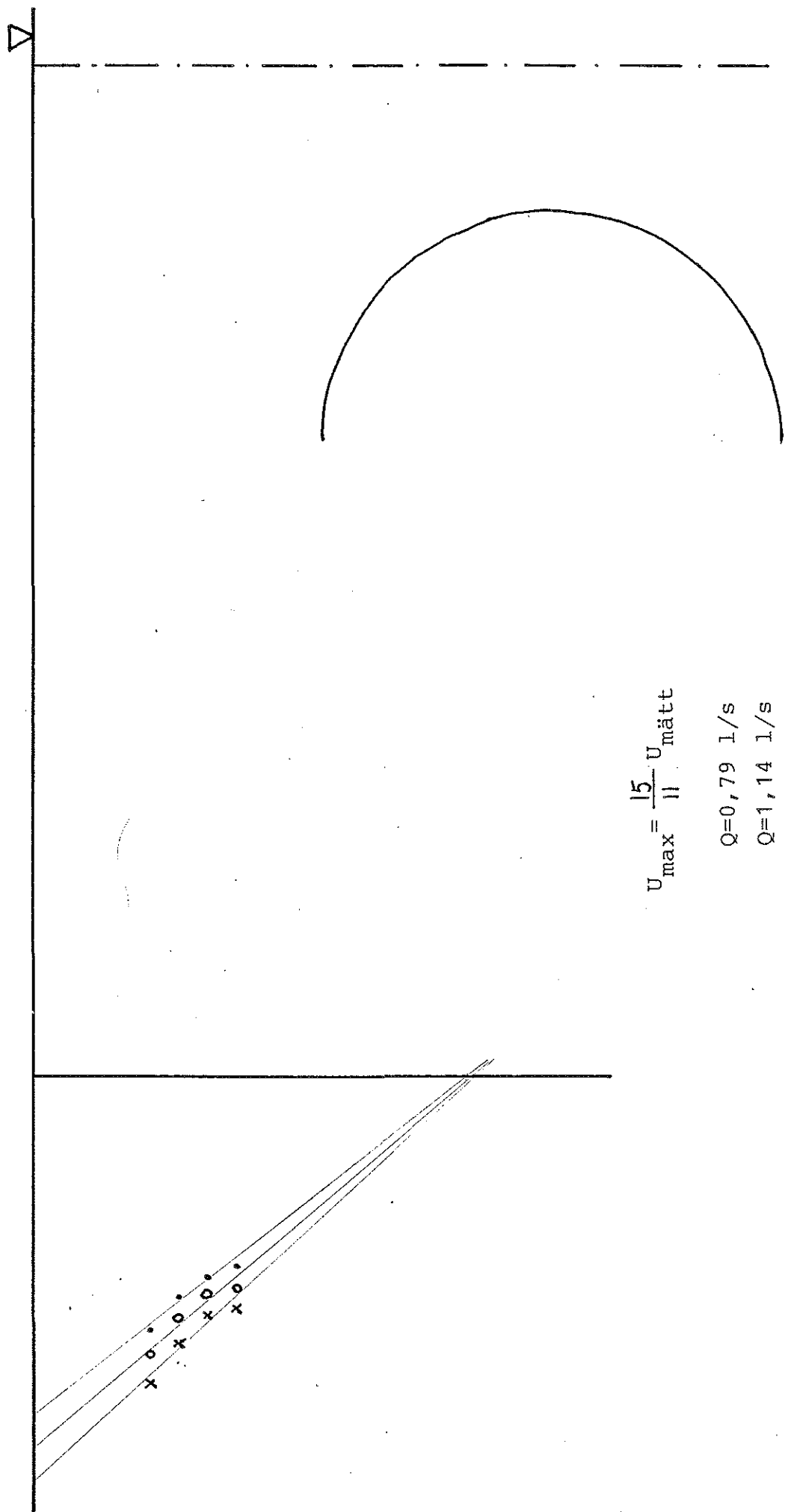
$$U_{\max} = \frac{13}{9} U_{\text{mätt}}$$

$Q=0,79\text{ l/s}$

$Q=1,14\text{ l/s}$

$Q=1,43\text{ l/s}$

Skärm 1, d=0,10 m



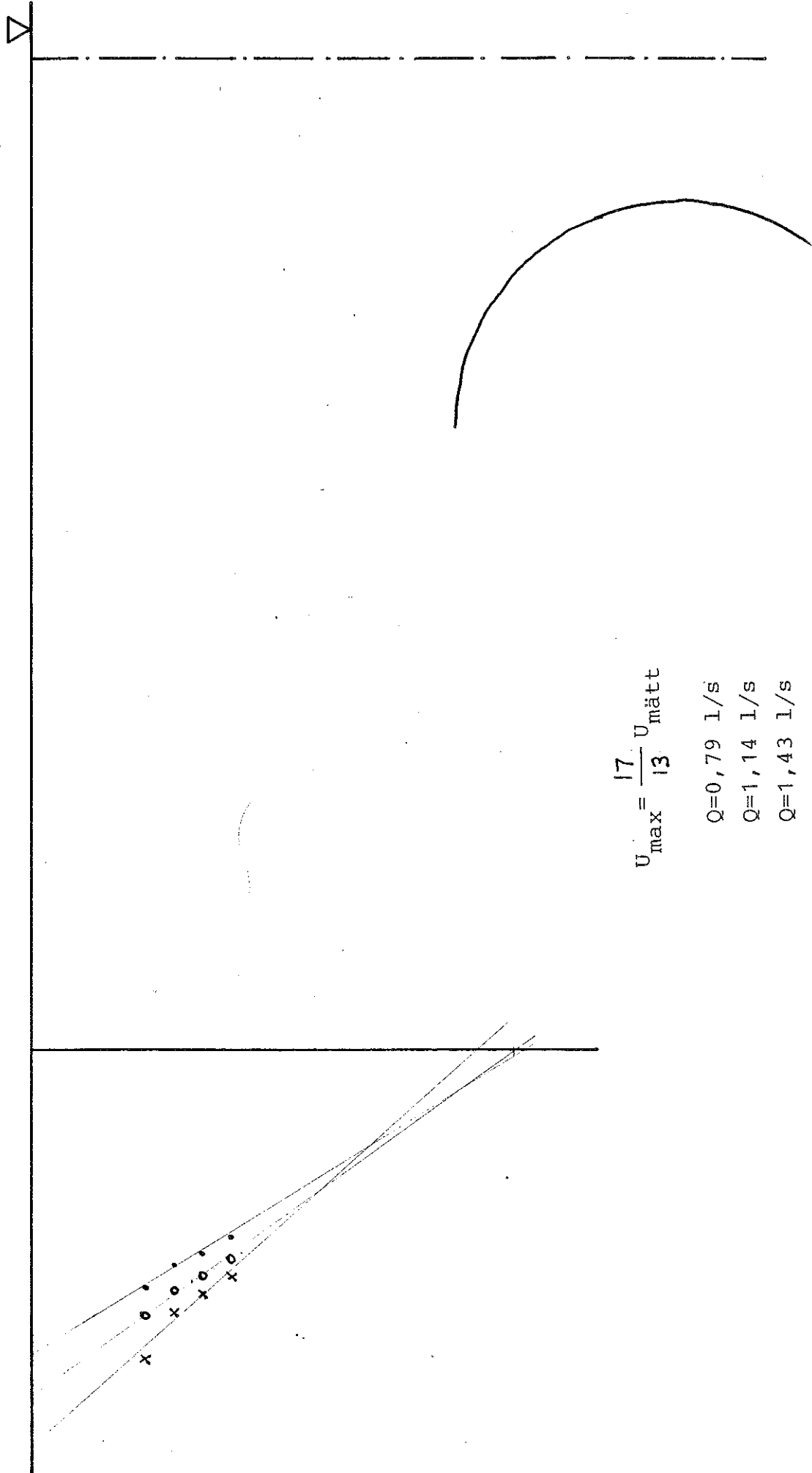
$$U_{\max} = \frac{15}{11} U_{\text{mätt}}$$

Q=0,79 l/s

Q=1,14 l/s

Q=1,43 l/s

Skärm 1, d=0,15 m



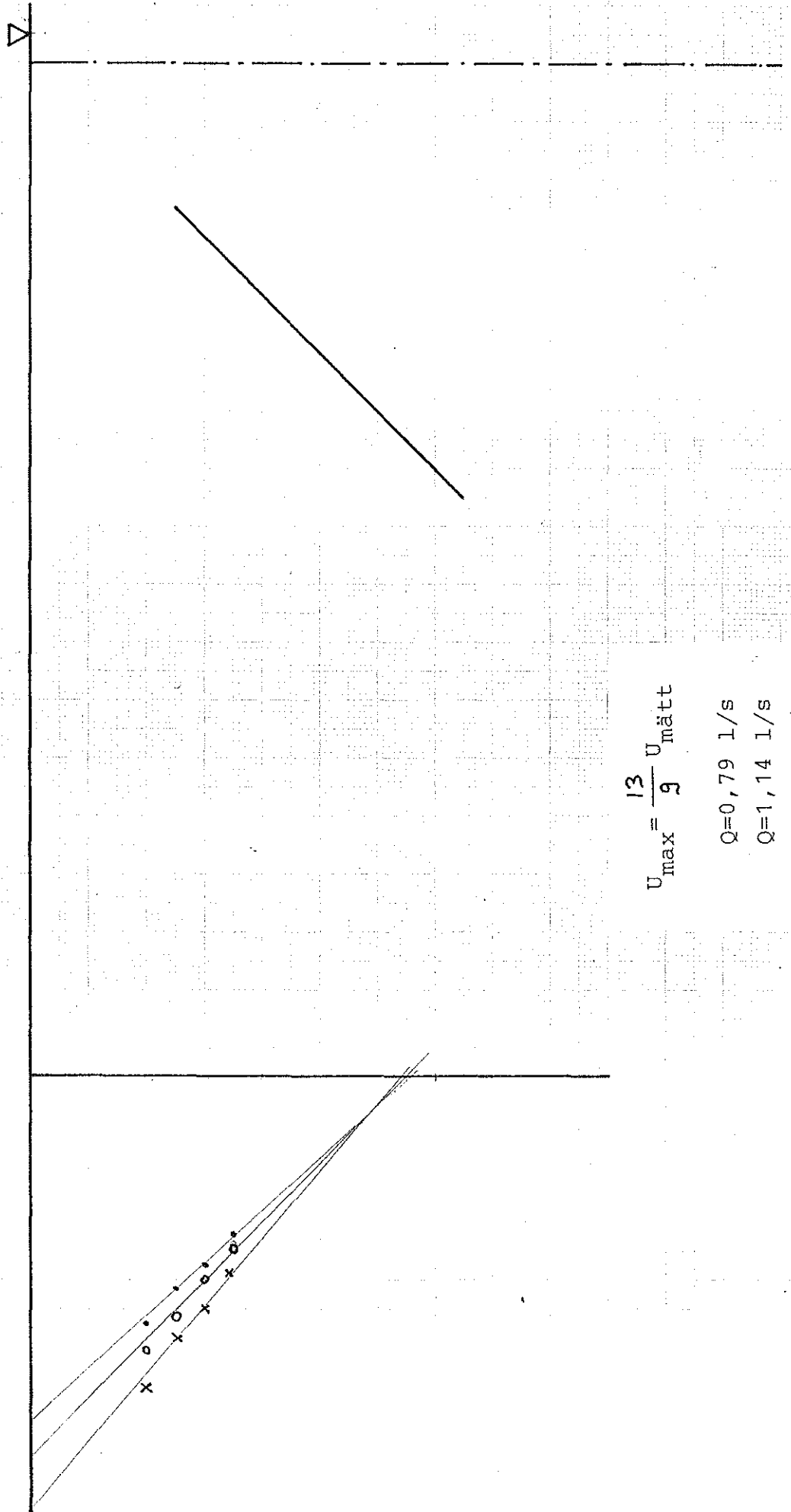
$$U_{\max} = \frac{17}{13} U_{\text{mätt}}$$

Q=0,79 l/s

Q=1,14 l/s

Q=1,43 l/s

Skärm 2, $d=0,05\text{ m}$



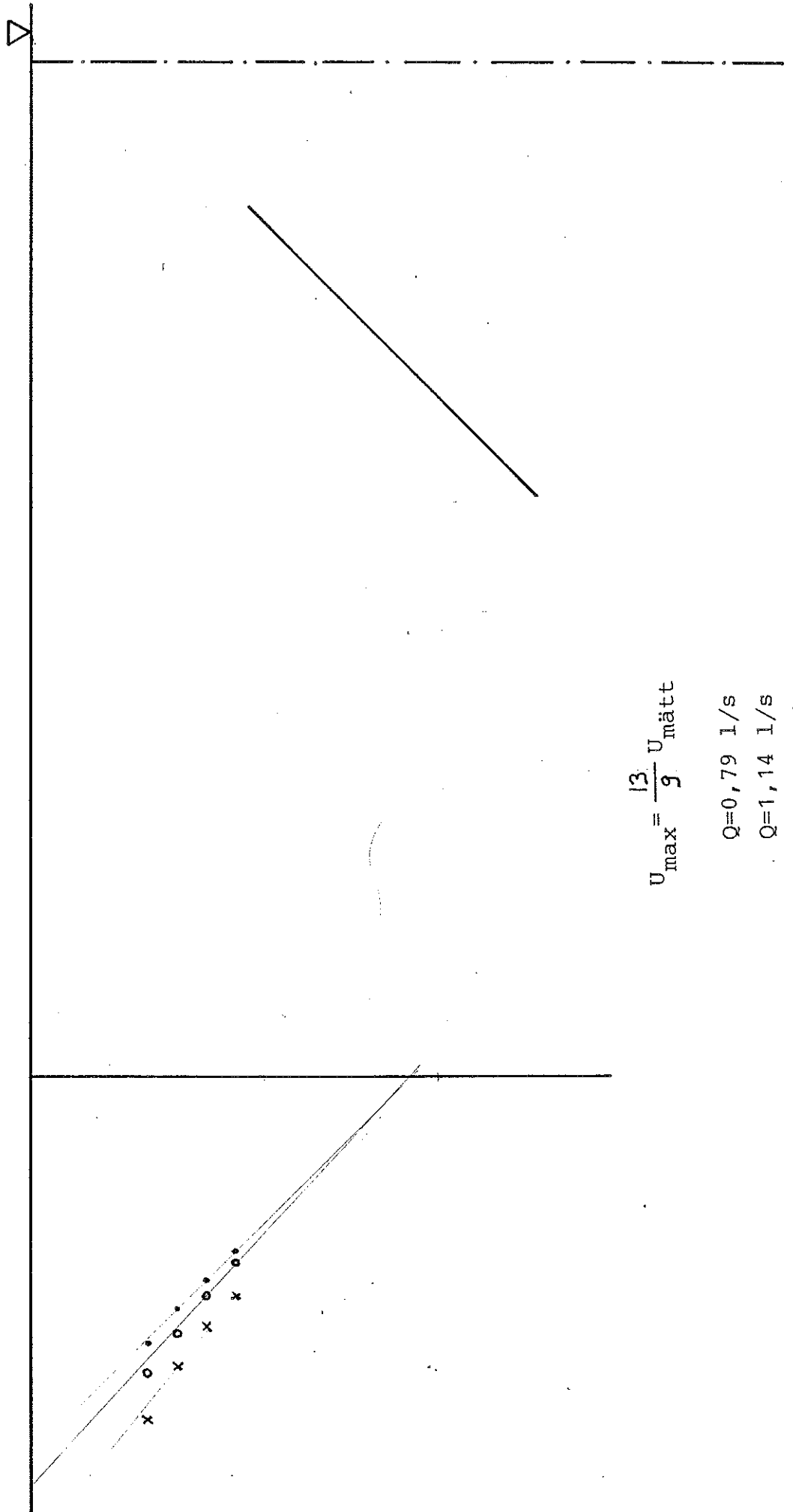
$$U_{\max} = \frac{13}{9} U_{\text{mätt}}$$

Q=0,79 l/s

Q=1,14 l/s

Q=1,43 l/s

Skärm 2, $d=0,075$ m



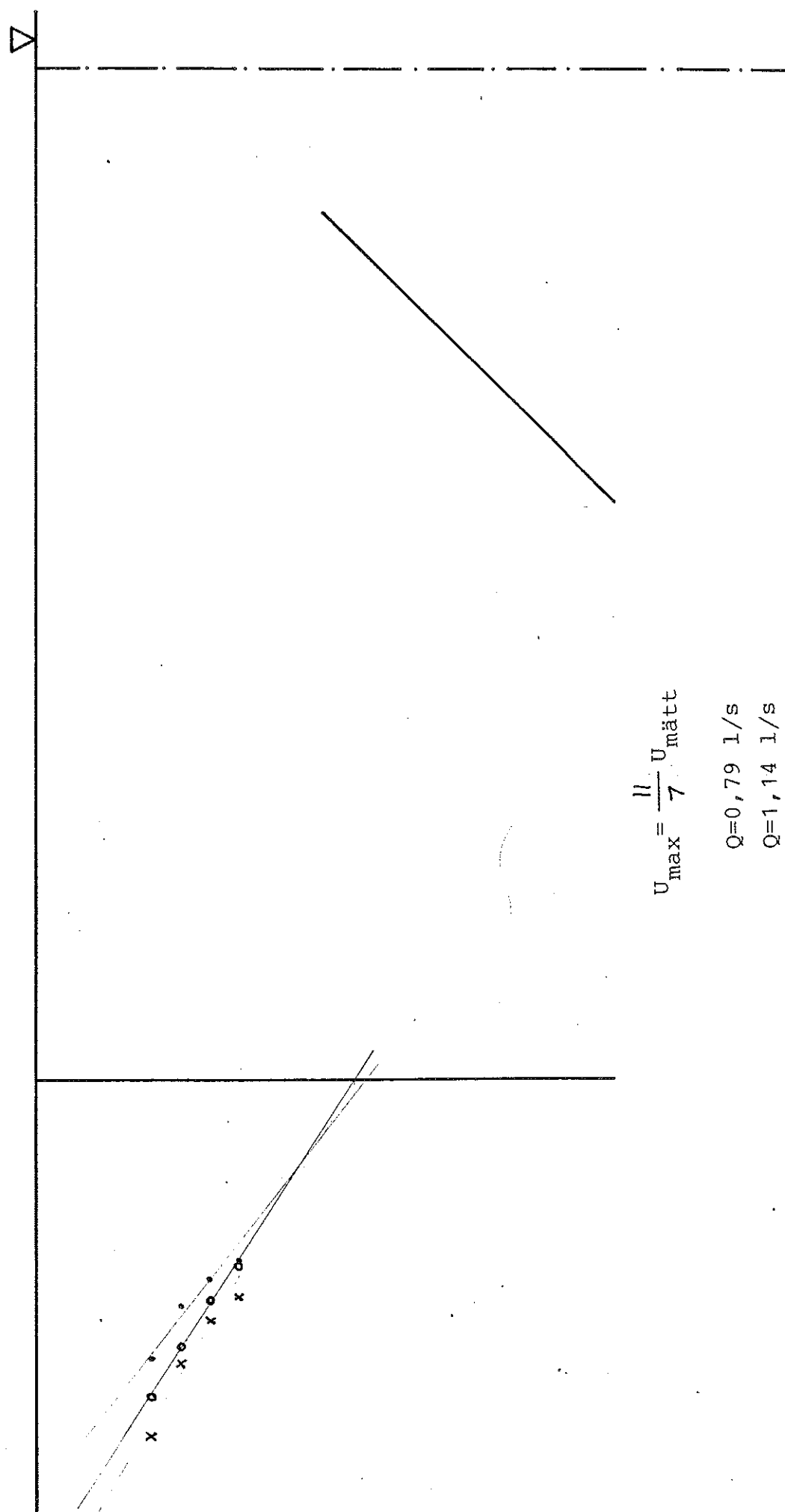
$$U_{\max} = \frac{13}{9} U_{\text{mätt}}$$

$Q=0,79$ l/s

$Q=1,14$ l/s

$Q=1,43$ l/s

Skärm 2, d=10 m



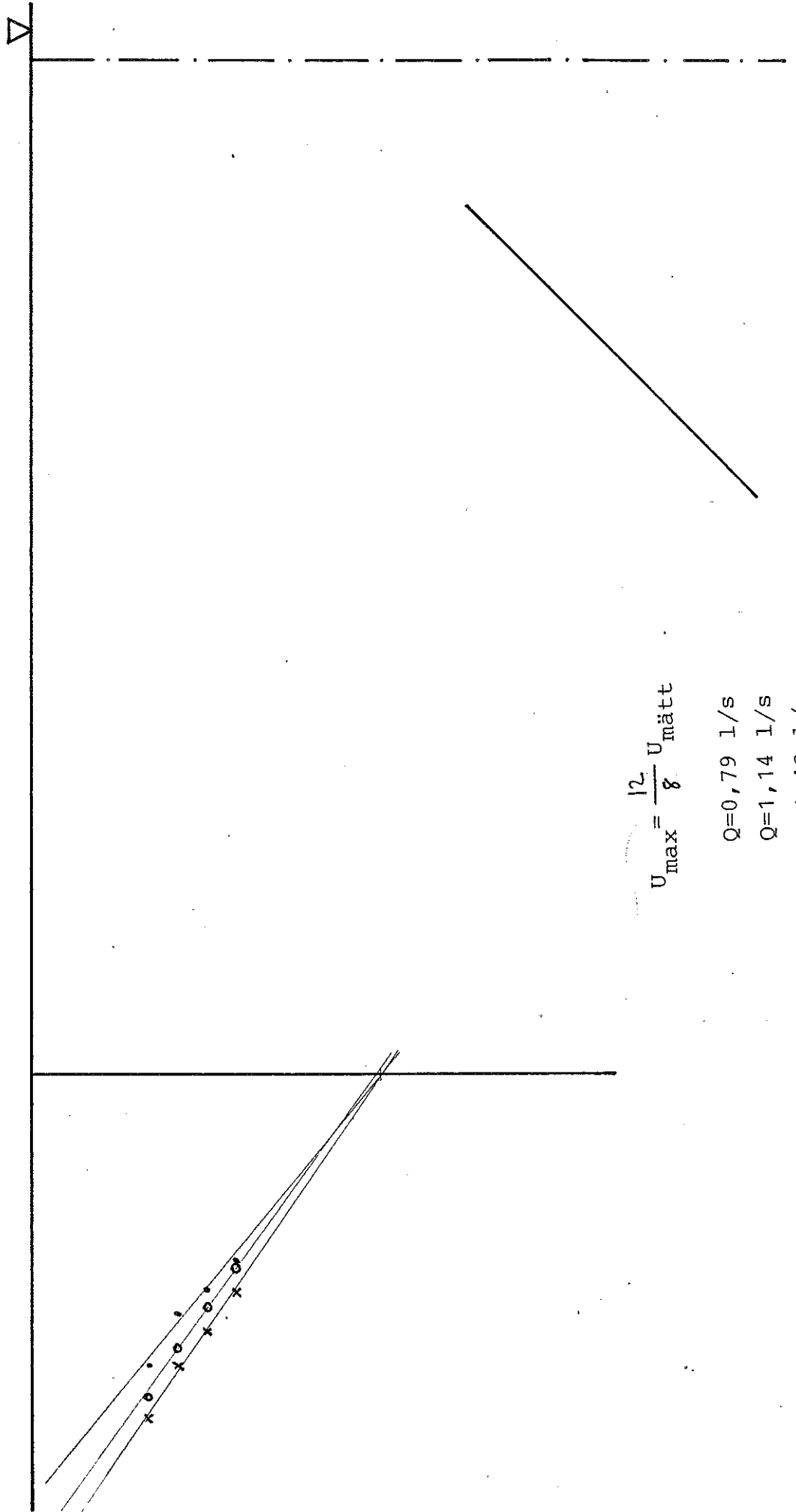
$$U_{\max} = \frac{11}{7} U_{\text{mätt}}$$

Q=0,79 l/s

Q=1,14 l/s

Q=1,43 l/s

Skärm 2, d=0,15 m



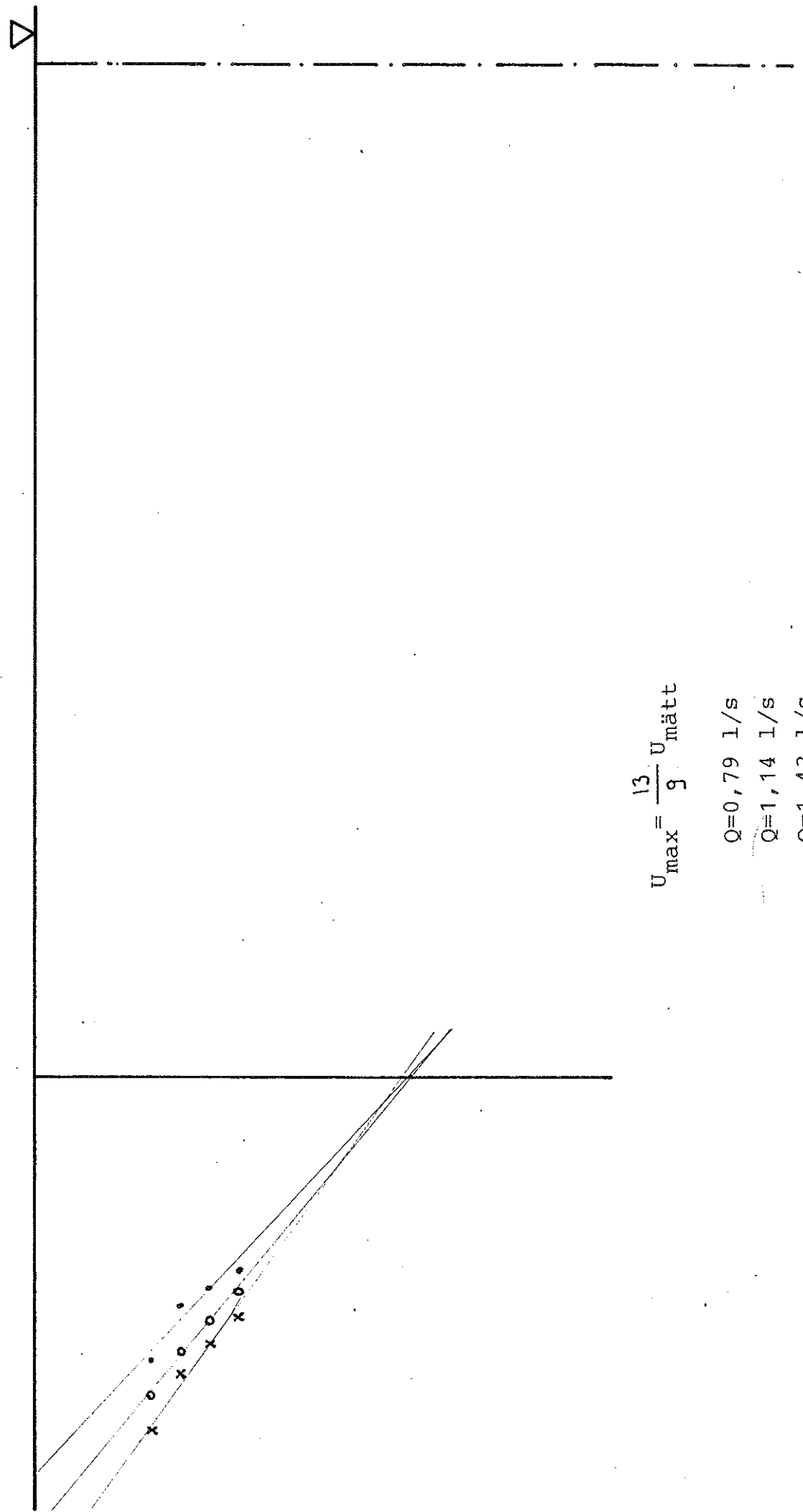
$$U_{\max} = \frac{12}{8} U_{\text{mätt}}$$

Q=0,79 l/s

Q=1,14 l/s

Q=1,43 l/s

Utan skärm



$$U_{\max} = \frac{13}{9} U_{\text{mätt}}$$

Q=0,79 l/s

Q=1,14 l/s

Q=1,43 l/s

Bilaga 2: Tabeller med sammanställning av ytvattenhastigheten för de olika skärmarna och deras placering. Under varje hastighet står den procentuella förändringen av ytvattenhastigheten i förhållande till mätningen utan skärm.

Förklaring till tabellerna:

Q är det luftflöde som användes vid varje hastighetsmätning.

U är ytvattenhastigheten för respektive propeller som har interpolerats fram för de olika skärmplaceringarna (se bilaga 1).

b är bredden mellan skärmarna (se fig 3.2).
d är djupet under vattenytan som skärmen placerats.

Skärm 1 $d=0,02\text{m}$

b (m)	Q=0,79 l/s		Q=1,14 l/s		Q=1,43 l/s	
	$U^{1\max}$ (m/s)	$U^{2\max}$ (m/s)	$U^{1\max}$ (m/s)	$U^{2\max}$ (m/s)	$U^{1\max}$ (m/s)	$U^{2\max}$ (m/s)
0	0,284	0,285	0,316	0,324	0,342	0,343
0,10	0,237 -16%	0,302 + 6%	0,277 -13%	0,348 + 7%	0,317 - 7%	0,378 +10%
0,15	0,233 -18%	0,284 $\pm 0\%$	0,289 - 8%	0,328 + 1%	0,308 -10%	0,372 + 8%
0,20	0,207 -27%	0,299 + 5%	0,241 -24%	0,340 + 5%	0,268 -21%	0,375 + 9%
0,25	0,189 -34%	0,285 $\pm 0\%$	0,179 -43%	0,327 + 1%	0,239 -30%	0,353 + 3%

Skärm 1 $d=0,035\text{m}$

b (m)	Q=0,79 l/s		Q=1,14 l/s		Q=1,43 l/s	
	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)
0	0,284	0,285	0,316	0,324	0,342	0,343
0,10	0,265 - 7%	0,273 - 4%	0,283 -10%	0,298 - 8%	0,316 - 7%	0,319 - 7%
0,15	0,261 - 8%	0,300 + 5%	0,300 - 5%	0,336 + 4%	0,335 - 2%	0,359 + 5%
0,20	0,272 - 4%	0,298 + 5%	0,308 - 3%	0,332 + 2%	0,341 $\pm 0\%$	0,363 + 6%
0,25	0,272 - 4%	0,307 + 8%	0,316 $\pm 0\%$	0,334 + 3%	0,345 + 1%	0,350 + 2%
0,30	0,288 + 1%	0,301 + 6%	0,330 + 4%	0,327 + 1%	0,355 + 4%	0,355 + 3%

Skärm 1 $d=0,05\text{m}$

b (m)	Q=0,79 l/s		Q=1,14 l/s		Q=1,43 l/s	
	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)
0	0,284	0,285	0,316	0,324	0,342	0,343
0,10	0,266 - 6%	0,270 - 5%	0,284 -10%	0,301 - 7%	0,298 -13%	0,311 - 9%
0,15	0,282 - 1%	0,272 - 5%	0,316 $\pm 0\%$	0,317 - 2%	0,346 + 1%	0,3517 + 3%
0,20	0,301 + 6%	0,307 + 8%	0,345 + 9%	0,340 + 5%	0,363 + 6%	0,378 +10%
0,25	0,307 + 8%	0,320 +12%	0,347 +10%	0,362 +12%	0,378 +11%	0,398 +16%
0,30	0,306 + 8%	0,318 +12%	0,344 + 9%	0,369 +14%	0,379 +11%	0,400 +17%
0,35	0,316 +11%	0,322 +13%	0,353 +12%	0,368 +13%	0,373 + 9%	0,399 +16%

Skärm 1 $d=0,10\text{m}$

b (m)	Q=0,79 l/s		Q=1,14 l/s		Q=1,43 l/s	
	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)
0	0,284	0,285	0,316	0,324	0,342	0,343
0,10	0,242 -15%	0,245 -14%	0,267 -15%	0,259 -20%	0,292 -14%	0,285 -17%
0,15	0,260 -9%	0,269 -6%	0,283 -10%	0,298 -8%	0,306 -10%	0,311 -9%
0,20	0,255 -10%	0,273 -4%	0,301 -5%	0,308 -5%	0,332 -3%	0,344 $\pm 0\%$
0,25	0,282 -1%	0,282 -1%	0,305 -3%	0,316 -2%	0,338 -1%	0,351 +2%
0,30	0,278 -2%	0,283 -1%	0,311 -2%	0,315 -3%	0,335 -2%	0,339 -1%
0,35	0,280 -2%	0,267 -6%	0,296 -6%	0,302 -7%	0,335 -2%	0,337 -2%

Skärm 1 $d=0,15\text{m}$

b (m)	Q=0,79 l/s		Q=1,14 l/s		Q=1,43 l/s	
	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)
0	0,284	0,285	0,316	0,324	0,342	0,343
0,10	0,226 -21%	0,215 -24%	0,249 -21%	0,244 -25%	0,287 -16%	0,283 -17%
0,15	0,242 -15%	0,244 -14%	0,273 -13%	0,280 -14%	0,304 -11%	0,312 -9%
0,20	0,254 -11%	0,251 -12%	0,283 -10%	0,293 -10%	0,319 -7%	0,322 -6%
0,25	0,261 -8%	0,260 -9%	0,294 -7%	0,299 -8%	0,325 -5%	0,331 -4%
0,30	0,261 -8%	0,261 -8%	0,294 -7%	0,295 -9%	0,324 -5%	0,324 -6%

Skärm 2 $d=0,05\text{m}$

b (m)	Q=0,79 l/s		Q=1,14 l/s		Q=1,43 l/s	
	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)
0	0,284	0,285	0,316	0,324	0,342	0,343
0,10	0,221 -22%	0,269 - 6%	0,239 -24%	0,306 - 6%	0,275 -19%	0,341 - 1%
0,15	0,224 -21%	0,261 - 9%	0,296 - 6%	0,296 - 9%	0,269 -21%	0,318 -10%
0,20	0,238 -16%	0,261 - 8%	0,271 -14%	0,298 - 8%	0,299 -13%	0,323 - 6%
0,25	0,257 - 9%	0,261 - 9%	0,286 - 9%	0,298 - 8%	0,3120 - 6%	0,334 - 3%

Skärm 2 $d=0,075\text{m}$

b (m)	Q=0,79 l/s		Q=1,14 l/s		Q=1,43 l/s	
	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)
0	0,284	0,285	0,316	0,324	0,342	0,343
0,10	0,259 - 9%	0,273 - 4%	0,283 -11%	0,309 - 5%	0,321 - 6%	0,360 + 5%
0,15	0,266 - 7%	0,271 - 5%	0,296 - 6%	0,303 - 6%	0,325 - 5%	0,334 - 3%
0,20	0,269 - 5%	0,275 - 4%	0,298 - 5%	0,309 - 5%	0,337 - 1%	0,334 - 3%
0,25	0,277 - 3%	0,282 - 1%	0,315 ± 0%	0,308 - 5%	0,335 - 2%	0,336 - 2%
0,30	0,277 - 2%	0,278 - 2%	0,315 ± 0%	0,303 - 6%	0,338 - 1%	0,345 + 1%

Skärm 2 $d=0,10\text{m}$

b (m)	Q=0,79 l/s		Q=1,14 l/s		Q=1,43 l/s	
	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)
0	0,284	0,285	0,316	0,324	0,342	0,343
0,10	0,287 + 1%	0,320 + 12%	0,323 + 2%	0,364 +12%	0,351 + 3%	0,422 +23%
0,15	0,291 + 2%	0,306 + 7%	0,336 + 6%	0,354 + 9%	0,351 + 3%	0,396 +15%
0,20	0,311 +10%	0,300 + 5%	0,350 +11%	0,334 + 3%	0,384 +12%	0,380 +11%
0,25	0,315 +11%	0,306 + 7%	0,349 +11%	0,336 + 4%	0,376 +10%	0,377 +10%
0,30	0,290 + 2%	0,303 + 6%	0,350 +11%	0,340 + 5%	0,389 +14%	0,383 +12%

Skärm 2 $d=0,15\text{m}$

b (m)	Q=0,479 l/s		Q=1,14 l/s		Q=1,43 l/s	
	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)	$U_{1\text{max}}$ (m/s)	$U_{2\text{max}}$ (m/s)
0	0,284	0,285	0,316	0,324	0,342	0,343
0,10	0,287 + 1%	0,315 +11%	0,316 \pm 0%	0,349 + 8%	0,321 - 6%	0,392 +14%
0,15	0,266 - 6%	0,282 - 1%	0,297 - 6%	0,320 - 1%	0,318 - 7%	0,358 + 4%
0,20	0,269 - 5%	0,289 + 2%	0,305 - 3%	0,321 - 1%	0,336 - 1%	0,340 - 1%

