

Kalibrering av mätöverfall

för mätning av flöden i nedstignings- brunnar

Ture Johannison
Thomas Lindblad



Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg
Institutionen för Vattenbyggnad

Examensarbete 1977: 3

KALIBRERING AV MÄTÖVERFALL
för mätning av flöden i nedstignings-
brunnar

av

Ture Johannison

Thomas Lindblad

Förord

Denna rapport är ett examensarbete gjort vid institutionen för Vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, sommaren 1977.

Avsikten med examensarbetet har varit att genom modellförsök kalibrera institutionens mätbrunnar. Försöken har skett vid institutionens försökshall, där erforderlig utrustning tillhandahållits.

Handledare för examensarbetet har varit Viktor Arnell. Till stor hjälp har också institutionens övriga personal varit.

Ture Johannison

Thomas Lindblad

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	sid.
SYMBOLER	1
1. SAMMANFATTNING	2
2. INLEDNING	
2.1 Mätning av dagvattenflöden	7
2.2 Försökens genomförande och resultat	7
3. GRUNDLÄGGANDE HYDRAULISKA SAMBAND FÖR MÄTÖVERFALL	
3.1 Härledning av avbördningsekvation för Thomson- överfall	9
3.2 Froudes modellregler	11
3.3 Matematisk behandling av försöksresultaten	12
3.4 Avbördningsekvation med hänsyn till hastig- hetshöjden	15
4. FÖRSÖKSUTRUSTNING	
4.1 Modellen	18
4.2 Försökshallen	23
4.3 Mätutrustning	23
4.4 Kalibrering av mätutrustningen	24
5. MODELLFÖRSÖK	32
5.1 Linköping 2	33
5.2 Linköping 3	36
5.3 Floda	39
5.4 Landvetter Förvaltning	43
5.5 Landvetter Parkering	50
5.6 Överfallets placering i höjddled	53
5.7 Mätpunktens placering	62
5.8 Dimension inkommande ledning	72
5.9 Dimension utgående ledning	78
5.10 Mätpunktens placering i mätbrunn med skärm	83
6. PROTOTYPER	87
REFERENSER	99

SYMBOLER

v	Hastighet	(m/s)
ϕ	Inre diameter	(mm)
H	Avläst vattennivå i brunn	(mm)
h_o	Avläst vattennivå vid överfallets spets	(mm)
h_m	Överfallshöjd i modellen, $H - h_o$	(mm)
h_p	Överfallshöjd i prototypen	(mm)
q_m	Flöde i modellen	(l/s)
q_p	Flöde i prototypen	(l/s)
μ_m	Avbödningskoefficient i modellen	
μ_p	Avbödningskoefficient i prototypen	
In.	Inkommande ledning	
Ut.	Utgående ledning	
u. k.	Underkant	
g	Gravitationskraft	(m/s ²)
v. g.	Vattengång	
a	Mätpunktens vinkelräta avstånd från överfallet	(mm)

1. SAMMANFATTNING

Målsättningen med detta examensarbete har varit att kalibrera institutionens mätöverfall (Thomsonöverfall) genom modellförsök i laboratorium samt att studera vilka effekter som uppkommer om man ändrar utseendet på mätbrunnen.

I modellförsöken konstruerades avbördningskurvor för några befintliga mätbrunnar. De uppvisade en del avvikelser från den i litteraturen teoretiska avbördningskurvan:

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \mu h^x$$

där $x = 2,5$

$$0,58 \leq \mu \leq 0,63$$

För de konstruerade kurvorna erhöles $x < 2,5$ och $\mu < 0,58$ (se kap. 5). Även vid beaktande av hastighetshöjdens inverkan på avbördningen avvek de i försöken konstruerade avbördningskurvorna från den teoretiska avbördningskurvan:

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \mu \left(h + c \frac{v^2}{2g} \right)^x$$

där $x = 2,5$

$$0,58 \leq \mu \leq 0,63$$

$$c = +1,0$$

För de konstruerade kurvorna erhöles $x = 2,5$ och $\mu \approx 0,67$. c antog negativa värden. Detta är en intressant iakttagelse då $c = +1,0$ enligt teorin. Hastighetshöjden skall alltså dras ifrån överfallshöjden i stället för att adderas till. (Se kap. 3.4).

Mätbrunnens konstruktiva utformning påverkar i hög grad avbördningskurvans utseende.

I de olika modellförsöken undersöktes inverkan av:

- 1) överfallets placering i höjdlid
- 2) dimension inkommande ledning
- 3) dimension utgående ledning
- 4) lutning inkommande ledning
- 5) stalp
- 6) mätpunktens placering

1) Överfallets placering i höjdlid

Variation av nivåskillnaden mellan överfallsspetsen och vattengång inkommande ledning, då överfallet dämmer uppströms mätbrunnen, har obetydlig inverkan på avbördningskurvans utseende. Variationerna mellan avbördningskurvor för olika nivåskillnader ligger inom gränsen för mätnoggrannheten. En stor nivåskillnad ger dock en lugnare vattensyta i mätbrunnen. Är lutningen på inkommande ledning liten kan en ledningssträcka av avsevärd längd däckas. Detta är ej önskvärt. Nivåskillnaden bör därför avpassas efter lutningen på inkommande ledning så att ej alltför långa ledningssträckor däckas. (Se kap. 5.6).

Även nivåskillnaden mellan överfallsspetsen och vattengång utgående ledning bör beaktas vid utformningen av en mätbrunn. En liten nivåskillnad medför vid stora flöden risk för däckning av överfallet då utgående ledning däckas. Är däckningen av överfallet större än 20 % av överfallshöjden erhålls högre värden på vattennivån i brunnen än motsvarande värden på vattennivån utan däckning och avbördningskurvan ändras. (Se kap. 5.4). Således bör däckning uppströms och nedströms överfallet beaktas vid bestämning av dess placering i höjdlid.

2) Dimension inkommande ledning

Inkommande ledningsdimension påverkar avbördningskurvans utseende vid stora flöden om vattenhastigheten är stor i förhållande till geometrin. En liten rördimension ger en större inströmningshastighet än en stor vid samma flöde. Den större inströmningshastigheten ger upphov till en högre vattennivå i brunnen. Detta påverkar avbördningskurvan. (Se kap. 5.8).

3) Dimension utgående ledning

Utgående ledningsdimension och utformningen av utloppet har stor betydelse för avbördningen vid stora flöden. Kanterna på utloppet bör vara väl avrundade så det avbördade vattnet lätt kan ledas in i utgående ledning. Dämning nedströms överfallet p.g.a. dåligt utformat utlopp eller för liten ledningsdimension påverkar avbördningskurvan. Vid en dämning större än 20 % av överfallshöjden blir vattennivån i mätbrunnen högre än motsvarande odämda nivå vid samma flöde. Dimensionen på utgående ledning bör därför vara så stor att eventuell dämning nedströms överfallet ej uppgår till mer än 20 % av överfallshöjden. (Se kap. 5.9).

4) Lutningen inkommande ledning

En ändring av lutningen på inkommande ledning har ringa betydelse för avbördningskurvans utseende vid små lutningar. Vid mycket stora lutningar, ca 150 %, kan luft stötvis sugas med i ledningen p.g.a. hävertverkan. Vattenytan i mätbrunnen blir då störd av denna stötvis inkommande luft och kommer i större svängning än vid liten lutning. Detta påverkar avbördningskurvan vid stora flöden. (Se kap. 5.2, 5.3).

5) Stalp

För att undvika dämning av inkommande ledning kan mätbrunnen förses med ett stalp, så att nivån för vattengång inkommande ledning är högre än nivån för vattengång utgående ledning. Överfallets spets placeras under vattengång inkommande ledning. Vattenflödet strömmar då rakt igenom brunnen utan att bromsas upp av överfallsväggen. Vattennivån blir då lägre än om överfallet hade bromsat upp vattenstrålen. Vattenytan blir orolig och kommer i svängning. Även inkommande vattenstråle svänger parallellt med överfallsväggen. Dessa förhållanden gör det svårt att utföra noggranna mätningar av vattennivån i brunnen och konstruera en relevant avbördningskurva. (Se kap. 5.5).

Genom att placera en skärm framför inloppet, så att det inströmmande vattnet bromsas upp, erhålls en lugnare vattenyta. Är stalpet stort styr skärmen också ner den inkommande vattenstrålen så att den ej faller långt ut i brunnen. Den stora fallhöjden utefter skärmen ger dock en betydande luftinblandning. Luftinblandningen är mest störande vid skärmen. För övrigt påverkar den ej vattenytan. Görs skärmen helt lufttät försvinner luftinblandningen nästan helt. Detta ger dock icke stationära förhållanden vid början av varje flödesförlopp varför en luftad skärm rekommenderas. Vattennivån blir något högre i en brunn med skärm. Vattenytan blir lugnare. Avbördningskurvan kan då bestämmas med större noggrannhet än i en brunn utan skärm. (Se kap. 5.4).

6) Mätpunktens placering

I mätbrunnar utan stalp och skärm, framför inloppet, har mätpunktens placering stor betydelse. Vattennivån i brunnen är högre vid överfallet än vid inloppet. Detta förhållande påverkar avbördningskurvan så att ju närmare inloppet höjden mäts desto mer närmar sig avbördningskurvan den teoretiska. Mätanordningen bör alltså placeras så nära inloppet som möjligt i mätbrunnar utan stalp och skärm. (Se kap. 5.7).

I mätbrunnar med stalp och skärm har mätpunktens placering mindre betydelse. Skillnaden mellan avbördningskurvorna för olika mätpunkter ligger inom gränsen för mätnoggrannheten. Skärmen utjämnar vattennivåskillnaderna i brunnen och mätpunktens placering får då mindre betydelse. (Se kap. 5.10).

Dessa försöksresultat och slutsatser leder fram till följande rekommendationer:

- 1) I mätbrunnar utan stalp bör överfallets placering i höjdlöd avpassas efter lutning på inkommande ledning så att ej alltför lång ledningssträcka dämms. Höjdplaceringen bör även anpassas efter dimensionen på utgående ledning så att ej mer än 20 % av överfallshöjden dämms. Vattennivåmätaren bör placeras så nära inloppet som möjligt.
- 2) I mätbrunnar med stalp bör en skärm placeras framför inloppet. Överfallets placering i höjdlöd avpassas efter dimensionen på utgående ledning så att ej mer än 20 % av överfallshöjden dämms. Vattennivåmätaren bör placeras mellan skärmen och överfallet.
- 3) Vid stora flöden bör överfallet placeras längre uppströms i brunnen än vid små flöden. Detta för att undvika dämning nedströms överfallet.
- 4) Utloppet bör utformas rundat för att lättare svälja det avbördade vattnet och på så sätt undvika dämning nedströms överfallet. Alternativt kan en större ledningsdimension användas för utloppet.

2. INLEDNING

2.1 Mätning av dagvattenflöden

Noggrann mätning av flöden i dagvattensystem och spillvattensystem är förenat med stora svårigheter. Mätningar genomförs i allmänhet genom att man mäter vattenståndet i en punkt i ledningen och därefter, med hjälp av ett samband mellan vattenstånd och flöde, beräknar flödet. Genom att införa ett överfall eller en förträngning i ledningen kan man åstadkomma ett entydigt samband mellan flöde och vattenstånd i mät-punkten.

Institutionen har valt att bygga triangulära överfall (Thomsonöverfall) i nedstigningsbrunnar. Man kan emellertid ej uppnå idealiserade flödesförhållanden i dessa mätbrunnar. Det är förenat med stora svårigheter att kalibrera dessa i fält, p g a storleken på dimensionerande flöden. Institutionen har för tillfället ett antal överfall placerade i fält och har valt att kalibrera dessa genom laboratorieförsök.

2.2 Försökens genomförande och resultat

Fem mätbrunnar har kalibrerats. Det har varit institutionens två mätbrunnar i Linköping (Linköping 2 och 3), en i Floda samt två planerade mätbrunnar vid Landvetter flygplats, som för tillfället inte är färdigbyggda. Dessa två brunnar har kalibrerats utgående från ritningar på mätbrunnarna.

Kalibreringen har gått till så att för varje brunn har en modell anpassats till prototypen. Modellen har bestått av en mätbrunn med dimensionen ϕ 380 mm. Till brunnen har sedan ca 6 meter långa rör anslutits som representerat inkommande och utgående ledningar i prototypen.

Det har varit brunnens dimension som avgjort skalningsförhållandet mellan modellen och prototypen. Rördimensioner har sedan nedskalats efter detta. Syftet har varit att mäta vattenståndet i brunnen vid olika flöden. Denna mätning har skett med en nivåmätare placerad vid sidan av brunnen.

Följande teoretiska samband [1] råder mellan vattenståndet h i brunnen och flödet q :

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot \mu h^{2,5} \quad 0,58 < \mu < 0,63$$

För att detta samband skall gälla bör mätningarna ske 3 à 4 ggr överfallshöjden uppströms överfallet, [3]. Detta är dock inte möjligt i en mätbrunn. Man kan därför förvänta sig att detta samband inte gäller vid mätningar med överfall i nedstigningsbrunnar.

Kalibreringen gick till på följande sätt: Ett känt flöde tilläts rinna genom modellen och den statiska tryckhöjden avlästes på nivåmätaren. Flödet ökades något, och ny avläsning företogs. Värdena avsattes i ett h - q -diagram, vilket bildar en avbördningskurva. Denna kurva beräknades matematiskt genom att anpassa kurvan till ovanstående avbördningssekvation. Variabler var exponenten samt μ .

Vid nästan samtliga försök som utfördes visade det sig att exponenten antog ett värde mindre än 2,5. Även avbördningskoefficienten μ antog värden mindre än vad man väntat sig. I litteraturen [1] anges att μ bör ligga mellan 0,58 - 0,63. Frånsett dessa effekter kunde man lätt beräkna en kurva som stämde bra överens med uppmätta värden.

I målsättningen ingick att studera vilken betydelse det skulle få om man ändrade något i brunnen. Försök genomfördes med att ändra höjden på överfallet, nivåmätarens placering, ledningarnas dimensioner och lutning. En ändring av höjden på överfallet visade sig ha mindre betydelse för avbördningskurvans utseende. Däremot så hade mätpunktens placering avgörande betydelse och likaså ledningarnas dimensioner.

3. GRUNDLÄGGANDE HYDRAULISKA SAMBAND FÖR MÄTÖVERFALL

3.1 Härledning av avbördningskvation för Thomsonöverfall

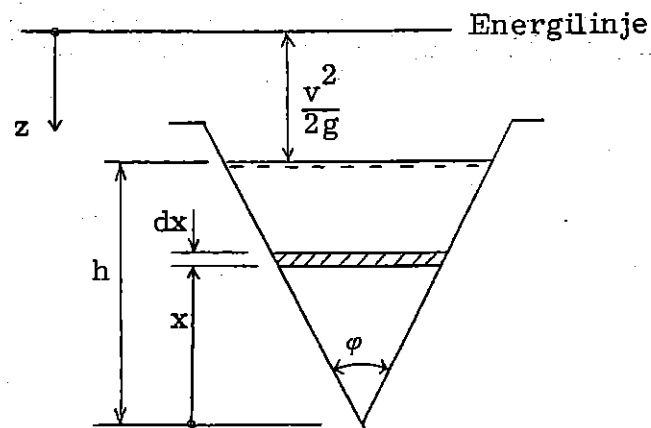


Fig. 3.1

Bernoullis ekvation för en ideal vätska ger för nivån z under energilinjens nivå (figur 3.1)

$$v = \sqrt{2gz} \quad \dots\dots (1)$$

Vid denna härledning substitueras z med

$$z = h + \frac{v^2}{2g} - x \quad 0 \leq x \leq h \quad \dots\dots (2)$$

Överfallets bredd är

$$b = 2x \cdot \tan \frac{\varphi}{2} \quad \dots\dots (3)$$

Avbördningskvationen fås enligt följande:

$$q = \int_A v \, dA$$

Insättes ekvation (1) (2) och (3) fås:

$$\begin{aligned}
 q &= \int_{\frac{v^2}{2g}}^{h + \frac{v^2}{2g}} \sqrt{2gz} \cdot b \cdot dz = \\
 &= (-) \int_h^0 \sqrt{2g(h + \frac{v^2}{2g} - x)} \cdot (2x \tan \frac{\varphi}{2}) dx \quad \dots\dots (4)
 \end{aligned}$$

Integrering av (4) ger följande:

$$\begin{aligned}
 q &= \sqrt{2g} \cdot 2 \cdot \tan \frac{\varphi}{2} \int_0^h (h + \frac{v^2}{2g} - x)^{1/2} \cdot x \cdot dx \\
 &= \sqrt{2g} \cdot 2 \cdot \tan \frac{\varphi}{2} \left[(h + \frac{v^2}{2g} - x)^{3/2} \cdot \frac{2}{3} \cdot x - (h + \frac{v^2}{2g} - x)^{5/2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{5} \right]_0^h \\
 &= \sqrt{2g} \cdot 2 \cdot \tan \frac{\varphi}{2} \left[\left(\frac{v^2}{2g}\right)^{3/2} \cdot \frac{2}{3} \cdot h - \left(\frac{v^2}{2g}\right)^{5/2} \cdot \frac{4}{15} + (h + \frac{v^2}{2g})^{5/2} \cdot \frac{4}{15} \right] \\
 q &= \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot \tan \frac{\varphi}{2} (h + \frac{v^2}{2g})^{5/2} + \\
 &+ \frac{4}{3} \sqrt{2g} \cdot \tan \frac{\varphi}{2} \left(\frac{v^2}{2g}\right)^{3/2} (h - \frac{2}{5} \frac{v^2}{2g}) \quad \dots\dots (5)
 \end{aligned}$$

I litteraturen [1] är det vanligt att man multiplicerar (5) med en avbördningskoefficient $\mu < 1$ som tar hänsyn till förluster och kontraktion. På

grund av att hastighetshöjden $\frac{v^2}{2g}$ är liten i förhållande till höjden h , kan sista delen i uttrycket (5) slopas.

Avbördringsekvationen får då följande utseende ($\varphi = 90^\circ$)

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot \mu \left(h + \frac{v^2}{2g}\right)^{2/5} \quad \dots \quad (3:1)$$

Om hastighetshöjden $\frac{v^2}{2g}$ helt försummas får man:

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot \mu \cdot h^{5/2} \quad \dots \quad (3:2)$$

3.2 Froudes modellregler

Vid alla försök eftersträvas geometrisk likformighet mellan modell och prototyp. Detta erhålles om förhållandet mellan motsvarande längder i modell (m) och prototyp (p) är detsamma

$$\text{dvs} \quad \frac{x_m}{x_p} = \frac{y_m}{y_p} = \frac{1}{\lambda}$$

där λ är en skalfaktor.

För två geometriskt likformiga strömningsförlopp med det inbördes geometriska skalförhållandet λ gäller följande konverteringssamband. Den geometriska skalningen inkluderar även de fasta begränsningsytornas finhetsstruktur (råheter).

Froudes modellregel

$$F_m = F_p \quad (\text{samma gravitationskonstant } g)$$

Längd	L	λ
Area	L^2	λ^2
Volym	L^3	λ^3
Tid	T	$\lambda^{1/2}$
Hastighet	L/T	$\lambda^{1/2}$
Flöde	L^3/T	$\lambda^{5/2}$

För en experimentell undersökning av en flödessituation i en annan geometrisk skala krävs vätskor med olika viskositet, vilket i allmänhet är omöjligt att uppnå. I många fall kan man emellertid bortse från viskositeten och alltså från Re , om Re är tillräckligt stort - större än ett kritiskt värde, vars storlek får bestämmas från fall till fall. Då gäller Froudes modellregel.

$$Re = \text{Reynolds tal} = \frac{UL}{\nu} = \frac{\text{tröghetskraft}}{\text{viskös kraft}}$$

$$F = \text{Froudes tal} = \frac{U}{\sqrt{g \cdot L}} = \frac{(\text{tröghetskraft})^{1/2}}{(\text{gravitationskraft})^{1/2}}$$

U och L är en karakteristisk hastighet respektive längd för systemet.
 ν = kinematiska viskositeten.

3.3 Matematisk behandling av försöksresultaten

Under försöken uppmättes vattenflödet q och vattennivån H . Överfallshöjden $h = H - h_0$ räknades ut och en avbördningskurva konstruerades grafiskt av de erhållna q - och h -värdena (se diagram kap.5). Avbördningskurvan kan också uttryckas matematiskt med hjälp av en avbördningsekvation. Enligt kap. 3.1 har den teoretiska avbördningsekvationen för ett Thompsonöverfall följande utseende:

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \mu h^{5/2} \quad \dots\dots (3:3)$$

Där μ = avbördningskoefficienten.

Ekvation (3:3) innehåller en obekant faktor μ som kan lösas enligt:

$$\mu = \frac{15 q}{8 \sqrt{2g} h^{5/2}} \quad \dots\dots (3:4)$$

Insättning av uppmätta försöksvärden på q och h ger μ . De på detta sätt framräknade μ -värdena visade dock stor variation för olika q - och h -värden inom varje försök, varför ekvation (3:3) ej gick att anpassa till den grafiskt konstruerade avbördningskurvan med tillräckligt stor noggrannhet. Genom att avvika lite från ekvation (3:3) och införa två

obekanta, μ och exponenten x , erhålls följande avbördringsekvation:

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \mu h^x \quad \dots\dots (3:5)$$

Denna ekvation är mer flexibel och går bättre att anpassa till den grafiskt konstruerade avbördringskurvan. En transformation av de uppmätta q - och h -värdena från det linjära koordinatsystemet till ett $\ln$ - $\ln$ -system förenklar beräkningarna betydligt. De obekanta, x och μ , separeras på så vis och x kan lösas ut oberoende av μ . Ekvation (3:5) övergår vid denna transformation till en vanlig linjär ekvation enligt:

$$\ln q = \ln \frac{8}{15} \sqrt{2g} \mu h^x \quad \dots\dots (3:6)$$

$$\ln q = x \ln h + \ln \frac{8}{15} \sqrt{2g} \mu \quad \dots\dots (3:7)$$

Ekvation (3:7) anpassades med linjär regression till de transformerade q - och h -värdena.

Vid denna bearbetning av mätvärdena användes en programmerbar kalkylator, Texas Instruments SR 56. Den programmerades med ett färdigt program, ur programbiblioteket för Texas Instruments SR 56, för linjär regression. Hela mätserien $\ln q$ och $\ln h_m$ för varje modellförsök matades in i programmet. x räknades ut i programmet enligt:

$$x = \frac{\frac{\sum_{i=1}^N \ln h \ln q}{N} - (\overline{\ln h}) (\overline{\ln q})}{(\sigma_x)^2} \quad \dots\dots (3:8)$$

$$\ln \frac{8}{15} \sqrt{2g} \mu$$

räknades ut enligt:

$$\ln \frac{8}{15} \sqrt{2g} \mu = (\overline{\ln q}) - x (\overline{\ln h}) \quad \dots\dots (3:9)$$

$$\mu = \frac{15 e^{[\overline{\ln q} - x(\overline{\ln h})]}}{8 \sqrt{2g}} \quad \dots\dots (3:10)$$

Programmet räknar också fram en korrelationskoefficient

$$r = \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \cdot x \quad \dots\dots (3:11)$$

där

$$(\sigma_x)^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\ln h)^2}{N} - (\overline{\ln h})^2 \quad \dots\dots (3:12)$$

$$(\sigma_y)^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\ln q)^2}{N} - (\overline{\ln q})^2 \quad \dots\dots (3:13)$$

Då $r = \pm 1$ är korrelationen exakt dvs den matematiskt framräknade avbördningsekvationen överensstämmer helt med den grafiskt konstruerade avbördningskurvan. De på detta sätt framtagna värdena på μ och x sättes in i ekvation (3:5) och som avbördningsekvation för varje modellförsök erhöles då:

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \mu h^x \quad \dots\dots (3:14)$$

(se kap. 5).

Denna anpassning av ekvation (3:5) till mätvärdena gav $x < 2,5$. Det teoretiska värdet är $x = 2,5$. För att få x att närma sig $x = 2,5$ kan hänsyn till vattenhastighetens inverkan tas vid beräkning av avbördningsekvationen.

Enligt kap. 3.1 har den teoretiska avbördningsekvationen, med hänsyn tagen till hastighetshöjden, följande utseende:

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \mu \left(h + \frac{v^2}{2g} \right)^{5/2} \quad \dots\dots (3:15)$$

Genom att avvika lite från teorin kan ekvation (3:15) skrivas om till en mera flexibel ekvation enligt:

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \mu \left(h + c \frac{v^2}{2g} \right)^x \quad \dots\dots (3:16)$$

Ekvation (3:16) innehåller tre obekanta c , μ och x . c skall bestämmas så att $x = 2,5$. Med hjälp av detta räknas u ut. Beräkningarna utförs med program för linjär regression enligt föregående. Ett värde på c gissas och v räknas ut för varje q . Hela mätserien $\ln q$ och $\ln(h + c \frac{v^2}{2g})$ matas in i programmet. x räknas fram. Är $x \neq 2,5$ gissas ett nytt värde på c och beräkningen upprepas. x itereras på så sätt fram. När $x = 2,5$ beräknas μ enligt:

$$\mu = \frac{15 e^{\left[\ln q - x \left(\ln \left(h + c \frac{v^2}{2g} \right) \right) \right]}}{8 \sqrt{2g}} \quad \dots\dots (3:17)$$

Korrelationskoefficienten r kontrolleras också så att $r \approx \pm 1$. De på detta vis uträknade värdena på c , μ och x sätts in i ekvation (3:16) och som avbördningsekvation för modellförsöket erhålls:

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \mu \left(h + c \frac{v^2}{2g} \right)^{2,5} \quad \dots\dots (3:18)$$

(se kap. 3.4 och 5).

De matematiskt beräknade kurvorna ekvation (3:14) och (3:18) ritades upp och jämfördes med de av mätvärdena grafiskt konstruerade kurvorna. (Se diagram kap. 5).

3.4 Avbördningsekvation med hänsyn till hastighetshöjden

Om man härleder avbördningsekvationen för ett thomsonöverfall, vilket är gjort i kapitel 3.1 så finner man att ekvation (3:1) har följande utseende:

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot \mu \left(h + \frac{v^2}{2g} \right)^{5/2}$$

Denna ekvation skiljer sig något från ekvation (3:2) som har använts för att beräkna avbördningskurvan till modellförsöken. Där har hastighets-höjden $v^2/2g$ försumrats. Om denna försummas så erhålles en exponent som är lägre än den teoretiskt framtagna exponenten 2,5. Man kan anta att detta beror på att hastigheten i brunnen är så stor att den skulle ha avgörande betydelse för avbördningsekvationen och att det är därför som man inte kommer upp till exponenten 2,5. Det kan också tänkas, att om

brunnen varit tillräckligt stor så att mätningar kunde företas 3 à 4 ggr överfallshöjden uppströms överfallet så skulle exponenten vid modellförsöken närma sig värdet 2,5.

För att studera detta placerades nivåmätaren på 4 olika ställen (fig. 3:2). Vid beräkningen av dessa resultat användes ekvation (3:19).

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot \mu \left(h + c \frac{v^2}{2g} \right)^{2,5} \quad \dots\dots (3:19)$$

Det visade sig att konstanten c blir negativ och mycket liten vid inloppet och stiger ju närmare överfallet man mäter (figur 3:3). Det visade sig också att avbördningskoefficienten μ antar ungefärligen samma värde vid de olika försöken. Detta är inte fallet om man använder ekvation (3:2). (Se vidare kapitel 5.7, sid. 62).

Om man använder sig av ekvation (3:19) är det lämpligt att iterera sig fram till rätt q -värde, eftersom v är en funktion av q .

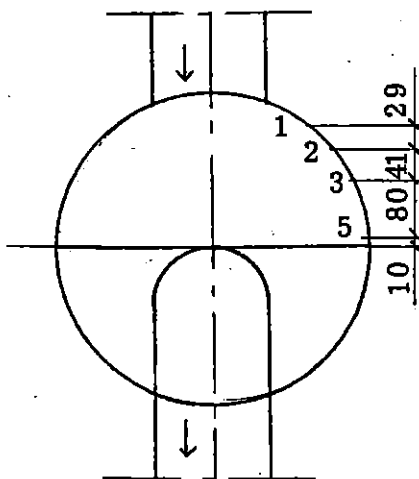


Fig. 3:2

Mätpunktens placering

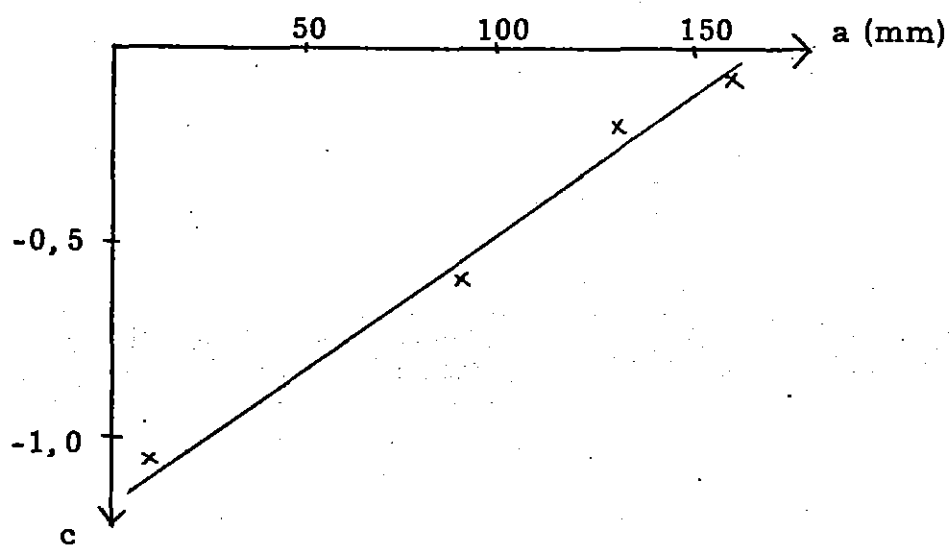


Fig. 3:3

Konstanten c som funktion av mät-
punktens avstånd, a , till mätörfallet.

4. FÖRSÖKSUTRUSTNING

4.1 Modellen

För att kalibrera mätöverfallen krävdes en modell av mätbrunnarna ute i fält. (Se figur 4:1 - 4:3). Det beslöts att modellen skulle byggas i plast. Efter en kompromiss mellan vattenföring och brunnsstorlek bestämdes att brunnen skulle utgöras av ett plaströr med dimensionen ϕ 380 mm. Mätbrunnen byggdes i två delar. I den undre delen gjordes två hål på samma höjd från botten, med dimensionen ϕ 160 mm. Vid dessa hål svetsades flänsar fast. Till flänsarna anslöts sedan olika rördimensioner som utgjorde in- och utgående ledningar. Rördimensionerna varierade från ϕ 59 mm till ϕ 152 mm. För att olika dimensioner skulle passa i flänsarna användes mellanringar. Detta gav dock enbart möjligheten att variera dimensionen på in- och utgående ledningar. Vid flera fall måste nivån mellan vattengång på in- och utgående ledningar varieras. Detta löstes med runda plattor som skruvades fast i flänsarna. I flänsplattorna borrarades excentriskt placerade hål för röranslutningarna. Inloppsröret stacks in genom flänsen så långt, att det kom kant i kant med brunnsväggen. Likadant gjordes vid utloppet som också kringgöts med cementbruk. Nedströms överfallet var brunnen vallad med cementbruk. I brunnen fanns två alternativa lägen för överfallet, ett läge i mitten på brunnen och ett 65 mm nedströms mitten.

Överfallet var utfört av en 10 mm tjock plastskiva, med övre kanten fasad 45 grader. Då försöken inleddes visade det sig att den avbördade vattenstrålen inte släppte från överfallet utan följde kanten ner. För att undvika detta limmades två tunna plåtremsor fast på överfallet. Detta gav en luftad stråle och dessutom bättre skalningsförhållande på överfallstjockleken. Överfallets höjd över botten på brunnen var även variabel. Höjden kunde varieras 70 mm.

För att få in vatten i modellen byggdes ytterligare en brunn. Till denna brunn anslöts mätbrunnens ingående ledning. Brunnen placerades intill mätöverfallet så att det avbördade vattnet kunde falla direkt ner i brunnen, vidare genom ledningen fram till mätbrunnen. Denna konstruktion visade sig dock vara dålig. Den höga fallhöjden ner i brunnen och brunns lilla area gjorde att vattnet inte hann avluftas. I stället erhöles en betydande luftinblandning som vid stora flöden ökade och gjorde vatten-

ytan i mätbrunnen mycket orolig på grund av luftbubblor. Detta förhållande gjorde det omöjligt att mäta med god precision.

Modellen fick därför omarbetas. För vattenintaget konstruerades i stället en 2,2 meter lång tub av plast med dimensionen ϕ 380 mm för att öka den fria vattenytans area. Tuben placerades så högt som möjligt för att minska fallhöjden på vattnet. Vattnet hann nu avluftas i tuben och störningarna i mätbrunnen upphörde. Vid stor lutning på ingående ledningen förekom dock en viss luftinblandning.

För att mäta vattennivån i mätbrunnen måste en mätanordning konstrueras. (Se figur 4:1). För detta ändamål borrades hål nere vid botten på brunnen (genom brunnsväggen). Till ett av hålen anslöts en nippel och vidare en gummislang fram till en nivåmätare. Nivåmätaren bestod av ett plexiglasrör ϕ 19 mm, limmat på en plexiglasskiva. Höjdskalet bestod av ett millimeterpapper fastsatt på rörets baksida. På detta vis kunde statiska tryckhöjden i brunnen mätas.

Modellen var mycket flexibel och kunde varieras på följande sätt:

- Överfallets placering i vertikalled
- Överfallets placering i strömriktningen
- Lutningen på in- och utgående ledningar
- Höjdskillnaden mellan vattengång på in- och utgående ledningar
- Nivåmätarens placering
- Dimensionen på in- och utgående ledningar

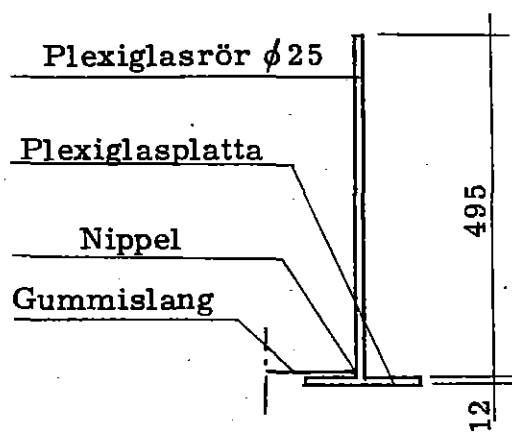
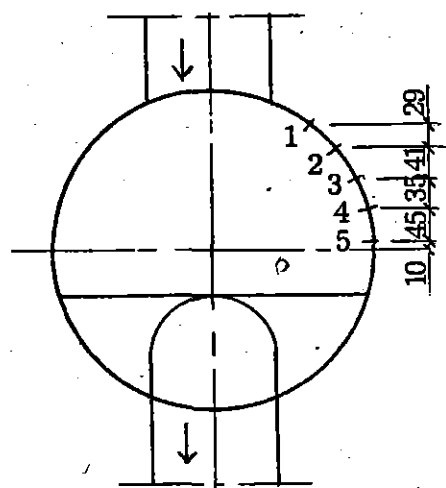
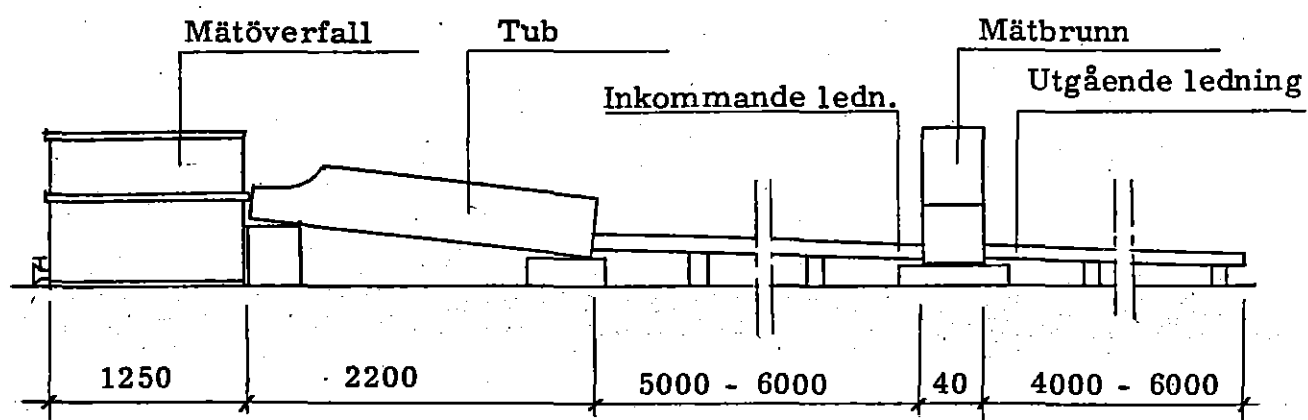
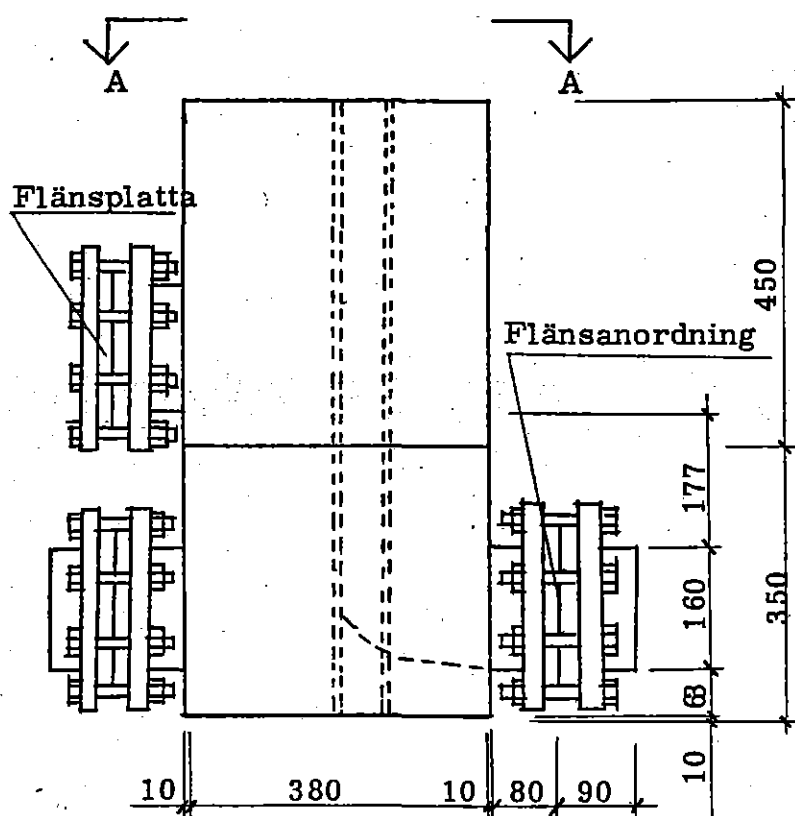


Fig. 4:1

Modell och mätanordning



Mätbrunn elevation

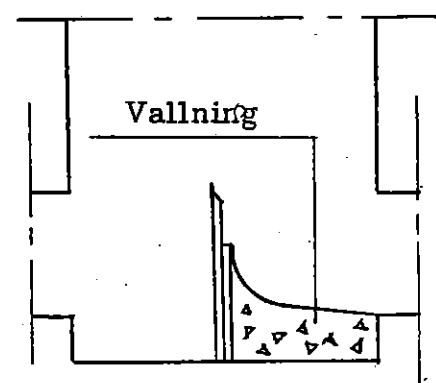
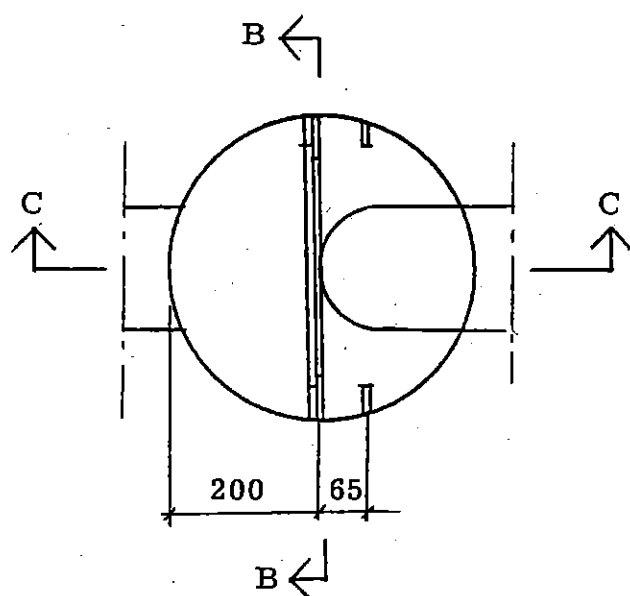
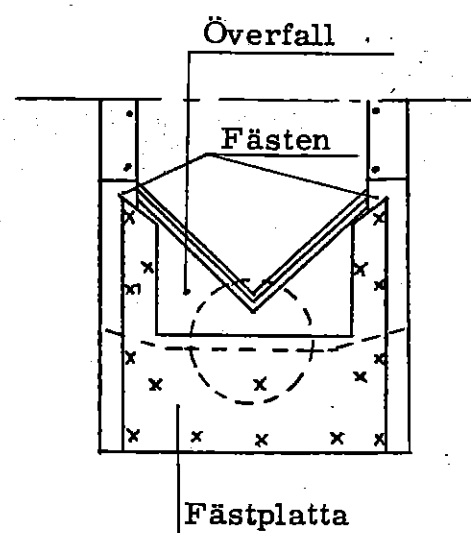
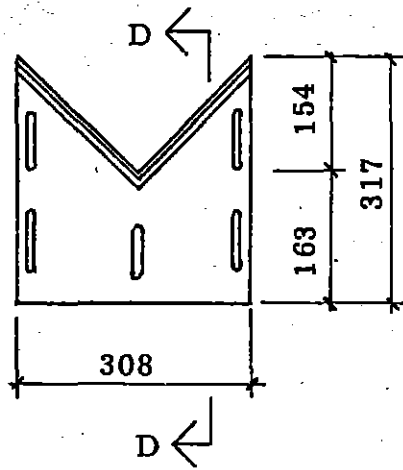
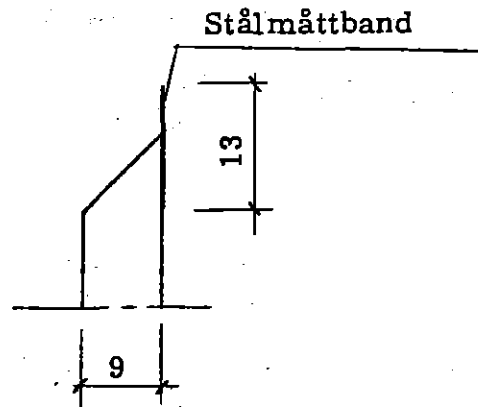


Fig. 4:2

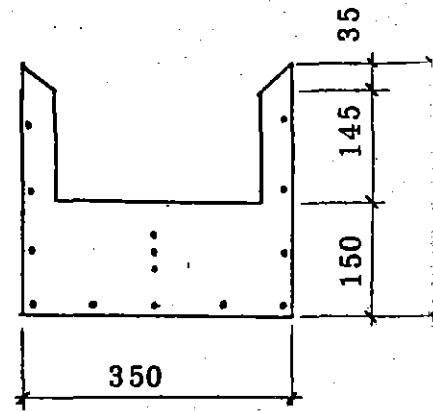
Mätbrunn och detaljer



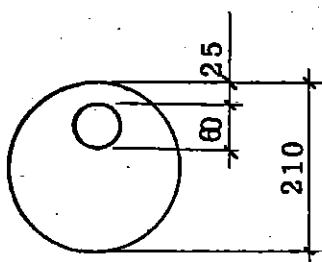
Överfall



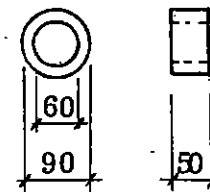
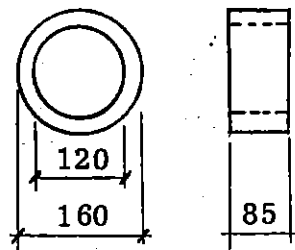
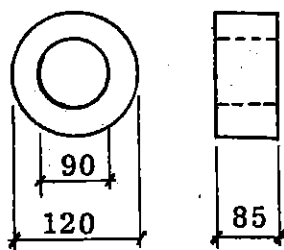
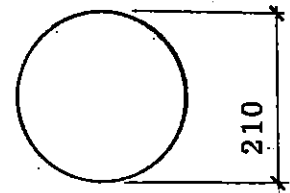
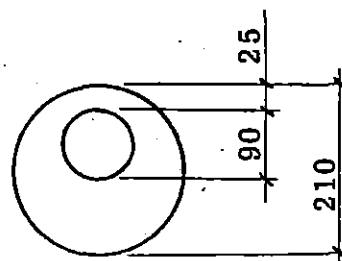
D-D



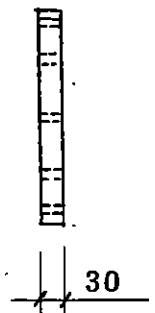
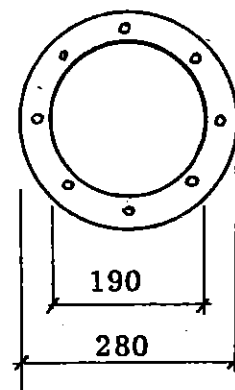
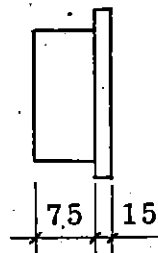
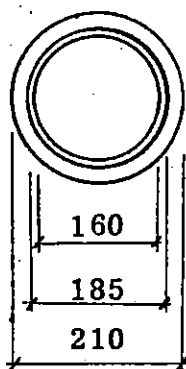
Fästplatta



Flänsplattor



Mellanringar



Flänsanordning

Fig. 4:3

Överfall och rördetaljer

4.2 Försökshallen

Försöken genomfördes i övre rännhallen, vattenbyggnadslaboratoriet, CTH. Vattnet som användes kom från laboratoriets interna slutna system, vilket består av en lågreservoar på 120 m^3 , en högreservoar på 80 m^3 , (se figur 4:4). Från lågreservoaren pumpas vattnet upp till högreservoaren, som är försedd med ett bräddavlopp för att vattennivån i högreservoaren hela tiden skall vara konstant. Detta ger ett konstant tryck i de olika tappställena, förutsatt att pumpkapaciteten är större än vattenuttaget. Från de olika tappställena i hallen rinner vattnet sedan tillbaka till lågreservoaren via kanaler i golvet.

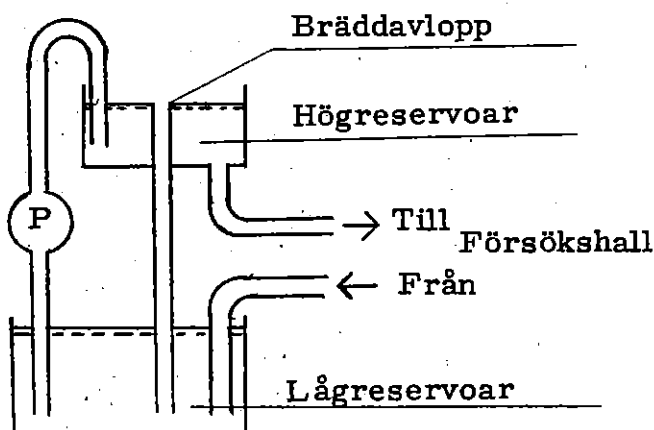


Fig. 4:4 Principskiss över vattensystem
vattenbyggnadslab. CTH

4.3 Mätutrustning

För att mäta flödet genom modellen användes en mätutrustning enligt följande:

För flöden på $0,3 - 2,5 \text{ l/s}$ användes en rotameter (Typ G 5 med svävkropp nr 1).

För flöden på $2,5 - 25 \text{ l/s}$ användes ett mätöverfall (thomsonöverfall) av rostfri plåt. (Se figur 4:5).

Vattennivån i mätbrunnen fastställdes av en nivåmätare. (Se figur 4:1)

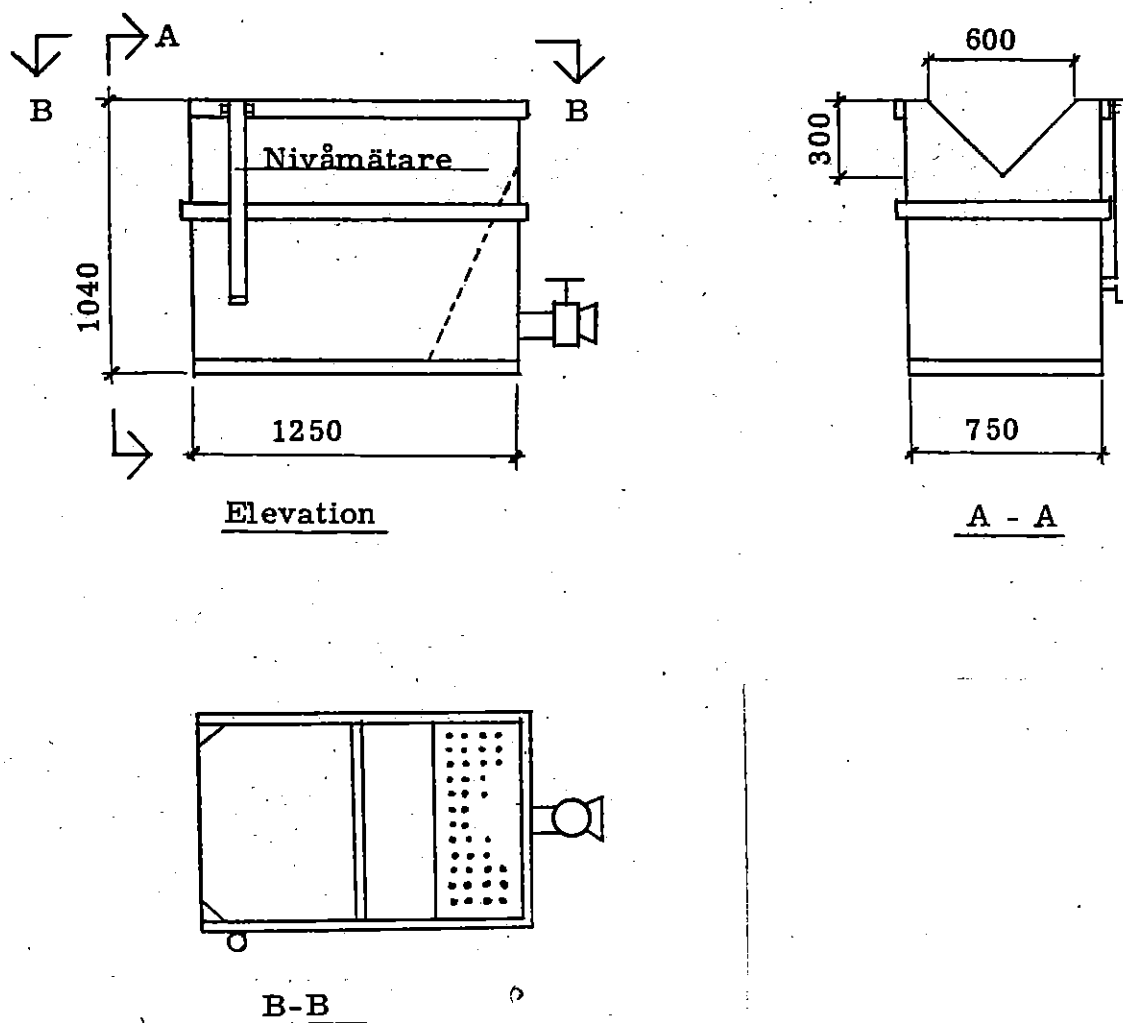


Fig. 4:5 Mätöverfall

4.4 Kalibrering av mätutrustningen

Då modellförsök innebär att resultaten skall skalas upp, måste stora krav ställas på noggrannheten vid mätningarna. Ett acceptabelt mätfel i modellen kan vid uppskalning till prototypvärden bli helt oacceptabelt. Då mätutrustningen för modellförsöken saknade kalibreringskurvor, måste en noggrann kalibrering göras för:

- Rotameter G 5
- Mätöverfallet

a) Kalibrering av rotameter (G 5)

Rotametern anslöts till försökshallens vattensystem. Ett värde på rotameterskalan ställdes in. När flödet genom rotametern stabiliserats till ett konstant flöde fördes slangen från rotameters utlopp snabbt över i en "balja", med känd vikt. När baljan var nästan fylld togs slangen snabbt bort. Tiden t , som det tog att fylla baljan uppmättes. Baljan vägdes på nytt och flödet q beräknades enligt följande:

$$\text{Vattentemperatur } T^{\circ}\text{C} \Rightarrow \text{Densiteten } \rho$$

$$\text{Vattnets massa } m = \text{vikt (balja + vatten)} - \text{vikt balja}$$

$$\text{Vattnets volym} = m / \rho$$

$$\text{Vattenflödet } q = \frac{m}{t} \cdot \rho$$

För det inställda värdet på rotameterskalan erhöles ett bestämt värde på q . Flera olika skalvärden ställdes in och flödet q beräknades för varje skalvärde. Av de framräknade flödena q samt för respektive q avläst skalvärde konstruerades en kalibreringskurva för rotametern. (Se diagram Rotameter G 5).

b) Kalibrering av mätöverfallet

En sträcka på cirka 9 meter i den blå rännan stängdes av. Längden och bredden på avstängningen uppmättes på flera ställen och arean A beräknades. Mätöverfallet anslöts till vattensystemet i övre rännhallen. Efter mätöverfallet placerades en "balja", så att vattnet avbördades direkt ner i denna. En flygtpump sänktes ner i baljan och det avbördade vattnet pumpades i slangar direkt till den blå rännan.

När vattennivån h i mätöverfallet och nivån i baljan hade stabiliserats, var flödet genom pumpen konstant. Pumpslangen fördes då ner i den avstängda delen av rännan. När vattennivån stigit till full volym togs slangen bort. Tiden t , som det tog att fylla avstängningen uppmättes med ett stoppur. Vattennivån innanför avstängningen uppmättes med en spetsmätare före och efter inpumpningen av vattnet. Vattennivån i överfallet avlästes. Flödet q beräknades enligt följande:

$$\Delta_{SP} = h_{SP}^{EFTER} - h_{SP}^{FÖRE} \quad (h_{SP} = \text{höjd spetsmätaren})$$

$$\text{Vattenvolymen} = A \cdot \Delta_{SP}$$

$$\text{Vattenflödet } q = \Delta_{SP} \cdot A/t$$

För varje framräknat flöde q avlästes en vattennivå h i mätöverfallet. På så vis erhöles en mätserie av h och q , ur vilken en kalibreringskurva konstruerades. (Se tabell och diagram, Mätöverfallet).

För vattenflöden mellan 2,0 - 9,0 l/s genomfördes en mätserie med rotameter G 8 inkopplad i serie med mätöverfallet. För denna rotameter fanns redan en kalibreringskurva. (Se diagram, Rotameter G8). De för denna serie framräknade q -värdena jämfördes med rotameter-värdena. Dessa q -värden visade god överensstämmelse.

Hela mätserien behandlades matematiskt (kapitel 3.3) och som avbördningsekvation erhöles:

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,545 (h - h_o)^{2.407} \quad \dots\dots (4:1)$$

$$h_o = 59 \text{ mm}$$

$$q = \text{avbördad vattenmängd (m}^3/\text{s)}$$

$$h = \text{avläst vattennivå i mätöverfallet (m)}$$

$$h_o = \text{vattennivå i mätöverfallet då vattenytan står vid överfallets spets}$$

En grov uppskattning av noggrannheten på kalibreringen kan göras. Vattenflödet q beräknades enligt:

$$q = \Delta_{SP} \cdot A/t$$

För ett flöde t ex $q = 12,19 \text{ l/s}$ uppmättes följande värden

$$\left. \begin{array}{l} A = 5,47 \text{ m}^2 \\ \Delta_{SP} = 0,468 \text{ m} \\ t = 210 \text{ s} \end{array} \right\} \Rightarrow q = \frac{0,468 \cdot 5,47 \cdot 1000}{210} = 12,19 \text{ l/s}$$

Ett mätfel på +1 cm vid uppmätningen av bredd och längd i rännan ger vid beräkning en area $A' = 5,57 \text{ m}^2$.

Ett höjdmättningsfel på +1 cm vid mätning med spetsmätaren ger $\Delta'_{SP} = 0,478 \text{ m}$.

Ett tidmättningsfel på -1 s ger $t = 209 \text{ s}$.

$$q' = \frac{0,478 \cdot 5,57 \cdot 1000}{209} = 12,73 \text{ l/s}$$

Felet blir då

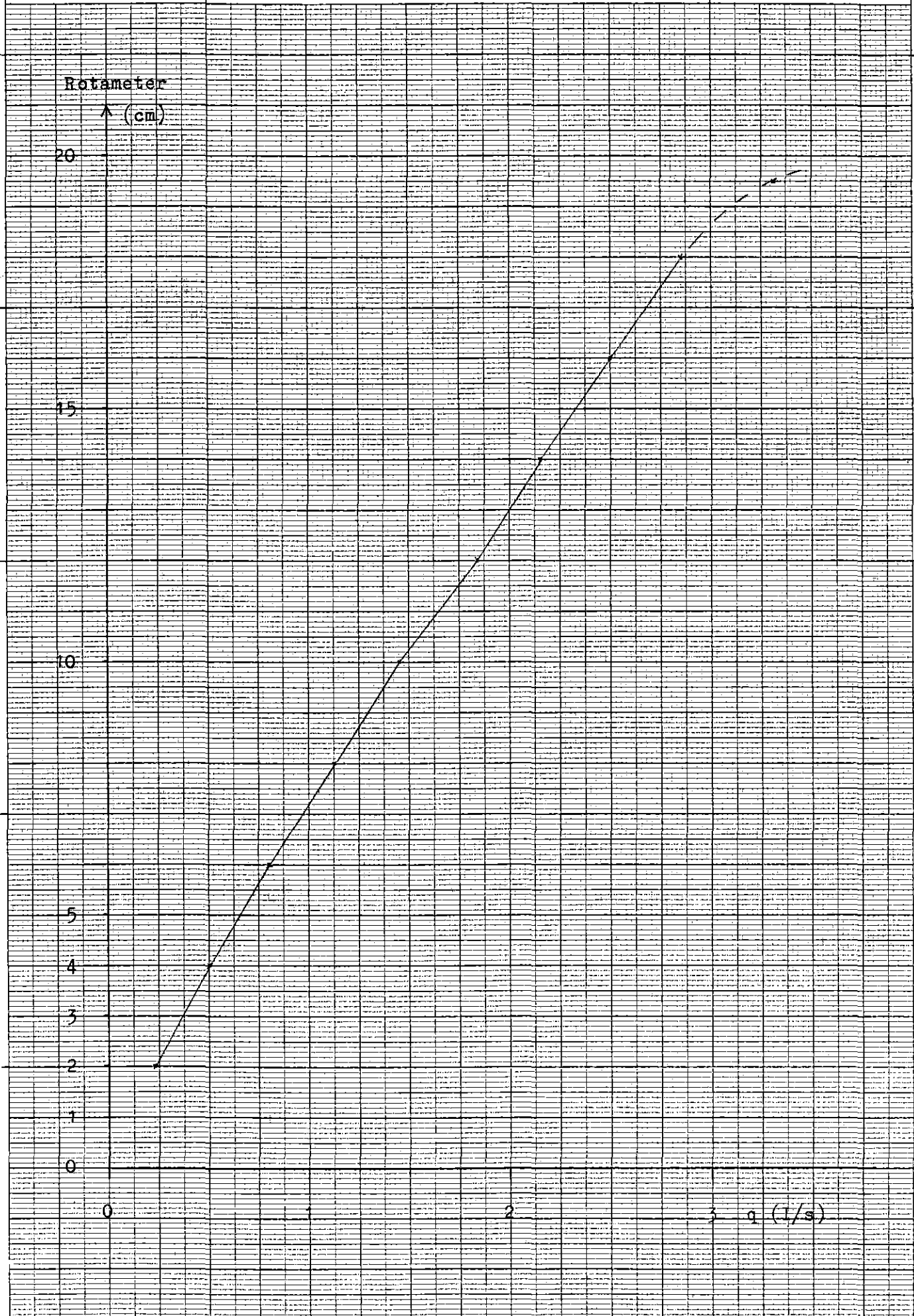
$$\frac{q' - q}{q} = \frac{12,73 - 12,19}{12,19} = 0,044 \approx 5 \%$$

Ett mätfel på 2-3 mm vid uppmätning av bottenarean kan anses vara rimligt då medelvärden för längd och bredd beräknades efter ett antal mätningar. Ett större mätfel skulle ha upptäckts vid denna beräkning. Ett höjdfel på max 0,5 cm torde vara rimligt då spetsmätaren användes. Även ett tidmättningsfel på max 1 sekund torde vara relevant då tiden uppmättes med ett stoppur.

Ovanstående resonemang visar att maximala felet vid beräkningen av flödet kan anses vara 5 %.

Kalibreringskurva för ROTAMETER G 5
svävkropp nr 1

28.



ROTAMETER G8. 40000 nr. 231
Tung svävkropp

29

April 1974 32

Rotameter
[cm]

21

20

19

18

17

16

15

14

13

12

11

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

0

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

q [l/s]

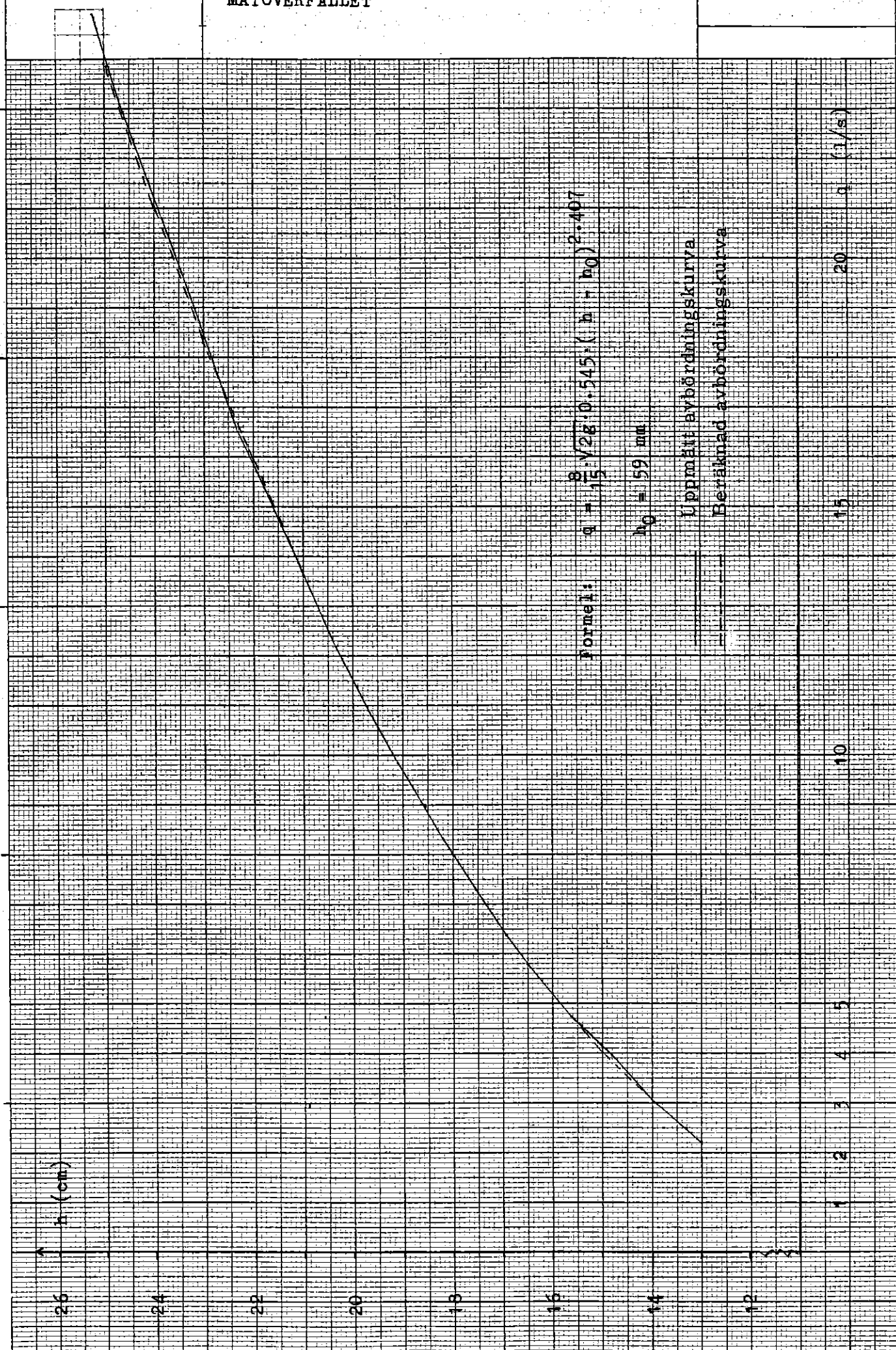
KALIBRERING AV MÄTÖVERFALLET.

Rännans area 5.4717 m^2

Spetsmätaren			Volym	Tid	Avläst q		Avläst	q
före	efter	Δ			Rotametern		Mätöverf.	
(mm)	(mm)	(mm)	(m^3)	(s)	(mm)	(l/s)	(cm)	(l/s)
530	112	408	2.232	350			16.95	6.38
553	126	427	2.336	321			17.55	7.28
565	100	465	2.544	306			18.20	8.32
565	79	486	2.659	299			18.55	8.89
616	140	476	2.605	265			19.10	9.83
602	140	462	2.528	234			19.65	10.80
607	139	468	2.561	210			20.35	12.19
600	140	460	2.517	184			21.00	13.68
596	140	456	2.495	159			21.95	15.69
599	147	452	2.473	142			22.65	17.42
609	140	469	2.566	137			23.10	18.73
599	139	460	2.517	121			23.85	20.80
590	143	447	2.446	106			24.70	23.07
620	142	478	2.615	105			25.25	24.91
610	138	472	2.583	104			25.20	24.83
608	144	464	2.539	154			22.30	16.49
576	139	437	2.391	1085	63	2.20	13.00	2.20
561	139	422	2.309	769	77	2.95	13.95	3.00
577	123	454	2.484	629	92	3.90	14.80	3.95
600	140	460	2.517	532	105	4.70	15.65	4.73
591	146	445	2.435	421	121	5.75	16.50	5.78
602	139	463	2.533	282	163	8.90	18.65	8.98

Kalibreringskurva för MÄTÖVERFALLET

31.



5. MODELLFÖRSÖK

I detta kapitel redovisas data från modellförsöken. Överst på varje tabellsida redovisas de geometriska förhållanden som gällde vid respektive försök. Nivåmätarens placering är numrerad enligt figur 5:0. För överfallets placering i brunnen existerade två lägen, ett i mitten av brunnen och ett 65 mm nedströms mitten.

Till varje modellförsök finns ett diagram över avbördningskurvan. Överst på detta diagram finns den matematiskt framräknade avbördningsformeln. Den streckade kurvan är motsvarande matematiska kurva, och den heldragna kurvan representerar mätresultaten.

Flödet för mätöverfallet har beräknats enligt ekvation (4:1)

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,545 (h - h_0)^{2,407} \quad h_0 = 59 \text{ mm}$$

Flödet för rotametern har avlästs på diagram, (Diagram, Rotameter G 5). Vid den matematiska behandlingen av mätresultaten erhöles en avbördningsekvation som vid jämförelse med mätresultaten avviker något. När denna avvikelse är större än 5 % har en restriktion satts på formelns giltighetsområde.

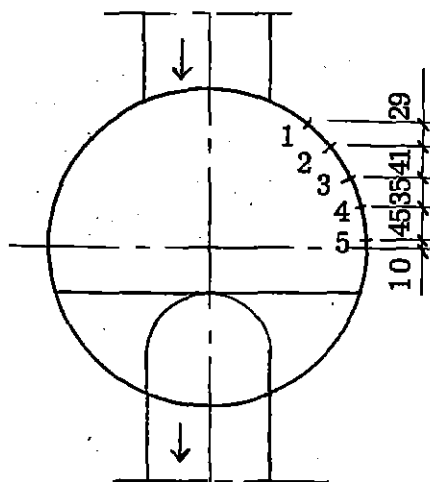


Fig. 5:0

Mätpunktens placering

5.1 Linköping 2 (Modellförsök nr 1)

Denna mätbrunn var det första modellförsöket som genomfördes. För att modellen skulle erhålla samma geometri som prototypen, vallades brunnen nedströms överfallet. Se figur 5:1. Mätresultaten och avbördningskurvan redovisas på nästkommande sidor.

Vid den matematiska behandlingen av mätresultaten erhöles följande avbördningsekvation för modellen:

$$q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,3951 \cdot h_m^{2,3079} \quad h_m \leq 155 \text{ mm} \dots (5:1)$$

Noteras bör att vid stora flöden var nivåmätaren mycket orolig och kunde variera med ca $\pm 0,5$ cm.

Ingen dämning nedströms överfallet förekom.

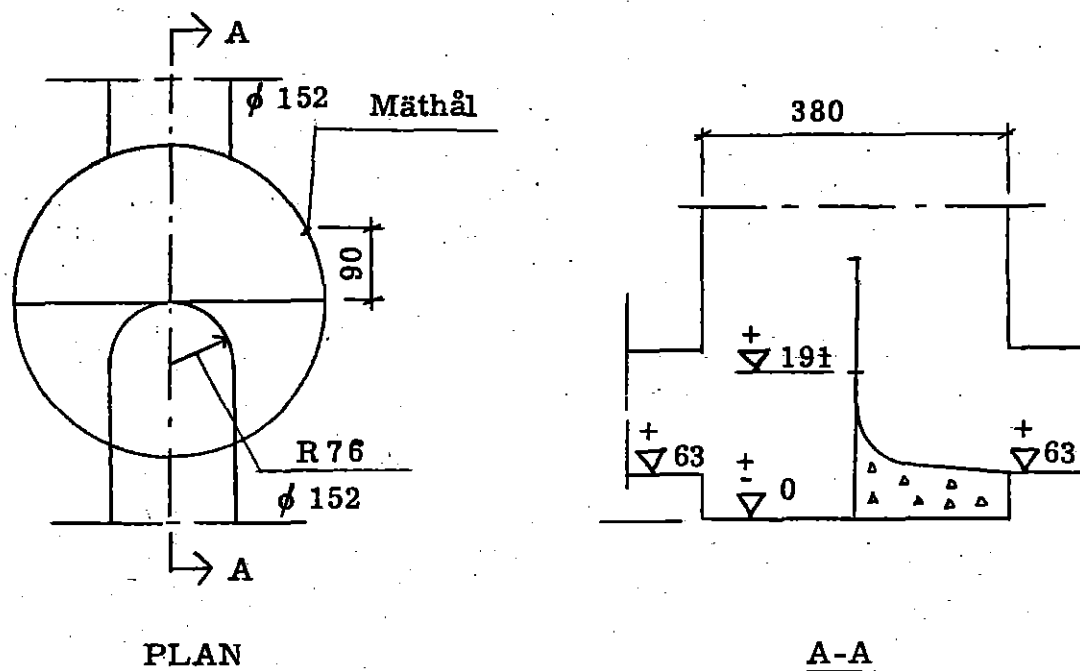


Fig. 5:1 Linköping 2. Modell.

Modellförsök nr 1

LINKÖPING 2

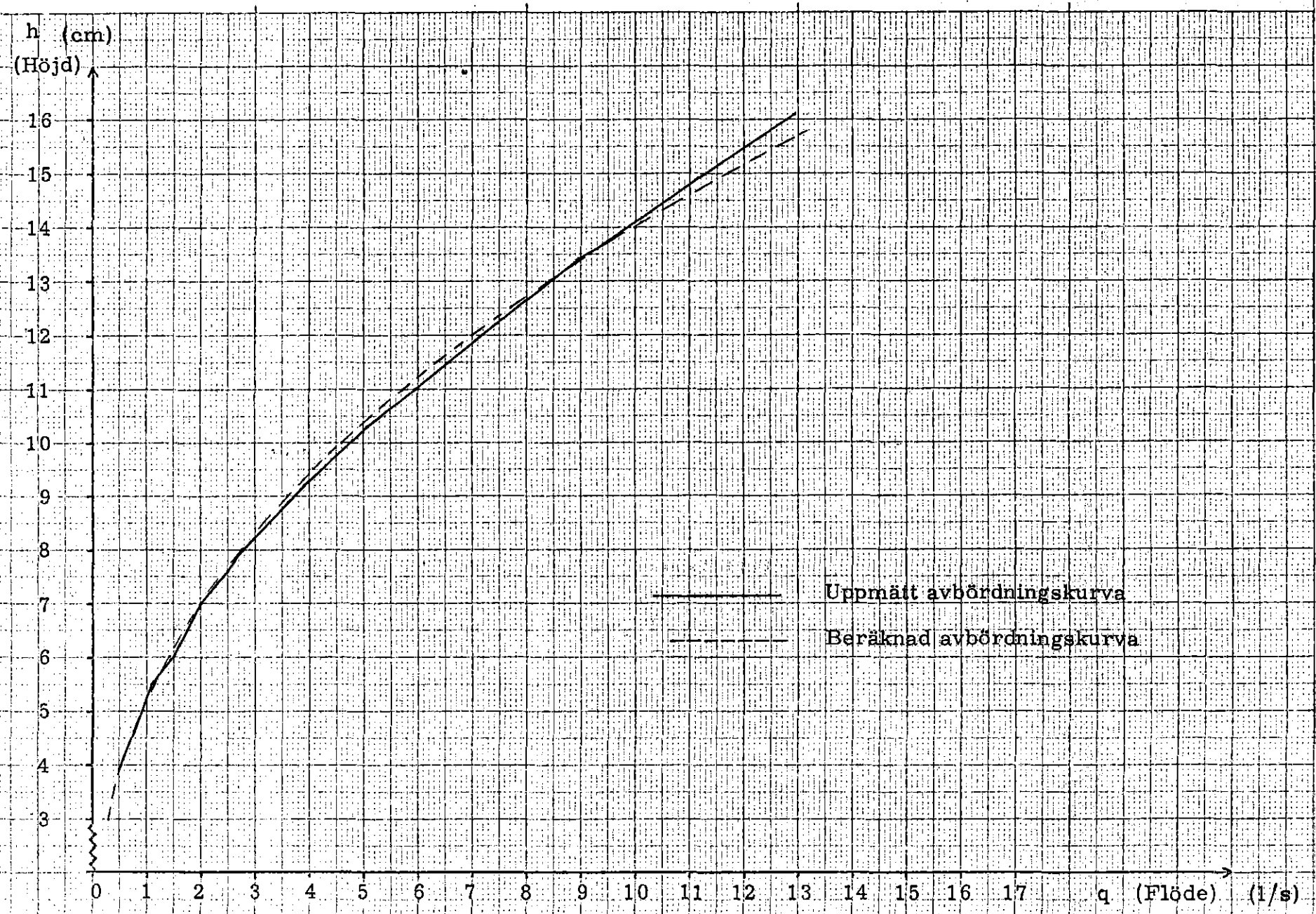
Lutning: In 0.5 % Ut 0.5 %
 Rördimension: In 152 mm Ut 152 mm
 Överfallets höjd över u.k. inlopp 128 mm
 Överfallets placering: Mitten
 Nivåmätarens placering nr 3

Avläst Rorameter (mm)	Avläst Mätöverfall (mm)	Vattennivå Brunn (mm)	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
40		159	120	39	0.50
60		167	120	47	0.80
80		175	120	55	1.10
100		180	120	60	1.50
130		190	120	70	2.00
160		196	120	76	2.50
	136	199	120	79	2.69
	149	212	120	92	3.91
	159	223	120	103	5.04
	166	230	120	110	5.94
	174	239	120	119	7.06
	186	254	120	134	8.97
	188	256	120	136	9.31
	198	269	120	149	11.14
	207	281	120	161	12.96

Modellförsök nr 1

LINKÖPING 2

Avbördningssekvation $q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,3951 h_m^{2,3079}$



5.2 Linköping 3 (Modellförsök nr 2)

Denna brunn skiljer sig från Linköping 2 genom att överfallet sitter högre och att lutningen på ledningarna är större. Se figur 5:2. Eftersom överfallet sitter så högt att det dämmer i uppströmsledningen kommer denna ledning att vara fylld hela tiden och ändringen i lutning har mindre betydelse.

Avbördningsekvationen för modellen blir i detta fallet:

$$q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,3948 \cdot h_m^{2,3080} \quad \dots \quad (5:2)$$

$$h_m \leq 150 \text{ mm}$$

Vid stora flöden kunde man iaktta att variationerna i nivåmätaren var mindre än vid Linköping 2 och vattenytan i brunnen var något lugnare. Detta kan tänkas bero på den större nivåskillnaden mellan överfallets spets och vattengång i inkommande ledning. Ingen dämning nedströms överfallet kunde iakttas.

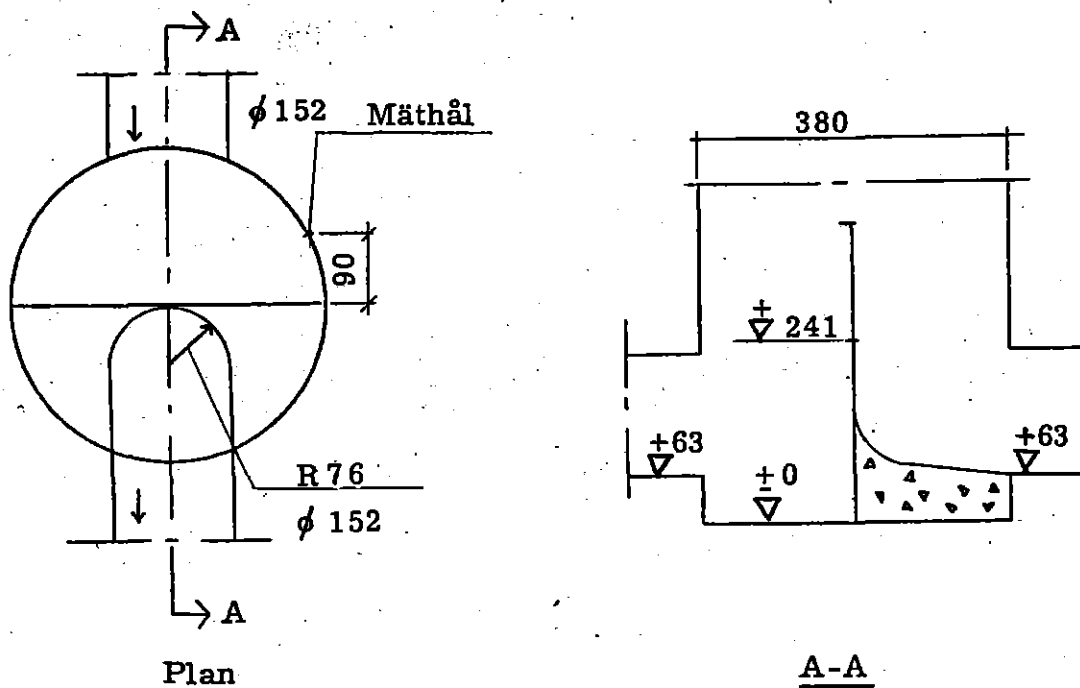


Fig. 5:2

Linköping 3. Modell.

Modellförsök nr 2

LINKÖPING 3

Lutning: In 0.90 % Ut 0.87 %

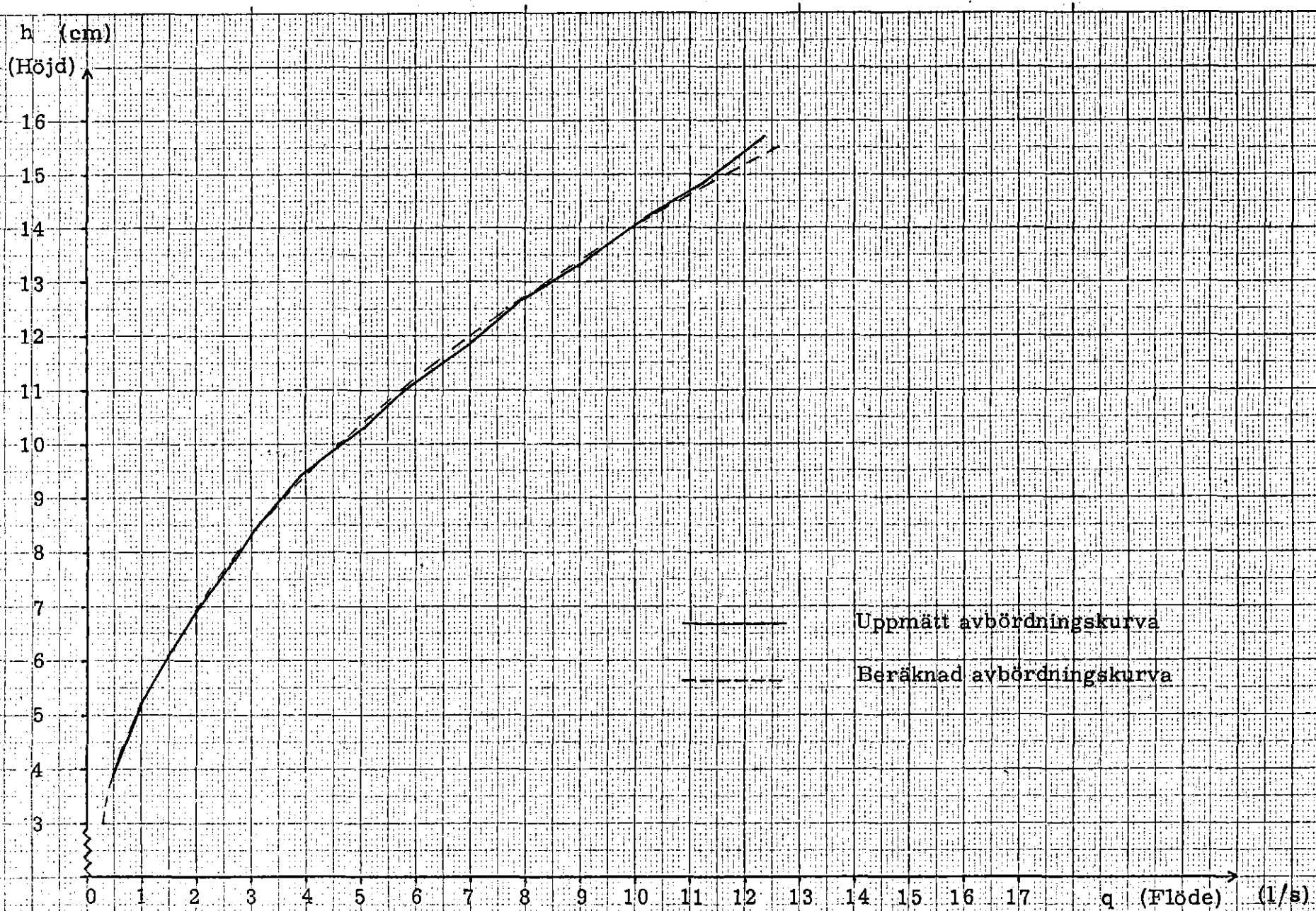
Rördimension: In 152 mm Ut 152 mm

Överfallets höjd över u.k. inlopp 178 mm

Överfallets placering: Mitten

Nivåmätarens placering nr 3

Avläst Rotameter (mm)	Avläst Mätöverfall (mm)	Vattennivå Brunn (mm)	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
40		205	166	39	0.50
72		218	166	52	1.00
100		227	166	61	1.50
130		235	166	69	2.00
160		242	166	76	2.50
	136	245	166	79	2.69
	140	250	166	84	3.04
	149	260	166	94	3.91
	159	269	166	103	5.04
	165	276	166	110	5.80
	174	285	166	119	7.06
	180	293	166	127	7.98
	186	299	166	133	8.97
	193	308	166	142	10.20
	198	314	166	148	11.14
	204	323	166	157	12.34



5.3 Floda (Modellförsök nr 13)

Lutningen på ledningarna är mycket stor vid denna mätbrunn, ca 15 %. Överfallet är placerat nedströms mitten, se figur 5:3. Här var det problem med luftinblandning. Detta problem försvann tyvärr inte helt, trots olika försök att ändra om i modellen. Man kunde vid större flöden se luftbubblor stiga upp mot vattenytan. Detta kan vara en förklaring till att avbördningskurvan stiger något mot slutet. Ingen dämning förekom nedströms överfallet. Däremot kom vattenytan uppströms överfallet i svängning, redan vid flödet $q = 4,5 \text{ l/s}$. Svängningen ökade med ökat flöde och vid flöden över $q = 6,5 \text{ l/s}$ var svängningen i nivåmätaren ca $\pm 7 \text{ mm}$.

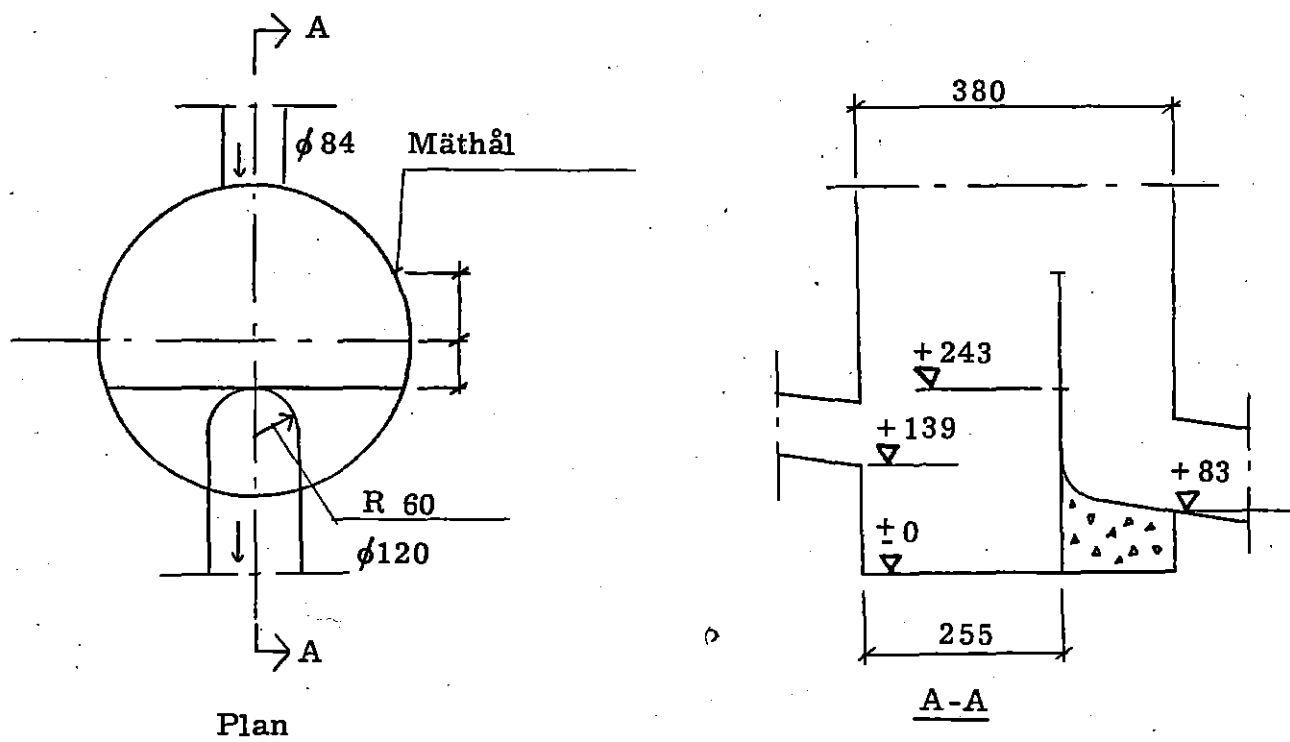


Fig. 5:3 Floda modell

Avbördningsekvationen för modellen får följande utseende:

$$q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,3416 \cdot h_m^{2.2812} \quad \dots \quad (5:3a)$$

På grund av att avbördningskurvan stiger mot slutet blir överensstämmelsen med de uppmätta värdena och den matematiska kurvan inte bra. En bättre kurva kan man få om man från h subtraherar $0.14 v^2/2g$ enligt följande:

$$q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0.66 (h - 0.14 \frac{v^2}{2g})^{2.5} \dots\dots (5:3b)$$

(Se kap. 3.4).

Kurvan till denna formel överensstämmer bättre med mätresultaten. Denna kurva finns uppritad för prototypen. För att erhålla denna kurva är det bäst att iterera sig fram till resultatet.

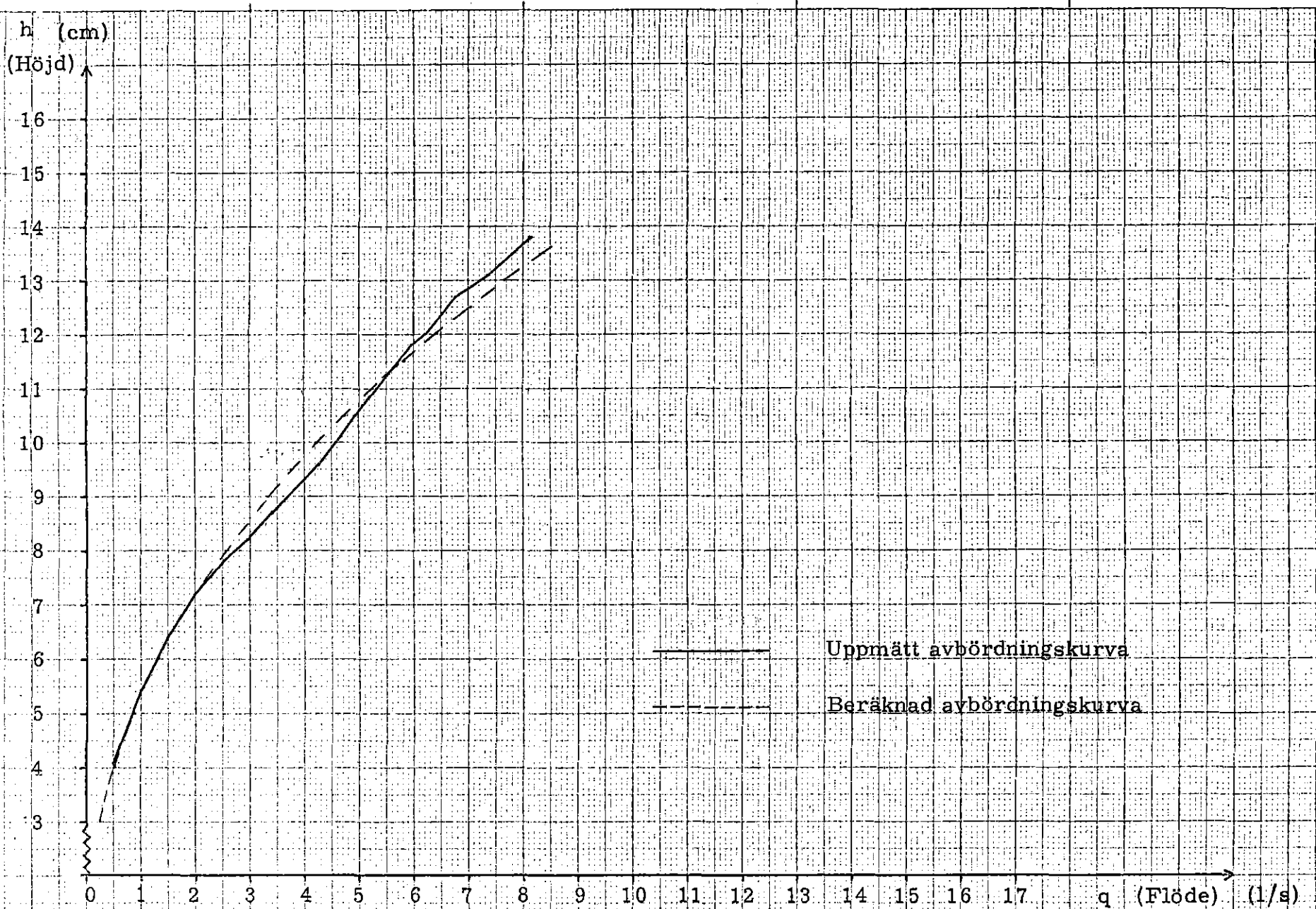
Modellförsök nr 13

FLODA.

Lutning: In 15.1 % Ut 15.1 %
 Rördimension: In 84 mm Ut 120 mm
 Överfallets höjd över u.k. inlopp 110 mm
 Överfallets placering: Nedströms
 Nivåmätarens placering nr 3

Avläst Rotameter (mm)	Avläst Mätöverfall (mm)	Vattennivå Brunn (mm)	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
40		214	173	41	0.50
72		227	173	54	1.00
101		237	173	64	1.50
130		245	173	72	2.00
160		251	173	78	2.50
	139	255	173	82	2.95
	144	260	173	87	3.41
	152	269	173	96	4.24
	155	273	173	100	4.57
	159	280	173	107	5.04
	163	286	173	113	5.54
	166	291	173	118	5.94
	168	293	173	120	6.21
	172	300	173	127	6.77
	176	304	173	131	7.36
	181	311	173	138	8.14

Modellförsök nr 13
 FL ODA
 Avbördningssekvation $q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g \cdot 0,3416 \cdot h_m^2 \cdot 2,2812}$



5.4 Landvetter Förvaltning (Modellförsök nr 14 och 15)

För att undvika dämning i inloppsledningen är denna placerad högre än utloppsledningen. Spetsen på överfallet är placerat under vattengång på inloppsledning. För att bromsa upp inströmmande vatten och samtidigt få en lugn vattenyta i mätbrunnen finns det planer på att placera en skärm framför inloppet. I modellen kunde inte samma nivåskillnad mellan inkommande och utgående ledning erhållas som i prototypen, utan det blev större. Detta borde inte ha så stor betydelse eftersom skärmen är placerad framför inloppet och vattnet får endast en större fallhöjd bakom skärmen. I övrigt stämmer geometrin bra med prototypen (figur 5:4).

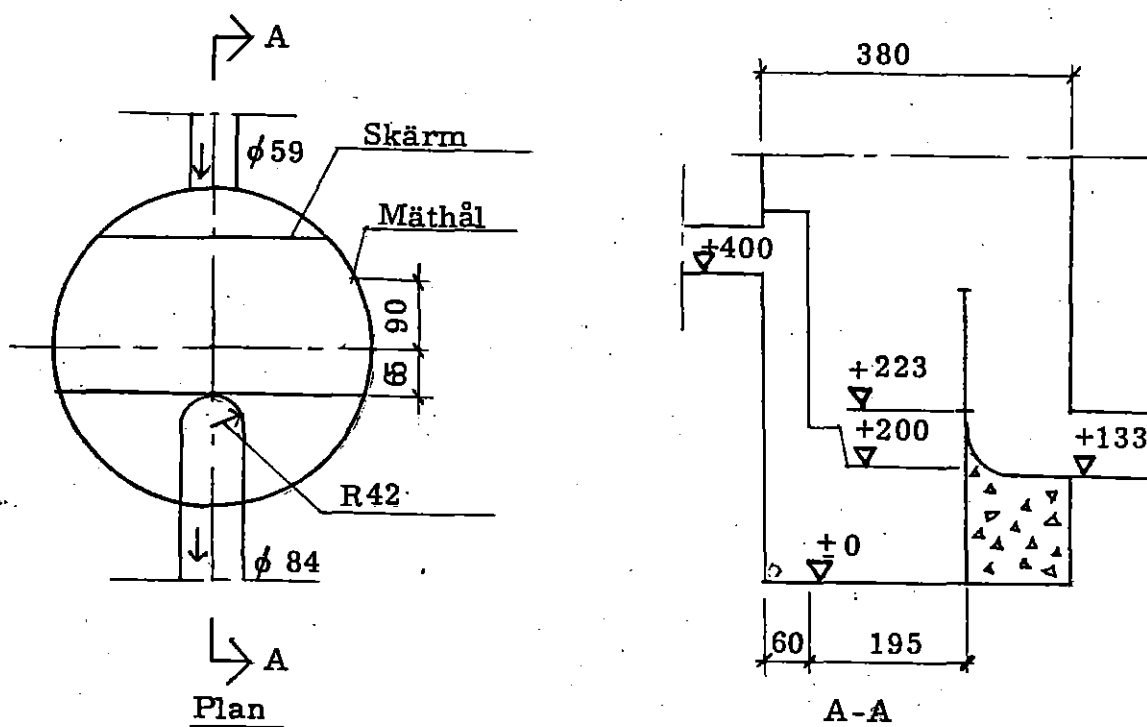


Fig. 5:4 Landvetter förvaltning. Modell.

Det visade sig att vid större flöden uppkom en dämning nedströms överfallet. Detta syns på avbördningskurvan, som blir mycket brant i slutet och inte uppträder stabilt.

För att inte få någon dämning nedströms överfallet höjdes överfallet 37 mm i modellen. Nya mätningar genomfördes med överfallet högre upp och finns redovisade i modellförsök nr 15.

Eftersom inte mätbrunnen är färdigbyggd är det våra rekommendationer att överfallet höjs i prototypen med ca 195 mm med hänsyn till planerad placering.

Om denna justering utföres blir avbördningssekvationen för modellen (enligt modellförsök nr 15):

$$q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g \cdot 0.4253} h_m^{2.3257} \quad \dots\dots (5:4)$$

Modellförsök nr 14

LANDVETTER FÖRVALTNING

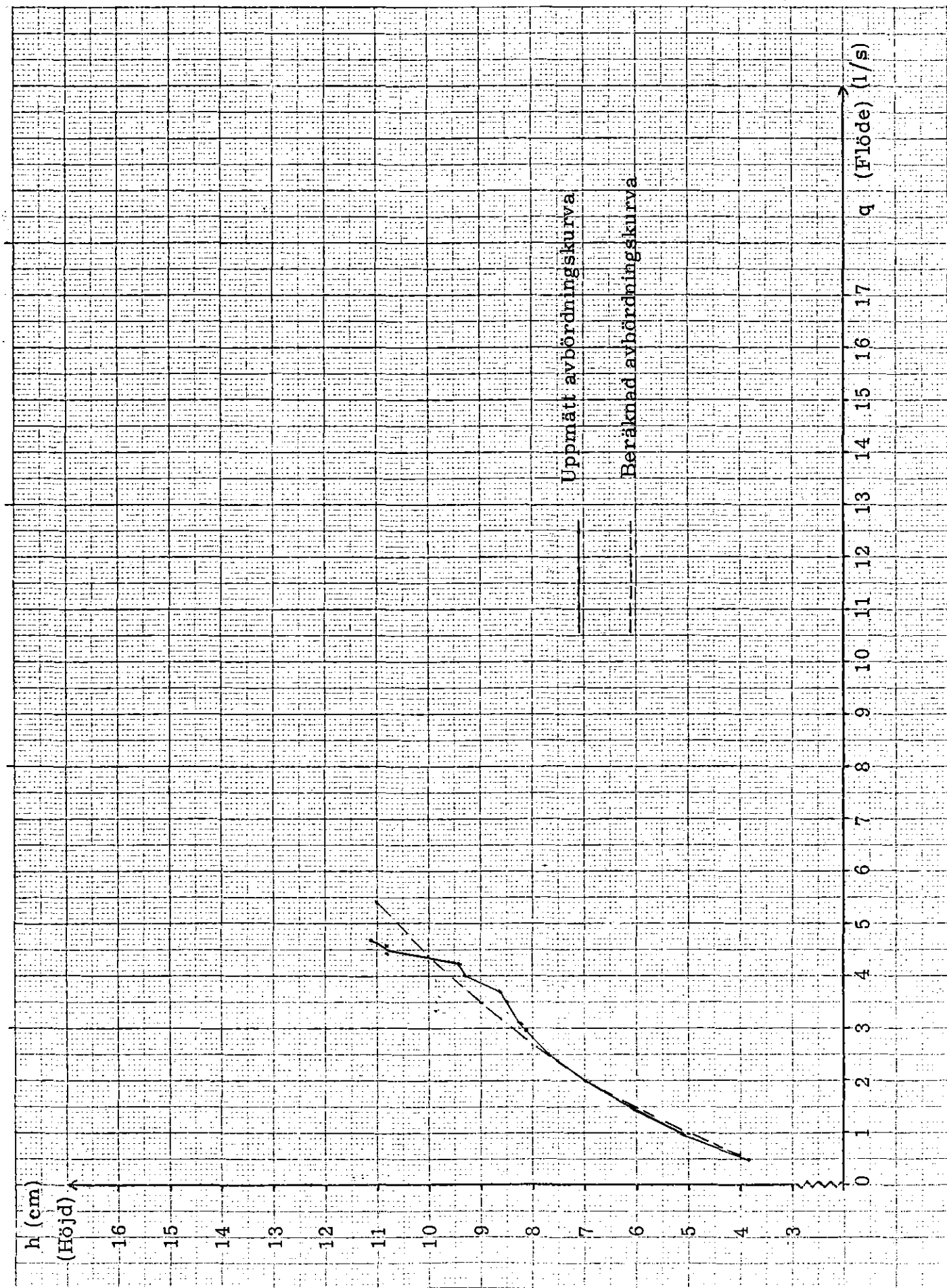
Lutning: In 0.5 % Ut 0.5 %
 Rördimension: In 59 mm Ut 84 mm
 Överfallets höjd under u.k. inlopp 177 mm
 Överfallets placering: Nedströms
 Nivåmätarens placering nr 3

Avläst Rotameter (mm)	Avläst Mätöverfall (mm)	Vattennivå Brunn (mm)	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
40		52	14	38	0.50
72		65	14	51	1.00
101		75	14	61	1.50
130		84	14	70	2.00
160		91	14	77	2.50
	139	95	14	81	2.95
	141	96	14	82	3.13
	145	99	14	85	3.51
	147	100	14	86	3.71
	150	107	14	93	4.02
	152	108	14	94	4.24
	154	122	14	108	4.46
	155	122	14	108	4.57
	156	125	14	111	4.69

Modellförsök nr 14
LANDVETTER FÖRVALTNING

46.

Avbördringsekvation $q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,2637 h_m^{2.1517}$



Modellförsök nr 15

LANDVETTER FÖRVALTNING

Lutning: In 0.5 % Ut 0.5 %
 Rördimension: In 59 mm Ut 84 mm
 Överfallets höjd under u.k. inlopp 140 mm
 Överfallets placering: Nedströms
 Nivåmätarens placering nr 3

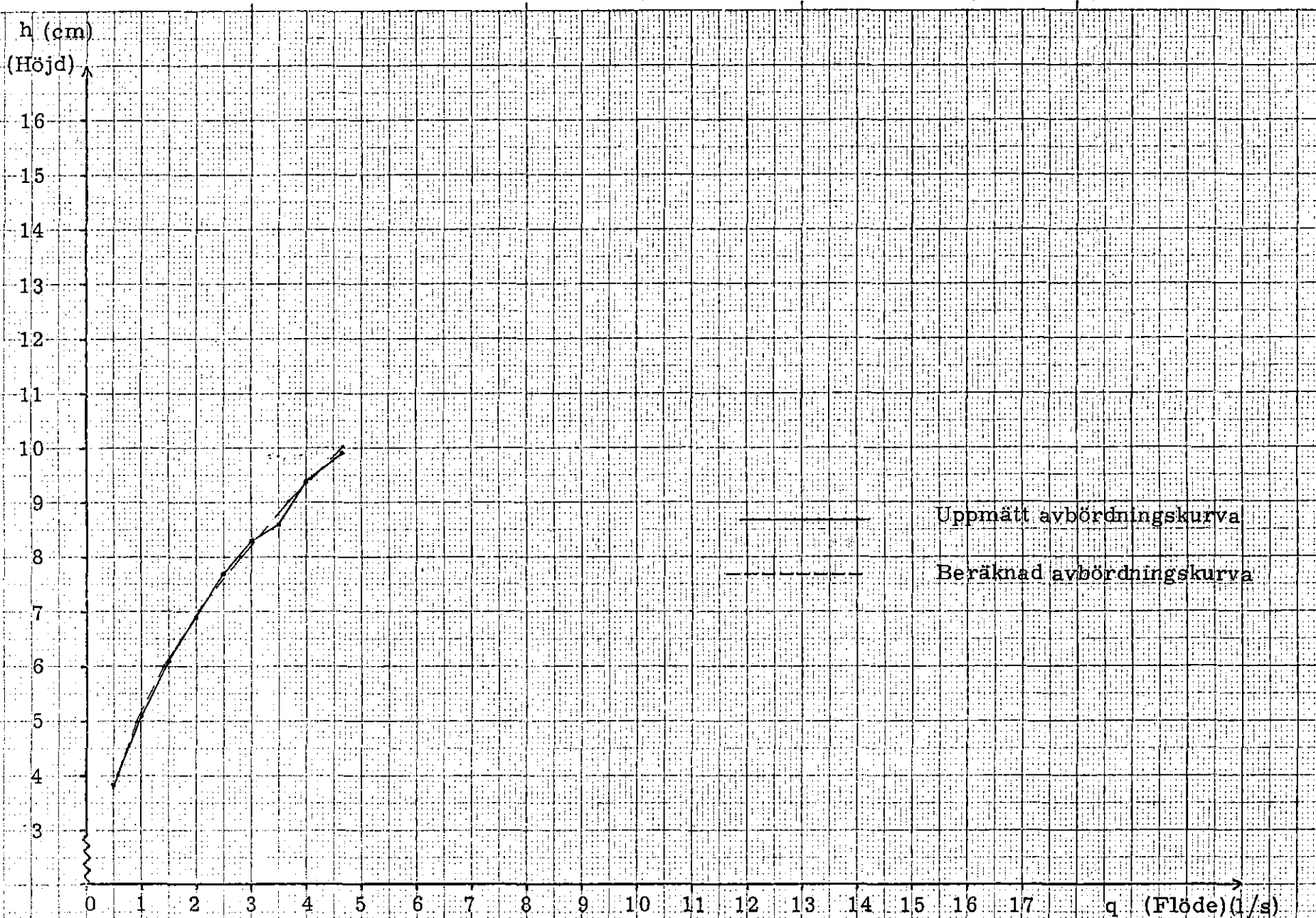
Avläst Rotameter (mm)	Avläst Mätöverfall (mm)	Vattennivå Brunn (mm)	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
40		89	51	38	0.50
72		102	51	51	1.00
101		112	51	61	1.50
130		120	51	69	2.00
160		128	51	77	2.50
	140	134	51	83	3.04
	145	137	51	86	3.51
	150	145	51	94	4.02
	156	150	51	99	4.69

Modellförsök nr 15

LANDVETTER FÖRVALTNING

Avbördningssekvation $q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,4252 h_m^{2.3257}$

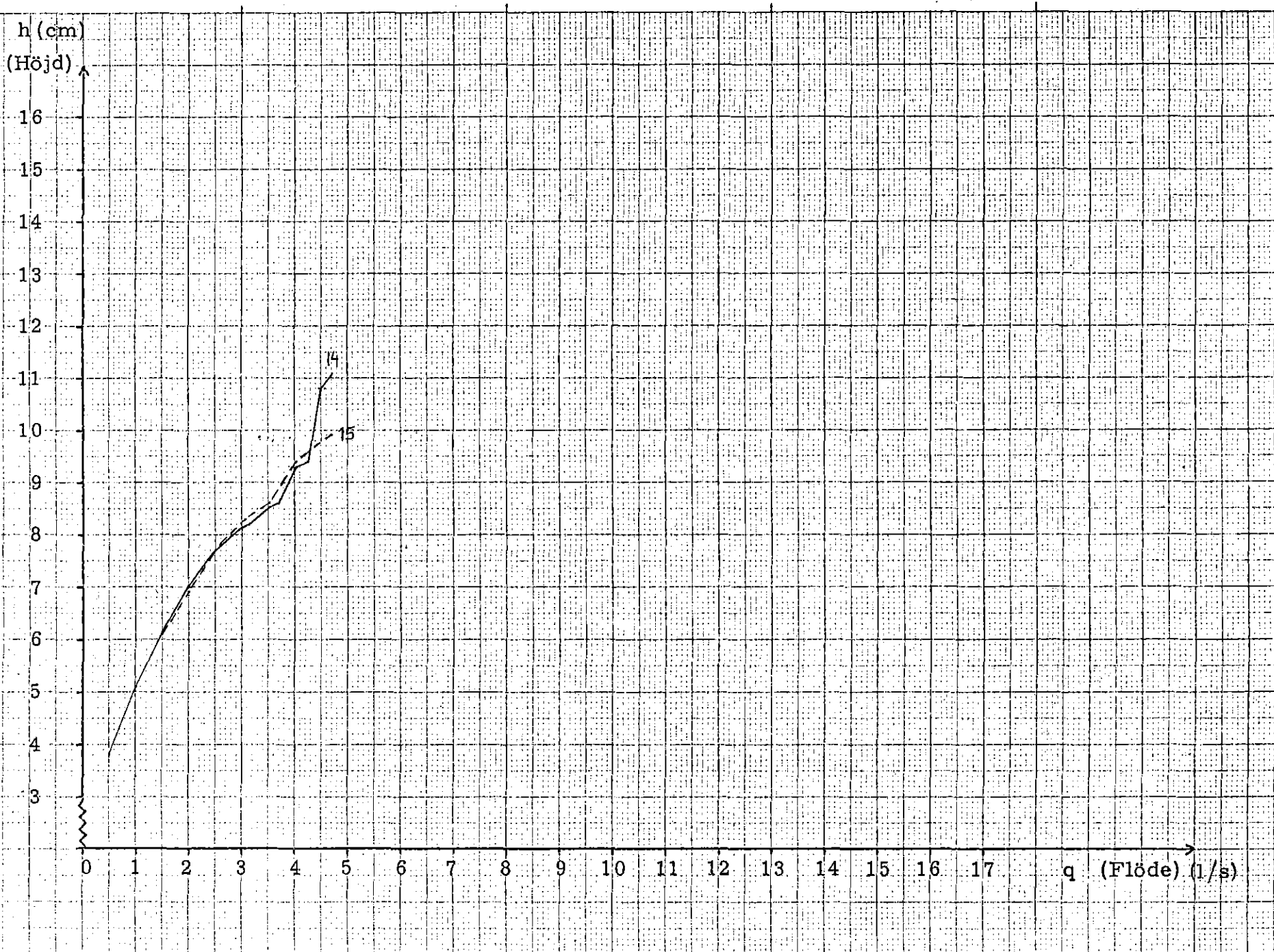
48.



Modellförsök nr 14 och 15

LANDVETTER FÖRVALTNING

Jämförelse mellan modellförsöken



5.5 Landvetter Parkering (Modellförsök nr 18)

För att undvika dämning i inloppsledningen vid små flöden är spetsen på överfallet placerat under vattengång på inloppsledningen (figur 5:5). Detta medför att ledningen inte alltid går full och flödet strömmar rakt igenom brunnen, utan att bromsas upp av överfallet.

Avbördningsekvationen för modellen får här något annorlunda utseende än tidigare försök.

Avbördningsekvationen blir för modellen:

$$q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 3.2039 \cdot h_m^{2.7904} \quad \dots\dots (5:5)$$

Här borde det vara bättre med en skärm framför, som bromsar upp flödet. Utan skärm blir vattenytan i brunnen mycket orolig och kommer i svängning längs en axel parallell med ledningen, vilket försvårar en exakt avläsning på nivåmätaren. Även inkommande vattenstråle kommer i svängning och flyttas från den ena sidan av brunnen till den andra.

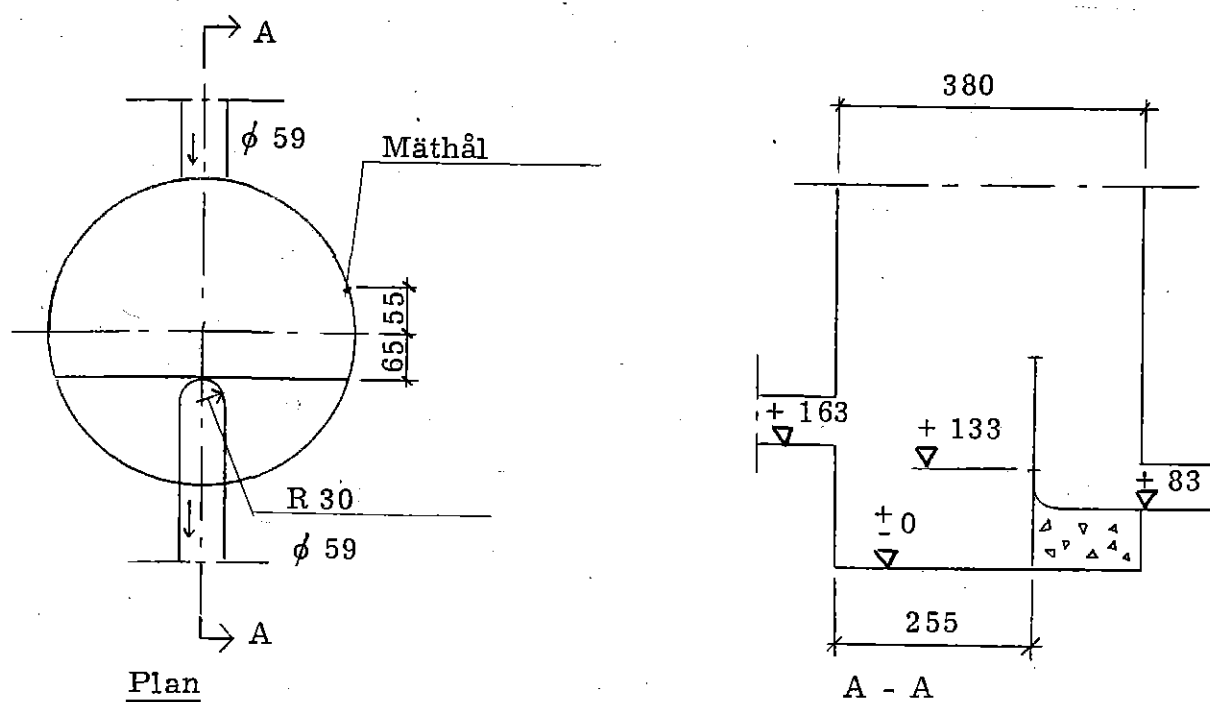


Fig. 5:5

Landvetter Parkering. Modell.

Modellförsök nr 18

LANDVETTER PARKERING.

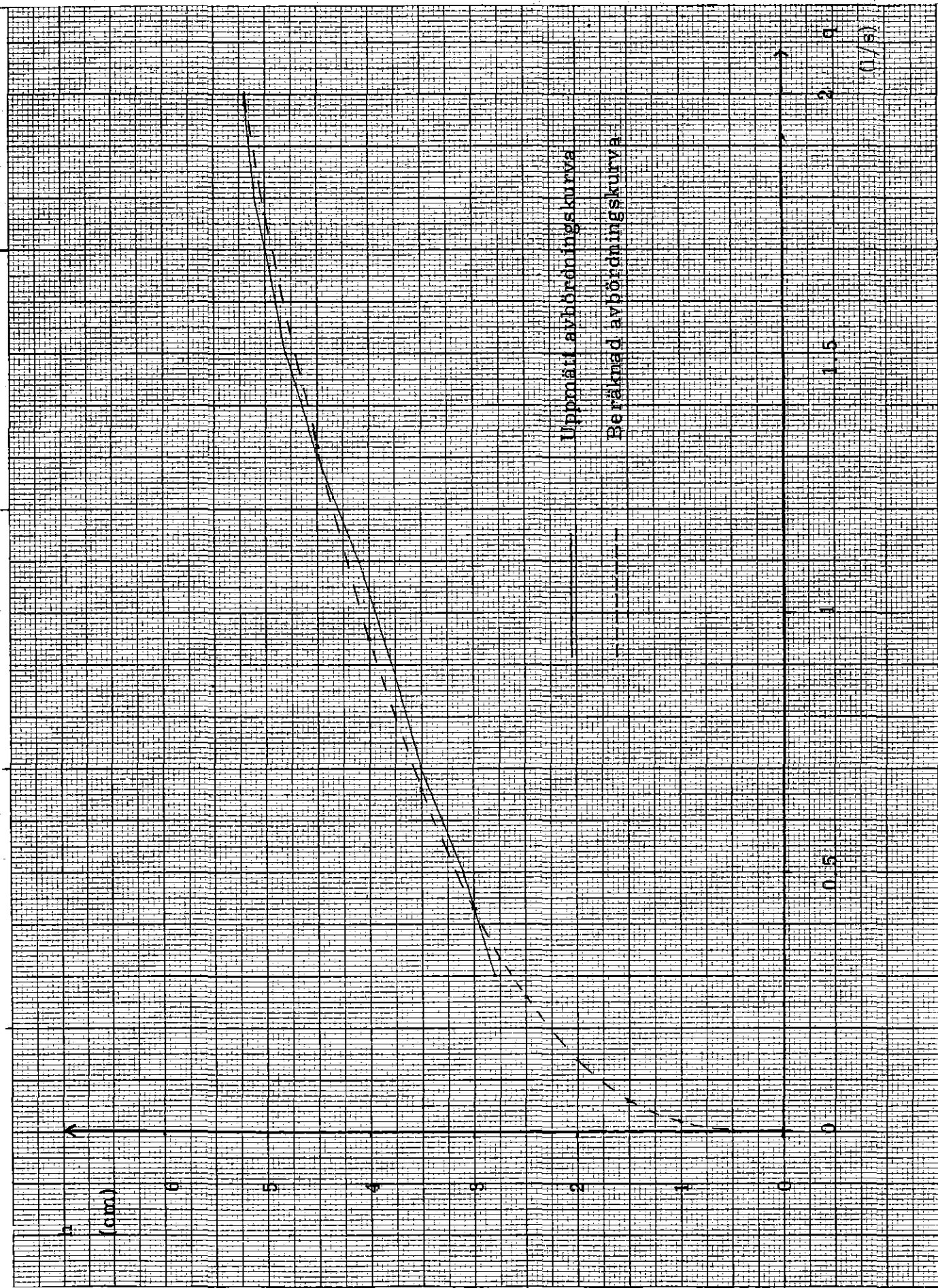
Lutning: In 0.5 % Ut 0.5 %
 Rördimension: In 59 mm Ut 59 mm
 Överfallets höjd under u.k. inlopp 30 mm
 Överfallets placering: Nedströms
 Nivåmätarens placering nr 4

Avläst Rotameter (mm)	Avläst Mätöverfall (mm)	Vattennivå Brunn (mm)	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
26		91	63	28	0.30
40		94	63	31	0.50
53		98	63	35	0.70
66		101	63	38	0.90
78		104	63	41	1.10
89		108	63	45	1.30
100		111	63	48	1.50
113		113	63	50	1.70
119		114	63	51	1.80
130		115	63	52	2.00

Modellförsök nr 18

LANDVETTER PARKERING

Avbördrningsekvation $q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g \cdot 3,2039} h_m^{2.7904}$



5.6 Överfallets placering i höjdlad. (Modellförsök nr 3, 4, 5)

Om man studerar modellförsöken från Linköping 2 och 3 ser man att resultaten är mycket lika varandra. Detta skulle tyda på att placeringen av överfallet i höjdlad har liten betydelse. Tre försök med olika placering av överfallet genomfördes. Den övre och undre placeringen motsvarar maximal variation i modellen.

De olika resultaten redovisas var för sig på kommande sidor. För övrigt hade modellen samma geometri som modellförsök nr 2 (figur 5:2). Vid en jämförelse mellan resultaten kan man se att skillnaden är obetydlig, och att variationerna ligger inom de gränser för mätnoggrannhet som var möjlig i modellförsöket. Nivåmätaren kunde vid stora flöden variera ± 1 cm och en feluppskattning av medelvärdet på 1-3 mm får stor betydelse vid uppritandet av avbördningskurvan. Man gör sig förmodligen inte skyldig till något större fel om man ersätter de olika kurvorna med en kurva.

En matematisk behandling av samtliga försöksvärden ger följande ekvation för modellen:

$$q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0.3868 \cdot h_m^{2.3016} \quad \dots \quad (5:6)$$

Ekvation (5:6) finns uppritad separat.

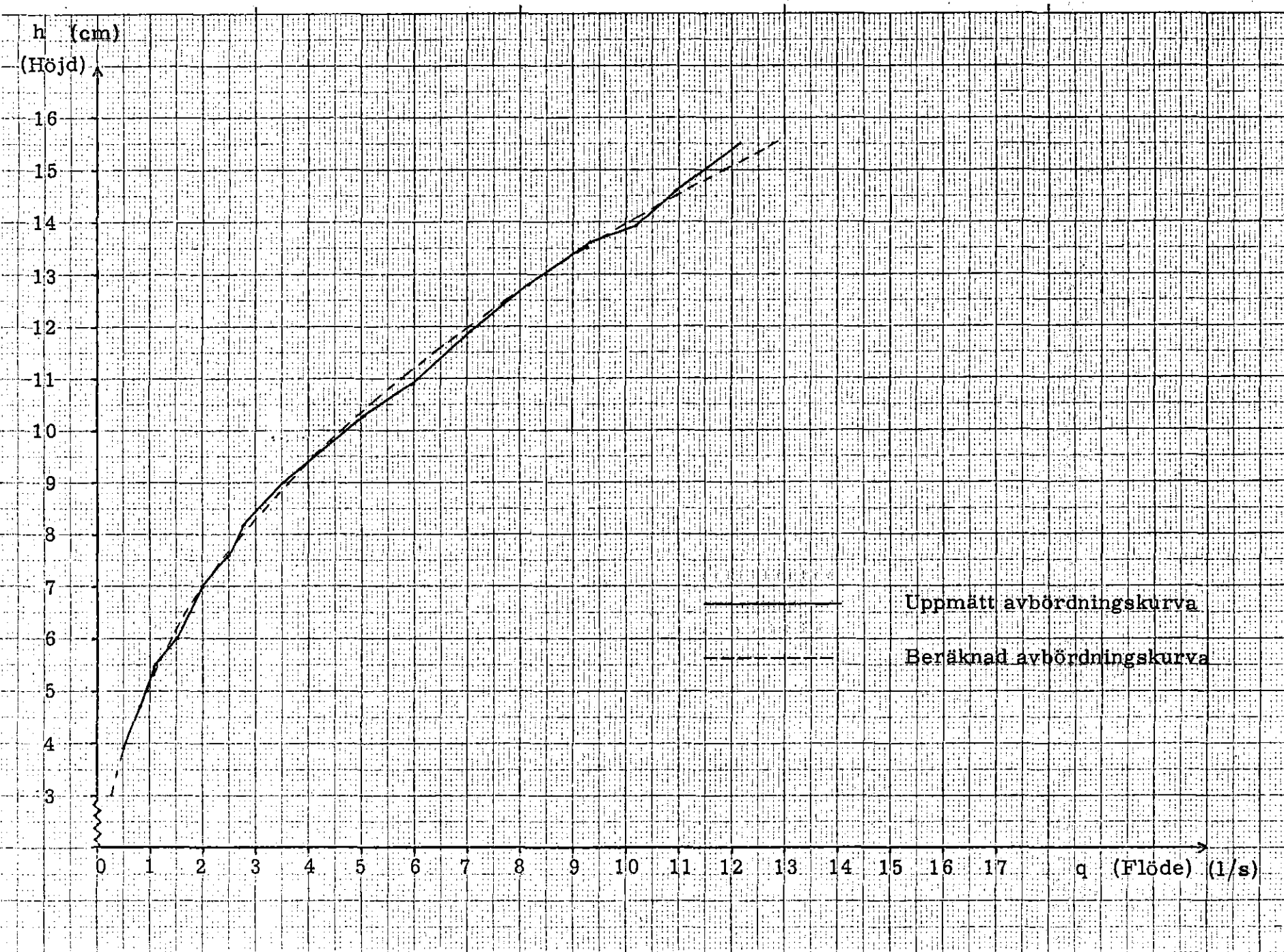
Modellförsök nr 3

ÖVERFALLETS PLACERING I HÖJDLED.

Lutning: In 0.90 % Ut 0.87 %
 Rördimension: In 152 mm Ut 152 mm
 Överfallets höjd över u.k. inlopp 128 mm
 Överfallets placering: Mitten
 Nivåmätarens placering nr 3

Avläst Rotameter (mm)	Avläst Mätöverfall (mm)	Vattennivå Brunn (mm)	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
40		159	120	39	0.50
60		167	120	47	0.80
80		175	120	55	1.10
100		180	120	60	1.50
130		190	120	70	2.00
160		196	120	76	2.50
	137	202	120	82	2.77
	145	210	120	90	3.51
	159	223	120	103	5.04
	166	229	120	109	5.94
	174	239	120	119	7.06
	181	248	120	128	8.14
	188	256	120	136	9.31
	193	259	120	139	10.20
	197	266	120	146	10.95
	203	275	120	155	12.13

Modellförsök nr 3
 Överfallets placering i höjded
 Avbördningsekvation $q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,4155 h_m^{2,3286}$

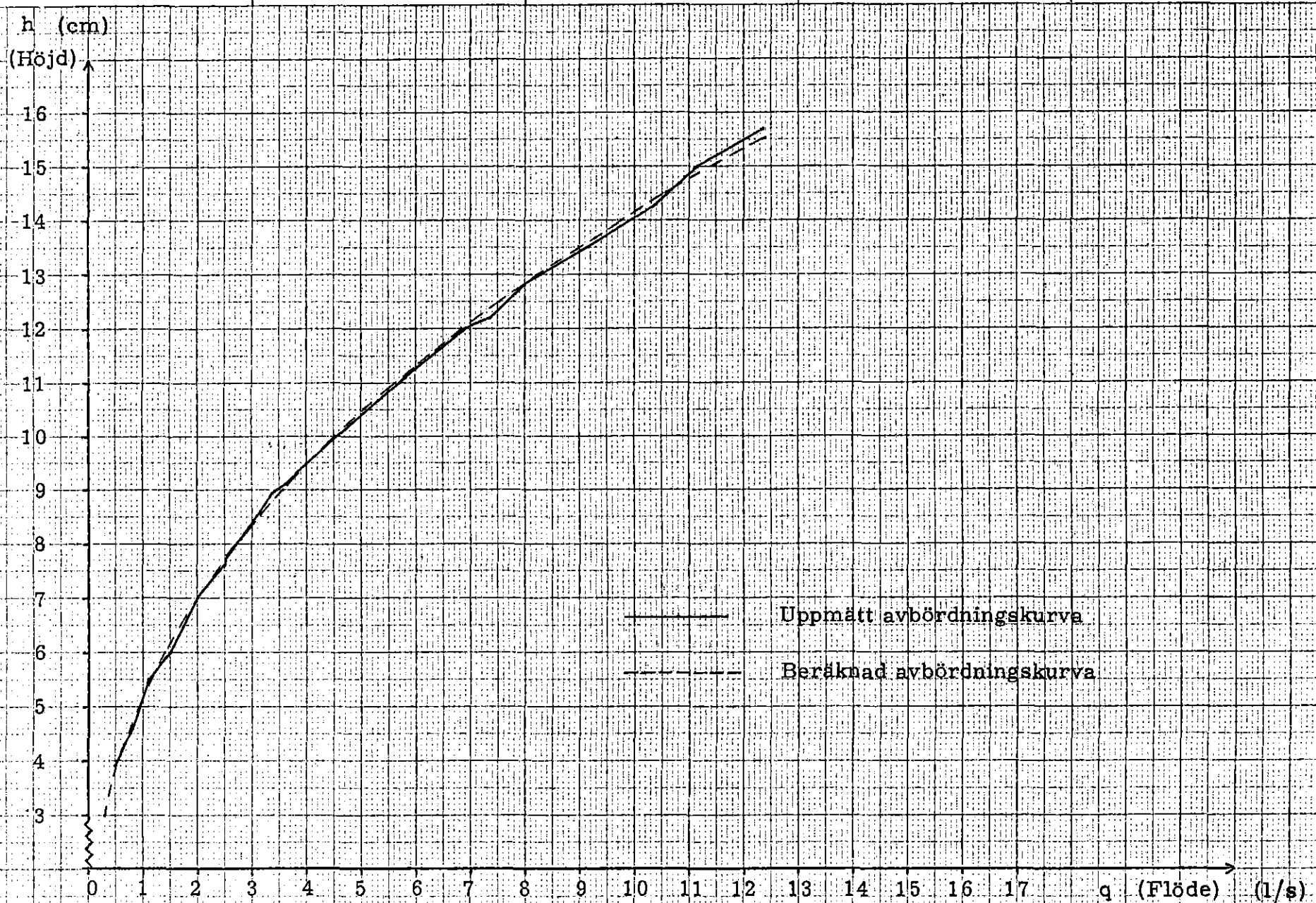


Modellförsök nr 4

ÖVERFALLETS PLACERING I HÖJDLED.

Lutning: In 0.90 % Ut 0.87 %
 Rördimension: In 152 mm Ut 152 mm
 Överfallets höjd över u.k. inlopp 148 mm
 Överfallets placering: Mitten
 Nivåmätarens placering nr 3

Avläst Rotameter (mm)	Avläst Mätöverfall (mm)	Vattennivå Brunn (mm)	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
40		179	140	39	0.50
60		186	140	46	0.80
80		195	140	55	1.10
100		200	140	60	1.50
130		210	140	70	2.00
160		216	140	76	2.50
	134	218	140	78	2.52
	136	221	140	81	2.69
	141	226	140	86	3.13
	143	229	140	89	3.32
	146	231	140	91	3.61
	148	233	140	93	3.81
	153	238	140	98	4.35
	165	251	140	111	5.80
	173	260	140	120	6.91
	176	262	140	122	7.36
	180	268	140	128	7.98
	187	275	140	135	9.14
	194	283	140	143	10.39
	198	290	140	150	11.14
	204	297	140	157	12.34

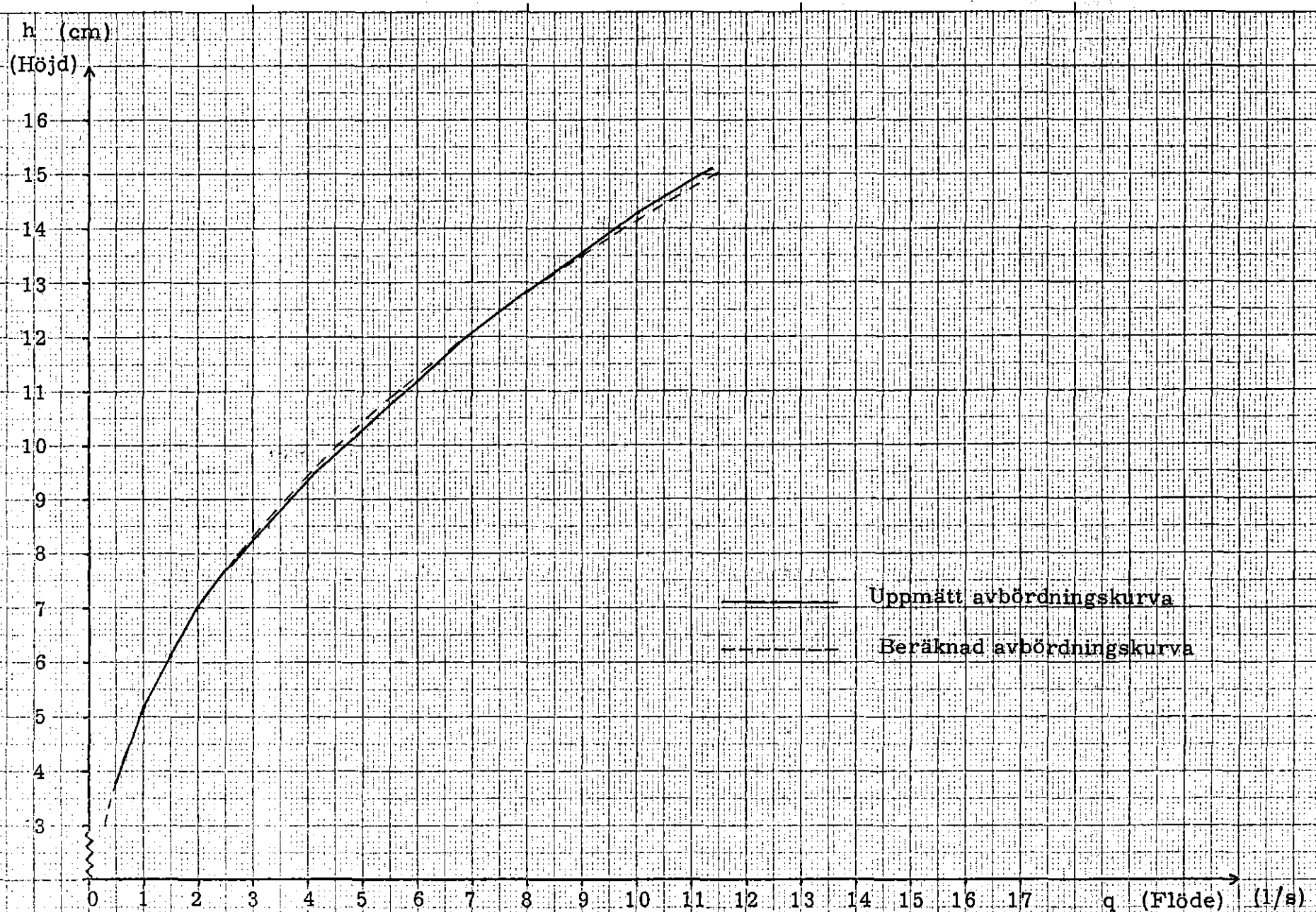


Modellförsök nr 5

ÖVERFALLETS PLACERING I HÖJDLED.

Lutning: In 0.90 % Ut 0.87 %
 Rördimension: In 152 mm Ut 152 mm
 Överfallets höjd över u.k. inlopp 198 mm
 Överfallets placering: Mitten
 Nivåmätarens placering nr 3

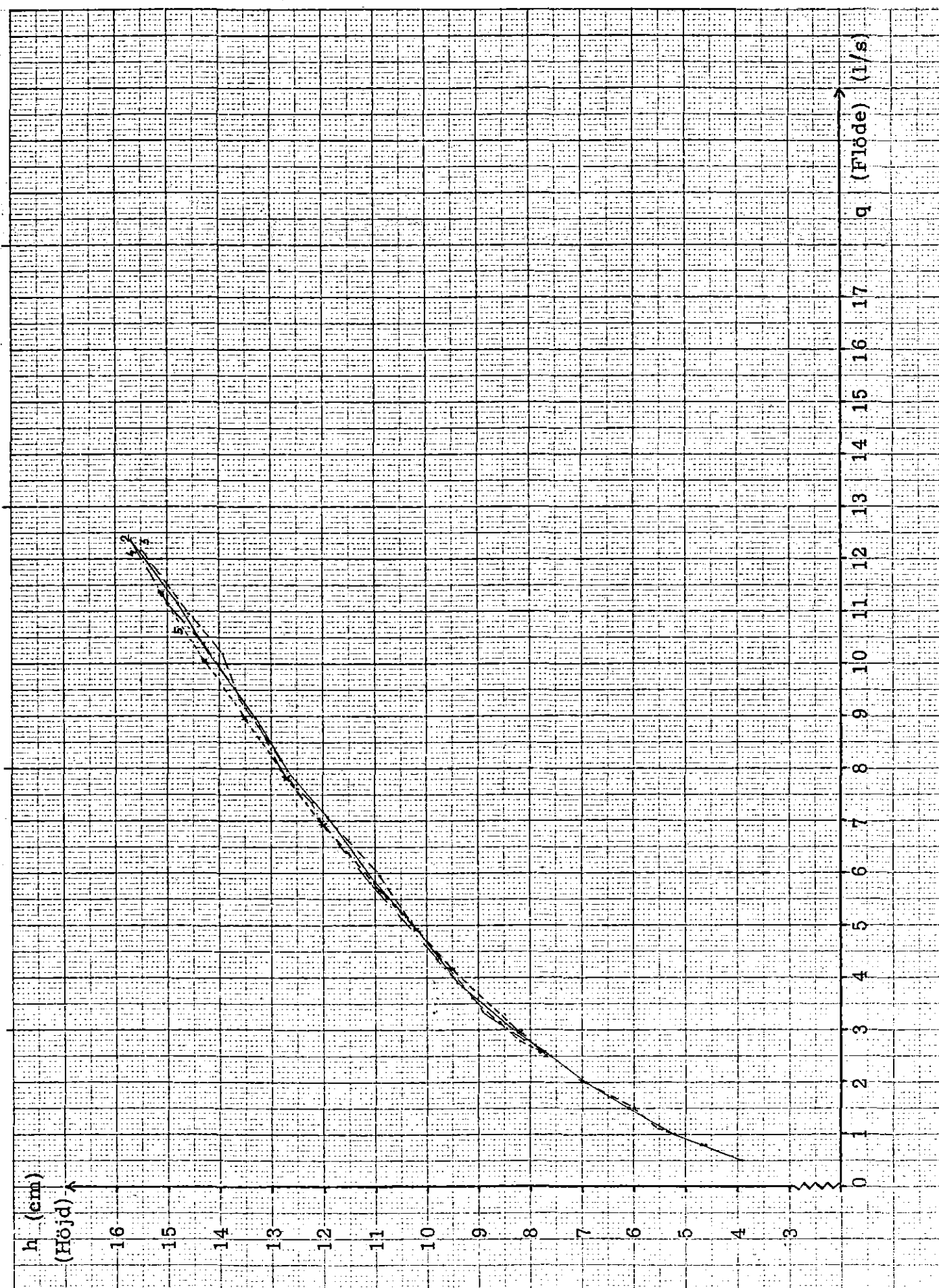
Avläst Rotameter (mm)	Avläst Mätöverfall (mm)	Vattennivå Brunn (mm)	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
40		213	175	38	0.50
72		227	175	52	1.00
100		236	175	61	1.50
130		245	175	70	2.00
160		252	175	77	2.50
	135	253	175	78	2.61
	139	257	175	82	2.95
	151	270	175	95	4.13
	158	277	175	102	4.92
	164	284	175	109	5.67
	173	295	175	120	6.91
	179	302	175	127	7.82
	186	310	175	135	8.97
	192	318	175	143	10.02
	199	326	175	151	11.34



Modellförsök nr 2, 3, 4 och 5

Överfallets placering i höjddled

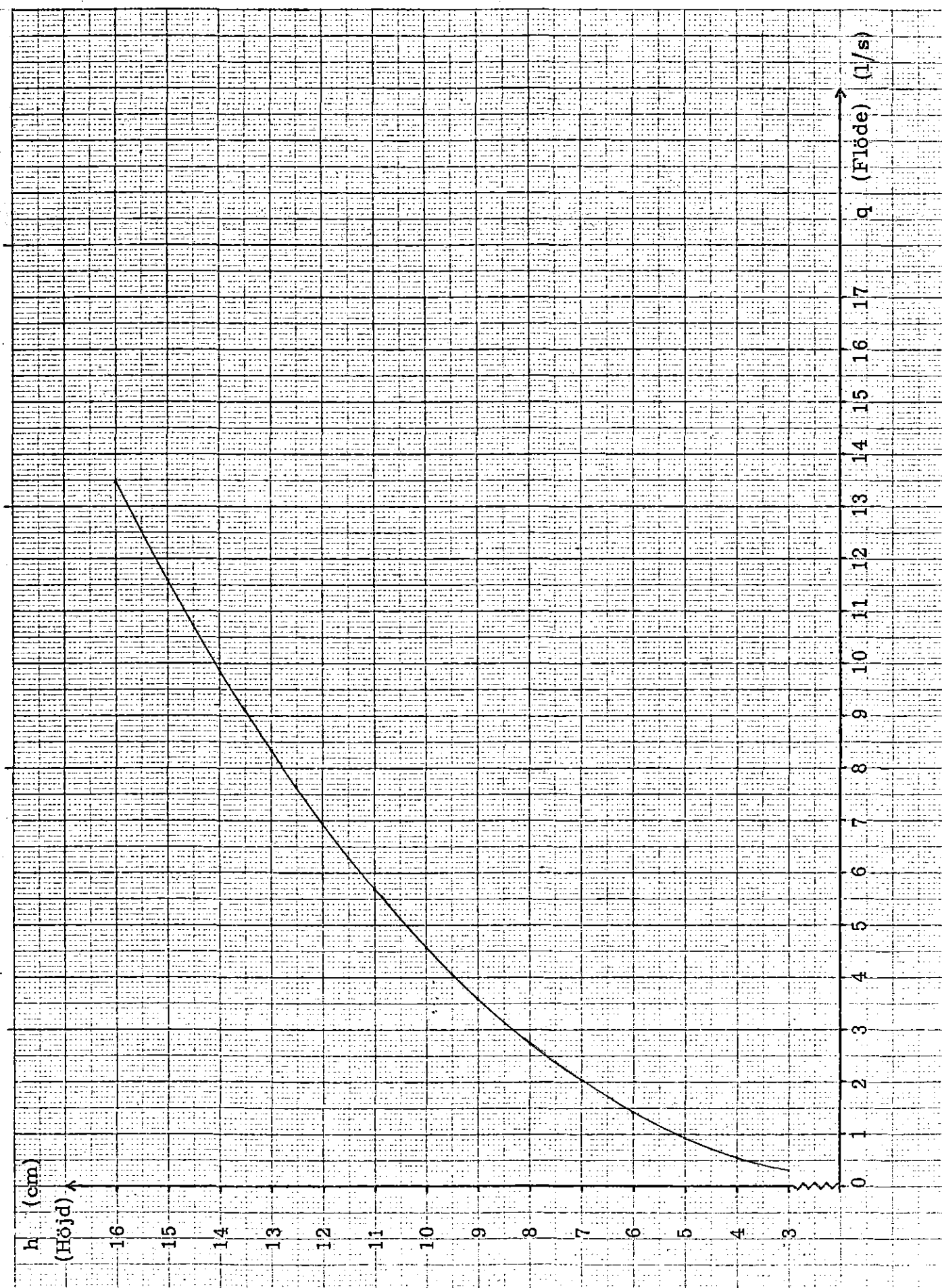
Jämförelse mellan modellförsöken



Modellförsök nr 2, 3, 4 och 5

Överfallets placering i höjddled

Gemensam avbördringsekvation $q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,3868 h_m^{2.3016}$



5.7 Mätpunktens placering (Modellförsök nr 6, 7, 8)

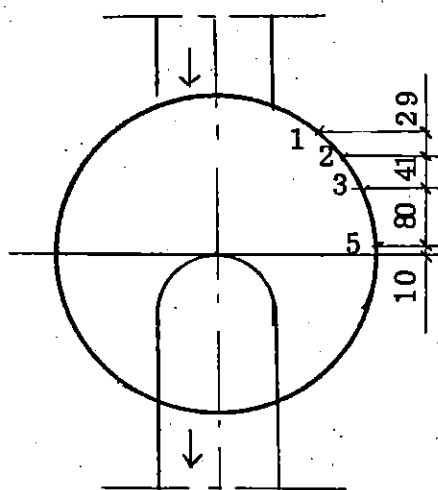
Vid tidigare genomförda modellförsök kunde observeras att vattenytan i brunnen var något högre vid överfallet än vid inloppet. Nivåmätarens placering borde då inverka på den avlästa vattennivån, H . Tre nya hål borrades utefter sidan på modellen, och försök genomfördes med olika placering av nivåmätaren (figur 5:7a). I övrigt var rördimensioner, överfallets placering i höjd och läge identiskt med modellförsök nr 3. Mätresultaten redovisas på nästkommande sidor. En jämförelse mellan de uppritade kurvorna finns, där man kan se tydliga skillnader mellan kurvorna.

Avbördningsekvationen för kurvorna har utseendet:

$$q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \mu h^x$$

Vid den matematiska behandlingen av de 4 försöken visade det sig att exponenten x och avbördningskoefficienten μ antar lägre värden ju längre från inkommande ledning man mäter.

Resultaten redovisas nedan:



$x_1 = 2.4776$	$\mu_1 = 0.6332$
$x_2 = 2.4439$	$\mu_2 = 0.5672$
$x_3 = 2.3286$	$\mu_3 = 0.4155$
$x_5 = 2.2651$	$\mu_5 = 0.3422$

Fig. 5:7 a Mätpunktens placering

Det är tydligt att placering av instrumentet för mätning av vattenståndet i brunnen har stor betydelse.

Vid den teoretiska härledningen av avbördningsekvationen blir exponenten 2.5. Ungefär detta värde erhålles vid mätningar närmast inloppsledningen.

Om hänsyn tas till hastighetshöjden $\frac{v^2}{2g}$ enligt ekv. 3:19

$$q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot \mu \left(h + c \frac{v^2}{2g} \right)^{2,5} \quad (\text{Se kap. 3:4})$$

erhålls följande värden på c och μ för de olika placeringarna av mätanordningen:

Placering		c	μ
nr 1		-0,08	0.6732
"	nr 2	-0,20	0.6736
"	nr 3	-0,60	0.6740
"	nr 4	-1,06	0.6747

Här kan man se att konstanten c ökar ju närmre överfallet man mäter, se figur 5:7b.

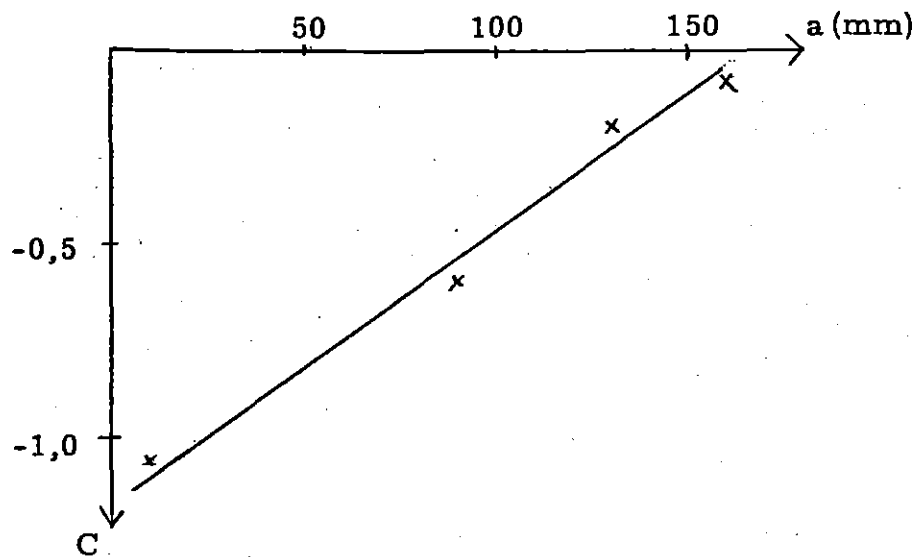


Fig. 5:7b Konstanten c som funktion av mätpunktens avstånd, a , till överfallet.

Vid mätningar nära överfallet avläses alltså en högre höjd. Detta kan förklaras med att vattnet har hög inloppshastighet i brunnen och bromsas upp vid överfallet, vilket gör att ytan höjs något. Jämförelse kan göras med en riktad stråle mot en vägg (figur 5:7c). Eftersom hastigheten är mycket mindre vid de lägsta flödena kan man inte urskilja någon skillnad mellan kurvorna längst ner. Det att överfallet bromsar upp vattenstrålen gäller bara i de fall när överfallets spets sitter högre

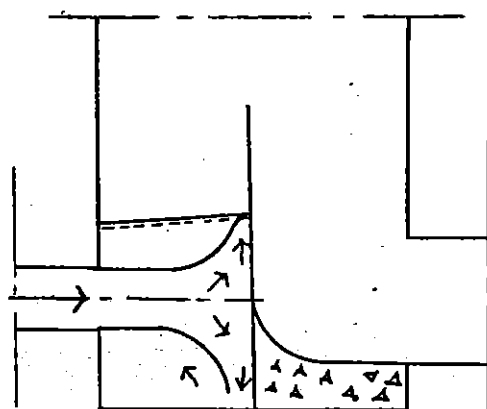


Fig. 5:7c Inkommande ledning

än inkommande ledning. I annat fall fås ingen uppbromsning.

Modellförsök nr 6

MÄTPUNKTENS PLACERING.

Lutning: In 0.90 % Ut 0.87 %
 Rördimension: In 152 mm Ut 152 mm
 Överfallets höjd över u.k. inlopp 128 mm
 Överfallets placering: Mitten
 Nivåmätarens placering nr 5

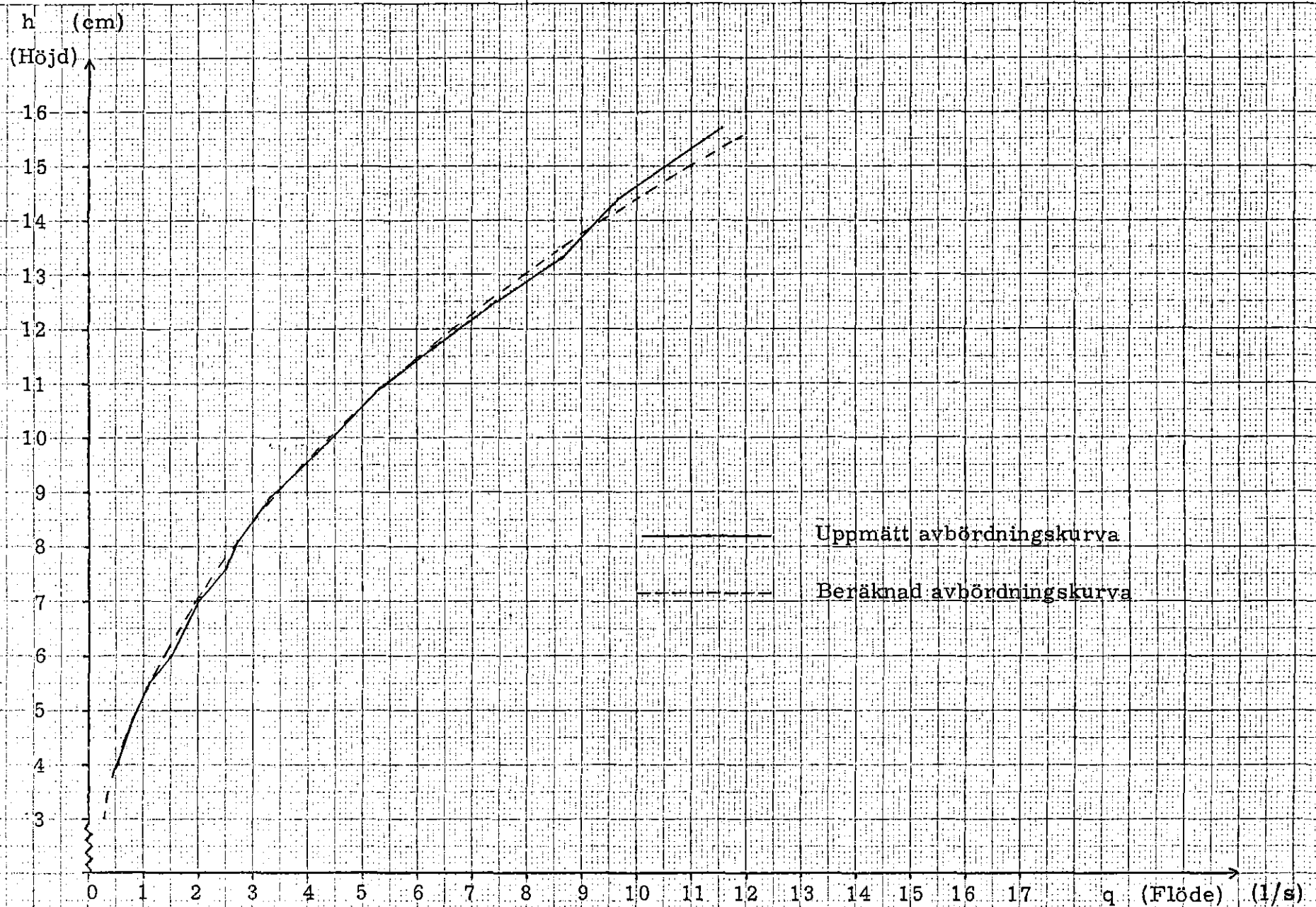
Avläst Rotameter	Avläst Mätöverfall	Vattennivå Brunn	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
40		159	120	39	0.50
60		167	120	48	0.80
80		175	120	55	1.10
100		180	120	60	1.50
130		190	120	70	2.00
160		196	120	76	2.50
	136	201	120	81	2.69
	143	209	120	89	3.32
	151	217	120	97	4.13
	161	229	120	109	5.29
	169	237	120	117	6.34
	176	244	120	124	7.36
	184	253	120	133	8.63
	190	264	120	144	9.66
	200	277	120	157	11.53

Modellförsök nr 6

Mätpunkts placering

Avbördningsekvation

$$q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g \cdot 0,3422} h_m^{2,2651}$$



Modellförsök nr 7

MÄTPUNKTENS PLACERING.

Lutning: In 0.90 %

Ut 0.87 %

Rördimension: In 152 mm

Ut 152 mm

Överfallets höjd över u.k. inlopp 128 mm

Överfallets placering: Mitten

Nivåmätarens placering nr 1

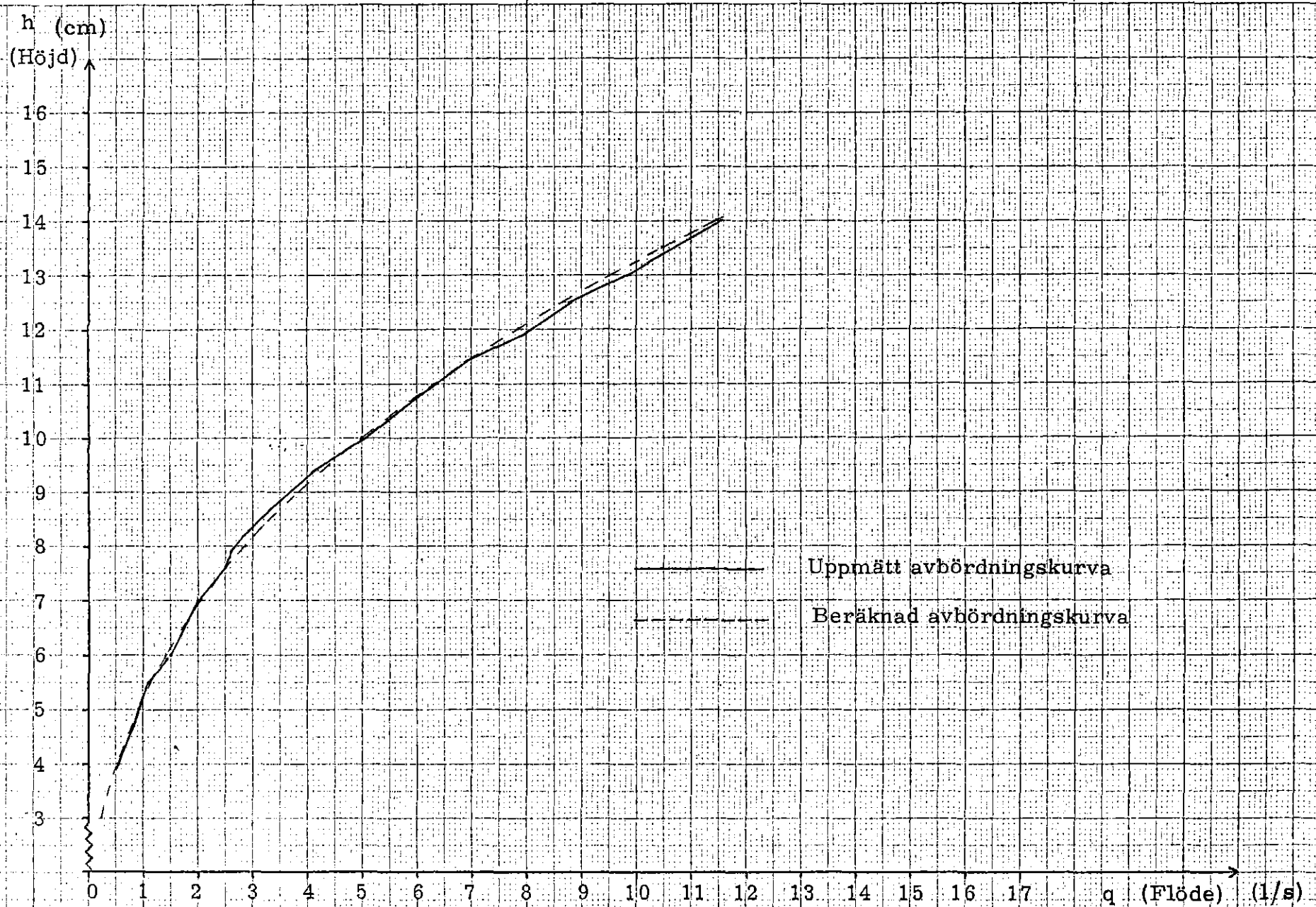
Avläst Rotameter (mm)	Avläst Mätöverfall (mm)	Vattennivå Brunn (mm)	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
40		159	120	39	0.50
60		167	120	47	0.80
80		175	120	55	1.10
100		180	120	60	1.50
130		190	120	70	2.00
160		196	120	76	2.50
	135	199	120	79	2.61
	138	202	120	82	2.86
	143	207	120	87	3.32
	151	214	120	94	4.13
	159	220	120	100	5.04
	167	228	120	108	6.07
	173	234	120	114	6.91
	180	239	120	119	7.98
	185	245	120	125	8.80
	191	250	120	130	9.84
	193	252	120	132	10.20
	200	260	120	140	11.53

Modellförsök nr 7

Mätpunktens placering

Avbördningskvation

$$q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,6332 h_m^{2,4776}$$



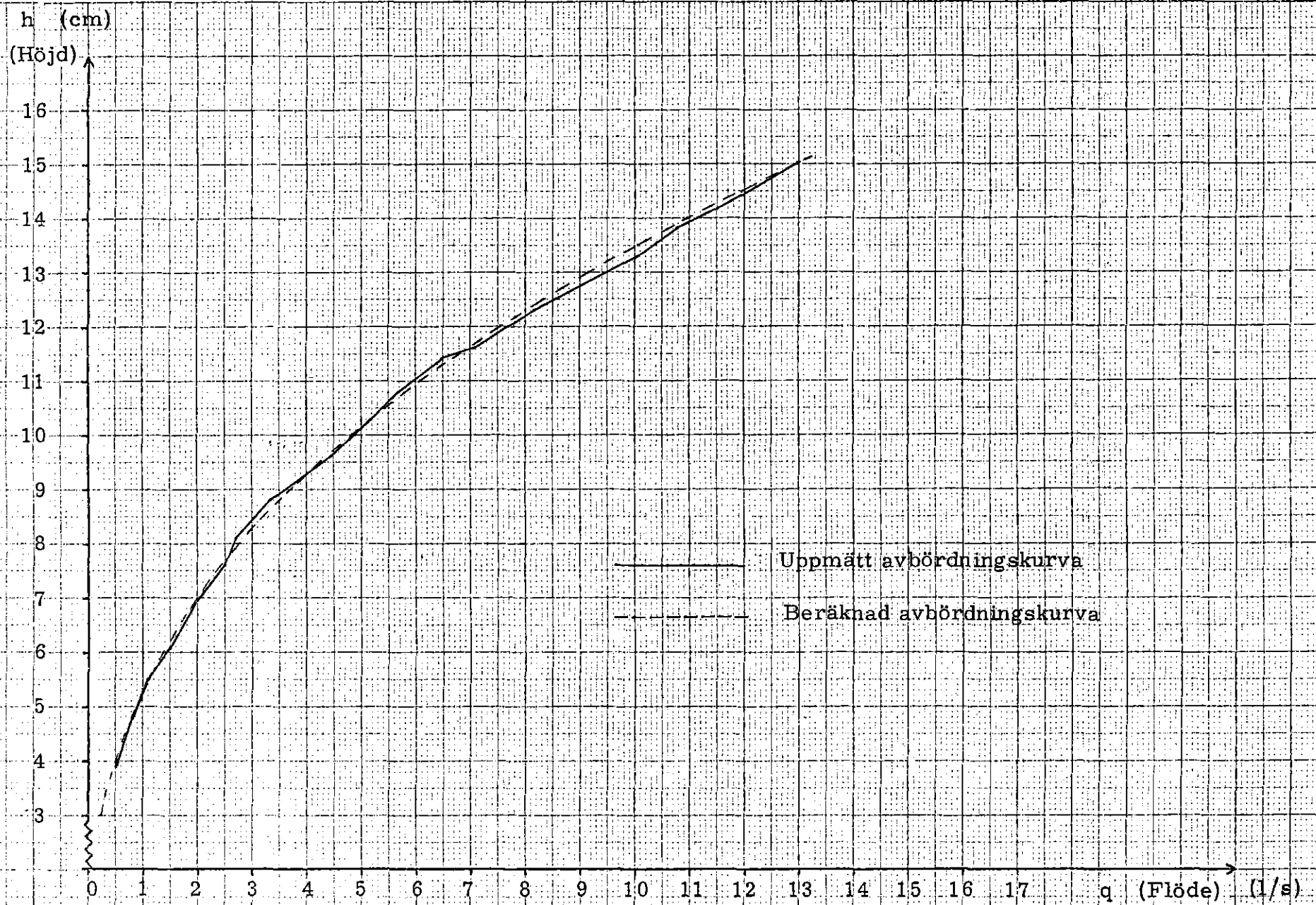
Modellförsök nr 8

MÄTPUNKTENS PLACERING.

Lutning: In 0.90 % Ut 0.87 %
 Rördimension: In 152 mm Ut 152 mm
 Överfallets höjd över u.k. inlopp 128 mm
 Överfallets placering: Mitten
 Nivåmätarens placering nr 2

Avläst Rotameter	Avläst Mätöverfall	Vattennivå Brunn	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
40		159	120	39	0.50
60		168	120	48	0.80
80		175	120	55	1.10
100		181	120	61	1.50
130		190	120	70	2.00
160		196	120	76	2.50
	136	201	120	81	2.69
	142	208	120	88	3.32
	154	216	120	96	4.46
	160	223	120	103	5.17
	164	228	120	108	5.67
	170	234	120	114	6.48
	174	236	120	116	7.06
	181	243	120	123	8.14
	192	253	120	133	10.02
	196	258	120	138	10.76
	201	263	120	143	11.73
	207	270	120	150	12.96

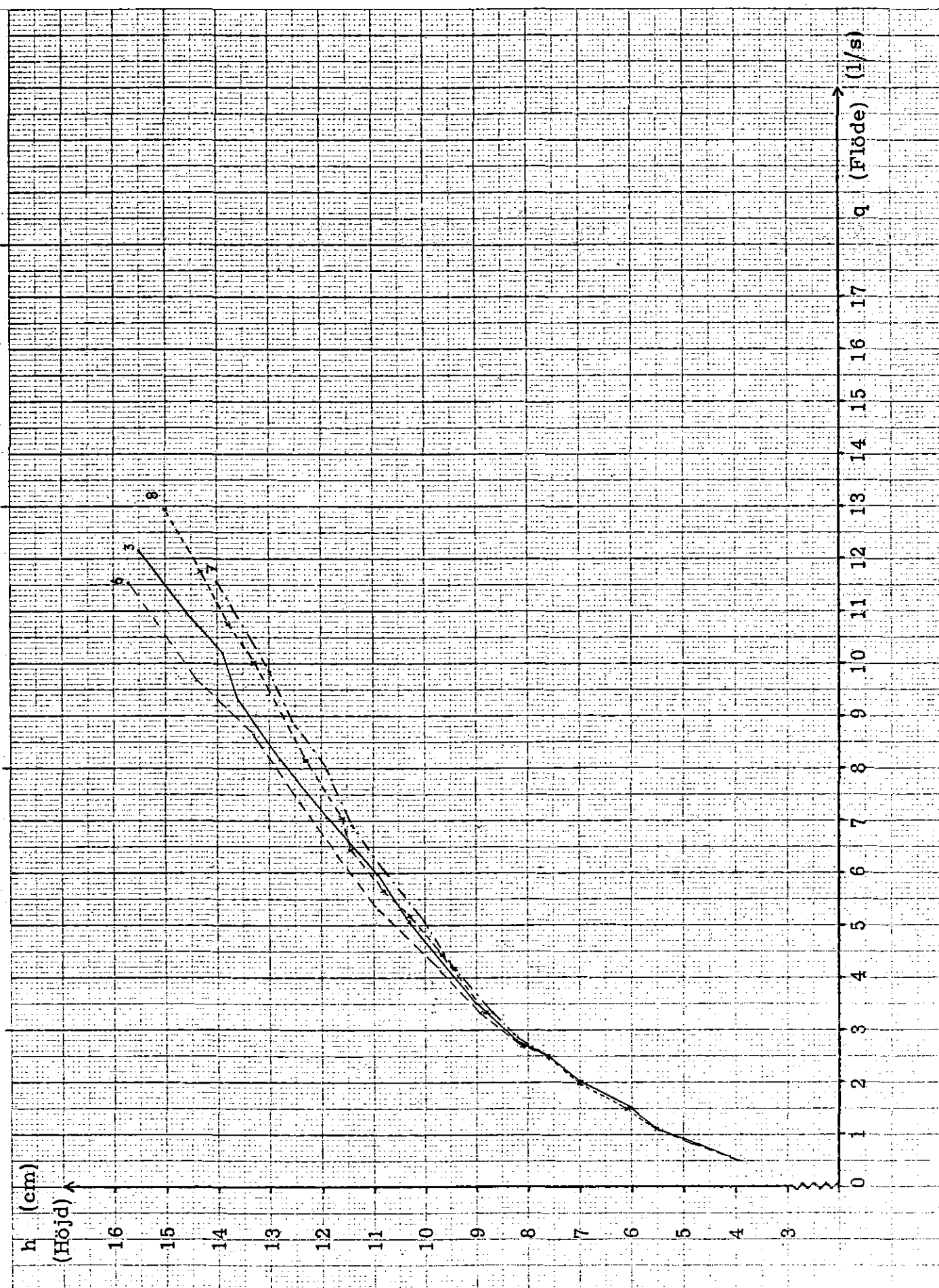
$$q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,5672 \cdot h_m^2 \cdot 4439$$



Modellförsök nr 3, 6, 7 och 8

Mätpunktens placering

Jämförelse mellan modellförsöken



5.8 Dimension inkommande ledning (Modellförsök nr 9 och 10)

För att kunna avgöra om den inkommande ledningens dimension har någon betydelse för avbördningskurvans utseende genomfördes två försök, vilka kan jämföras med modellförsök nr 2, som har samma geometri.

Modellförsök nr 10.	Inkommande lednings dimension ϕ	59 mm
- " - nr 2	- " -	ϕ 152 mm
- " - nr 9	- " -	ϕ 84 mm

En jämförelse mellan modellförsök nr 10 och de två övriga är svår att göra, ty nr 10 klarar inte så stora flöden, att någon skillnad på avbördningskurvan är synlig.

En jämförelse mellan modellförsök nr 2 och 9 är dock möjlig. Här ser man tydligt att för den mindre dimensionen avläser man ett högre h-värde för samma flöde.

Förklaringen till detta är att ju mindre dimension inloppsledningen har, desto högre är hastigheten. På grund av att överfallet är placerat som en vägg i brunnen, och brunnens geometri är liten i förhållande till hastigheten, höjs vattenytan när vattnet bromsas upp i brunnen. Ungefär samma effekt som en stråle riktad mot en skiva, (figur 5:8).

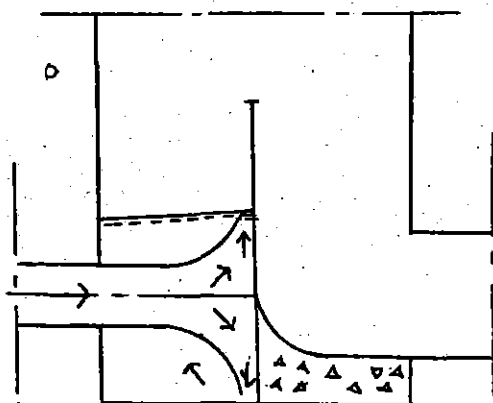


Fig. 5:8 Inkommande ledning

Observeras bör alltså att dimensionen på inkommande ledning kan ha stor betydelse för avbördningskurvans utseende om hastigheten är tillräckligt stor i förhållande till geometrin.

Modellförsök nr 9

DIMENSION INKOMMANDE LEDNING.

Lutning: In 0.5 % Ut 0.5 %
 Rördimension: In 84 mm Ut 152 mm
 Överfallets höjd över u.k. inlopp 178 mm
 Överfallets placering: Mitten
 Nivåmätarens placering nr 3

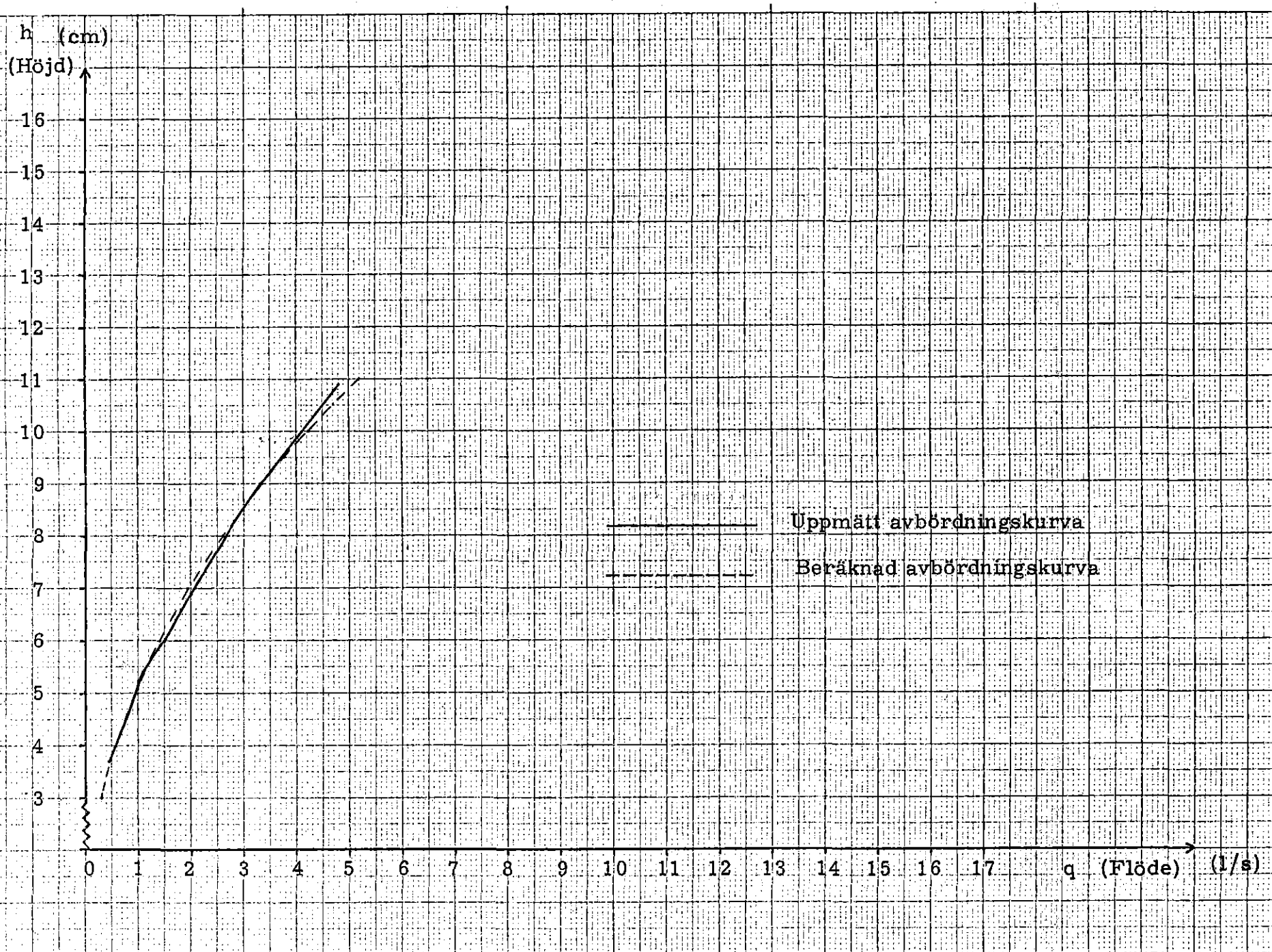
Avläst Rotameter (mm)	Avläst Mätöverfall (mm)	Vattennivå Brunn (mm)	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
39		208	171	37	0.45
60		217	171	46	0.80
80		225	171	54	1.10
100		231	171	60	1.50
130		240	171	69	2.00
160		248	171	77	2.50
	137	253	171	82	2.77
	143	261	171	90	3.32
	150	270	171	99	4.02
	157	280	171	109	4.80

Modellförsök nr 9

Dimension inkommande ledning

Avbördningsekvation

$$q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,2649 h_m^{2.1701}$$



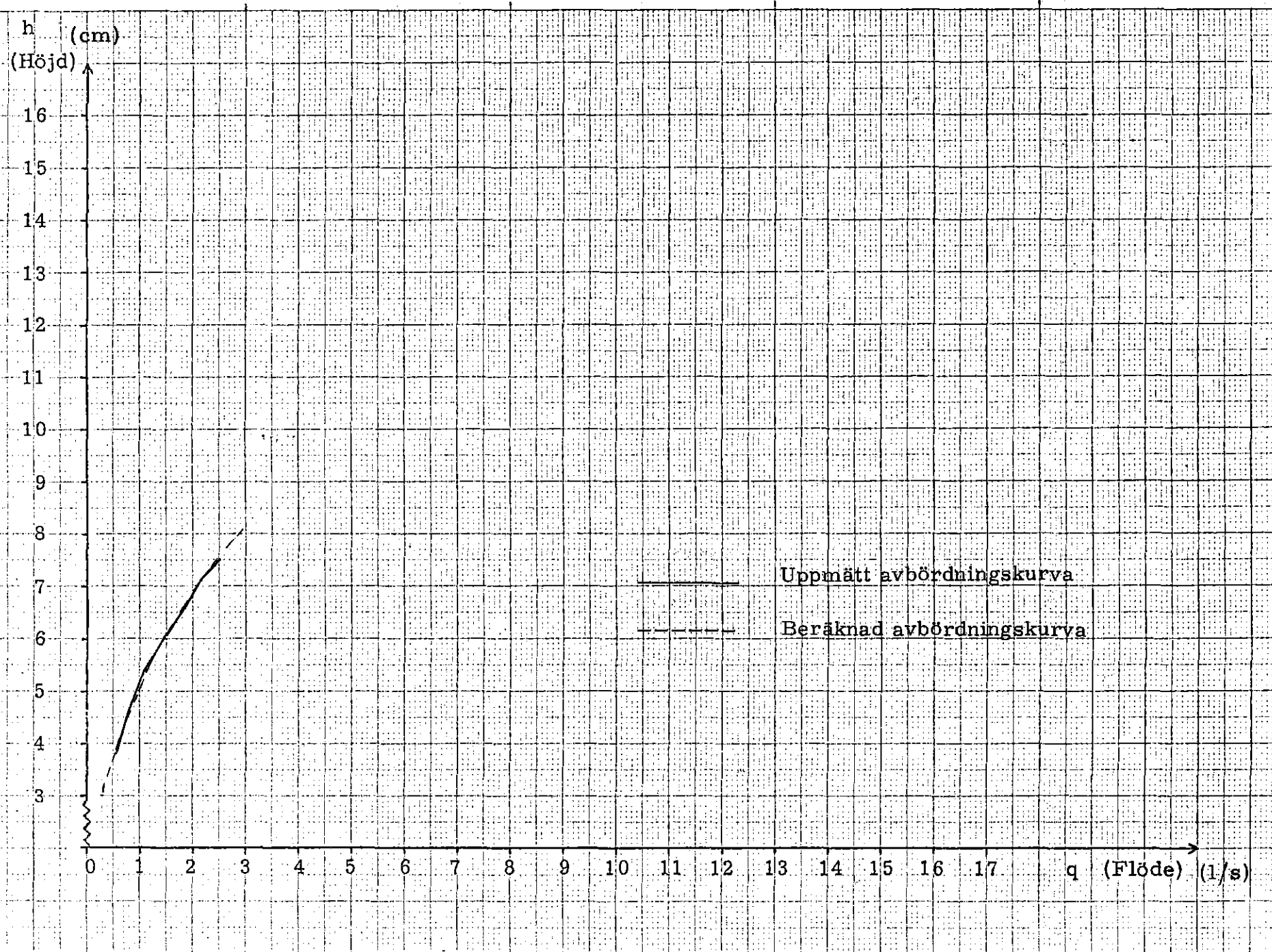
Modellförsök nr 10

DIMENSION INKOMMANDE LEDNING.

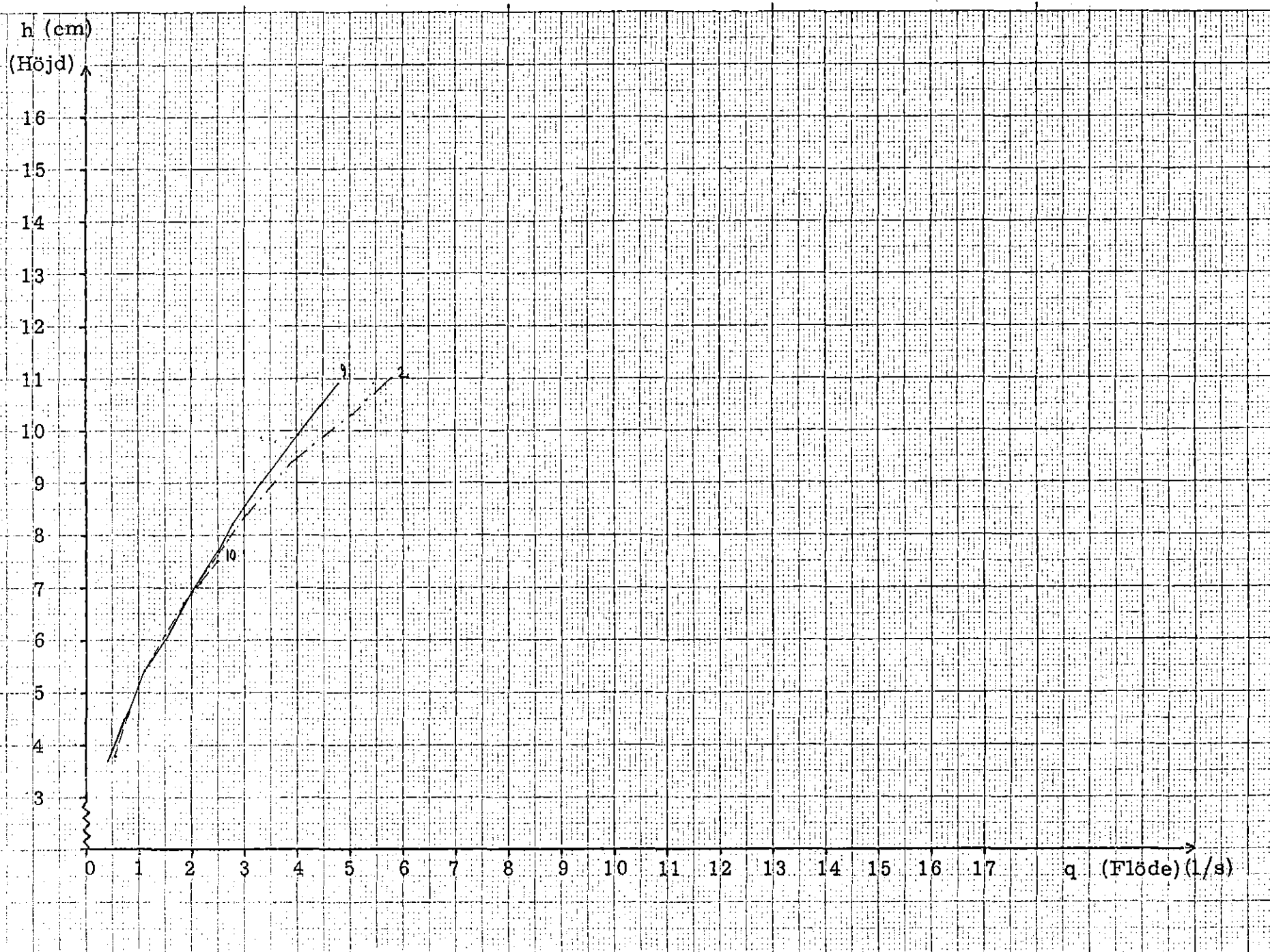
Lutning: In 0.50 % Ut 0.50 %
 Rördimension: In 59 mm Ut 152 mm
 Överfallets höjd över u.k. inlopp 178 mm
 Överfallets placering: Mitten
 Nivåmätarens placering nr 3

Avläst Rotameter (mm)	Avläst Mätöverfall (mm)	Vattennivå Brunn (mm)	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
42		209	171	38	0.55
60		217	171	46	0.80
80		225	171	54	1.10
100		232	171	61	1.50
120		238	171	67	1.85
140		242	171	71	2.15
160		246	171	75	2.50

Avbördningsekvation $q_m = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,3254 \cdot h_m^2 \cdot 2265$



Modellförsök nr 9 och 10
Dimension inkommande ledning
Jämförelse mellan modellförsöken



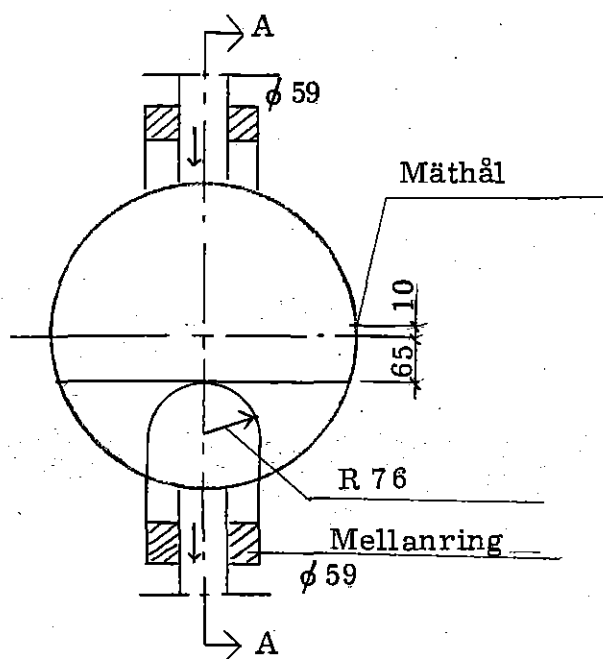
5.9 Dimension utgående ledning (Modellförsök nr 11 och 12)

För att undersöka betydelsen av en dämning nedströms överfallet placerades överfallet närmare utloppet. Dessutom ändrades utgående ledningsdimensionen i två försök. (Modellförsök nr 11 och 12). Se figur 5:9 på nästa sida.

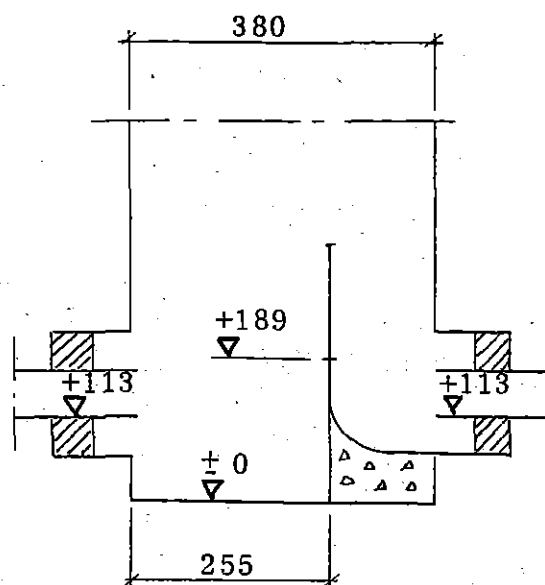
Försök nr 12 hade en tillräckligt stor ledningsdimension för att inte någon dämning skulle uppträda. Vid försök nr 11 minskades dimensionen och vid flödet $q = 0.9 \text{ l/s}$ var dämningen ca 20 % av överfallshöjden h . Då flödet ökades, ökade också dämningen och mot slutet var dämningen ca 80 % av h .

Jämföres avbördningskurvorna för de båda försöken kan man se att dämningen har betydelse för kurvans utseende. Höjden på vattenytan h höjs vid dämning nedströms.

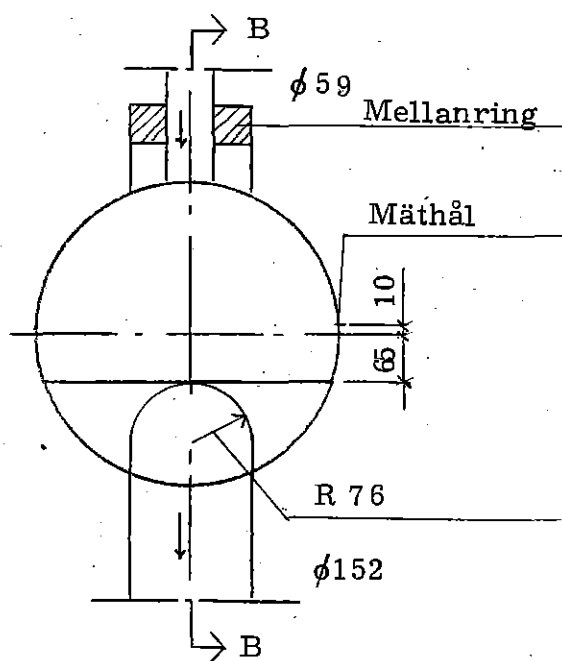
Detta bör alltså beaktas vid placeringen av ett överfall, så att dämning nedströms överfallet undviks. Detta kan lätt lösas genom att överfallet höjs, eller placeras längre uppströms i brunnen.



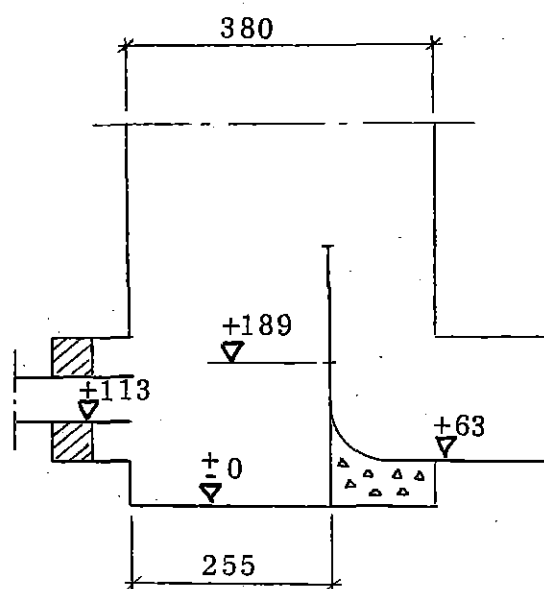
Plan modellförsök nr 11



A-A



Plan modellförsök nr 12



B-B

Fig. 5:9 Utgående lednings dimension.
Utloppets utformning.

Modellförsök nr 11

DIMENSION UTGÅENDE LEDNING.

Lutning: In 0.5 % Ut 0.5 %
 Rördimension: In 59 mm Ut 58 mm
 Överfallets höjd över u.k. inlopp 76 mm
 Överfallets placering: Nedströms
 Nivåmätarens placering nr 5

Avläst Rotameter (mm)	Avläst Mätöverfall (mm)	Vattennivå Brunn (mm)	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
26		147	116	31	0.30
40		155	116	39	0.50
53		161	116	45	0.70
66		166	116	50	0.90
78		170	116	54	1.10
89		177	116	61	1.30
100		183	116	67	1.50
113		189	116	73	1.70
119		193	116	77	1.80

Modellförsök nr 12

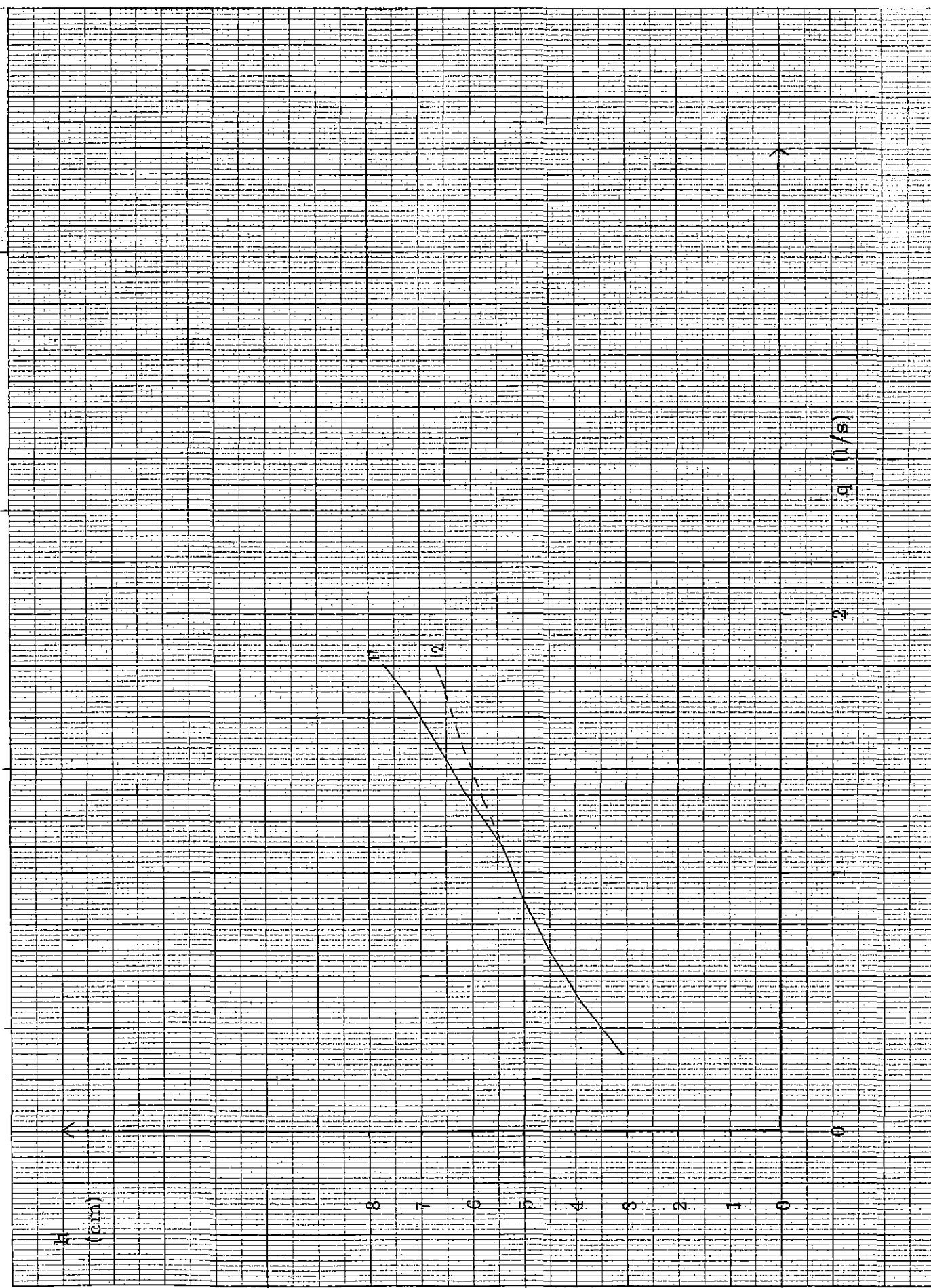
DIMENSION UTGÅENDE LEDNING.

Lutning: In 0.50 % Ut 0.50 %
 Rördimension: In 59 mm Ut 152 mm
 Överfallets höjd över u.k. inlopp 76 mm
 Överfallets placering: Nedströms
 Nivåmätarens placering nr 5

Avläst Rotameter (mm)	Avläst Mätöverfall (mm)	Vattennivå Brunn (mm)	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
26		147	116	31	0.30
40		155	116	39	0.50
53		161	116	45	0.70
66		166	116	50	0.90
78		170	116	54	1.10
89		174	116	58	1.30
100		178	116	62	1.50
113		181	116	65	1.70
119		184	116	68	1.80

Modellförsök nr 11 och 12
Dimension utgående ledning

Jämförelse mellan modellförsöken



Modellförsök nr 16

MÄTPUNKTENS PLACERING I MÄTBRUNN MED SKÄRM.

Lutning: In 0.50 % Ut 0.50 %

Rördimension: In 59 mm Ut 84 mm

Överfallets höjd under u.k. inlopp 140 mm

Överfallets placering: Nedströms

Nivåmätarens placering nr 5

Avläst Rotameter (mm)	Avläst Mätöverfall (mm)	Vattennivå Brunn (mm)	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
40		89	51	38	0.50
72		102	51	51	1.00
101		112	51	61	1.50
130		120	51	69	2.00
160		126	51	75	2.50
	140	132	51	81	3.04
	145	135	51	84	3.51
	150	144	51	93	4.02
	156	154	51	103	4.69

Modellförsök nr 17

MÄTPUNKTENS PLACERING I MÄTBRUNN MED SKÄRM.

Lutning: In 0.50 % Ut 0.50 %

Rördimension: In 59 mm Ut 84 mm

Överfallets höjd under u.k. inlopp 140 mm

Överfallets placering: Nedströms

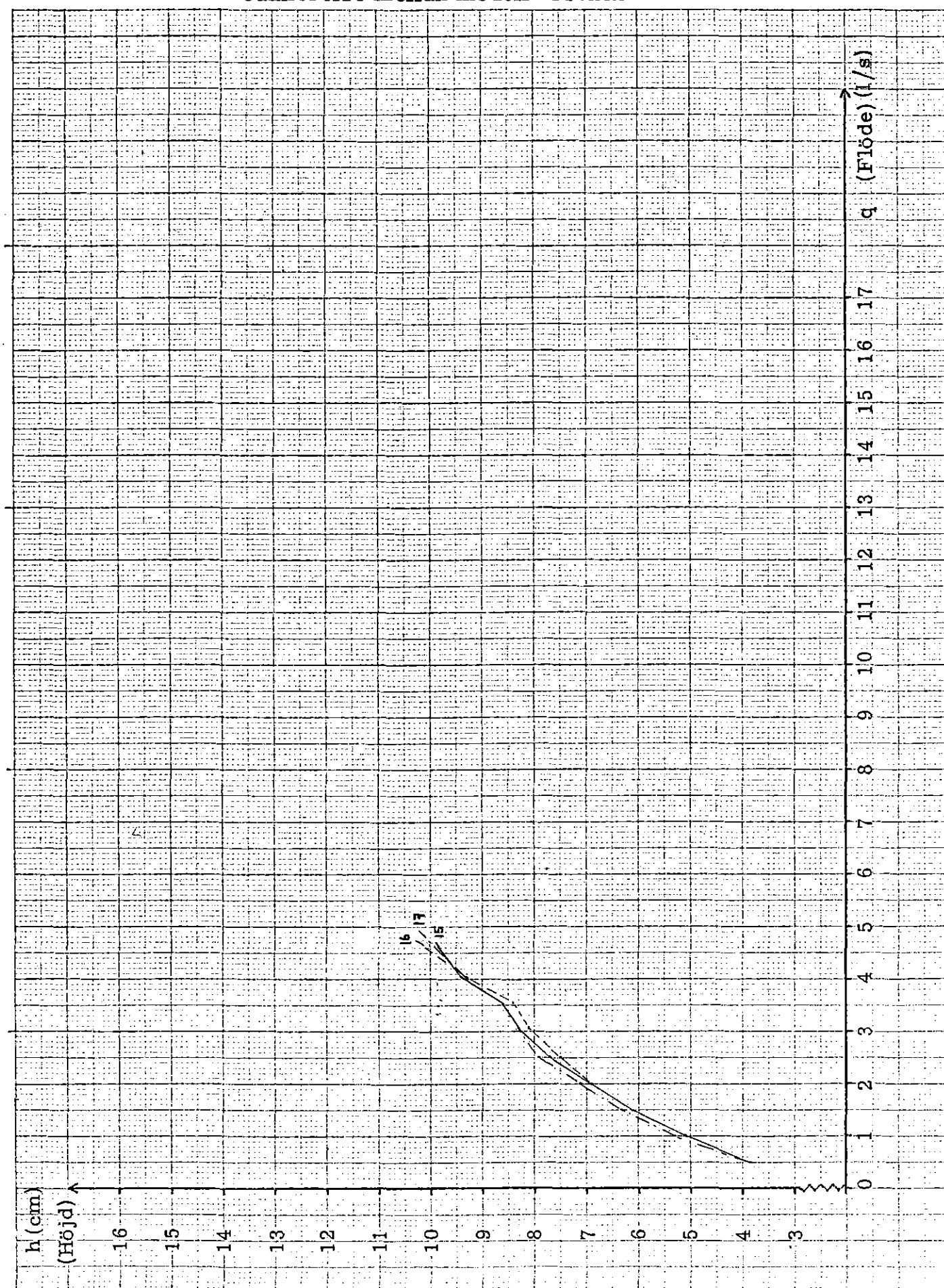
Nivåmätarens placering nr 1

Avläst Rotameter (mm)	Avläst Mätöverfall (mm)	Vattennivå Brunn (mm)	h_0 (mm)	h_m (mm)	q_m (l/s)
40		89	51	38	0.50
72		104	51	53	1.00
101		114	51	63	1.50
130		123	51	71	2.00
160		130	51	79	2.50
	140	134	51	83	3.04
	145	137	51	86	3.51
	150	144	51	93	4.02
	156	151	51	100	4.69

Modellförsök nr 15, 16 och 17

Mätpunktens placering i mätbrunn med skärm

Jämförelse mellan modellförsöken



6. PROTOTYPER

I detta kapitel redovisas i tabellform prototypernas geometriska data samt vad som gällt för motsvarande modellförsök. I vissa fall överensstämmer inte dessa data, på grund av att modellen byggdes av rör med standarddimensioner och det var ibland svårt att få exakt geometriska skalningsförhållanden.

Modellen har skalats enligt Froudes modellregler, se kapitel 3.2. Det har varit brunnens diameter som bestämt skalningsfaktorn. I fält existerar två typer av brunnar, en med dimensionen ϕ 1200 och en med dimensionen ϕ 2000 mm. Brunnen i modellen har dimensionen ϕ 380 mm, vilket ger följande skalningsfaktorer:

$$\lambda_1 = 5,26 \quad \lambda_2 = 3,16$$

Avbördningsekvationen uppskalas enligt följande:

$$\begin{aligned} \frac{q_p}{q_m} &= \lambda^{2,5} & \frac{h_p}{h_m} &= \lambda \\ \left. \begin{aligned} q_m &= \frac{q_p}{\lambda^{2,5}} \\ h_m &= \frac{h_p}{\lambda} \\ q_m &= \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot \mu_m h_m^x \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{q_p}{\lambda^{2,5}} = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot \mu_m \cdot \left(\frac{h_p}{\lambda}\right)^x \\ q_p &= \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot \frac{\lambda^{2,5}}{\lambda^x} \cdot \mu_m h_p^x & \frac{\lambda^{2,5}}{\lambda^x} \mu_m &= \mu_p \\ q &= \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot \mu_p \cdot h_p^x \end{aligned}$$

Efter tabellerna finns motsvarande avbördningskurvor uppritade för prototyperna.

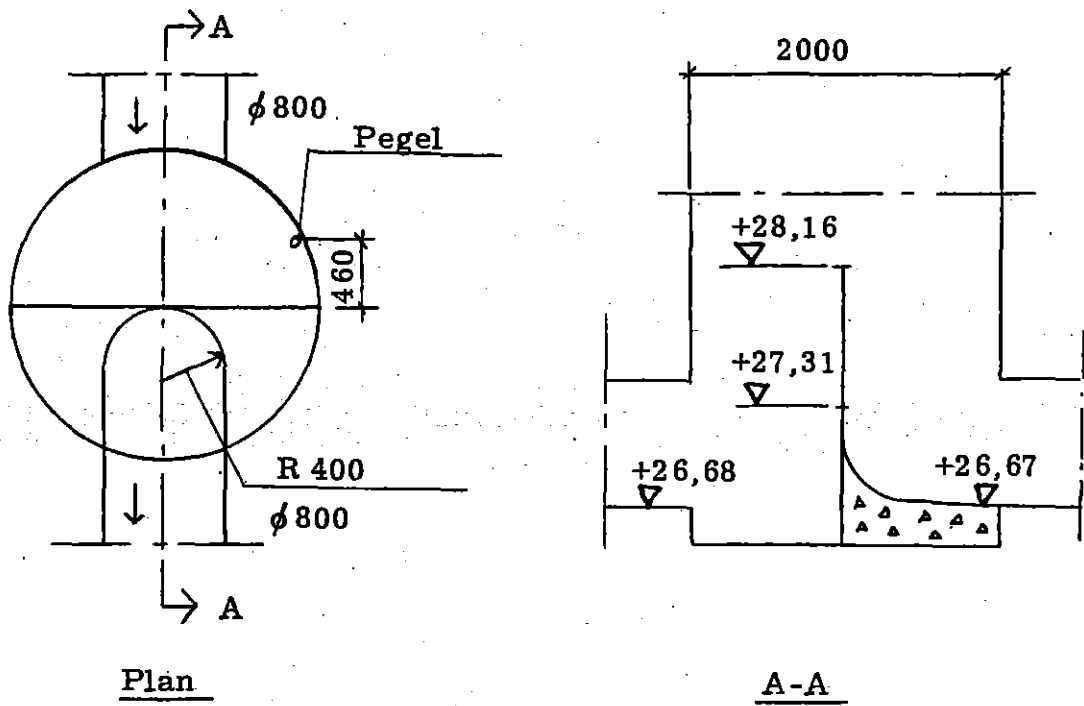


Fig. 6:1

Linköping 2. Prototyp

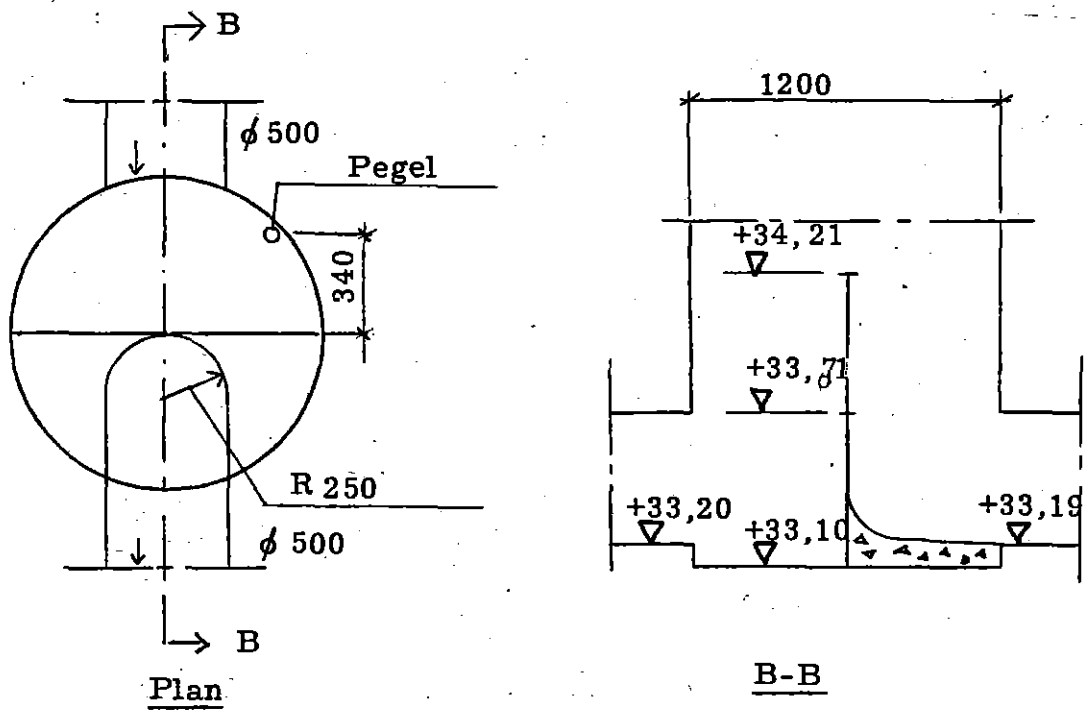


Fig. 6:2

Linköping 3. Prototyp

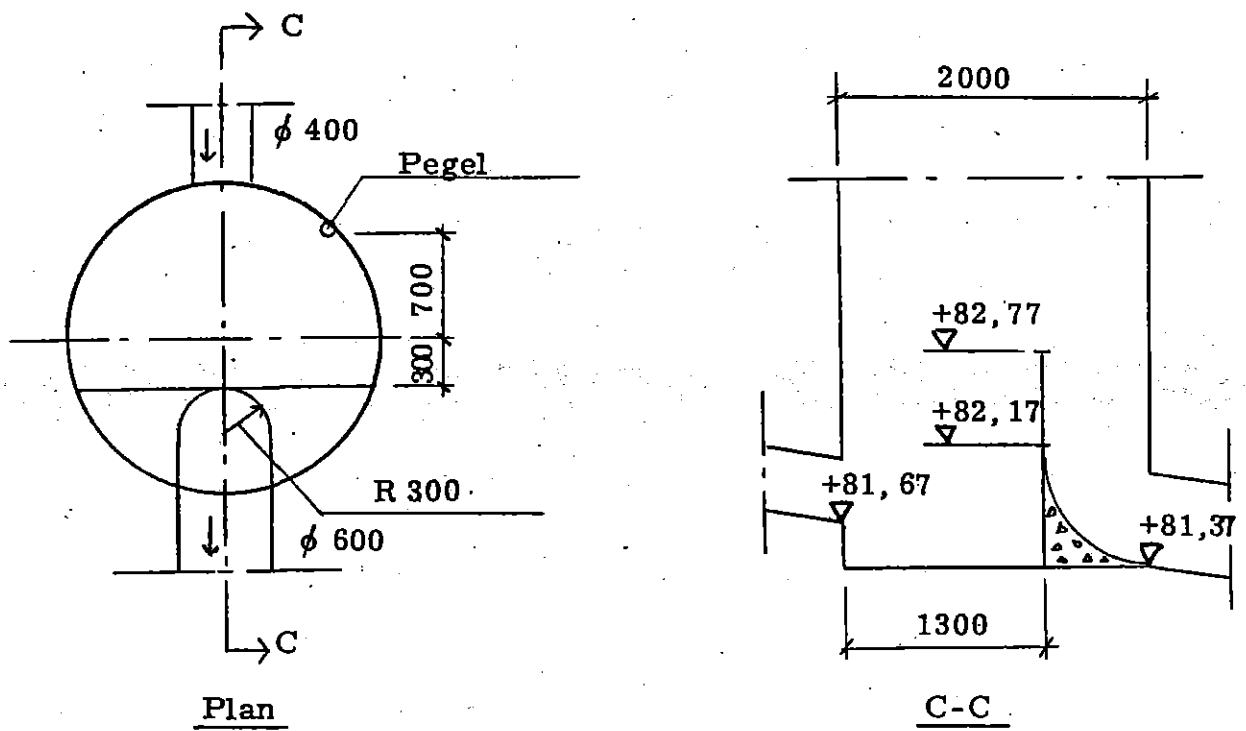


Fig. 6:3 Floda. Prototyp.

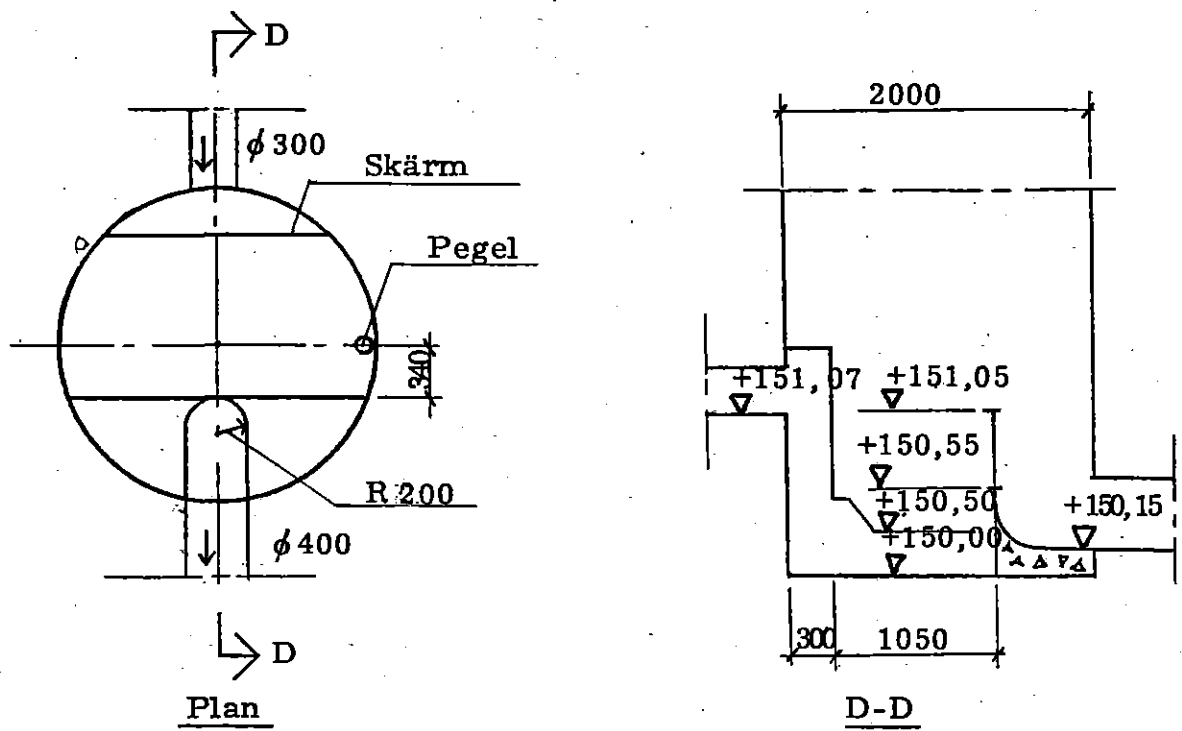


Fig. 6:4 Landvetter förvaltning.
Projekterad prototyp.

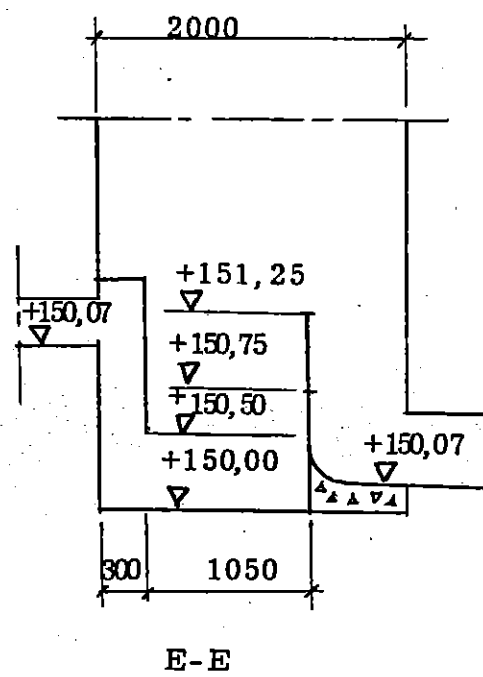
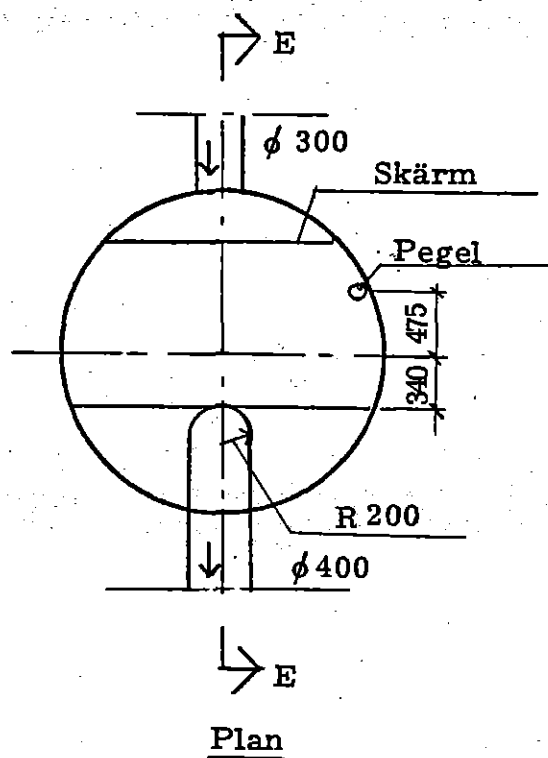


Fig. 6:5

Landvetter förvaltning.

Rekommenderad prototyp.

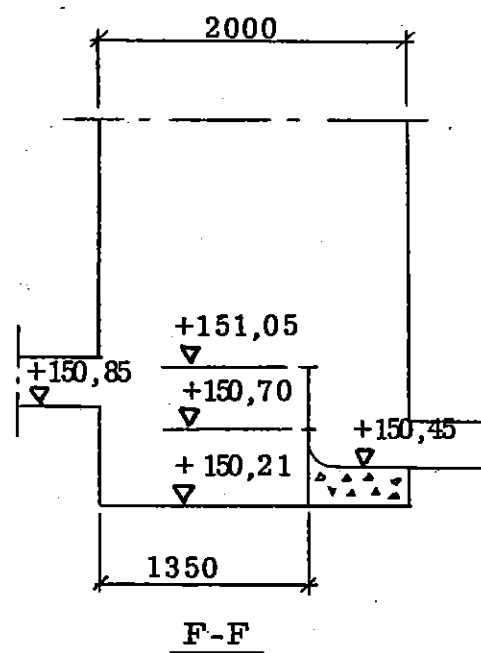
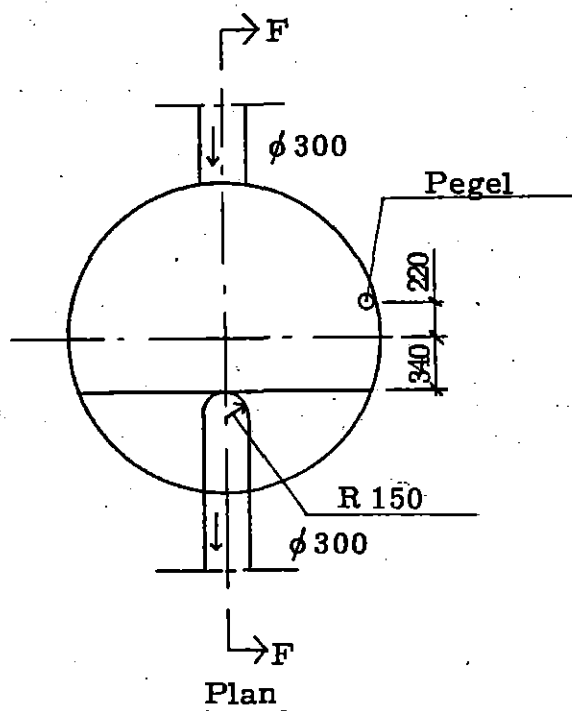


Fig. 6:6

Landvetter parkering.

Projekterad prototyp.

	Skal- faktor	Brunn dim. (mm)	a ^{x)} (mm)	Inkommandeledn. dimens. (mm)	lutning (%)	Utgående ledn. dimens. (mm)	lutning (%)	Höjdskillnad vg. in/vg. ut	Överfallets höjd över vg. inlopp	μ	q (Flöde)
<u>LINKÖPING 2</u>	5,26										
Prototyp		2000	460	800	0,5	800	0,5	10 mm	+630	0,5436	$\frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,5436 h_p^{2.3079}$
Nedskalade värden		380	87	152	0,5	152	0,5	2 mm	+120		
Modellen		380	90	152	0,5	152	0,5	0 mm	+128	0,3951	$\frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,3951 h_m^{2.3079}$
<u>LINKÖPING 3</u>	3,16										
Prototyp		1200	340	500	0,9	500	0,87	10 mm	+510	0,4923	$\frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,4923 h_p^{2.3080}$
Nedskalade värden		380	108	158	0,9	158	0,87	3 mm	+161		
Modellen		380	90	152	0,9	152	0,87	0 mm	+178	0,3948	$\frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,3948 h_m^{2.3080}$
<u>FLODA</u>	5,26										
Prototyp		2000	1000	400	15,1	600	15,1	300 mm	+500	0,4913	$\frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,4913 h_p^{2.2812}$
Nedskalade värden		380	190	76	15,1	114	15,1	57 mm	+95		
Modellen		380	155	84	15,1	120	15,1	56 mm	+104	0,3416	$\frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,3416 h_m^{2.2812}$

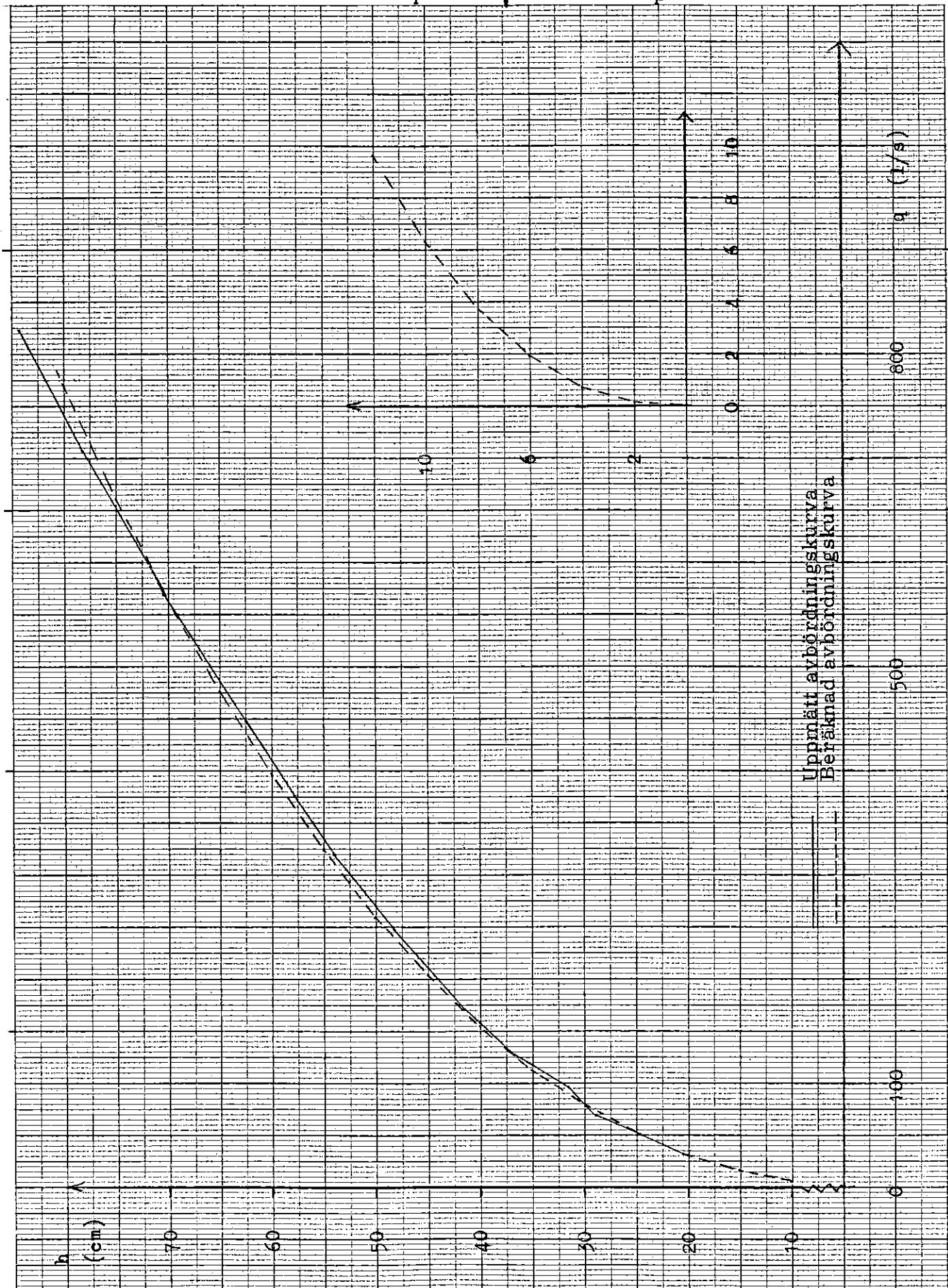
x) Mätpunktens vinkelräta avstånd från överfallet

	Skal- faktor	Brunn dim. (mm)	a ^{x)} (mm)	Inkommande ledn. dimens. lutning (mm) (%)	Utgående ledning dimens. lutning (mm) (%)	Höjdskillnad vg.in/vg. ut	Överfallets höjd över vg. inlopp	μ	q (Flöde)		
<u>LANDVETTER FÖRVALTNING</u>	5,26										
Prototyp		2000	340	300	-	400	-	920 mm	-520	0,4701	$\frac{8}{15} \sqrt{2g} 0,4701 h_p^{2,1517}$
Nedskalade värden		380	65	57	-	76	-	175 mm	- 99		
Modellen		380	155	59	0,5	84	0,5	267 mm	-177	0,2637	$\frac{8}{15} \sqrt{2g} 0,2637 h_m^{2,1517}$
Rekommenderad prototyp	5,26	2000	815	300	---	400	--	920 mm	-325	0,5681	$\frac{8}{15} \sqrt{2g} 0,5681 h_p^{2,3257}$
Nedskalade värden		380	155	57	--	76	--	175 mm	- 62		
Modellen		380	155	59	0,5	84	0,5	267 mm	-140	0,4253	$\frac{8}{15} \sqrt{2g} 0,4253 h_m^{2,3257}$
<u>LANDVETTER PARKERING</u>	5,26										
Prototyp		2000	560	300	--	300	--	400 mm	-150	1,9780	$\frac{8}{15} \sqrt{2g} 1,9780 h_p^{2,7904}$
Nedskalade värden		380	106	57	--	57	--	76 mm	- 29		
Modellen		380	126	59	0,5	59	0,5	80 mm	- 30	3,2039	$\frac{8}{15} \sqrt{2g} 3,2039 h_m^{2,7904}$

x) Mätpunktens vinkelräta avstånd från överfallet

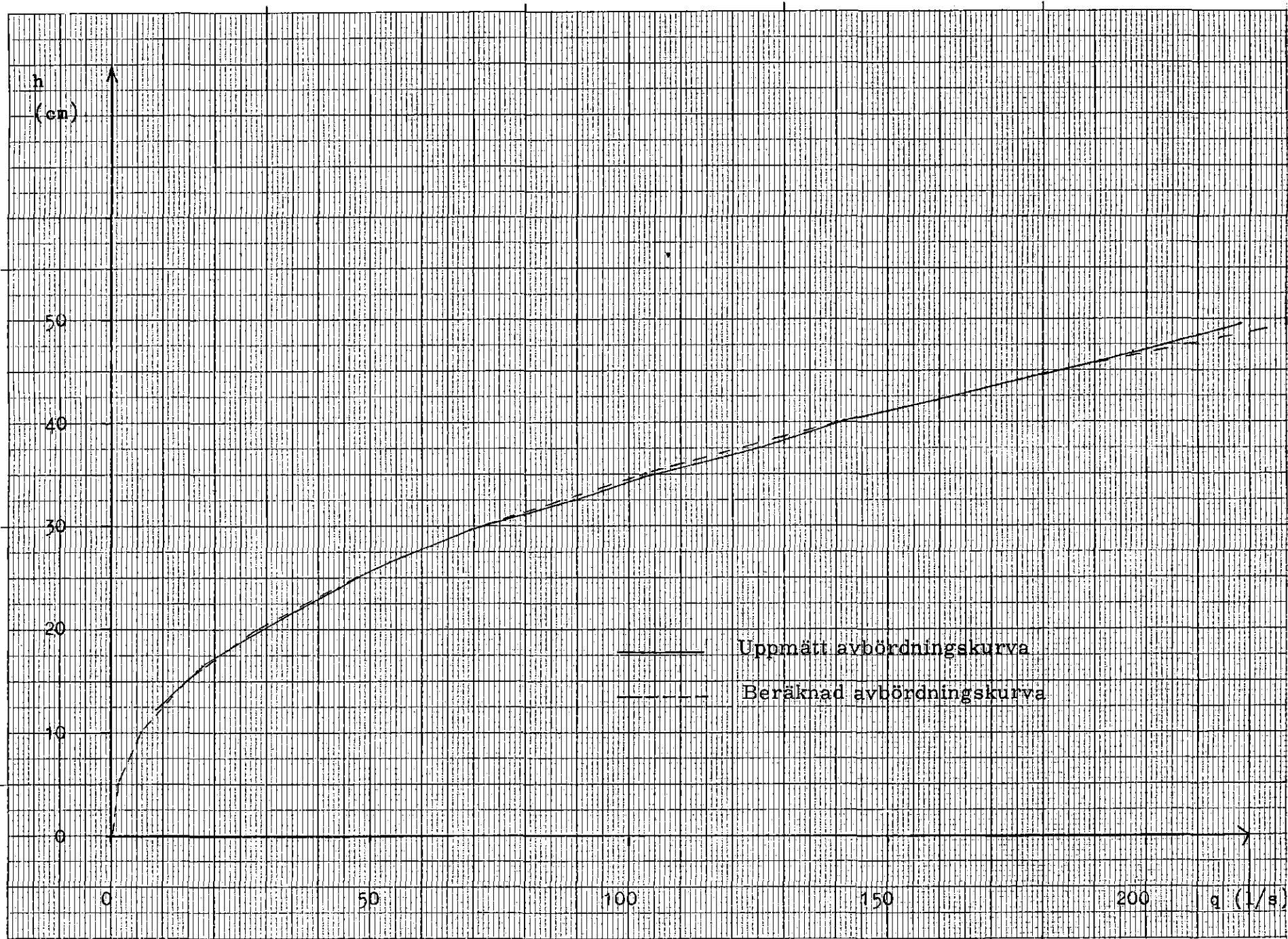
Kalibreringskurva för
LINKÖPING 2

Avbördningskurva $q_p = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,5436 h_p^{2.3079}$



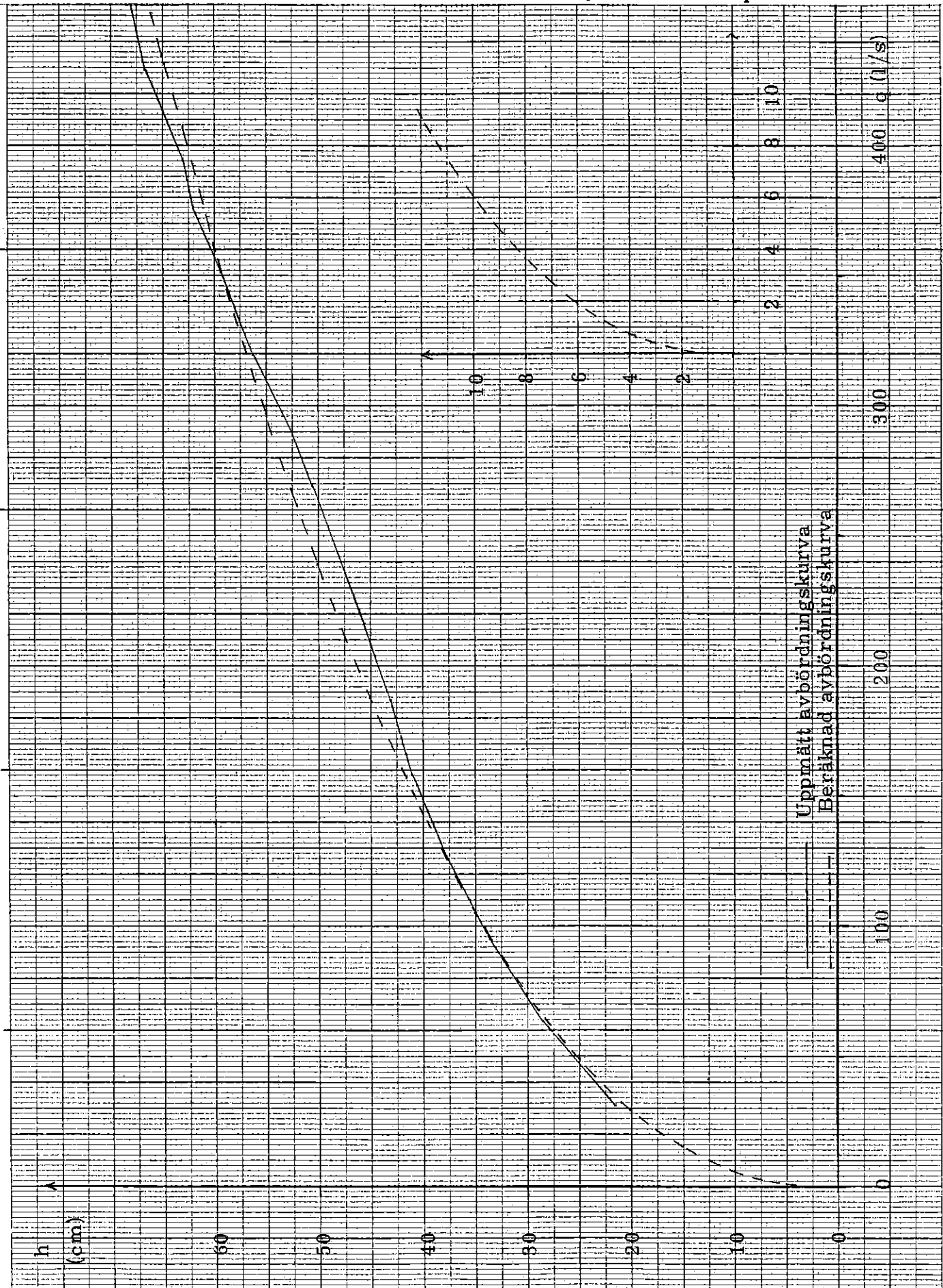
Kalibreringskurva för
LINKÖPING 3

Avbördningskurva $q_p = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,4923 h_p^{2.3080}$



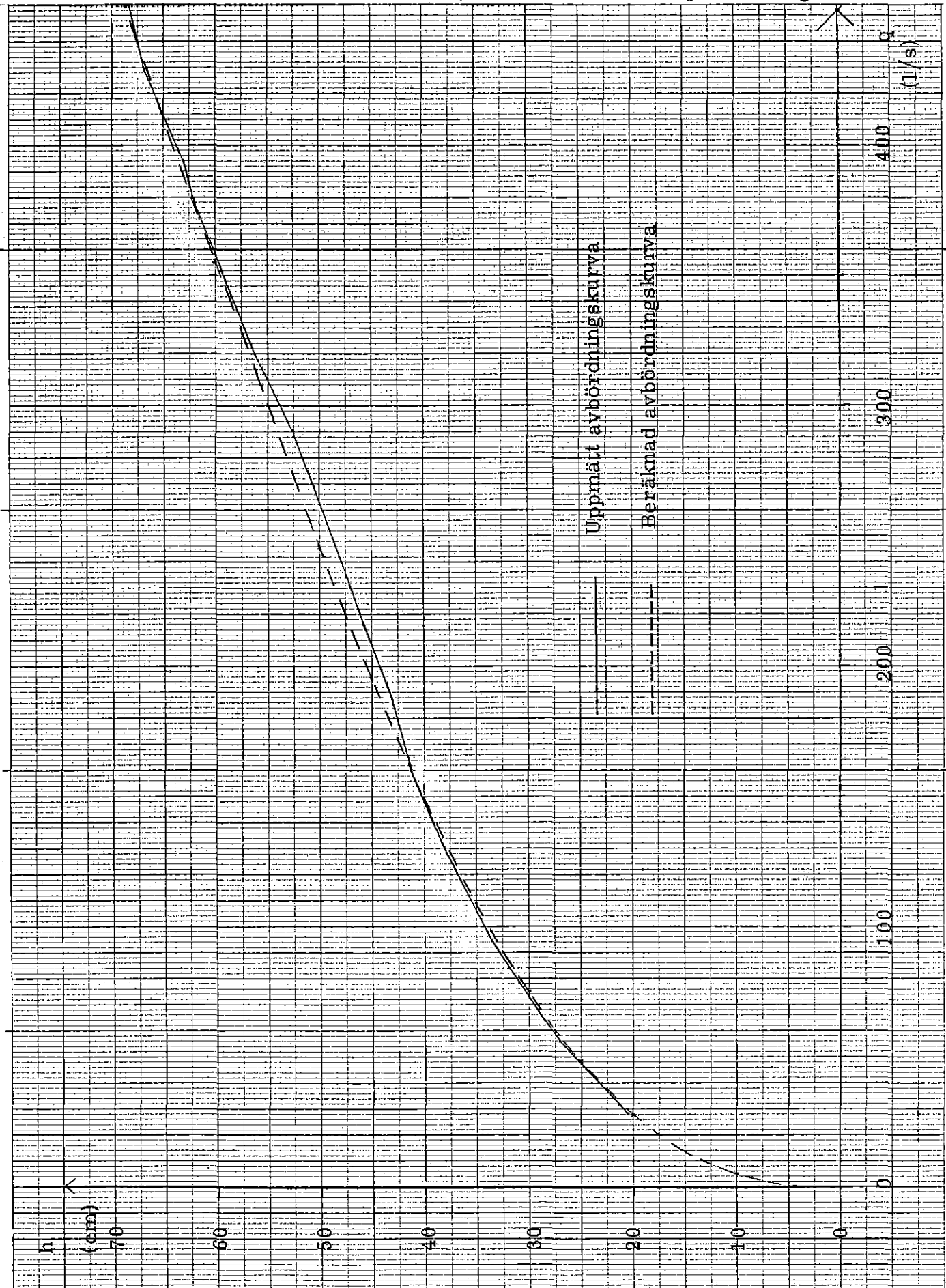
Kalibreringskurva för
FLODA

Avbördringsekvation $q_p = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,4913 h_p^{2.2812}$



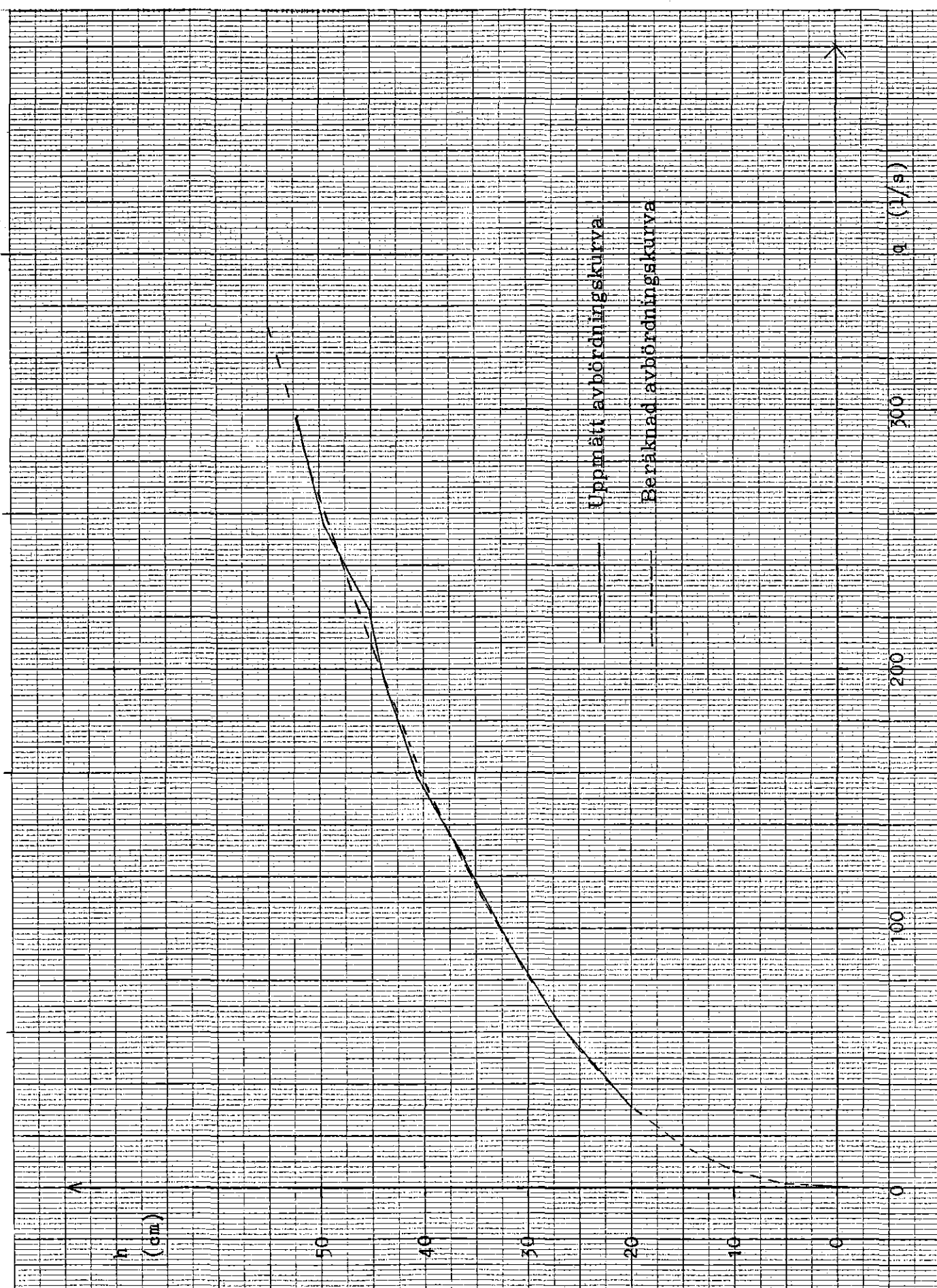
Kalibreringskurva för
FLODA

Avbördringsekvation $q_p = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,66 (h_p - 0,14 \frac{v^2}{2g})^{2,5}$



Kalibreringskurva för
LANDVETTER FÖRVALTNING (föreslagen prototyp)

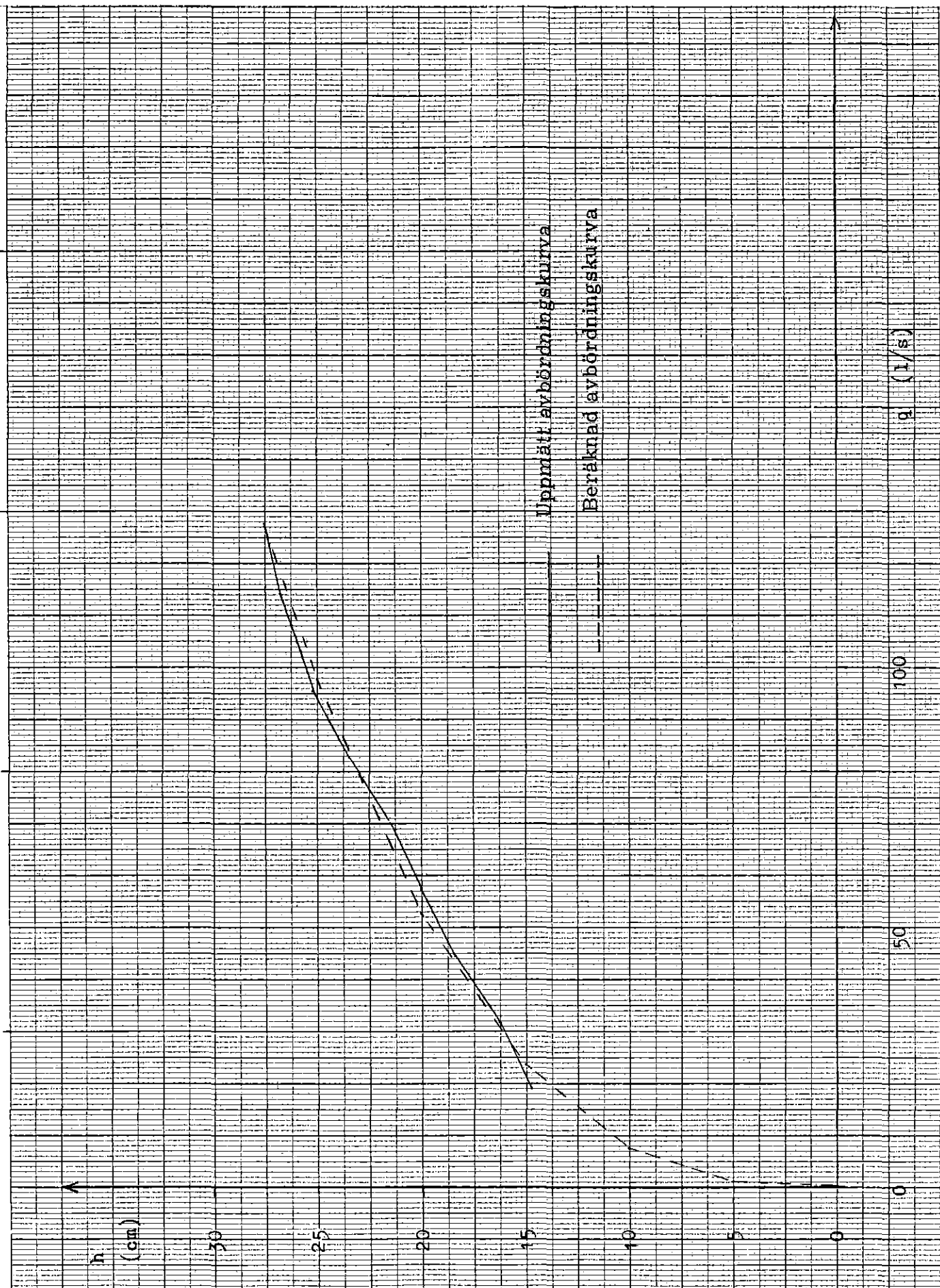
Avbördringsekvation $q_p = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 0,5681 h_p^{2.3257}$



Kalibreringskurva för
LANDVETTER PARKERING

98.

Avbördringsekvation $q_p = \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot 1,9780 h_p^{2.7904}$



REFERENSER

- [1] Klas Cederwall, Anders Sjöberg: Hydraulik, Chalmers Tekniska Högskola, Inst. f. vattenbyggnad, Intern skrift nr 6, 1969.
- [2] Klas Cederwall, Peter Larsen: Hydraulik för väg- och vattenbyggare. Liber Läromedel, Lund, 1976.
- [3] M.G. Bos: Discharge measurement structures. Delft Hydraulics Laboratory, Publication No. 161, May 1976.