



Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola

Department of Hydraulics
Chalmers University of Technology

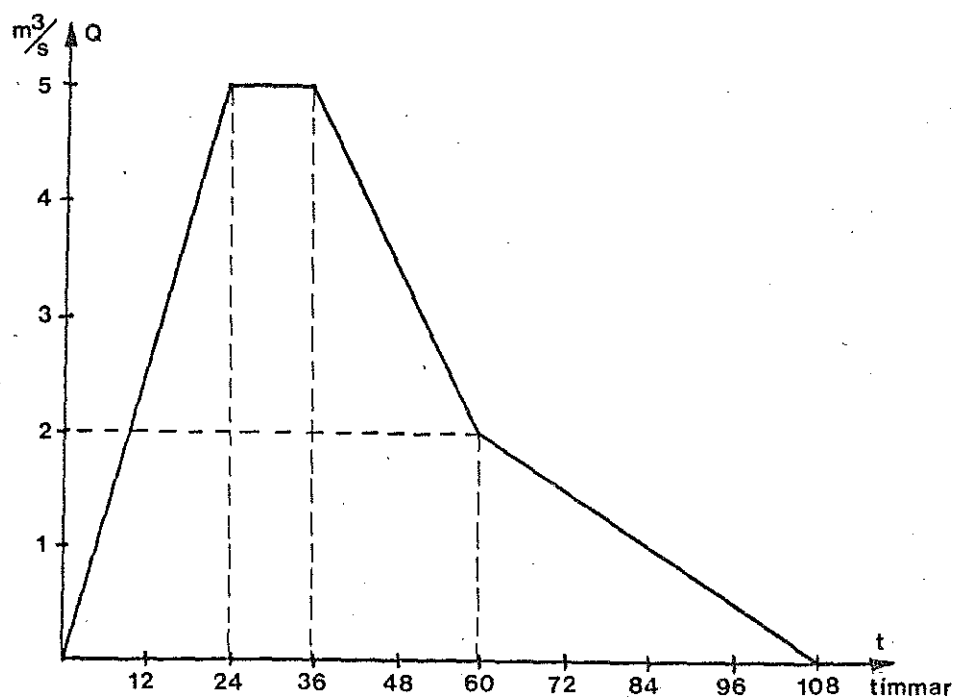
LANDVETTERSJÖN

Tillrinningen analyserad
m.h.a. enhetshydrografmetoden

av

Per Hilmersson

Per Lerjefors



Examensarbete
Nr. 1984:4

Göteborg 1984

Adress: Institutionen för Vattenbyggnad
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg

Telefon: 031/81 01 00

FÖRORD

Föreliggande examensarbete, Landvettersjön tillrinningen analyserad m h a enhetshydrografmetoden, har utförts vid Institutionen för vattenbyggnad på Chalmers tekniska högskola under hösten 1984.

Det är vår förhoppning att vårt arbete ska underlätta regleringen av Landvettersjön.

Vi vill tacka följande personer:

- Våra handledare Steffen Häggström Inst. för vattenbyggnad och C-G Göransson V B B för värdefulla synpunkter på arbetets utformning.
- Bengt Carlsson på Vattenbyggnadslaboratoriet för hjälp med mätutrustning.
- Joe Danielsson på Papyrus för information om sjösystemets reglering.
- Jan Höllmark, dammvakt vid Mölnlycke Fabriker som fört protokoll över luckinställningar m m.

Göteborg 1985-02-04

Per Hilmerzon Per Lerjefors

INNEHÅLL

	<u>sida</u>
SAMMANFATTNING	5
1 INLEDNING	6
1.1 Bakgrund till examensarbetet	6
1.2 Problemkaraktistik	6
1.3 Examensarbetets inriktning	7
2 OMRÅDESBESKRIVNING	8
2.1 Geografisk beskrivning	8
2.2 Geologisk beskrivning	9
2.3 Sjöar och avrinningsområden	11
2.3.1 Stensjön-Rådasjön	12
2.3.2 Landvettersjön (Gröen)	13
2.3.3 Öjesjön	14
2.3.4 Hornasjön	14
2.3.5 Vällsjön	14
2.3.6 Sturvasjön	15
2.3.7 Lilla Härsjön	15
2.3.8 Stora Härsjön	16
2.3.9 Nedsjöarna	16
2.4 Sammanställning av regleringsmagasin	18
3 ENHETSHYDROGRAF	19
3.1 Enhetshydrografmetoden	19
3.2 Teoretisk modell	20
4 FLÖDESBERÄKNINGAR	22
4.1 Beskrivning av området vid Mölnlycke fabriker	22
4.2 Flöden genom luckorna	23
4.2.1 Lucka 1 och 2	23
4.2.2 Lucka 3	24
4.3 Nivåskillnad	25
4.4 Tillflöden till Landvettersjön	27
4.4.1 Beräkning av utflödet	27
4.4.2 Beräkning av magasinförändringen	28
4.4.3 Tillflöden	28

		sida
5	ENHETSHYDROGRAF FÖR LANDVETTERSJÖN	30
5.1	Basflöde	30
5.2	Avrinningskoefficienter	32
5.2.1	Metod 1	34
5.2.2	Metod 2	35
5.2.3	Sammanställning	36
5.3	Studium av tillflödet	37
5.4	Antagen enhetshydrograf	41
6	DIAGRAM OCH PRAKTIKFALL	44
6.1	Avbördningsdiagram	44
6.2	Nivåskillnadsdiagram	46
6.3	Diagram för beräkning av magasins- förändring och tillflöden	47
6.3.1	Diagram för beräkning av maximalt tillflöde	47
6.3.2	Magasinsförändring via $\Delta Q_{\max}$	48
6.3.3	Magasinsförändring direkt från nederbörd	49
6.3.4	Diagram för bestämning av tid till magasinsmax	49
6.3.5	Diagram för bestämning av tillflöde som funktion av utflöde och magasins- förändring	51
6.3.6	Diagram för bestämning av magasins- förändringens tidsförlopp	51
6.4	Superponeringsfaktor,	52
6.5	Basflöde	53
6.6	Praktikfall 1. Enkelt regn	53
	Praktikfall 2. Komplex regn	59
7	MODELLEN JÄMFÖRD MED VERKLIGA VARIATIONER	62
7.1	Oktober 2, 1984	62
7.2	November 2, 1984	66

		sida
8	REGLERING	68
8.1	Grundprinciper för föreslagen reglering enligt VBB:s PM av 1935-11-20	68
8.2	Nuvarande förhållanden och förutsättningar för reglering	68
8.3	Förslag till tappningsregler	69
8.4	Praktisk bestämning av erforderlig tappning från Landvettersjön enligt föreslagna tappningsregler	70

BILAGOR

A	Karta över Mölndalsåns avrinningsområde	A1
B	Mätutrustning, Data	B1
C	Beräkningar	C1
D	Nivåer och flöden	D1
E	Diagram 1-11	E1
F	Fotografier	F1

BETECKNINGAR

<u>beteckning</u>	<u>innebörd</u>	<u>enhet</u>
q	flöde	$\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$
μ	avbördningskoefficient	1
Q_{in}	tillflöde	m^3/s
Q_{ut}	utflöde vid Mölnlycke	m^3/s
A	avdunstning	m^3/s
Q_{netto}	nettotillflöde	m^3/s
Δs	magasinsförändring	cm
φ	avrinningskoefficient	1
V_{avr}	avrunnen vattenvolym	m^3
V_{tot}	nederbörd	m^3
n	nederbörd	mm
ΔQ_{ut}	utflöde - basflöde	m^3/s
ΔQ_{max}	tillflödesökning	m^3/s
ψ	superponeringsfaktor	1
H_1	vattennivå vid luckorna	m
H_2	vattennivå i Landvettersjön	m
$\Sigma h_f, \Delta H$	friktionsförlust	m

Sammanfattning

Landvettersjön är en relativt liten sjö i Mölndalsån. Den har ett litet regleringsmagasin som snabbt fylls och även resulterar i översvämningar efter häftiga och långvariga regn. Detta är ett problem för Mölnlycke fabriker som ligger vid sjöns utlopp.

I detta arbete har vi tagit fram anvisningar för hur man skall tappa från Landvettersjön så att regleringsmagasinet utnyttjas på bästa sätt och översvämningar undviks. Det är då viktigt att man vet vilken tillrinning som följer efter ett kraftigt regn. Detta har vi tagit fram med den s.k. enhets-hydrografmetoden. Markens fukttinnehåll har stor betydelse för hur stor andel av regnet som rinner av via Mölndalsån. Detta har vi analyserat speciellt mha avrinningskoefficienter.

Resultaten redovisas i diagramform som bl.a. visar att de största flödena uppträder ca 1 dygn efter regntillfället. Resultaten baseras på mätningar under 1983-84 och har kontrollerats med oberoende data från hösten 1984 som visat god överensstämmelse mellan tillrinning beräknad med våra metoder och uppmätta flöden.

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund till examensarbetet

Mölnlycke fabriker har sedan länge haft problem med översvämningar. Mölndalsån rinner strax nedströms Landvettersjön genom fabriksområdet. Vid höga flöden dämmer fabriken med översvämning som följd. 1970 var det en svår översvämning efter en snösmältning. Det uppstod då stora skador på byggnader i fabriksområdet. Normalt orsakas annars översvämningar av höstregn i kombination med hög markfuktighet.

1.2 Problemkaraktistik

Reglering av Landvettersjön måste ske dels med hänsyn till dess begränsade magasin, dels med hänsyn till nedströms liggande delar av Mölndalsån.

En liten regleringsamplitud ger Landvettersjön en liten magasinskapacitet. Den lilla magasinvolymen i förhållande till avrinningsområdets storlek gör sjön ytterst benägen att överdämmas. För att klara en fullgod reglering krävs därför goda kunskaper om förhållandet mellan regn-tillflöde-magasinsförändring.

Flödena från Landvettersjön måste begränsas med hänsyn till nedströms liggande Råda- och Stensjön. Dessa sjöar är reglerade av vattendom och kan vid stora inflöden svämma över. Runt sjöarna finns rikligt med bebyggelse varför översvämningar orsakar stora materiella skador. Utflödet från Råda- och Stensjön begränsas i sin tur av avbördningskapaciteten från Stensjön. Denna uppgår endast till ca $9 \text{ m}^3/\text{s}$ vid dämningens gränsen.

1.3 Examensarbetets inriktning

Arbetet syftar till att utifrån nederbördsmätning förutsäga tillrinningen till sjön. Vi har därför arbetat enligt följande program.

1. Studium av sambandet mellan nederbörd och tillflöde till sjön, utgående från mätningar oktober 83-juni 84. Resultatet sammanfattas i form av en enhetshydrograf.
2. Utformning av en modell för tappning och magasinering, vilken åskådliggörs i diagramform.
3. Kontroll av enhetshydrograf och tappningsmodell för hösten 1984.
4. Synpunkter på reglering av Landvettersjön.

2 OMRÅDESBESKRIVNING

Delar av detta kapitel är hämtade från Examensarbete i vattenbyggnad 1972:9 av Hermansson, Pettersson och Tolstoj [8].

Höjder är angivna i Göteborgs lokala system, vilket har ett referensplan 10,14 m under system 1900.

2.1 Geografisk beskrivning

Mölndalsån avvattnar ett flertal sjöar på västsluttningen av Sydsvenska Högländet. Mölndalsån rinner upp vid Östra och Västra Nedsjöarna i trakten av Hindås ca 3 mil öster om Mölndal, varefter den fortsätter i västsydvästlig riktning. Uppströms Härryda mottager Mölndalsån vatten från Sturva-, Här- och Hornasjöarna. Den fortsätter genom Landvetter och genomrinner där Landvettersjön. Vid utloppet från Landvettersjön passerar ån Mölnlycke fabriker.

Längre nedströms rinner ån genom Rådasjön och Stensjön. Från Stensjöns utlopp faller ån kraftigt genom Mölndals Kvarnby ned till Forsåker. Här mottar Mölndalsån vatten från Äva- och Balltorpsbäcken. Ån ändrar här riktning mot NNV och rinner ytterligare ca 7 km genom tätbebyggda delar av Mölndal och Göteborg fram till Gårdadämmet (genom bitvis kulverterade avsnitt). Mölndalsåns vatten rinner från dämmet i den ca 2 km långa, delvis kulverterade Gullbergsån, som mynnar i Säveån ca 300 m från dess utlopp i Göta Älv.

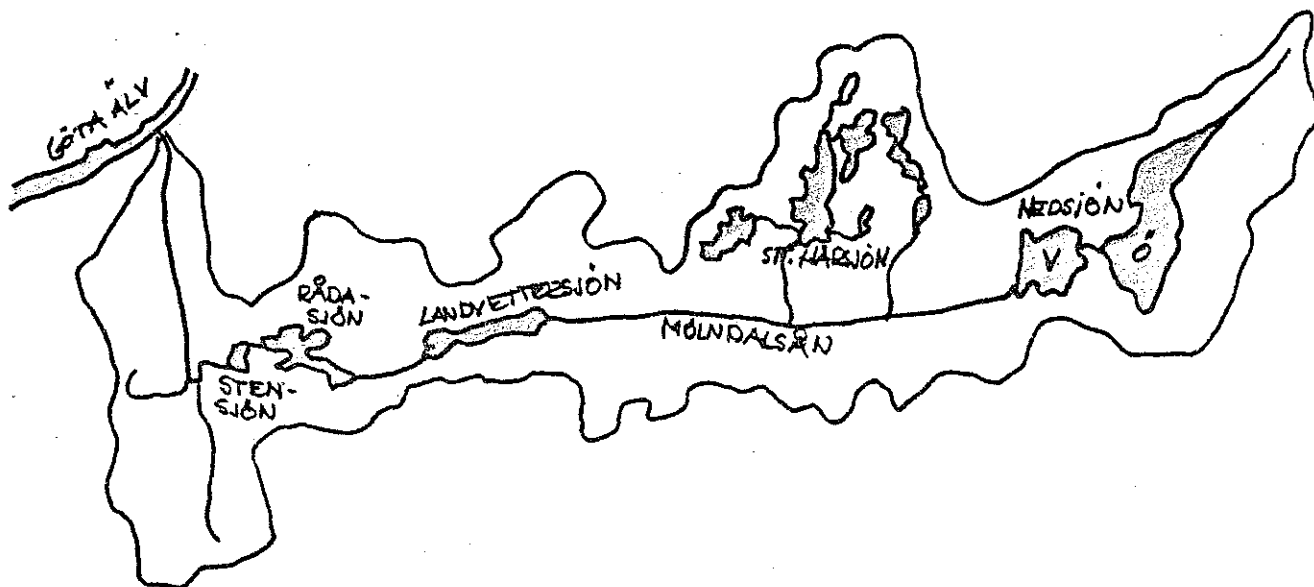


Fig 2.1 Mölndalsåns avrinningsområde

2.2 Geologisk beskrivning

Berggrunden inom området består av den grå sydsvenska gnejsen. Omkring 1200 f kr började inlandsisen dra sig tillbaka från området och Västerhavet gick då in och täckte hela västra Sverige. Vid tiden för Litorinahavets första maximum (4500 f kr) gick Marina Gränsen i trakten av Hindås där Mölndalsån rinner upp. Vid inlandsisens tillbakadragande bildas ett flertal ändmoräner inom området. Den s k Delsjöplatån ligger också delvis inom Mölndalsåns avrinningsområde. Området är till följd av ändmoränerna starkt kuperat. Marken är rik på kärr och mindre vattensamlingar.

Jordarterna inom avrinningsområdet är till största delen lera, mjäla, finmo och morän. För övrigt är andelen berg i dagen betydande.

JORDARTER

MORÅN

LERÄ

ISÄLVSMATERIAL

KALT BERG

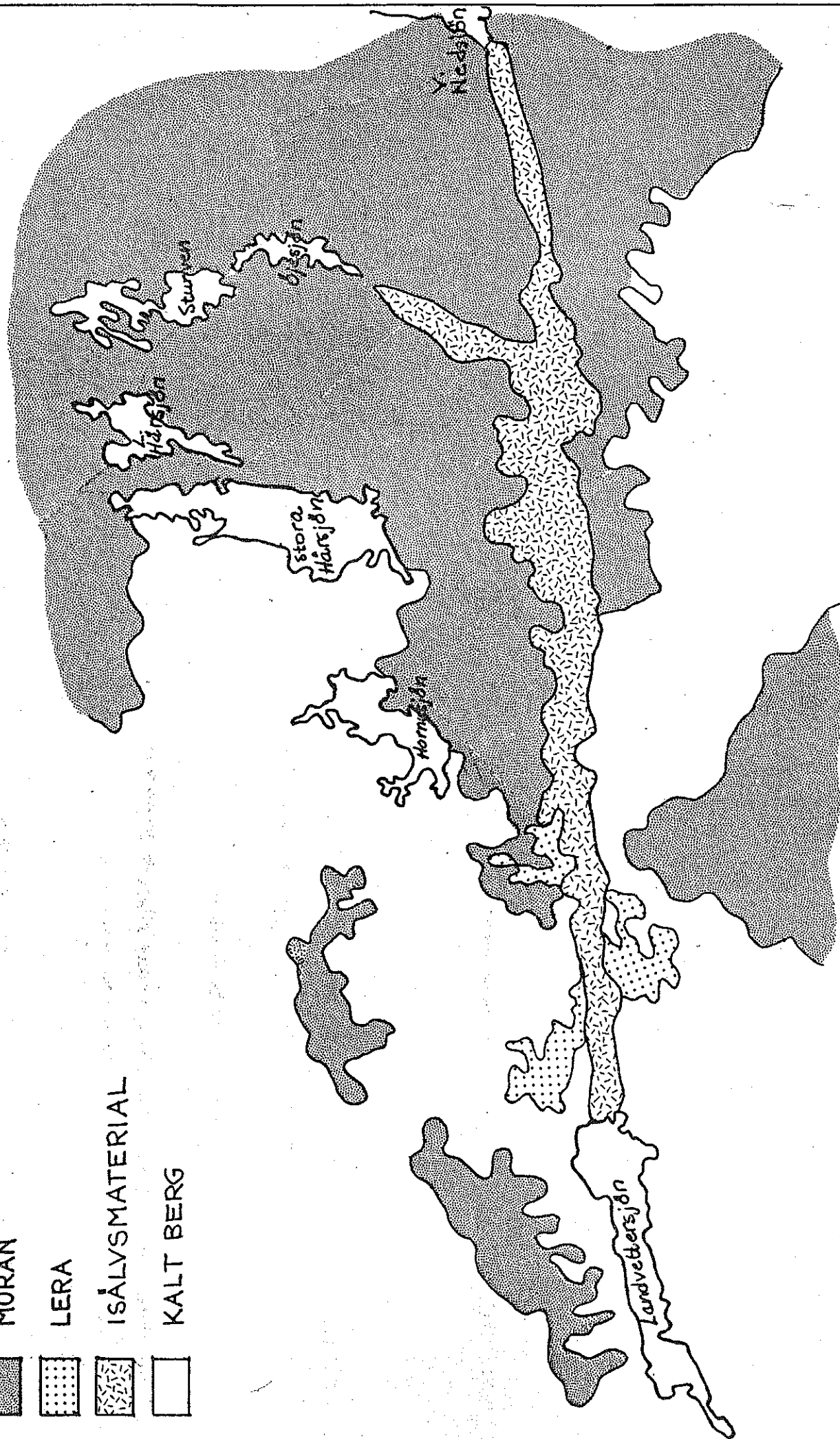


Fig 2.2 Geologisk jordartskarta

2.3 Sjöar och avrinningsområden

Mölndalsåns totala avrinningsområde är 268 km² och sjöprocenten uppgår till 10%. Vid Stensjöns utlopp är avrinningsområdets storlek 210,3 km² och sjöprocenten är ca 12%.

Förteckning över sjöar inom området.

Reglerade sjöar.

	sjöyta	h.ö.h.	Avrinningsområde	
			eget	totalt
Ö.+V. Nedsjön	10.4 km ²	120.4 m	62.6 km ²	62.6 km ²
Sturvensjöarna	1.1 "	105 "	3.8 "	3.8 "
Vällsjön	0.3 "	103 "	2.8 "	2.8 "
Hornasjön	1.1 "	102.3 "	3.5 "	3.5 "
Lilla Härsjön	1.0 "	93 "	7.5 "	7.5 "
Stora Härsjön	2.7 "	89 "	12.9 "	26.7 "
Öjesjön	0.4 "	102.5 "		
Landvettersjön	2.5 "	54.5 "	91.9 "	185.0 "
Stensjön	0.4 "	49.3 "	25.3 "	210.3 "
Rådasjön	2.0 "	49.4 "		

De olika avrinningsområdena har uppritats med hjälp av topografisk karta i skala 1:50 000, varefter avrinningsområdenas och sjöytornas storlek har tagits fram genom planimetrering.

Som jämförelse kan nämnas att då VBB år 1935 utförde en tappningsplan för Mölndalsån, så erhöles avrinningsområdets storlek vid Stensjöns utlopp till 210.4 km². Vidare anger SMHI i sin utredning 1964 angående HHq i Mölndalsån att samma avrinningsområde har storleken 203 km². Stor lokal avvikelse beträffande gränsen för Nedsjöarnas avrinningsområde vid de olika mätningarna bör påpekas.

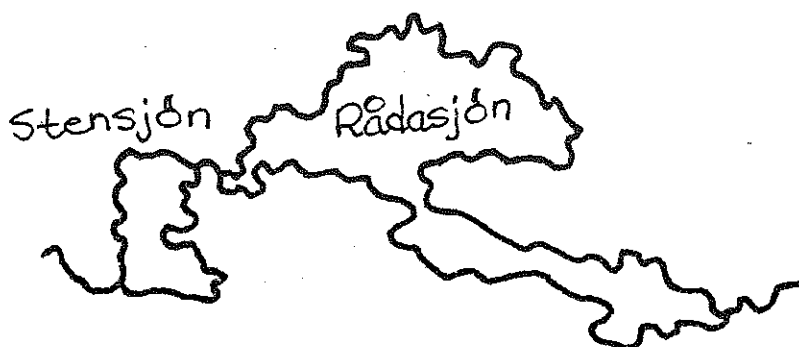
Beskrivning av reglerade sjöar:

2.3.1 Stensjön-Rådasjön

Stensjön och Rådasjön är de längst ner liggande sjöarna inom Mölndalsåns avrinningsområde uppströms Mölndal. De är förenade genom ett smalt sund, Ståloppet.

Data:

Sjöarea	Stensjön	0.4 km ²
	Rådasjön	2.0 "
Avrinningsområde	Stensjön-Rådasjön	
	Eget	25.9 km ²
	Totalt	210.3 "



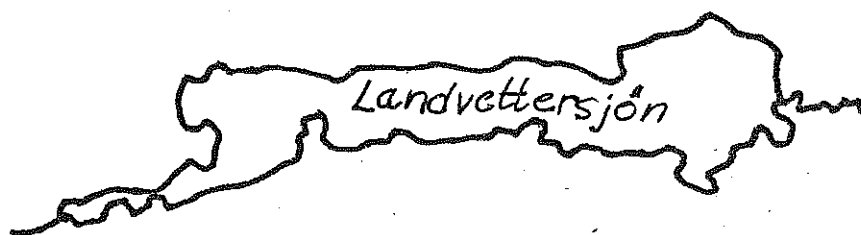
I en vattendom från 10/2 1937 fastslogs Råda- Stensjöns dämmningsgräns till +59.73 och sänkningsgränsen till +59.15.

2.3.2 Landvettersjön (Gröen)

Landvettersjön har det största egna avrinningsområde av de reglerade sjöarna inom Mölndalsåns avrinningsområde. Sjön mynnar i en liten tjärn, Massetjärn, strax uppströms Rådasjön.

Data:

Sjöarea	2.5 km ²
Avrinningsområde, eget	91.9 "
Avrinningsområde, totalt	185.0 "



Regleringen sköts av Mölnlyckebolaget och Mölndals kvarnby enligt hävd. Av ålder har regleringen skett upp till ett dämningssmärke +64.93. Sänkningsgränsen för att Mölnlycke Väfveriaktiebolag skulle få fabrikationsvatten och vatten till kraftförsörjning var +64.52. Detta ger en amplitud av 41 cm.

Sjön har inte för inte fått namnet Gröen, dvs den gror mycket och hastigt. På 24 timmar "växte" den i april 1970 40 cm. Minitappning är vad Mölnlyckebolaget behöver för sin fabrikation (500 m³/dygn). Magasineringsförmågan hos Gröen är mycket liten i jämförelse med de högre upp liggande sjöarna. 40 cm:s amplitud i sjön motsvarar enbart 11 mm:s regn över sjöns avrinningsområde.

2.3.3 Öjesjön

Sturvensjöarna avvattnas genom Öjesjön.

Data:

Sjöareal 0.4 km²

Enligt vattendom av 15/2 1929 äger Kvarnbyn och Mölnlycke-bolaget rätt att framläppa det vatten, som avtappas från Sturvensjöarna. Öjesjön regleras enligt hävd. Någon reglering har ej skett på senare år.

2.3.4 Hornasjön

Hornasjön, som ibland också benämnes Homasjön, avvattnas genom Hornabäcken till Stora Härsjön.

Data:

Sjöareal 1.1 km²

Avrinningsområde 3.5 km²

Dämningshöjden är +113.83 och regleringsamplituden är 2.39 m enligt dom den 15/2 1929. Detta innebär att regleringsmagasinet uppgår till 2.63 milj m³. Maximal avtappning från sjön är 0,3 m³/s

2.3.5 Vällsjön

Vällsjön är den minsta reglerade sjön i Mölndalsåns avrinningsområde. Sjön avvattnas till Stora Härsjön.

Data:

Sjöareal 0.3 km²

Avrinningsområde 2.8 km²

Vällsjön regleras enligt dom av den 15/12 1931. Domen medger en amplitud på 2.91 m, vilket medför ett regleringsmagasin av 0.9 milj m³. Maximal tappning är 0.34 m³/s, utom då vattnet stiger till dämningssgränsen, då utskovet ska öppnas helt.

2.3.6 Sturvasjöarna

Stora Sturven avrinner genom ett sund till Lilla Sturven, som i sin tur avrinner genom en bäck till Öjesjön. Genom en upprensning av sundet mellan Sturvasjöarna år 1930 betraktas sjöarna som ett magasin.

Data:

Sjöareal	1.1 km ²
Avrinningsområde	3.8 km ²

Enligt dom den 15/12 1929 är regleringsamplituden 2.20 m, vilket ger ett vattenmagasin av 2.4 milj m³. Maximal tappning när sjöytan är under dämningssgränsen är 0.3 m³/s.

2.3.7 Lilla Härsjön

Lilla Härsjön avvattnas till Stora Härsjön.

Data:

Sjöareal	1.0 km ²
Avrinningsområde	7.5 km ²



Enligt vattendom den 30/11 1933 äger man rätt att reglera Lilla Härsjön med en amplitud av 3.01 m, vilket ger ett regleringsmagasin av 3.0 milj m³. Reglering sker dock med en amplitud av endast 1.5 m. Maximal avtappning under dämningssgränsen är 0.9 m³/s.

2.3.8 Stora Härsjön

Stora Härsjön mottager vatten från Lilla Härsjön, Vällsjön och Hornasjön. Sjön avleder sitt vatten genom Tvärån till Mölndalsån.

Data:

Sjöareal	2.7 km ²
Avrinningsområde (eget)	12.9 km ²
Avrinningsområde (totalt)	26.7 km ²

Dom att reglera Stora Härsjön med amplituden 2.20 m meddelades Mölndals Kvarnby med flera den 15/2 1929. Enligt denna dom gäller att minimitappningen i genomsnitt per vecka ska uppgå till 0.3 m³/s.

Stora Härsjön är den djupaste sjön i systemet. Sjön har lodats för Mölndals Kvarnbys räkning. Det största uppmätta djupet var 101 m. I anslutning till sjön ligger Härskogens friluftsgård, som är rikt frekventerad.



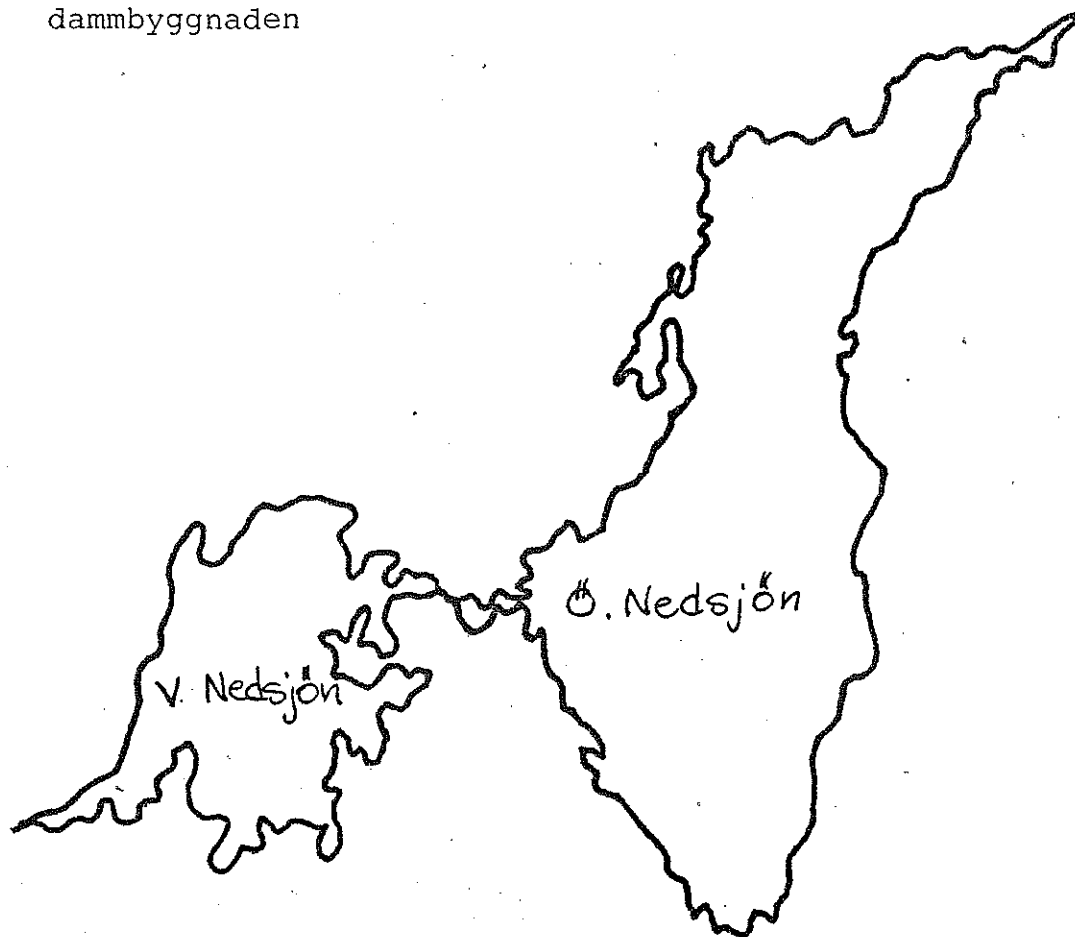
2.3.9 Nedsjöarna

Östra och Västra Nedsjöarna är Mölndalsåns källsjöar och är belägna i trakten av Hindås. Sjöarna är förenade genom ett sund.

Data:

Sjöareal	Östra Nedsjön	7.6 km ²
	Västra Nedsjön	3.2 km ²
Avrinningsområde (totalt)		62.6 km ²

Enligt utslag, meddelat av Askims, Västra och Östra Hisings samt Sävedalens häradsrätt, av den 30/7 1910 erhöll Mölndals Kvarnby rätt att innehålla vatten i sjöarna till en höjd av 3.15 m över grundstocken i dammbyggnaden



Denna rätt är bekräftad av Västerbygdens Vattendomstol genom dom meddelad den 17/12 1921 varigenom denna dämmningsgräns av +3.15 m fastställdes och dessutom sänkningsgränsen angavs till +0.30 m över i domen angiven grundstock. Enligt samma dom ska minimitappningen uppgå till $0.40 \text{ m}^3/\text{s}$ utom vid de tillfällena då magasinet är tomt. Vid vattenståndet 3.15 m och högre ska alla luckor vara öppna. I Nedsjöarna finns det ojämförligt största vattenmagasinet, 30.8 milj m^3 , och avrinningsområdets sjöprocent vid Västra Nedsjöns utlopp är 19.3%. Nedsjöarna utgör 45.7% av Möldalsåns sjöareal vid Stensjöns utlopp.

2.4 Sammanställning av regleringsmagasin

	Dämnings- gräns m	Sänknings- gräns m	Ampli- tud m	Area km ²	Magasin milj m ³	Vattendom
Nedsjöarna	131.94	129.09	2.85	10.4	30.8	17/12 1921
Sturvasjöarna			2.20	1.1	2.4	15/2 1929
Lilla Härsjön			3.01	1.0	3.0	30/11 1933
Stora Härsjön			2.20	2.7	5.9	15/2 1929
Vällsjön			2.91	0.3	0.9	15/12 1931
Hornasjön	113.83	111.44	2.39	1.1	2.6	15/2 1929
Landvettersjön	64.93	64.52	0.41	2.5	1.0	enligt hävd
Rådasjön			0.58	2.0	1.2	10/2 1937
Stensjön	59.73	59.15	0.58	0.4	0.3	10/2 1937
Öjesjön				0.4		enligt hävd

Den specifika magasinshöjden, definierad som den nederbördsmängd som åtgår för att fylla den aktuella sjön från sänkningsgränsen upp till dämningsgränsen vid ett regn som faller på den aktuella sjöns egna avrinningsområde har framräknats för följande sjöar:

Nedsjöarna	540 mm
Vällasjön	322 mm
Hornasjön	743 mm
Gröen	11 mm
Råda-Stensjön	58 mm

Av tabellen framgår att Landvettersjön är speciellt känslig för stora nederbördsmängder. Även om man ser Landvettersjön-Rådasjön-Stensjön som ett gemensamt magasin blir de mycket känsliga. Då krävs ett effektivt regn på 21 mm för att fylla magasinet.

3 ENHETSHYDROGRAF

3.1 Enhetshydrografmetoden

Med enhetshydrografmetoden kan man utifrån nederbörden beräkna avrinningsförloppet. Det går ej för ett naturligt område att teoretiskt få fram detta utan metoden måste baseras på mätningar av nederbörd och motsvarande avrinning. Viktiga faktorer som kommer in är markfuktighet som varierar kraftigt med tidigare nederbörd men också med avdunstningen dvs tidpunkt på året.

För att få fram en enhetshydrograf för området krävs följande:

1. Att man vet hur mycket och med vilken intensitet det har regnat. Vi samlade därför ihop regndata både från egna mätningar och från väderleksstationer.
2. Att man känner den till regnet kopplade tillrinningen. För att få tag i denna krävs:
 - a. - kännedom om utflödet från sjön. Detta bestäms av vattennivån vid luckorna samt av lucköppningarna. Vattennivån har vi registrerat med en pegel R1. Dammvakten har givit oss uppgifter om när och hur mycket han ändrar luckornas inställning.
 - b. - att vi vet hur magasineringen i sjön sker. Därför har vi registrerat vattennivån i sjön med pegel R2.

Fler upplysningar om mätutrustning och insamlade data lämnas i bilaga (B).

3.2 Teoretisk modell

Enhetshydrografen för ett område är definierad som avrinningshydrografen orsakad av ett enhetsregn med en given intensitet och varaktighet. Detta regn förutsätts vara likformigt fördelat i tiden och också likformigt fördelat över området.

I fig (3.1) finns enhetshydrografmetoden illustrerad. Antagandet görs, att om ett regn med en viss intensitet kommer att orsaka ett visst flöde, så kommer ett annat regn med en annan intensitet att orsaka ett flöde som står i proportion till det första flödet på samma sätt som intensiteterna står i proportion till varandra. Antagandet bygger på att båda regnen har samma varaktighet.

Som syns i fig (3.1) har ett enskilt regntillfälle delats i olika delar med varierande regnintensitet. Den totala hydrografen för regnet i fråga erhålls som summan av delarnas hydrografer. Till det på detta sätt beräknade flödet skall tillägg göras för basflödet och för ökningen av basflödet under det enskilda regnet.

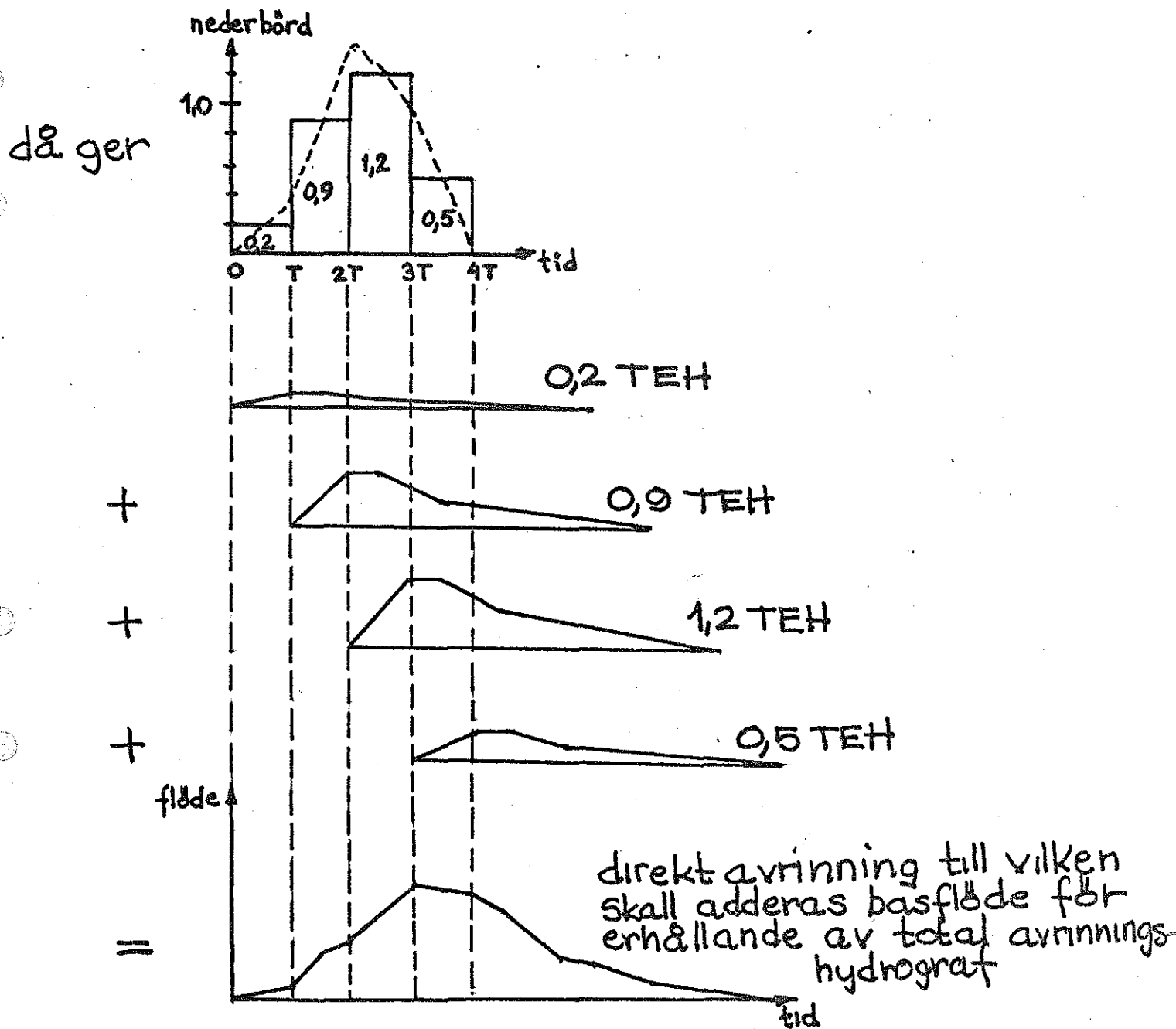
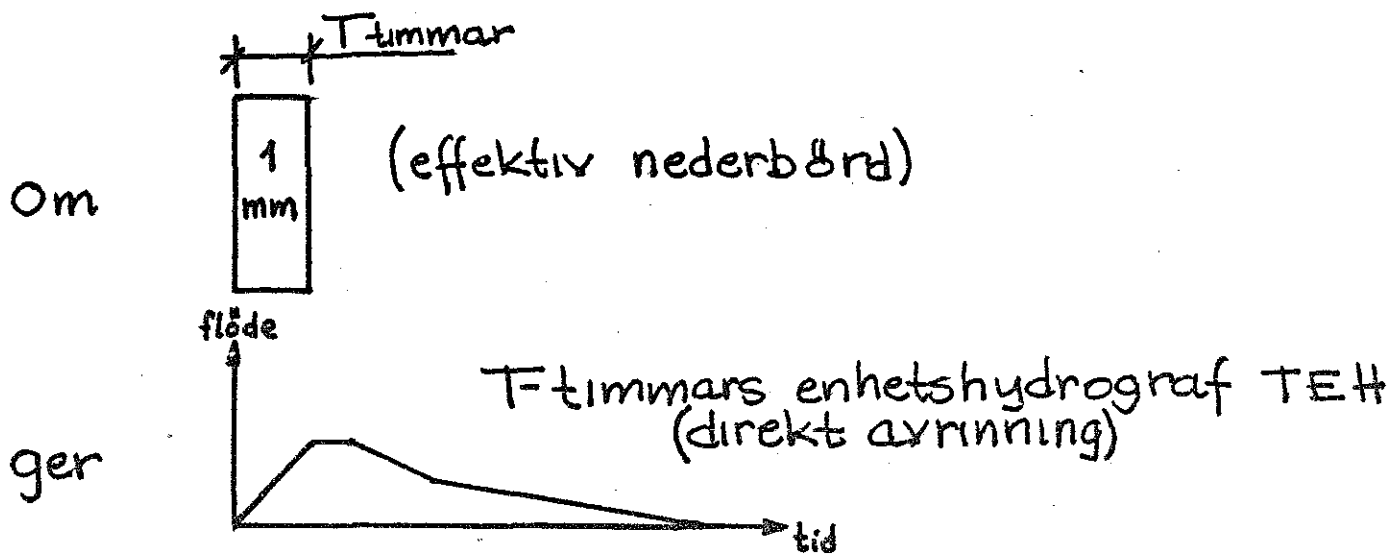


Fig 3.1 Illustration av enhetshydrografmetoden

4 FLÖDESBERÄKNINGAR

För att kunna beräkna tillrinningen till Landvettersjön och därigenom hydrografer behöver vi veta utflödet ur sjön och nivåförändringen i sjön. Att korrekt kunna ställa in luckorna vid sjöns utlopp är också en förutsättning för att reglering av sjön skall kunna utföras på ett effektivt sätt. Vi beskriver hur vi beräknat utflödet ur sjön under punkt 4.2.

4.1 Beskrivning av området vid Mölnlycke fabriker

Mölnlycke fabriker reglerar Landvettersjön enligt hävd. Enligt denna är regleringsamplituden som tidigare nämnts 41 cm. Fabriken har dock på senare år installerat ett intag till sprinklersystemet endast 21 cm under dämmningsgränsen. Detta gör att regleringsamplituden idag i praktiken endast är 21 cm. Fabrikens mål med regleringen av sjön är idag att dels täcka sprinklersystemet, dels att förhindra översvämningar vid höga flöden. Dessutom tas en obetydlig mängd processvatten, med intag i turbin-kanalen. Turbinen är sedan länge tagen ur drift. Fig 4.1 visar en skiss över området.

Landvettersjön regleras med hjälp av luckorna 1,2,3 och 4. Omedelbart nedströms lucka 1 och 2 faller vattnet 4-5 m och går sedan i en kanal under fabrikerna vidare via Massetjärn till Rådasjön-Stensjön. Denna kanal begränsar maxflödet genom lucka 1 och 2 till ca $10 \text{ m}^3/\text{s}$. Lucka 3 och 4 reglerar flödet genom turbinkanalen. Vattennivån i denna försöker man hålla relativt konstant året om. I kanalen tas bl a processvatten och vatten till sprinklersystemet. Flödet uppgår som mest till ca $2 \text{ m}^3/\text{s}$. Totala maximala utflödet uppgår alltså till ca $12 \text{ m}^3/\text{s}$.

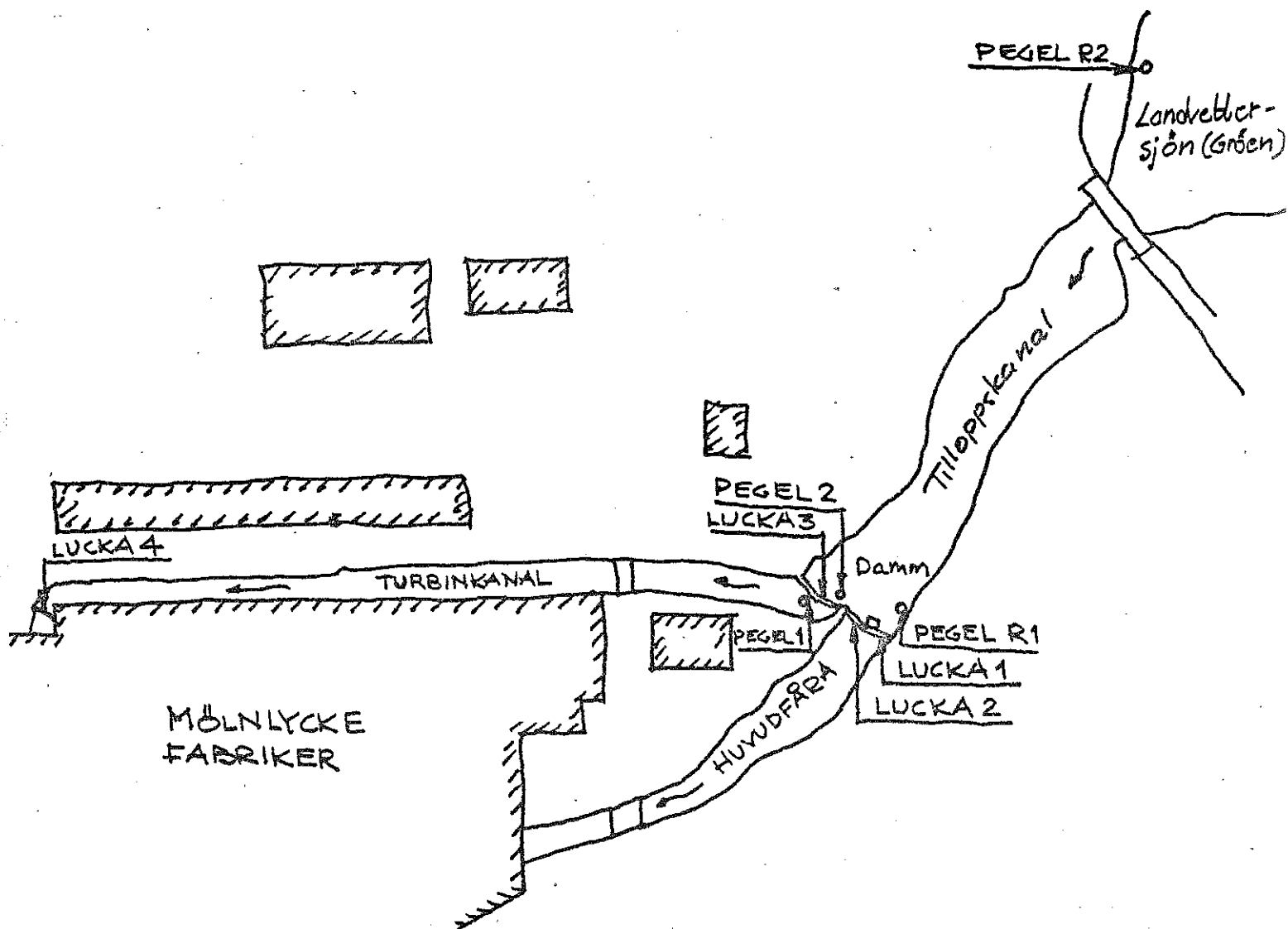


Fig 4.1 Karta över sjöns utlopp genom fabriksområdet

4.2 Flöden genom luckorna

Flödet genom luckorna beror dels av lucköppningen, dels av vattennivån uppströms. Vi har utarbetat diagram som ger utflödet om man känner lucköppning och vattennivå.

4.2.1 Lucka 1 och 2

För att upprätta dessa diagram har vi använt standardberäkning (se Cederwall och Larssen [6] kap 10). Med beteckningar enligt fig 4.2 kan flödet skrivas

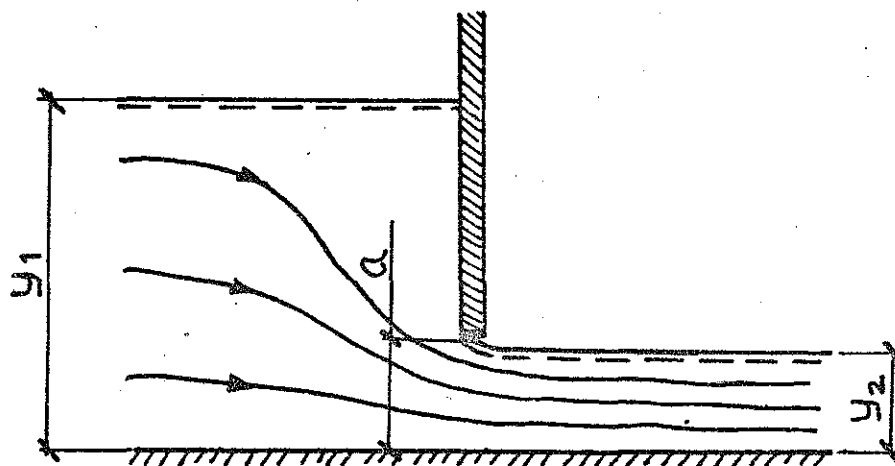


Fig 4.2 Bottenutskov

$$q = \mu a \sqrt{2y_1 g}$$

q är flödet [$\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$]

μ är avbördningskoefficienten

Diagrammen finns bifogade i bilaga E. Exempel på hur de kan användas visas i kap 6.1

4.2.2 Lucka 3

Flödet genom turbinkanalen kan regleras med hjälp av lucka 3 och 4. Enligt dammvakten hålles dessa lucköppningar ganska konstanta året om. Eftersom flera vattenintag finns i turbinkanalen mellan lucka 3 och 4 har vi valt att beräkna flödet i kanalen med hjälp av vattenståndsskillnad och lucköppning vid lucka 3. Nivåskillnaden $y_1 - y_2$ bestäms genom avläsning av pegel 1 och 2. Flödet kan enligt Cederwall och Larssen [6] kap 10 beräknas med hjälp av formeln nedan. Beteckningarna finns definierade i fig 4.3

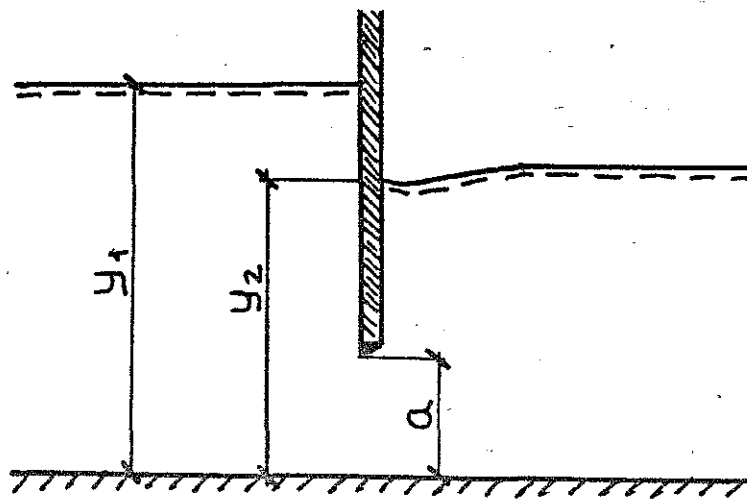


Fig 4.3 Bottenutskov då strålen
täcks med vatten

$$q = \mu a \sqrt{2g(y_1 - y_2)}$$

q är flödet [$\text{m}^3/\text{s m}$]

μ är avbördningskoefficienten

Diagrammet finns bifogat i bilaga E. Exempel på dess användning visas i kap 6.1. Vi utförde också en kontrollmätning i kanalen med hjälp av en flygél. Resultatet var att ett flöde som enligt vårt diagram var $0.72 \text{ m}^3/\text{s}$ motsvarades av ett uppmätt på $0.69 \text{ m}^3/\text{s}$. Detta tyder på att diagrammet ger en god uppfattning av ett verkligt flöde.

4.3 Nivåskillnad

Landvettersjöns nivå avläses av dammvakten vid pegel 2. Detta är emellertid en olycklig placering av pegeln då det är en kanal mellan själva sjön och pegeln. För att vattnet ska rinna genom kanalen krävs att vattenytan lutar, vilket är speciellt märkbart vid höga flöden (se fig 4.4). Då kan vattennivån vid pegeln vara 10-20 cm lägre än i sjön.

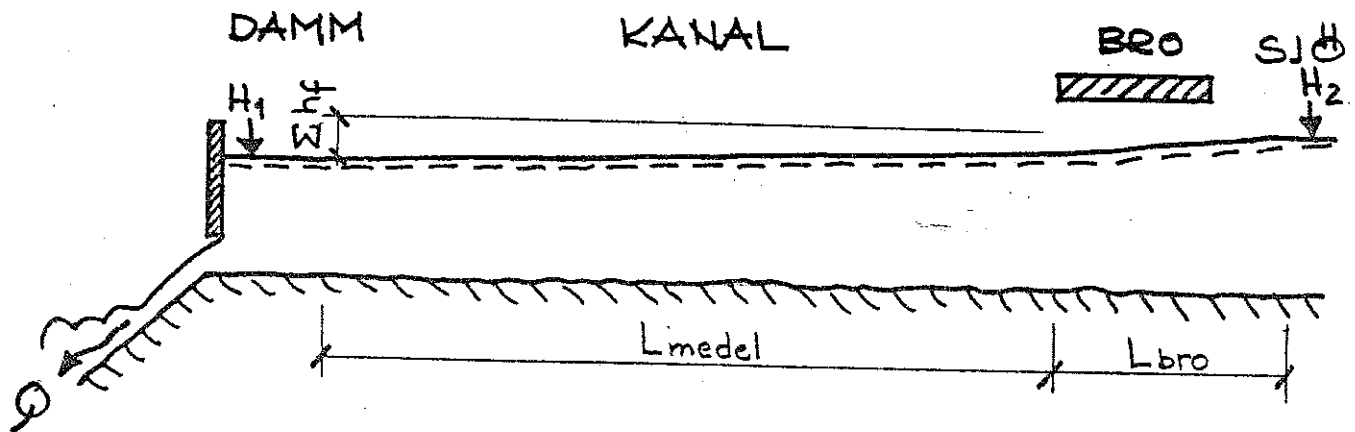


Fig 4.4 Tilloppskanal sektion

Detta förhållande har ofta lett till att man stängt luckorna i tron att vattennivån legat nära sänkningsgränsen. När man väl stängt luckorna stiger nivån vid pegeln och visar att Landvettersjöns magasin varit mer välfyllt än man trott. Detta försvårar naturligtvis dammvaktens arbete.

Vi har därför beräknat skillnad i nivå för olika flöden enligt fig 4.5. Beräkningarna finns redovisade i bilaga C.

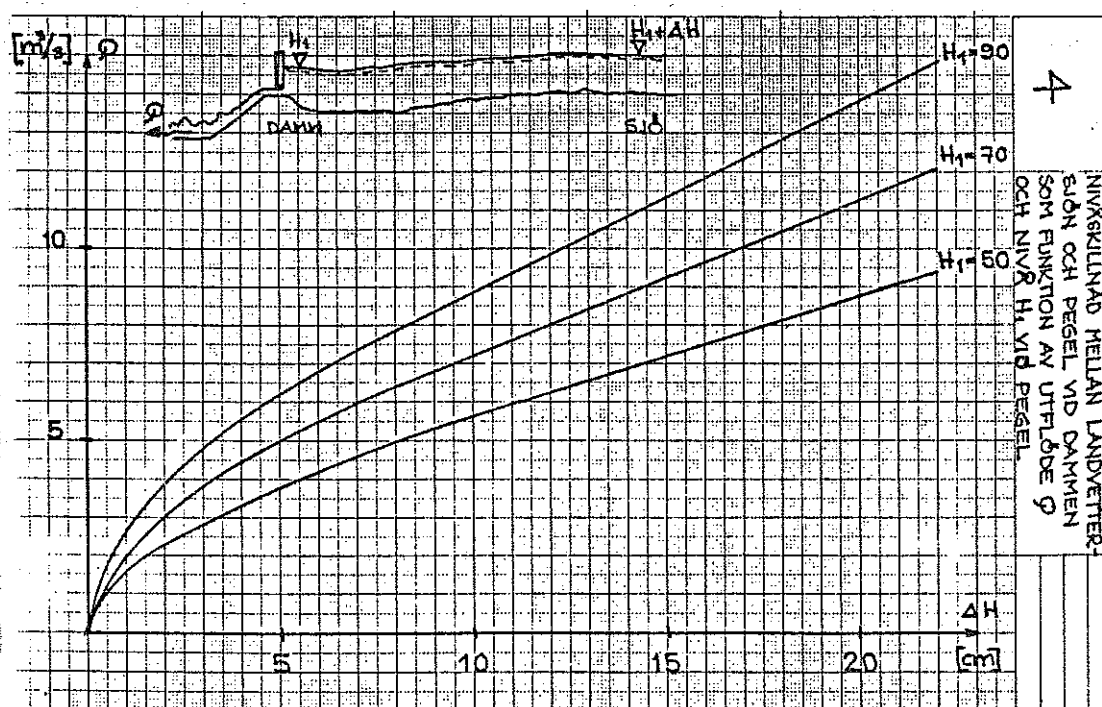


Fig 4.5 Diagram för beräkning av nivåskillnad mellan Landvettersjön och pegel vid damm

4.4 Tillflöden till Landvettersjön

Tillflöden till en sjö kan beräknas, om man känner utflödet ur sjön, magasinsförändringen och avdunstningen, enligt formeln:

$$Q_{in} = Q_{ut} + QS + A \quad (1)$$

Q_{in} är tillflöde [m^3/s]

Q_{ut} är utflöde [m^3/s]

QS är magasinsförändringen [m^3/s]

A är avdunstningen [m^3/s]

Eftersom det är mycket svårt att uppskatta avdunstningen på ett riktigt sätt, har vi valt att baka in denna i tillflödet. Man får då följande uttryck för nettotillrinningen:

$$(Q_{in} - A) = Q_{netto} = Q_{ut} + QS \quad (2)$$

I vårt fall är heller inte tillflödet av så stort intresse. Det intressanta är hur stor del av tillflödet som inte avdunstar och alltså måste släppas ut vid Mölnlycke. De stora och därför intressanta flödena sker i vårt fall också på höst och vår, då avdunstningen är minimal.

4.4.1 Beräkning av utflöden

Till hjälp vid inställning av tappningen ur Landvettersjön har vi utarbetat ett antal diagram, se 4.2 och bilaga E diagram 1-3. Med hjälp av dessa kan flödena bestämmas. Vattennivåns variation i sjön fås ur registreringar från pegel R1 (se fig 4.1). Lucköppningar har på vår begäran bokförts av dammvakten vid Mölnlycke, med början i oktober 1983. Med hjälp av dessa data har vi beräknat utflödets storlek under hösten 83 och våren-sommaren 84.

Uppehållet på vintern beror på att data över lucköppningar saknas för denna tid. Diagram över utflödets variation under hösten 83 samt pegelregistreringar från R1 finns bifogade i bilaga D.

4.4.2 Beräkning av magasinsförändringar

Magasinsförändringens storlek har vid studium av kortsiktiga variationer i flöden stor betydelse. I vårt arbete är just de kortsiktiga variationerna de intressanta. Toppflödenas värden och placering i tiden skall ligga till grund för utarbetandet av en enhetshydrograf för Landvettersjön.

För att få en god uppfattning av magasinsförändringen i sjön här vi placerat en registrerande pegel R2 ca 100 m uppströms dammen vid Mölnlycke fabriker (se fig 4.1). Magasinsförändringen har räknats om till ett ekvivalent flöde enligt formel (3).

$$Q_S = \frac{\Delta s \cdot A}{\Delta t} \quad (3)$$

Δs är magasinsförändringen [m]

A är Landvettersjöns area [m²]

Δt är tiden för magasinsförändringen [s]

Q_S är ekvivalent flöde [m³/s]

Diagram över ekvivalent flöde och pegelregistreringar från R2 under hösten 83 finns bifogade i bilaga D.

4.4.3 Tillflöden

Efter att magasinsförändringar och utflöden beräknats, kan netto tillflödet lätt bestämmas:

$$Q_{\text{netto}} = Q_{\text{ut}} + Q_S \quad (4)$$

där Q_S insätts med sitt tecken.

Figur 4.6 visar utflödet Q_{ut} och magasinförändringen QS under en period hösten 83. Alla flöden som minskar sjöns nivå är här angivna som negativa.

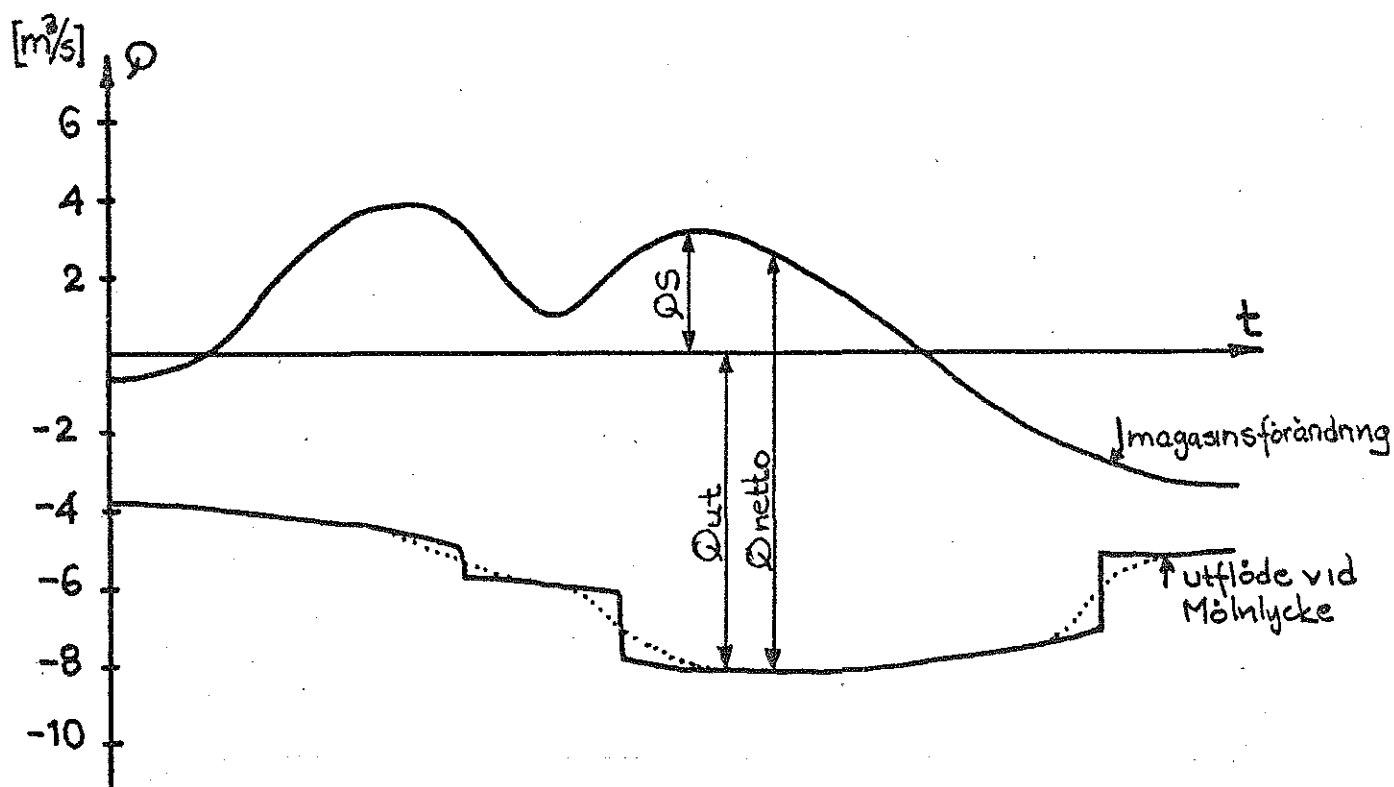


Fig 4.6 Ekvivalent magasinförändring och utflöde

Nettotillflödet kan sedan direkt mätas i diagrammet. För att få en jämnare variation i tillflödet kan "trappstegen" då luckorna öppnas i Mölnlycke avjämnas. Detta visas i figur 4.6. Samma redovisning av flödena för hösten 83 finns bifogade i bilaga D. Eftersom registrering från R2 finns i samma diagram alldeles under kan man lätt se att flödet QS är derivatan av R2 m.a.p. tiden. För att göra tillflödets variation mer åskådlig har vi ritat upp denna i speciella diagram i bilaga D för hösten 83.

5 ENHETSHYDROGRAF FÖR LANDVETTERSJÖN

Enhetshydrografen, som finns beskriven i kap 3, bygger på ett samband mellan nederbörd och tillrinning. Detta samband får man försöka finna genom att bearbeta gamla data insamlade från området. Modellen ska sedan kunna användas för att förutbestämma tillflöden med nederbörd som indata.

Det stora problemet vid all avrinningsbestämning är att på ett riktigt sätt kunna förutse regnets effektivitet eller avrinningskoefficient. En annan svårighet är att förutbestämma basflödets variation. Dessa punkter kommer att diskuteras i avsnitten 5.1 och 5.2.

5.1 Basflöde

Basflödet består av flöden från reglerade sjöar mark- och grundvattenmagasin. Vid analys av avrinningsförloppet krävs att man kan separera basflödet från ytavrinningen. Eftersom det inte finns något distinkt sätt att separera basflödet från den direkta avrinningen och eftersom basflödet även varierar under direkthydrografens avrinningstid blir separationen i hög grad godtycklig. Figur 5.1 visar hur basflödet troligtvis varierar under direkthydrografen och figur 5.2 hur vi antagit variationen.

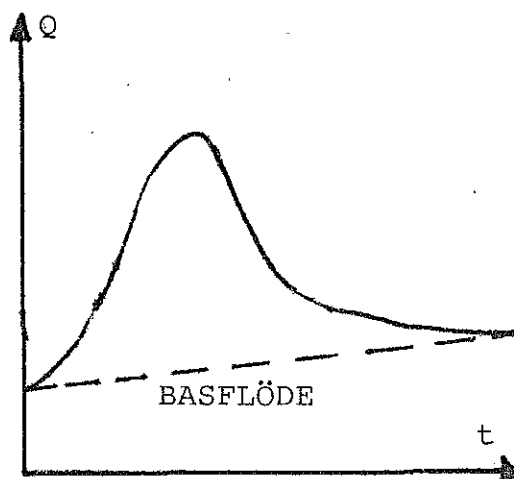
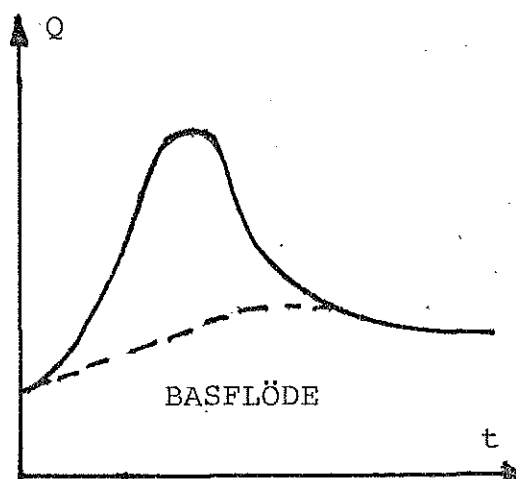


Fig 5.1 Basflöde trolig variation

Fig 5.2 Basflöde antagen variation

Basflödet storlek varierar också stort under året.
Avgörande faktorer är bl a följande:

- 1 Utflöde från reglerade sjöar
- 2 Nederbörds mängden under senaste perioden
- 3 Årstid

Tabell 5.1 visar basflödets variation under vår mätperiod.

MÅNAD	nederbörd senaste 30dgn	utflöde från upp- ströms regl. sjöar	BASFLÖDE
OKT	110	1,1	2,2
OKT	55	1,1	1,3
NOV	50	0,8	1,6
DEC	45	0,8	1,0
DEC	85	0,8	2,0
APRIL	16	1,1	0,8
MAJ	14	1,1	0,5
JUNI	35	1,1	0,5
JUNI	90	1,1	0,6
JULI	50	1,1	0,5
JULI	50	2,1	1,6
AUG	30	2,1	1,7

Tab 5.1 Basflödets variation 1983-1984

Man kan se i tabell 5.1 att basflödet varierar markant med nederbörds mängden under höstperioden. Däremot gör inte nederbörds mängden så stor inverkan under vår och sommar. Detta beror givetvis på att avdunstning och växternas vattenbehov är stora under vår och sommarperioden.

För att på något sätt kunna uppskatta basflödet vid olika tidpunkter har vi tagit fram tabell 5.2. Den skall endast användas vid grova överslagsberäkningar. Vid mer noggrann analys bör man beräkna det aktuella basflödet utgående från mätdata (pegelregistreringar m m).

Utflyde från uppströms regl. sjöar nederbörd senaste 30 dygn	0,5		1,0		1,5		2,0 $\frac{m^3}{s}$	
0	0,2	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	1,5	2,0
50	0,2	1,0	0,5	1,5	1,0	2,0	1,5	2,5
100 mm	0,3	1,5	0,7	2,0	1,2	2,5	1,7	3,0
S-maj-Sep V-okt-april	S	V	S	V	S	V	S	V

Tab 5.2 Tabell för uppskattning av basflöde

5.2 Avrinningskoefficienter

Med avrinningskoefficient φ menar vi den faktor med vilken man multiplicerar nederbörds mängden med för att få tag i den del av nederbörden som avrinner på markytan. Denna del brukar ibland kallas för effektiv nederbörd. I fortsättningen kommer dock termen avrinningskoefficient att användas.

Det har i icke urbana områden visat sig svårt att använda sig av avrinningskoefficienter. Bristen på hårdgjorda ytor, okända grundvattenmagasin och svårigheter att begränsa avrinningsområdets storlek m m gör framtagna avrinningskoefficienter mycket osäkra. Vi har dock p g a koefficientmetodens enkelhet valt att ta fram approximativa samband där vi tar hänsyn till de viktigaste påverkande faktorerna.

Faktorer som påverkar koefficienterna är bl a:

- 1 Årstid - Avdunstning från marken och växternas vattenupptag varierar kraftigt med året.
- 2 Nederbördsmängd - Fuktighet i marken varierar beroende på hur mycket det regnat den senaste tiden
- 3 Nederbördsintensitet
- 4 Vegetationstyp
- 5 Jordart, jordtjocklek

Vi har p g a områdets skiftande vegetation och jordarter beslutat oss för att inte se närmare på dessa faktorer. Områdets storlek och topografi gör att regnets intensitet varierar kraftigt över området. Detta tillsammans med bristen på intensitetsmätningar gör att vi bortser från faktor 3.

Vid studium av faktor 2 har vi kommit fram till att det är nederbörden den senaste veckan som är avgörande. Se tab 5.3.

datum	φ	nederbörd senaste		
		7dar	14dar	28dar
19/10	0,61	56	93	137
28/10	0,49	30	78	139
27/11	0,52	28	35	49
9/12	0,55	23	44	58
24/12	0,65	35	35	55
28/12	0,75	40	55	79

Tab 5.3 Avrinningskoefficient och nederbörd
för olika perioder hösten 84

När det gäller årstidens inverkan har vi delat in året
i två intervall.

Intervall 1 MAJ-SEPT
Intervall 2 OKT-APRIL

Vi har plockat fram avrinningskoefficienter på två sätt.

5.2.1 Metod 1

Från tiden då vi utfört noggranna mätningar har vi använt oss av tillflödes-tiddiagram. Vi har helt enkelt tagit bort basflödet och räknat arean under kurvan (se fig 5.2b). Denna area är sedan med skalfaktor omgjord till en volym V_{avr} . Genom att multiplicera nederbörden n med avrinningsområdets storlek erhålls totala nederbörds-volymer V_{tot} .

Avrinningskoefficienten erhålls sedan enl :

$$\varphi = \frac{V_{avr}}{V_{tot}}$$

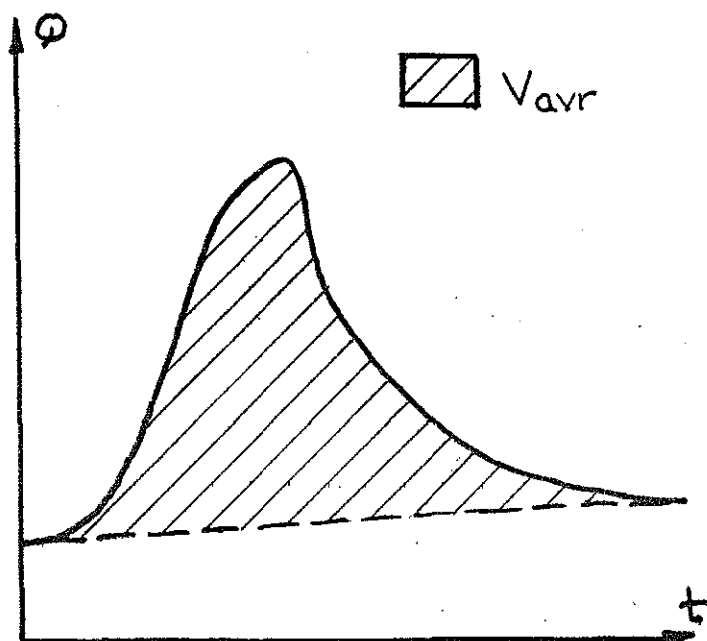


Fig 5.2b Principfigur för beräkning av avrinningskoeff.

5.2.2 Metod 2

Eftersom tiden då vi utfört noggranna mätningar är starkt begränsad tvingades vi för att få önskad mängd mätdata att använda denna metod. Vi har här m h a Kvarnbyns vattenrapporter undersökt Nedsjöarna och Härsjöarna. Dessa sjöar är reglerade. De ligger inom avrinningsområdet och kan därför anses representera området väl. Fördelen med att titta på dessa är att de saknar reglerade tilllopp. En magasinsförändring kan därför direkt hänföras till avrunnen nederbörd vilket underlättar räkningarna.

Avrunnen nederbördsvolym erhålls enl :

$$V_{avr} = \Delta S A_{sjö}$$

ΔS är magasinsförändringen

$A_{sjö}$ är den aktuella sjöns area

Totala nederbördsvolymen erhålls enl :

$$V_{tot} = \frac{n}{1000} A_{av,sjö}$$

n är nederbörd i mm

$A_{av,sjö}$ är sjöns avrinningsområde

5.2.3 Sammanställning

Vi avsatte sedan alla avrinningskoefficienter som funktion av regn senaste veckan i två diagram. Det visade sig nämligen naturligt att avsätta punkter från maj-sept i det ena och punkter från oktober-april i det andra. Dessa diagram finns i fig 5.3 resp 5.4. Det förra visar en samlad träffbild emedan det andra har några avvikande punkter. Dessa avvikelser beror troligtvis på att nederbörden fallit som snö (punkter snett upp till vänster) som senare avsmältit (punkter ner till höger). För att sedan få praktiskt användbara diagram har vi täckt in spridningen med ett band och erhållit s k "bandade" diagram. (se diagram 5 bilaga [E])

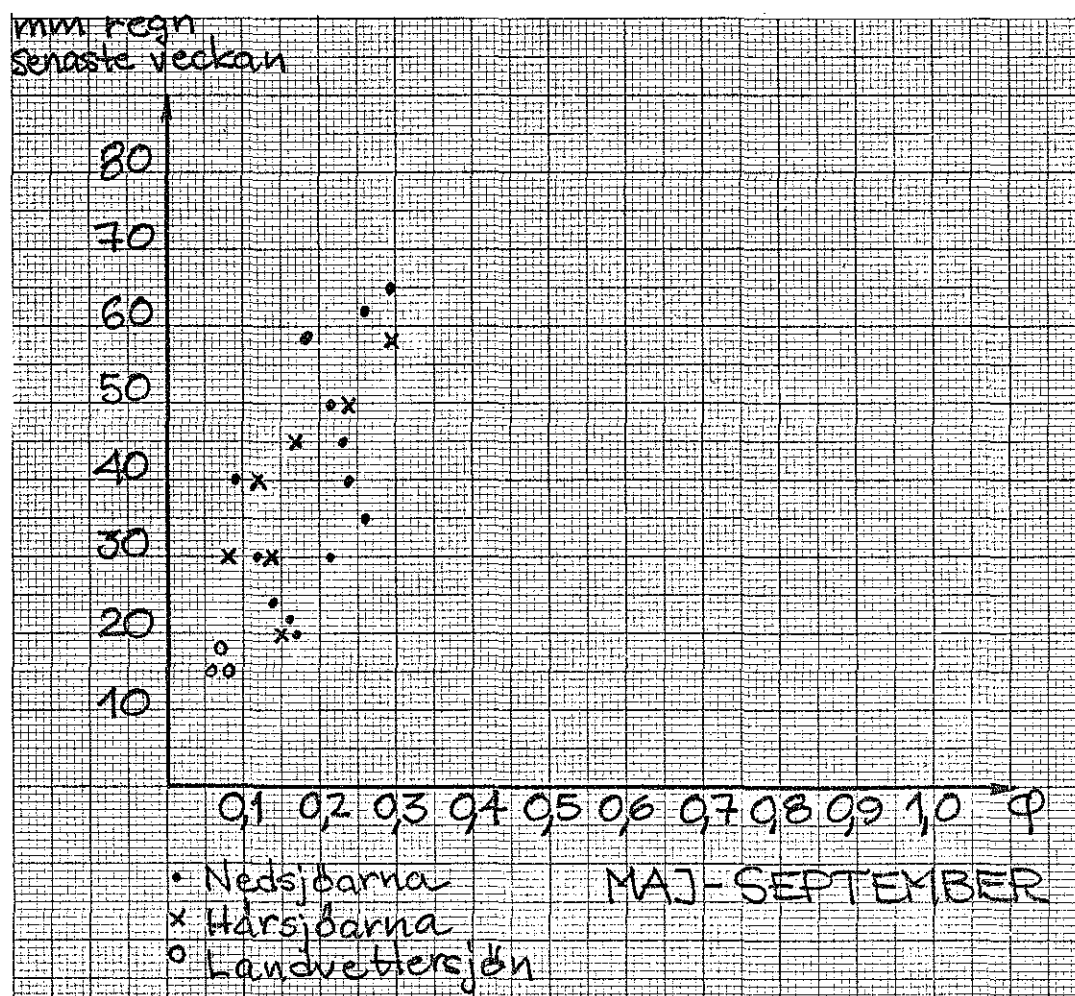


Fig 5.3 Plottade avrinningskoefficienter som funktion av nederbörd MAJ-SEPTEMBER (1980-1984)

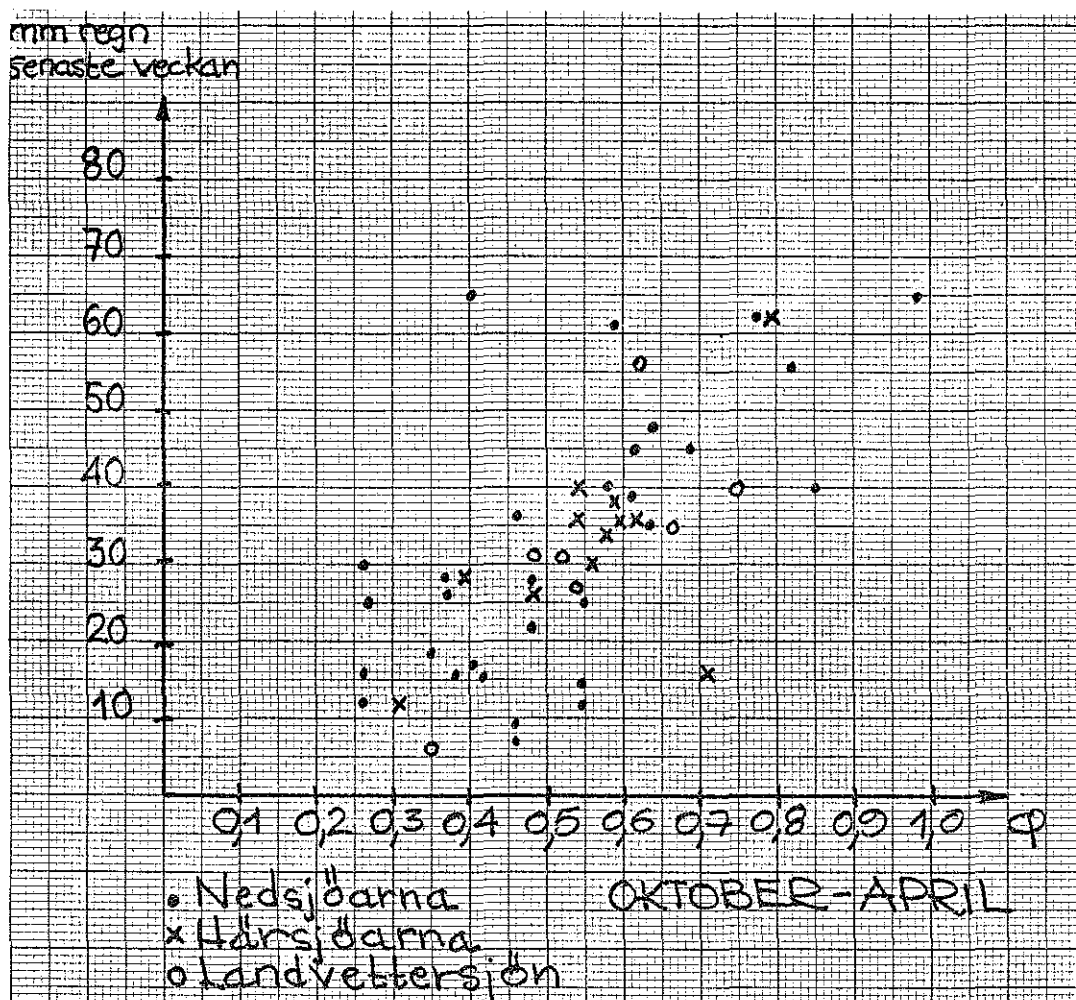


Fig 5.4 Plottade avrinningskoefficienter som funktion av nederbörd OKTOBER-APRIL (1980-1984)

5.3 Studium av tillflödet

Tillflödets variation under hösten 83 samt våren-sommaren 84 har kunnat konstrueras någorlunda riktigt, eftersom vi under denna period haft ett gott dataunderlag. För att få ett stort antal separerade hydrografer borde man egentligen haft en mycket längre mätperiod. Vi har försökt använda Mölnlyckes gamla data, men på grund av mycket osäkra uppgifter om utflödets storlek vid Mölnlycke kan dessa hydrografer svårigen konstrueras med tillräcklig noggrannhet.

Figur 5.5 visar en separerad hydrograf från december 83. Man kan ur denna utläsa att hydrografens längd för ett tolvtimmars regn uppgår till 4-5 dygn. Hydrografens toppvärde uppnås 1-1.5 dygn efter regnets början.

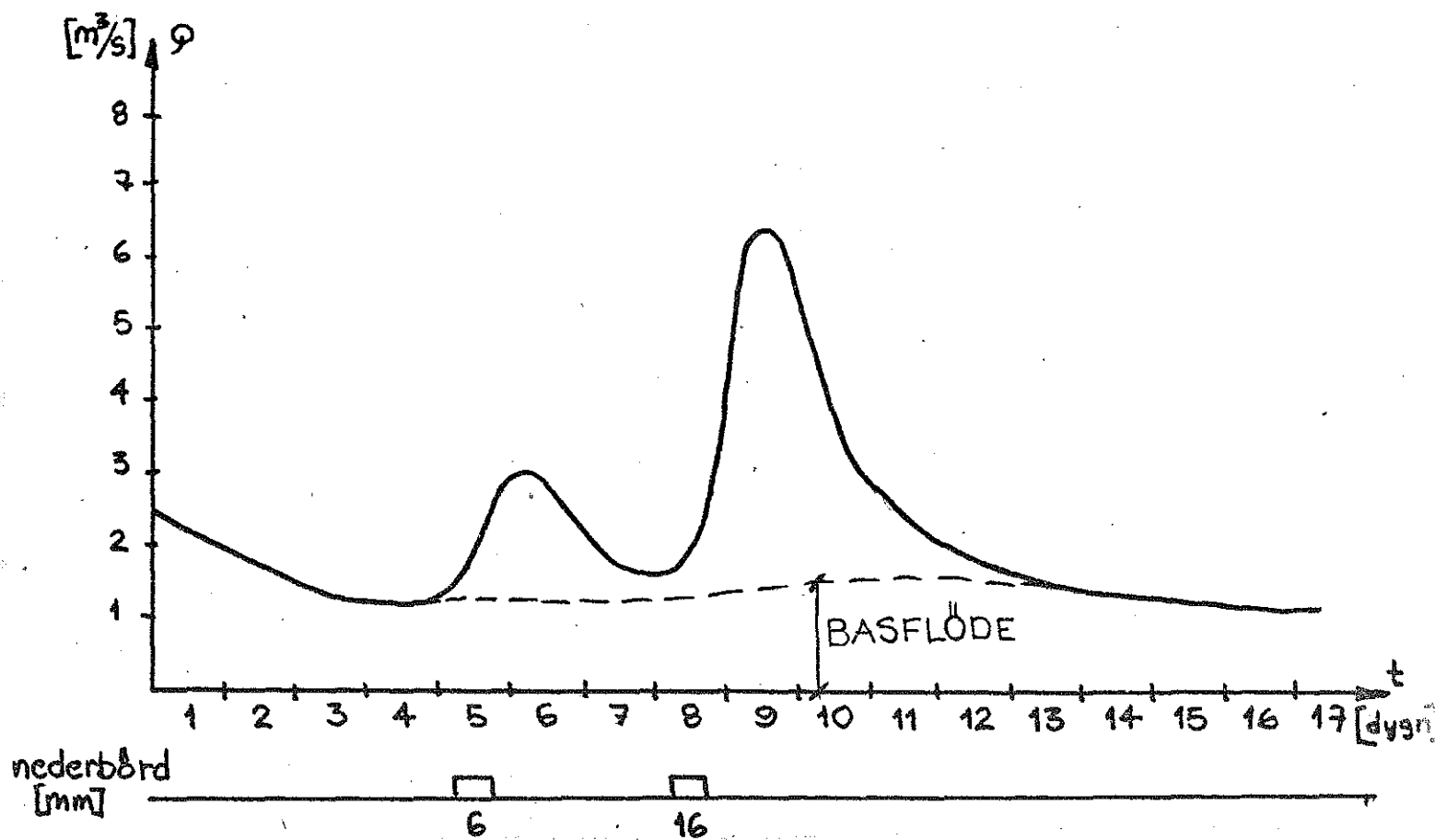


Fig 5.5 Separerad avrinningshydrograf

Figur 5.6 visar en period från oktober 83 där olika regns hydrografer överlappar varandra. För att man ur dessa komplexa hydrografer skall kunna konstruera fram de enskilda regnens hydrograf har vi använt oss av nedan angivna "norm".

Norm för separation av komplexa hydrografer:

- 1 Hydrografen börjar då regnet börjar.
- 2 Maxflödet nås efter 24-36 timmar.
- 3 Hydrografens längd är 4-5 dygn.
- 4 Hydrografens maximala flöde proportionellt mot respektive regns storlek.

Figur 5.6 visar hur vi använt normen för att plocka fram ett antal hydrografer från den komplexa tillflödeshydrografen från oktober 83.

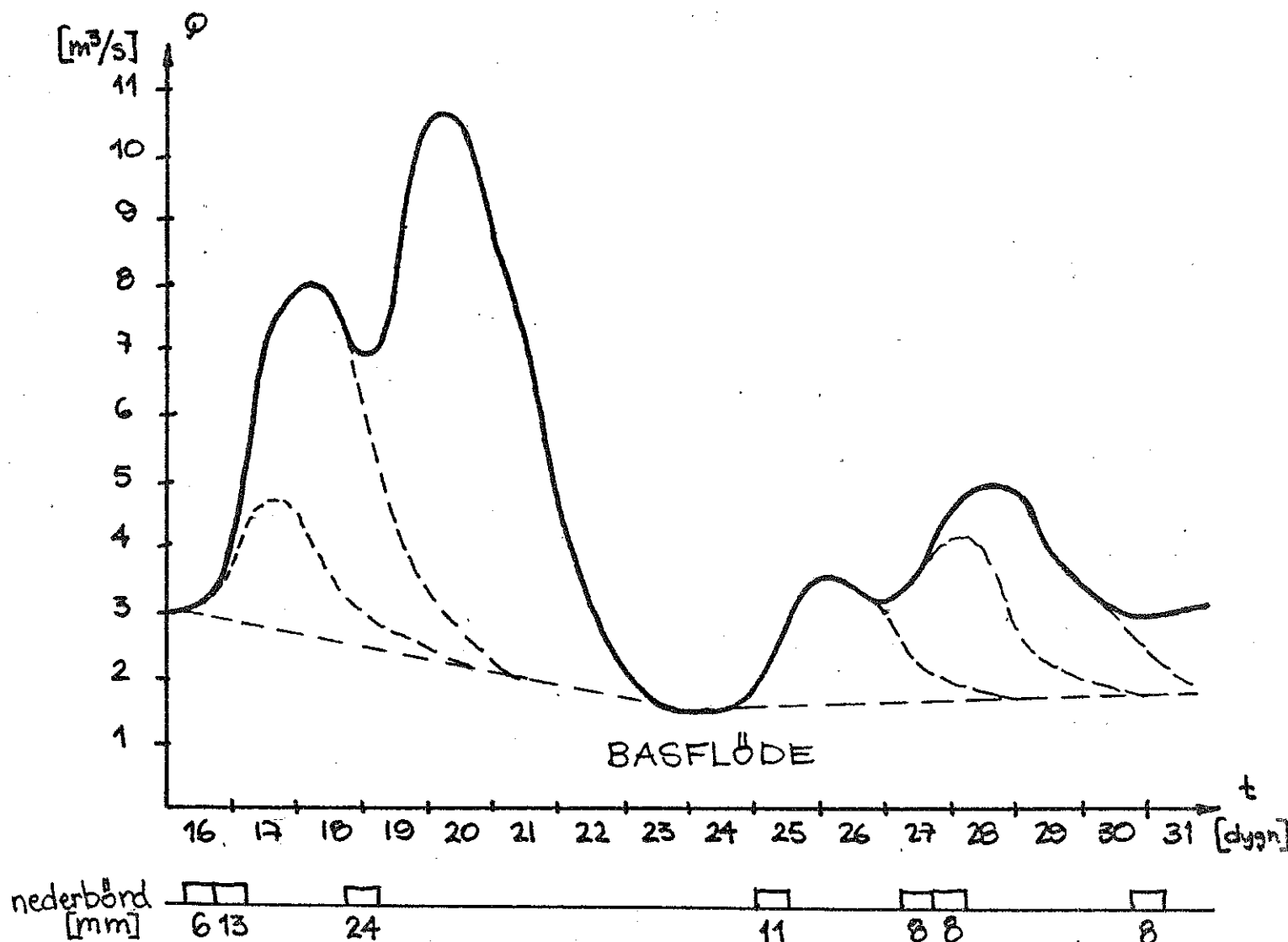


Fig 5.6 Komplex avrinningshydrograf, utvärdering

Figur 5.7 och 5.8 visar hydrografer från hösten 83 och sommaren 84 samlade. Som synes varierar hydrografens storlek kraftigt med årstiden. Däremot är dess längd någorlunda konstant. Angivna avrinningskoefficienter är baserade på respektive hydrografs totala volym dividerat med över avrinningsområdet total nedkommen regnmängd.

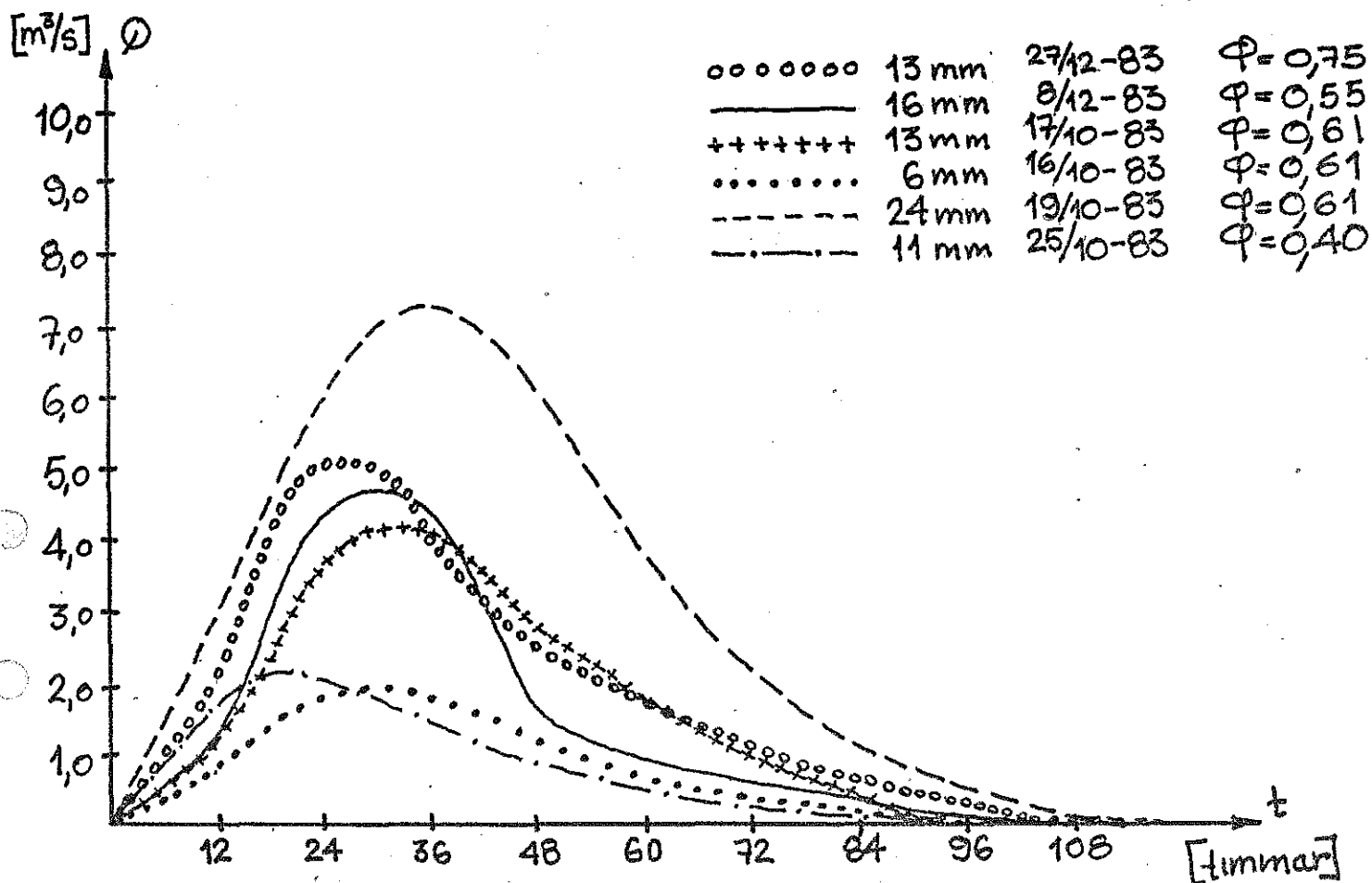


Fig 5.7 Hydrografer från hösten 1983

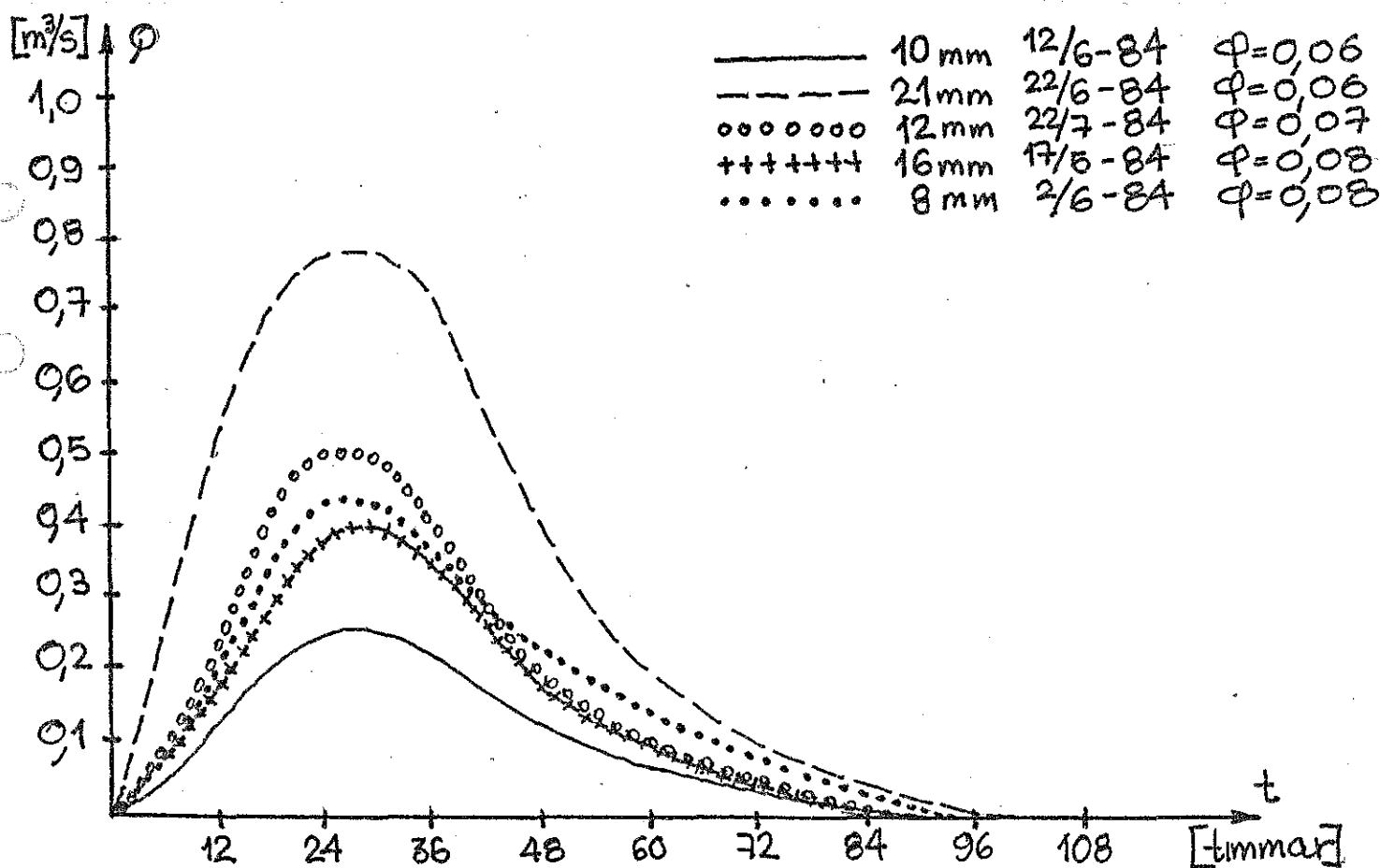


Fig 5.8 Hydrografer från sommaren 1984

5.4 Antagen enhetshydrograf

Vår modell för analys av nederbörd och flöden till Landvettersjön måste bygga på att den enkelt skall kunna användas i praktiken. Vi har därför valt att analysera flödena som funktion av nederbörden under tolvtimmarsperioder.

Orsakerna till detta är främst följande:

- 1 Nederbördsdata för tolvtimmars intervall finns att hämta från Landvetters flygplats.
- 2 Dammvakten vid Mölnlycke kan lätt själv föra dylika nederbördsdata.
- 3 Peglarnas noggrannhet gör att en mer differentierad uppdelning blir mycket osäker. Man har svårt att avläsa mindre vattenståndsvariationer än halva cm, vilket motsvarar en nederbördsmängd av 12500 m³.
- 4 En noggrannare analys försvåras även av svårigheten att bestämma avrinningskoefficient och basflöde.

Vi har valt att använda oss av nederbördsdata från väderleksstationen vid Landvetters flygplats. Den är centralt belägen i avrinningsområdet, varför nederbörden där kan tänkas motsvara ett medelvärde över området. Dessa nederbördsdata finns inlagda på diagrammen i bilaga D.

Vid framtagandet av enhetshydrografer har vi enbart använt oss av hydrografer från hösten 83. Sommarhydrograferna har så små flöden att felen vid analysen av pegelregistreringarna kan bli avgörande för hydrografens utseende. För att kunna jämföra hydrograferna har vi omräknat var och en till att motsvara 10 mm effektivt regn. Dessa hydrografer finns bifogade i bilaga D och i fig 5.9.

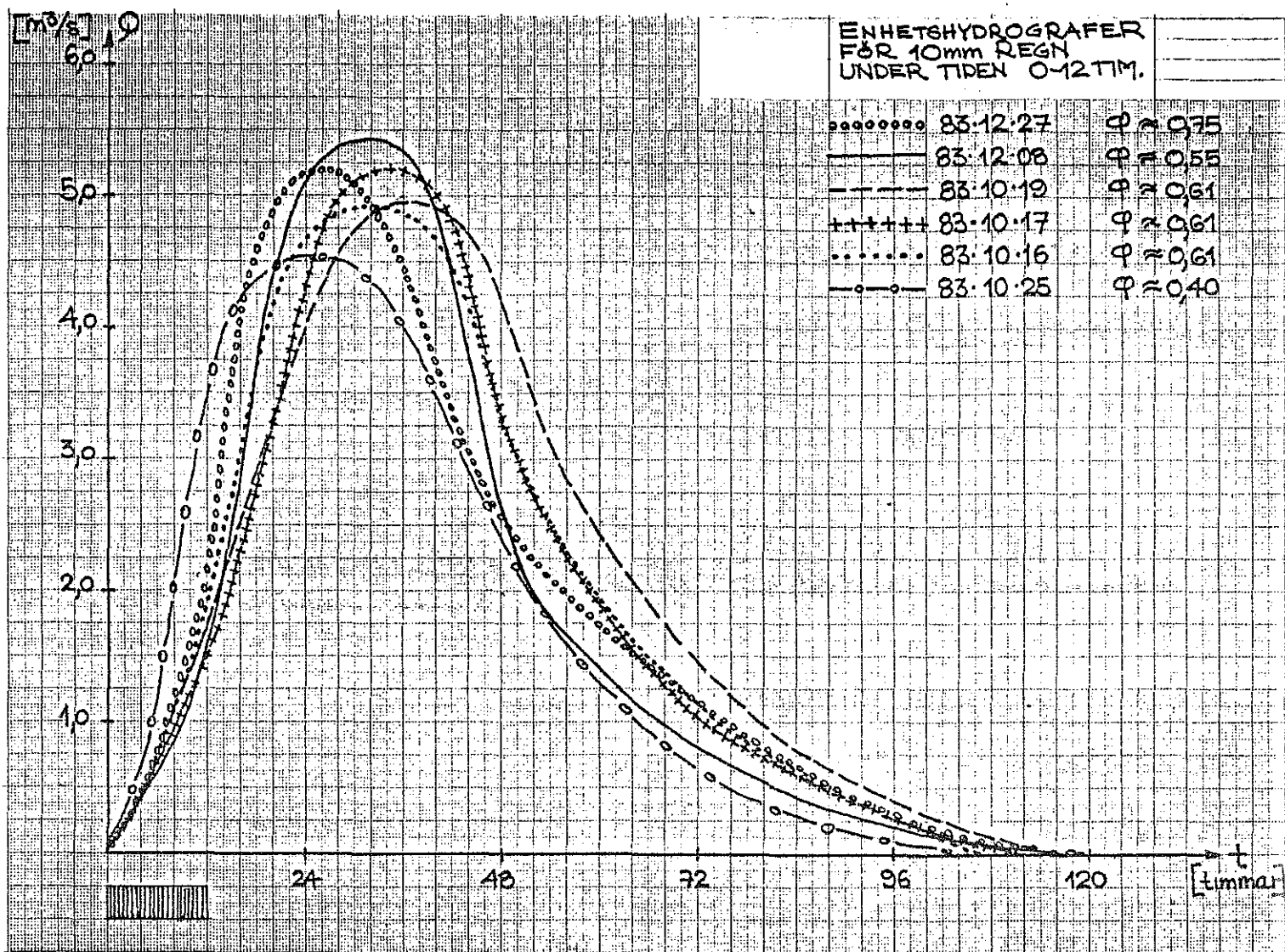


Fig 5.9 Enhetshydrografer för 10 mm effektivt regn från hösten 1983

Man kan se att det föreligger en ganska god överensstämmelse mellan de olika hydrograferna. Toppflödet för 10 mm effektivt regn ligger kring $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Vi har försökt anpassa enhetshydrografen så bra som möjligt till hydrograferna i fig 5.9. Dess volym har satts till $90 \cdot 10^4 \text{ m}^3$ vilket motsvarar 10 mm regn över avrinningsområdet. I fig 5.10 visas den enhetshydrograf vi valt att arbeta efter.

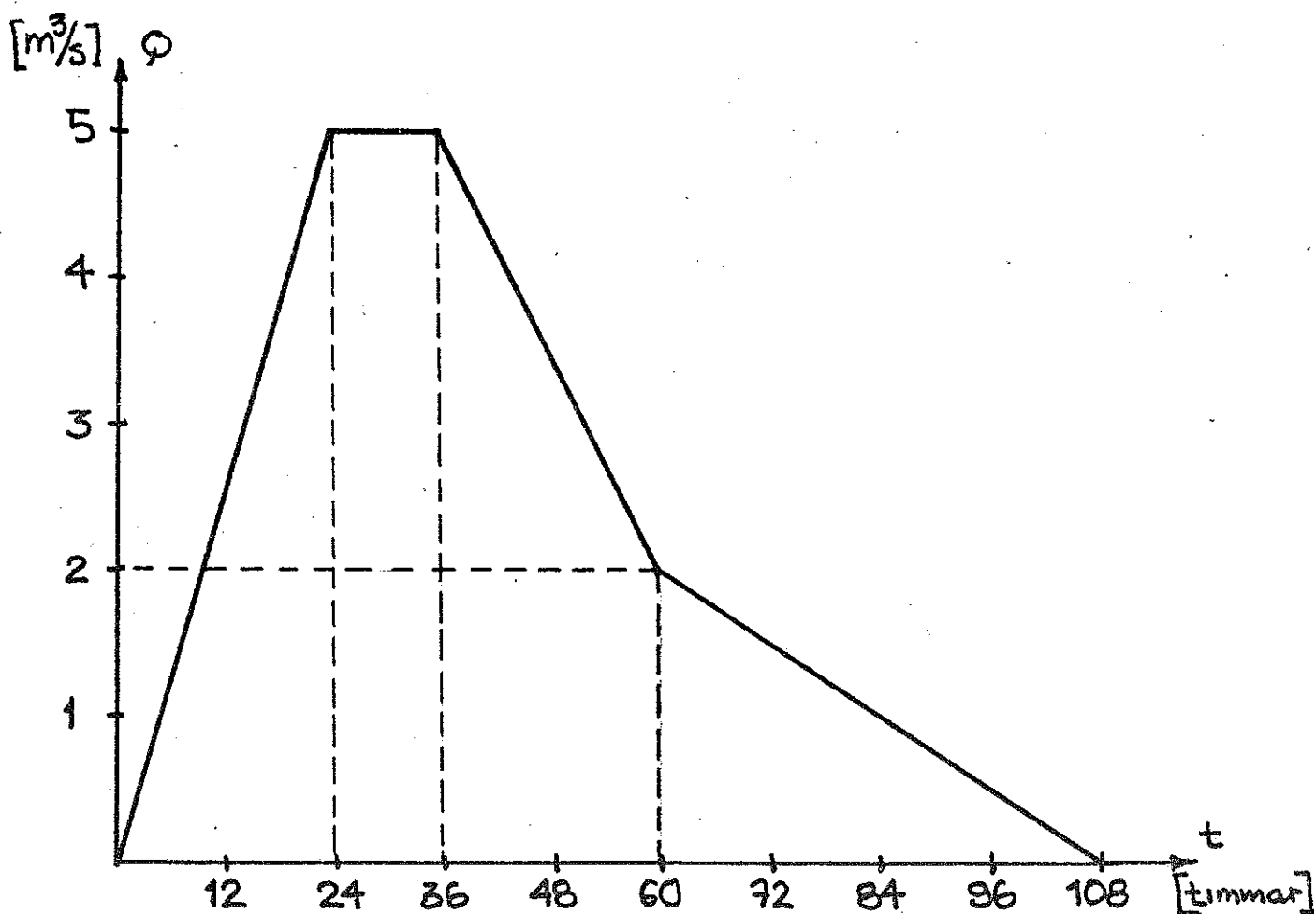


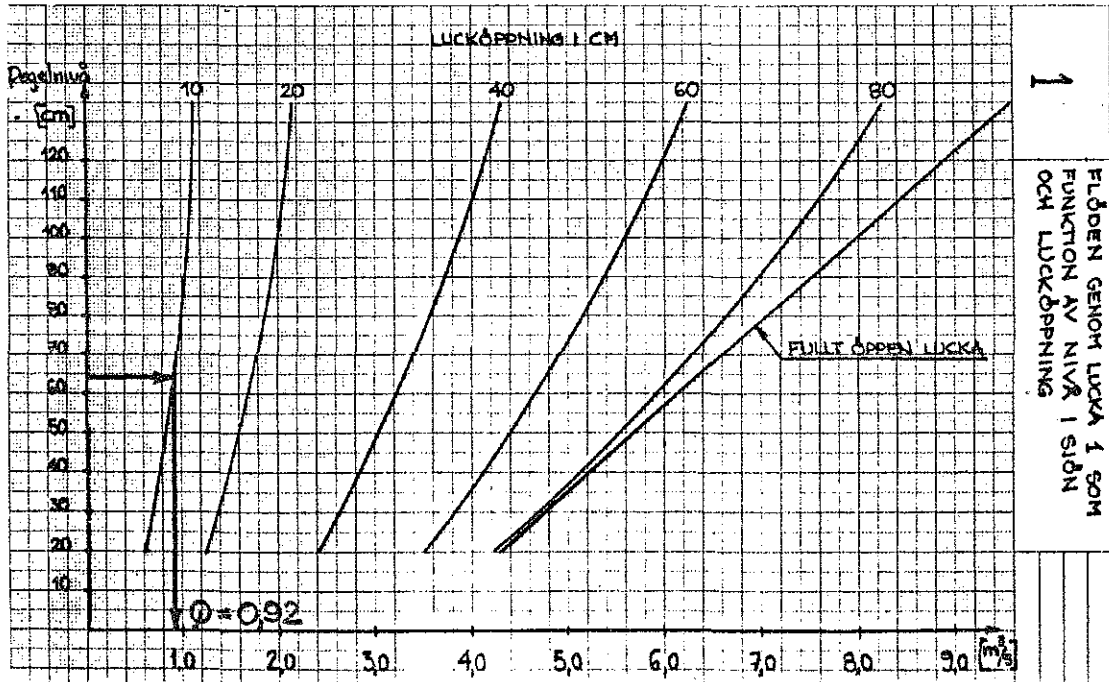
Fig 5.10 Antagen enhetshydrograf för 12 timmars regn och 10 mm effektiv nederbörd

6 DIAGRAM OCH PRAKTIKFALL

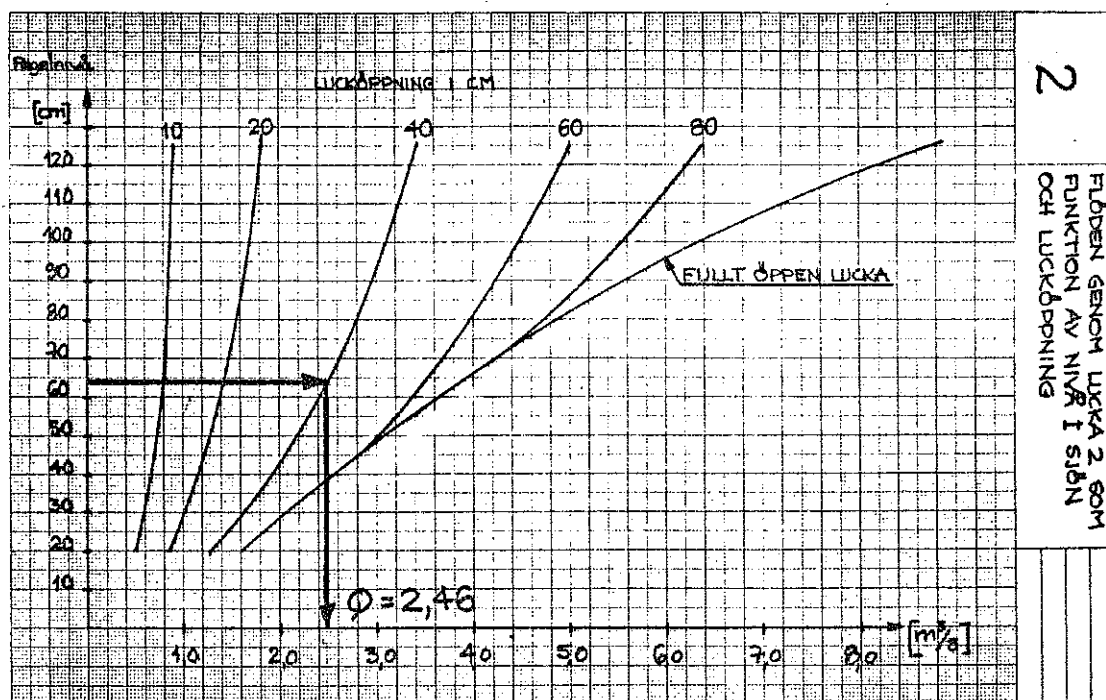
Det är tänkt att dammvakten vid Mölnlycke Fabriker ska använda vår avrinningsmodell. För att han på ett snabbt och enkelt sätt ska kunna ställa in flöden och kontrollera magasinsnivå, har vi konstruerat ett antal diagram. Dessa diagram bygger på enhetshydrografen, som är presenterad i kap 5.4. Nedan presenteras diagrammen tillsammans med kommentarer och exempel.

6.1 Avbördningsdiagram Diagram 1-3

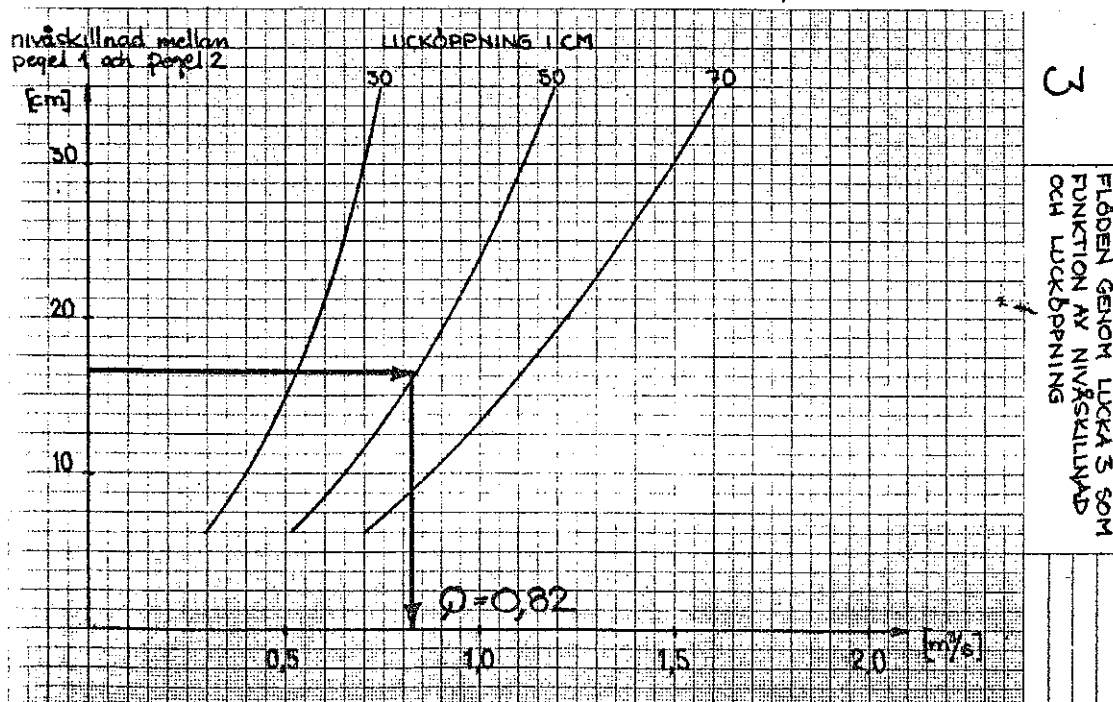
Enligt kap 4.2 har vi för de tre dammluckorna följande diagram :



$$\left. \begin{array}{l} H=64 \\ a=10 \end{array} \right\} \Rightarrow Q_1 = 0,92 \text{ m}^3/\text{s}$$



$$\left. \begin{array}{l} H=64 \\ a=40 \end{array} \right\} \Rightarrow Q_2 = 2.46 \text{ m}^3/\text{s}$$



$$\left. \begin{array}{l} \Delta H=16 \\ a=50 \end{array} \right\} \Rightarrow Q_3 = 0.82 \text{ m}^3/\text{s}$$

EXEMPEL

Beräkna utflöde vid Mölnlycke fabriker om :

Pegel 1 visar 48 cm och pegel 2 visar 64 cm.

Lucköppningar: lucka 1 10 cm
 lucka 2 40 cm
 lucka 3 50 cm

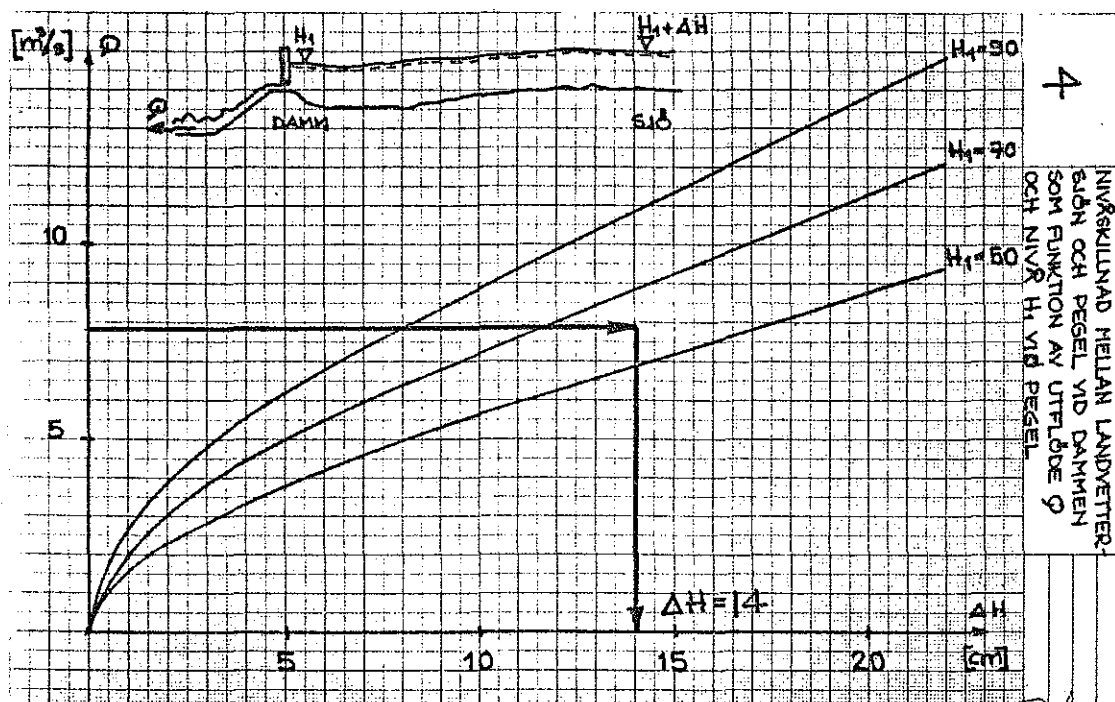
Diagrammen ger följande flöden [m^3/s] :

lucka 1	$Q_1 = 0.92$
lucka 2	$Q_2 = 2.46$
lucka 3	$+ Q_3 = 0.82$
	$Q_{\text{ut}} = 4.20$

Det totala utflödet blir alltså $4.20 \text{ m}^3/\text{s}$.

6.2 Nivåskillnadsdiagram Diagram 5

Enl kap 4.3 har vi för uppskattning av nivåskillnad mellan pegel i damm och nivå i sjön följande diagram :



EXEMPEL

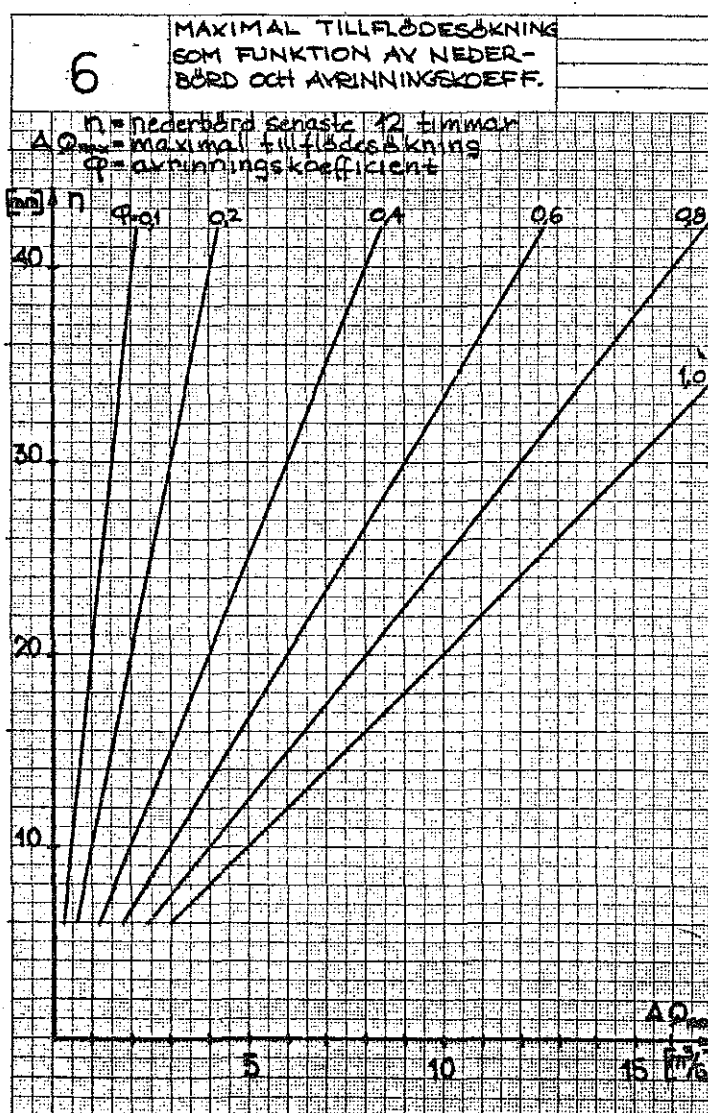
Uppgift : Bestäm sjöns nivå om pegel 2 visar 60 cm och utflödet $Q_{ut} = 7.8 \text{ m}^3/\text{s}$

Diagrammet visar att sjöns yta ligger ungefär 14 cm över vattennivån i dammen.

6.3 Diagram för beräkning av magasinsförändringar och tillflöden

Nedan följer en förteckning över vilka diagram som finns och hur de framtagits. I kapitel 6.6 illustreras hur dessa diagram kan användas.

6.3.1 Diagram för beräkning av maximala tillflöden Diagram 6



Diagrammet bygger på att enhetshydrografens toppflöde har skalats m h a faktorerna φ och n enl :

$$\Delta Q_{\max} = \frac{n}{10} \varphi 5 \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

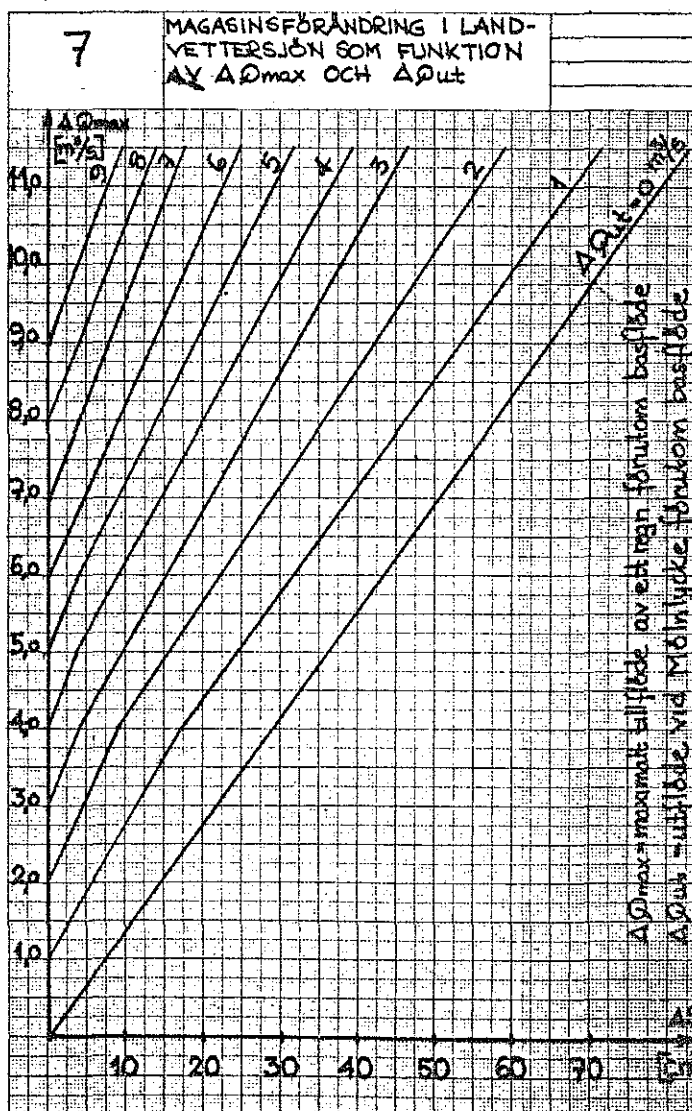
n är nederbörd [mm]

φ är avrinningskoefficient [1]

$\Delta Q_{\max}$ är maximalt tillflöde förutom [m³/s]
basflöde

6.3.2 Magasinsförändringar via $\Delta Q_{\max}$ — Diagram 7

Med hjälp av enhetshydrografen kan man beräkna magsinsförändringar som funktion av utflödet. Magasinsförändringarna beräknas som den streckade arean i fig 6.1 för olika ΔQ_{ut} och $\Delta Q_{\max}$



Här är ΔQ_{ut} Utflödet förutom basflödet. I beräkningarna har vi antagit att justering av lucköppningar sker 12 h efter regnets början. Diagrammet ger maximal magasinsförändring som inträffar vid tiden t_1 enl fig 6.1.

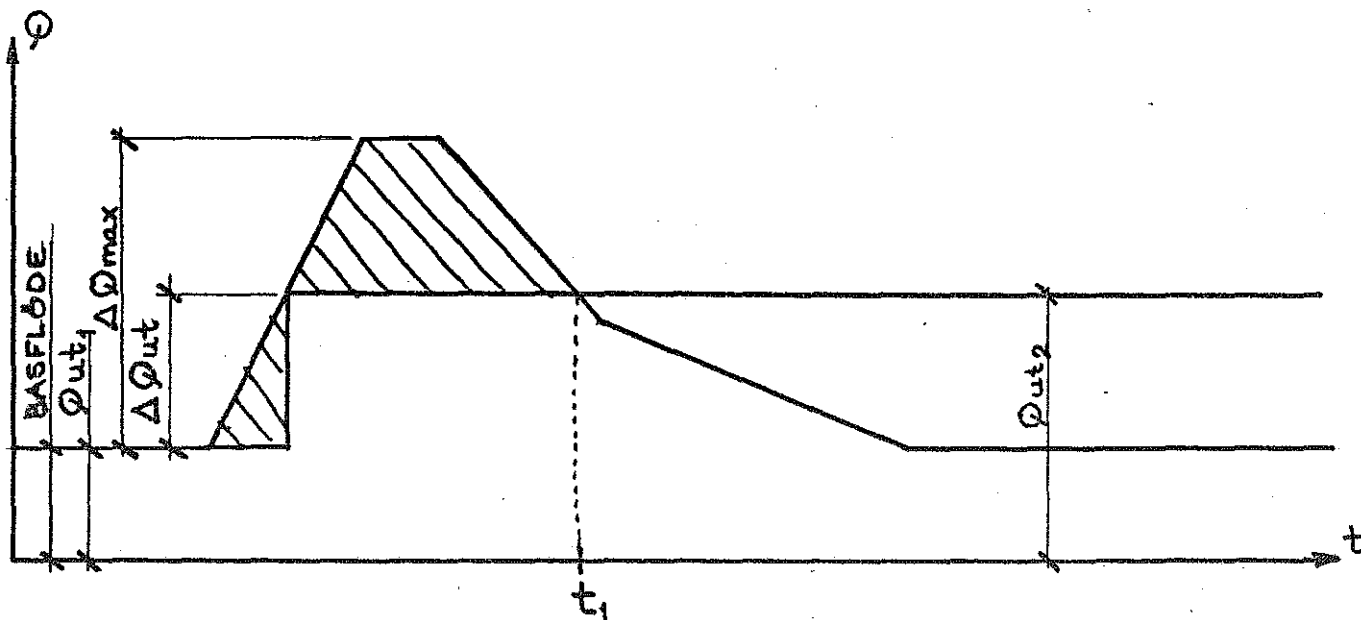


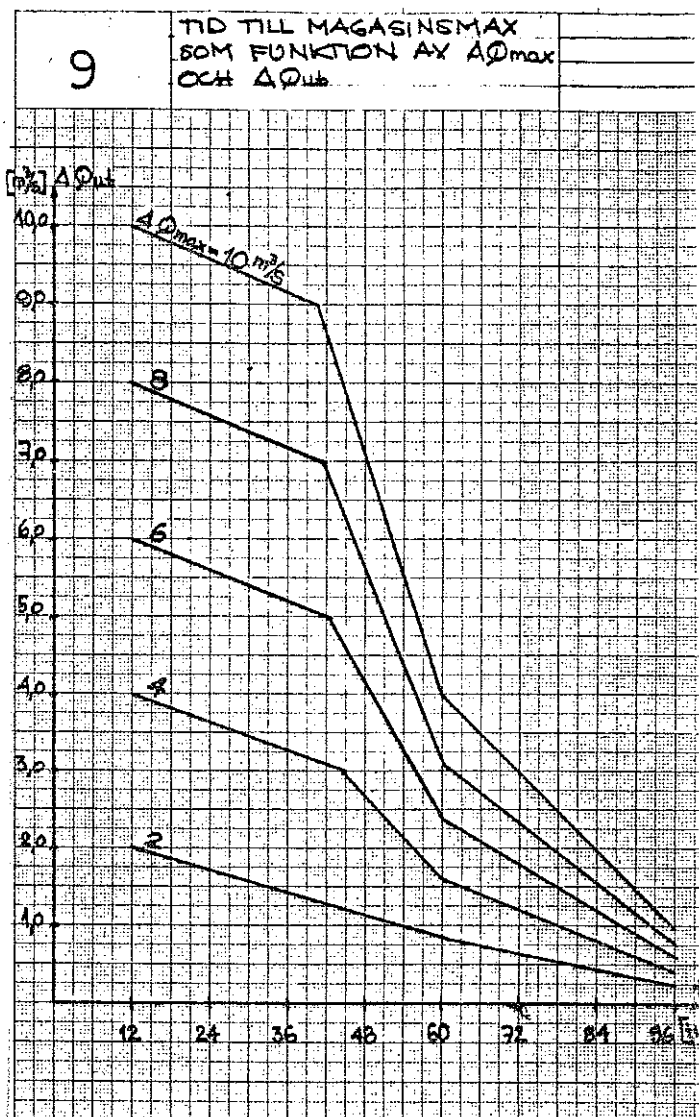
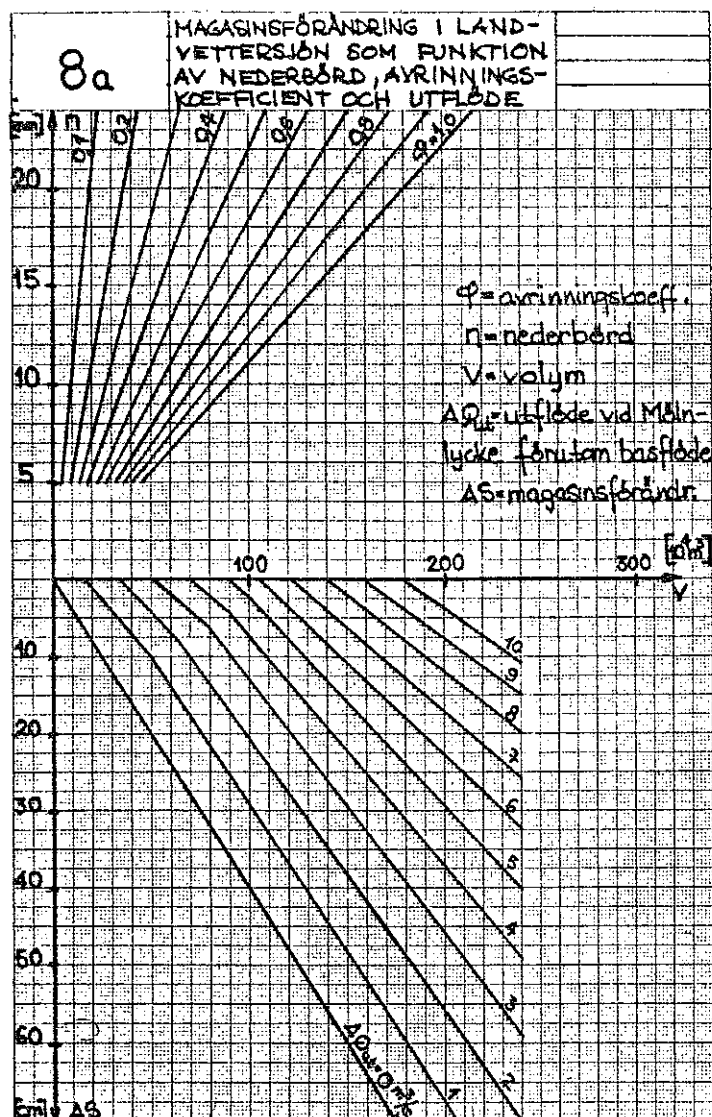
Fig 6.1 Underlag för diagrambilagan, principskiss

6.3.3 Magasinsförändring direkt av nederbörd Diagram 8a och 8b

Diagrammen enl 6.3.1 och 6.3.2 kan ersättas med detta kombinerade diagram. Man kan här gå direkt från nederbörd till magasinsförändring. Diagram 8a är en förstoring av diagram 8b, varför endast diagram 8a presenteras.

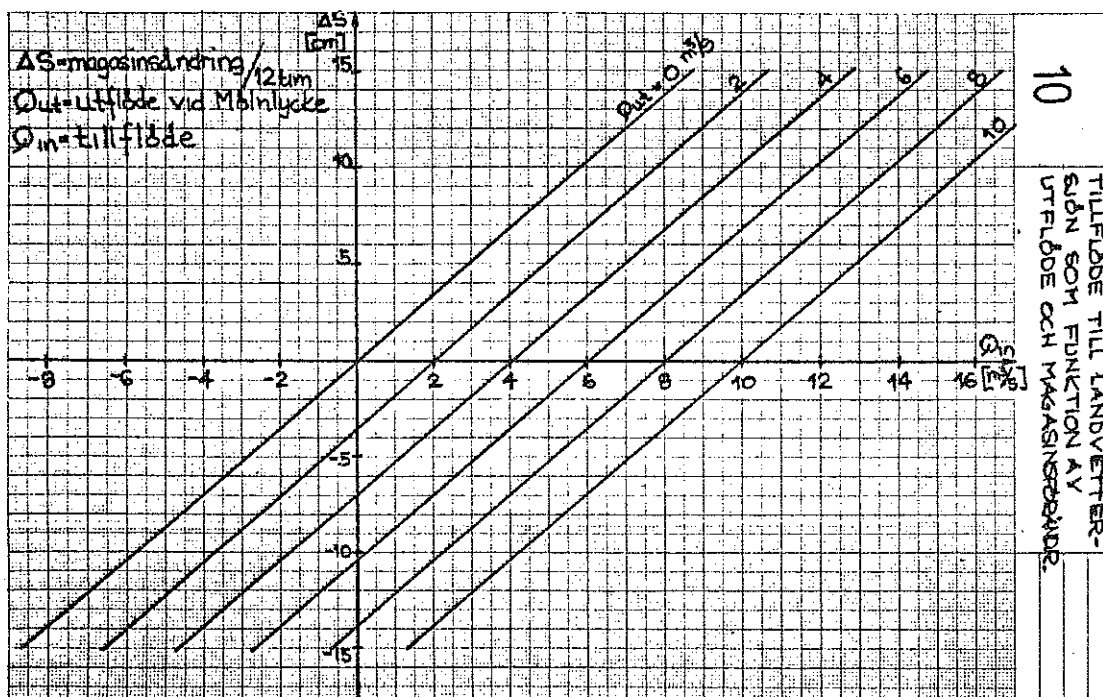
6.3.4 Diagram för bestämning av tid till magsinsmax. Diagram 9

Vid konstant ΔQ_{max} har vi här ritat upp tiden till magasinsmax för olika ΔQ_{ut} . Detta diagram är framtaget direkt ur enhetshydrografen. Se fig 6.1.



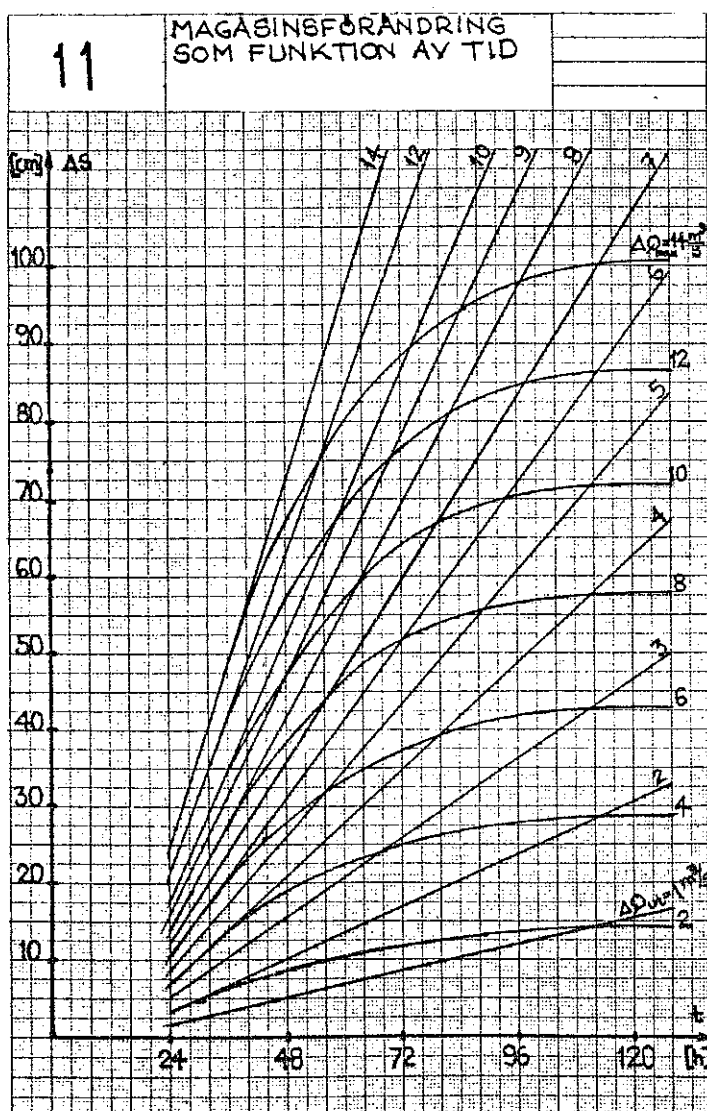
6.3.5 Diagram för bestämning av tillflöde som funktion av utflöde och magasinsförändring. Diagram 10

Diagrammet visar sambandet mellan utflöde och magasinsförändring i Landvettersjön.



6.3.6 Diagram för bestämning av magasinsförändringens tidsförlopp. Diagram 11

Diagrammet bygger på att regnet börjar vid tiden $t=0$ och att utflödets förändringar sker efter 12 timmar. För givna ΔQ_{max} och ΔQ_{ut} kan sedan magasinsförändringen utläsas som funktion av tiden.



6.4 Superponeringsfaktor

För att kunna beräkna maxflödet från regn som har fallit med ett kortare tidsmellanrum än fyra dygn, har vi tagit fram en superponeringsfaktor ψ . Eftersom dessa regn samtidigt påverkar tillrinningens storlek, kan man inte utifrån ett enda regn bestämma denna. Man måste superponera respektive hydrograf till en total sådan. Detta kan göras genom att regn som fallit tidigare reduceras med en faktor ψ , som beror av tidsavståndet. Tabell 6.1 visar faktorns ψ storlek som funktion av Δt . Δt är tiden mellan det senaste regnets början och föregående regns början.

12	24	36	48	60	72	84	Δt
1,0	0,7	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	ψ

Tab 6.1 Superponeringsfaktor

Ett regn på 18 mm som fallit med början 48 timmar före det senaste regnet, får alltså ett ekvivalent värde på $0.3 \cdot 18 = 5.4$ mm.

6.5 Basflöde

För att bestämma ungefärligt basflöde kan man använda tabell 6.2.

Utflöde från uppströms regl. sjöar nederbörd senaste 30 dygn	0,5		1,0		1,5		2,0 $\frac{m^3}{s}$	
0	0,2	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	1,5	2,0
50	0,2	1,0	0,5	1,5	1,0	2,0	1,5	2,5
100 mm	0,3	1,5	0,7	2,0	1,2	2,5	1,7	3,0
5-maj-sep v-okt-april	S	V	S	V	S	V	S	V

6.6 Praktikfall

Vi ska nu visa exempel på hur diagrammen kan användas.

Praktikfall 1

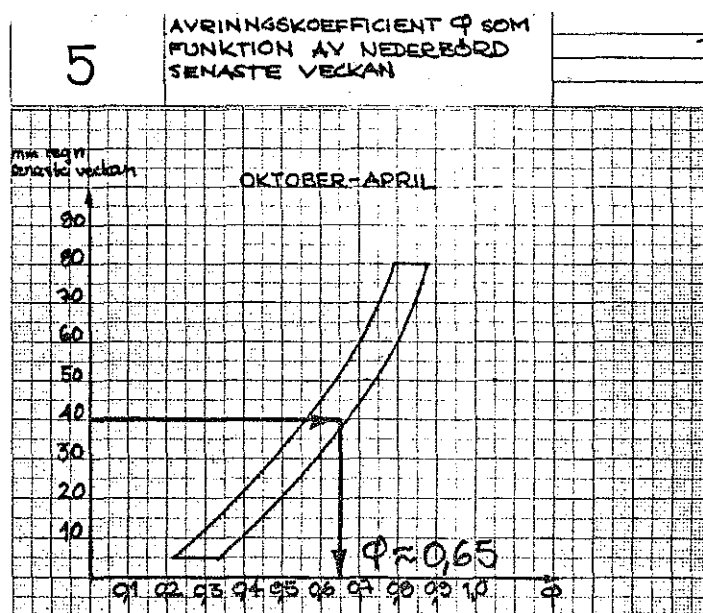
Givet: Den 28 december 1983 föll ett regn på 12 mm.
Nederbörden senaste sju dygnen var 40 mm och
nederbörden senaste 30 dygnen var 79 mm. Från
uppströms reglerade sjöar släpps $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Söks: max tillflöde Q_{max} ?
utflödet så att magasinsförändringen Δs blir
10 cm Q_{ut} ?
När inträffar maximal magasinsförändring t_1 ?
Hur länge ska luckorna vara öppna för att
sjöns nivå ska återgå till ursprungligt läge ?

Lösning:

Steg 1

Uppskatta med hjälp av diagram 5 avrinnings-
koefficienten.



nederbörd senaste 7 dygn = 40 mm
dec. månad $\Rightarrow \varphi = 0.65$

Steg 2

Uppskatta med hjälp av tab 1. basflödets storlek.

utflöde från uppströms regl. sjöar nederbörd senaste 30 dygn	0,5		1,0		1,5		2,0 $\frac{m^3}{s}$	
0	0,2	0,5	0,5	1,0	1,0	1,5	1,5	2,0
50	0,2	1,0	0,5	1,5	1,0	2,0	1,5	2,5
100 mm	0,3	1,5	0,7	2,0	1,2	2,5	1,7	3,0
S=maj-sep V=okt-april	S	V	S	V	S	V	S	V

nederbörd senaste 30 dygn = 79 mm
 dec. månad
 utflöde uppströms = 0.5 m^3/s

interpolation
 $\Rightarrow$ basflöde = 1.3 m^3/s

Steg 3

Beräkna ΔQ_{max} ur diagram 6 .

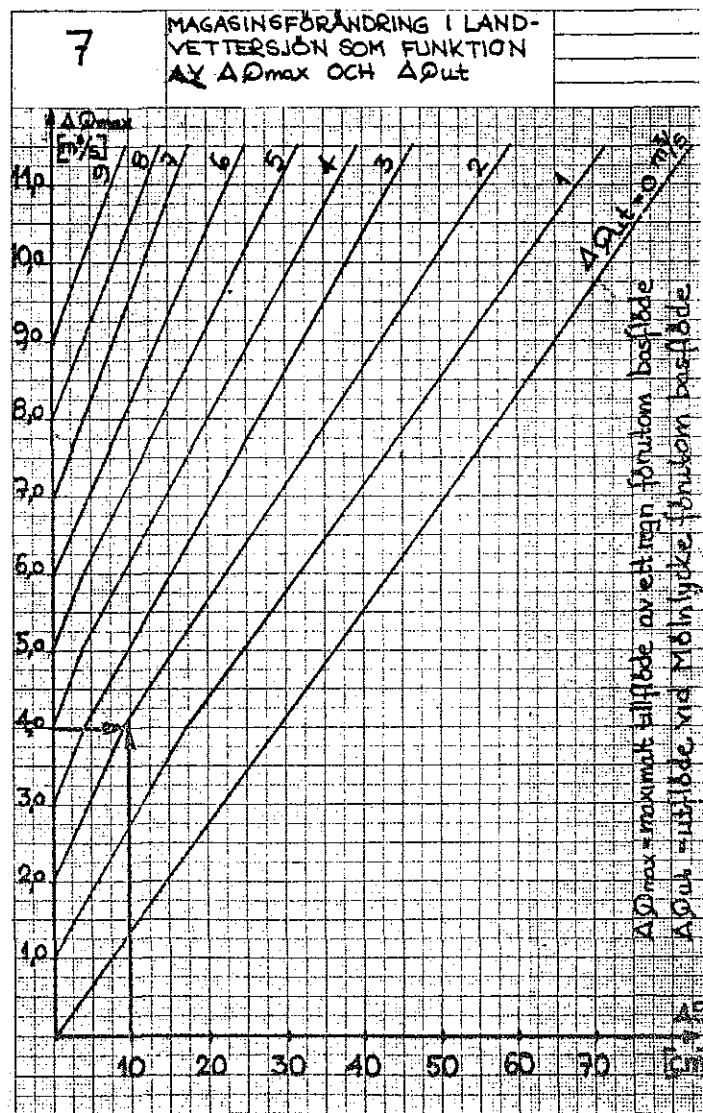
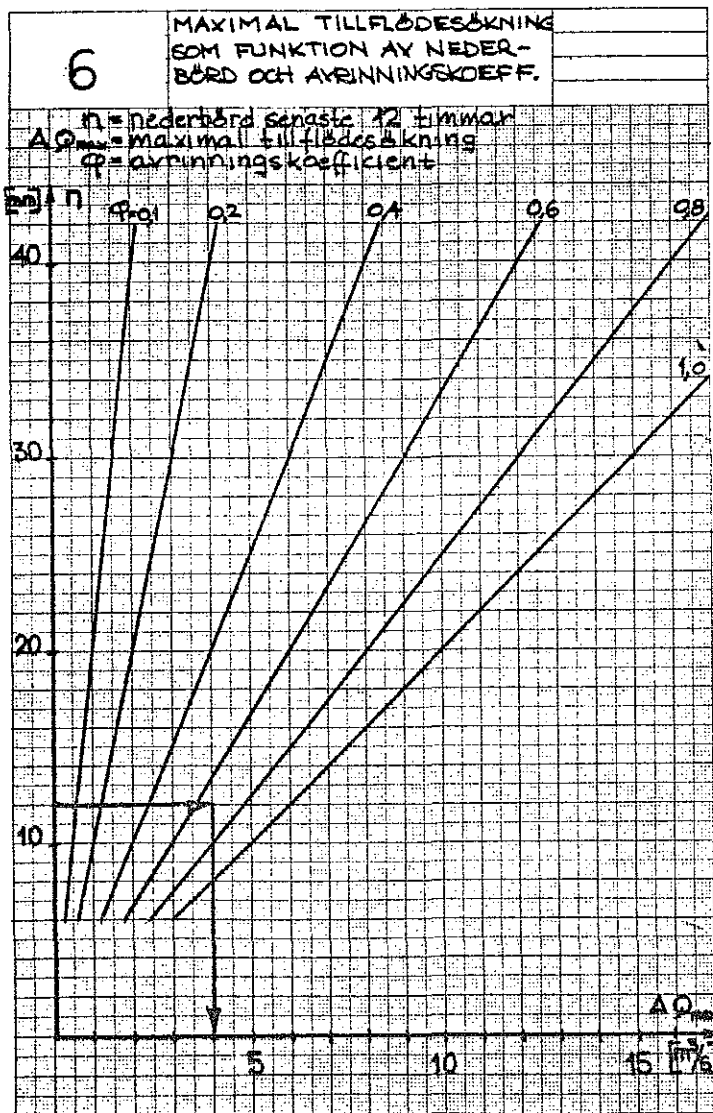
$n = 12 \text{ mm}$
 $\varphi = 0.65$

$\Rightarrow \Delta Q_{max} = 4.0 \text{ } m^3/s$

$$Q_{max} = \Delta Q_{max} + \text{basflöde} = 4.0 + 1.3 = 5.3 \text{ } m^3/s$$

Svar 1 :

$$Q_{max} = 5.3 \text{ } m^3/s$$



Steg 4

Bestäm erforderligt utflöde

- m h a diagram 7.

$$\left. \begin{array}{l} \Delta S = 10 \text{ cm} \\ \Delta Q_{max} = 4.0 \text{ m}^3/\text{s} \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta Q_{ut} = 2.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{ut} = \Delta Q_{ut} + \text{basflöde} = 2.0 + 1.3 = 3.3 \text{ m}^3/\text{s}$$

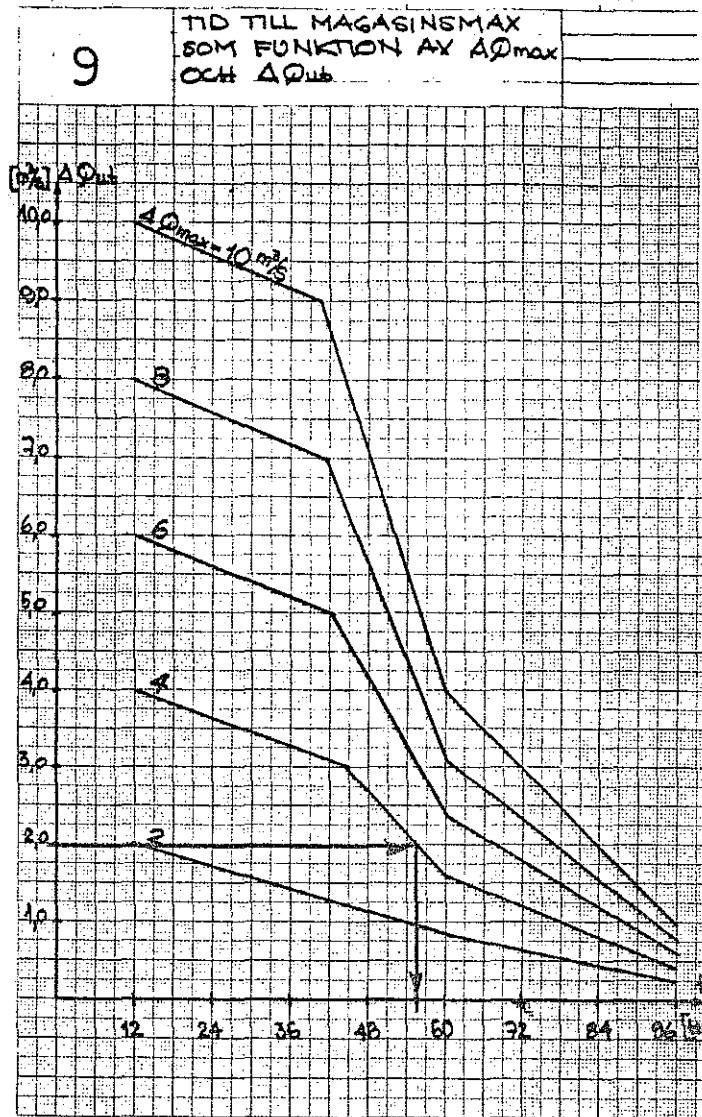
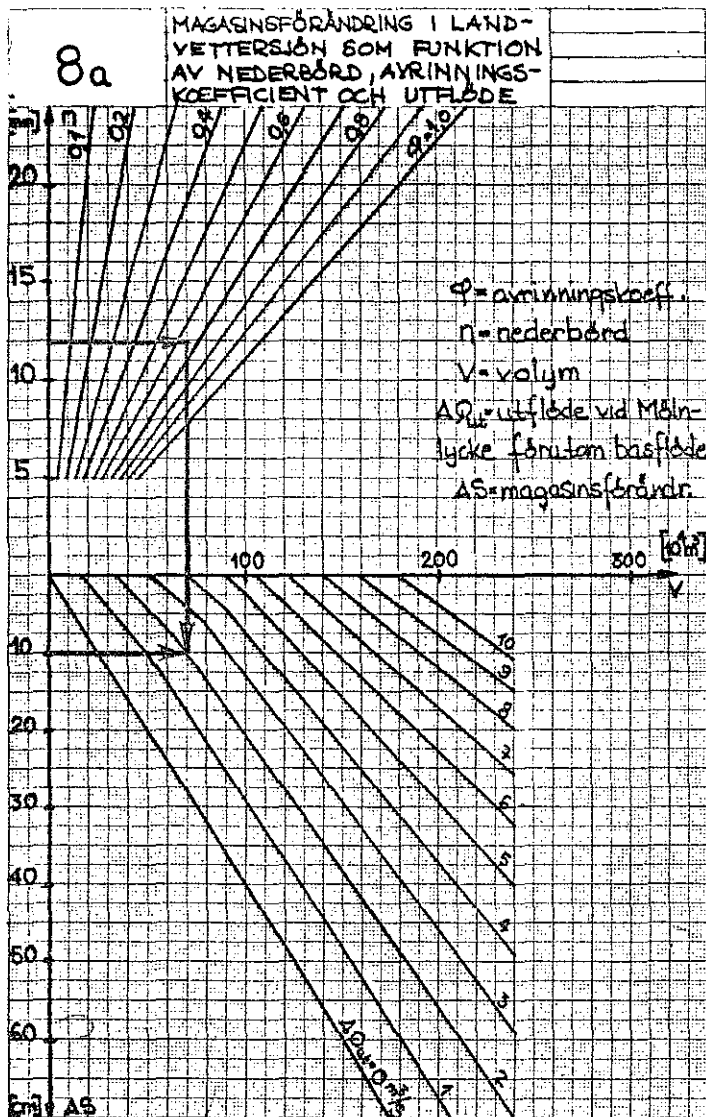
- m h a diagram 8.

$$\left. \begin{array}{l} \Delta S = 10 \text{ cm} \\ n = 12 \text{ mm} \\ \varphi = 0.65 \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta Q_{ut} = 2.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{ut} = \Delta Q_{ut} + \text{basflöde} = 3.3 \text{ m}^3/\text{s}$$

Svar 2 :

$$Q_{ut} = 3.3 \text{ m}^3/\text{s}$$



Steg 5

Bestäm m h a diagram 9 när maximal magasinförändring inträffar.

$$\left. \begin{array}{l} \Delta Q_{ut} = 2.0 \text{ m}^3/\text{s} \\ \Delta Q_{max} = 4.0 \text{ "} \end{array} \right\} \Rightarrow t_1 = 55 \text{ h}$$

Svar 3 :

$t_1 = 55 \text{ h}$,dvs 55 timmar efter regnets början

Steg 6

Besäm m h a diagram 11 hur länge man ska ha öppet luckorna för att sjön ska återgå till ursprungligt läge.

Ingångsvärden är ΔQ_{ut} och ΔQ_{max} .

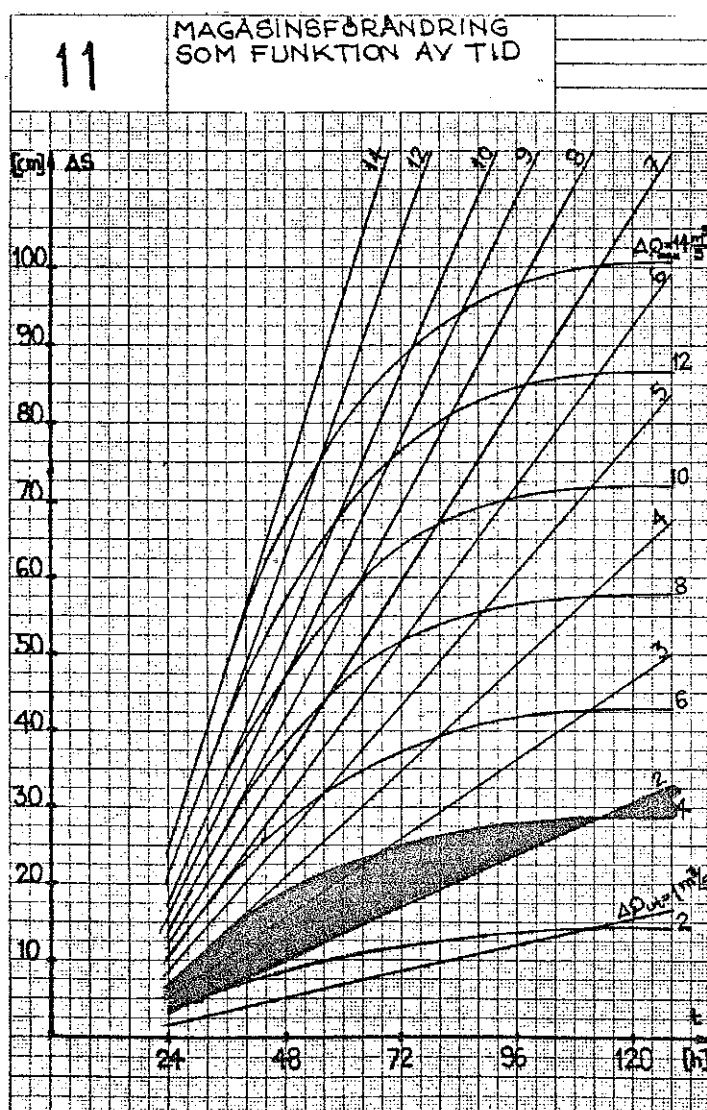
I vårt fall är $\Delta Q_{ut} = 2.0 \text{ m}^3/\text{s}$
 $\Delta Q_{max} = 4.0 \text{ "}$

I diagram 11 nedan är gällande område skuggat. Magasinsförändringen utgörs av skillnaden mellan de två kurvorna. Vid tiden 112 h skär de båda kurvorna varandra. Här är utflödad volym lika med tillrunnen d v s sjön är åter i ursprungsläget.

Utflödet ska alltså vara $3.3 \text{ m}^3/\text{s}$ i $112 - 12 = 100 \text{ h}$
d v s 4 dygn

Svar 4 :

Utflödet ska vara $3.3 \text{ m}^3/\text{s}$ i 4 dygn .



Praktikfall 2

Vi ska nu ta ett exempel där hydrografer från olika regn samtidigt påverkar den totala hydrografen.

Givet: Den 19 oktober 1983 föll ett regn på 24 mm. Nederbörden senaste sju dygnen var 56 mm och senaste 30 dygnen var den 137 mm. 24 timmar före detta regn föll ett regn på 13 mm och 60 timmar före ett regn på 6 mm. $Q_{ut} = 7 \text{ m}^3/\text{s}$. Från uppströms liggande sjöar släpptes $1.1 \text{ m}^3/\text{s}$. Vid regn 1 och 2 var $Q_{ut} = 4.4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Söks: Maximalt tillflöde. Total magasinsförändring ΔS .

Lösning:

Enligt praktikfall 1 ger:

Steg 1

Diagram 5 $\varphi = 0.7$

Steg 2

Tabell 2 basflödet = $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$

Steg 3

$\Delta Q_{ut} = Q_{ut} - \text{basflöde} = 7.0 - 2.4 = 4.6 \text{ m}^3/\text{s}$

Steg 4

Bestämningen av maximalt tillflöde

Vi måste i detta fall superponera alla tre regnen, och använder oss då av tabell 6.1.

12	24	36	48	60	72	84	Δt
1,0	0,7	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0	ψ

$$n_s = \sum n_i \psi_i \quad \psi = \text{superponeringskoefficienten}$$

I vårt fall:

$$\begin{array}{ll} n_3 = 24 \text{ mm} & \psi_3 = 1.0 \\ n_2 = 13 \text{ " } & \psi_2 = 0.7 \\ n_1 = 6 \text{ " } & \psi_1 = 0.2 \end{array}$$

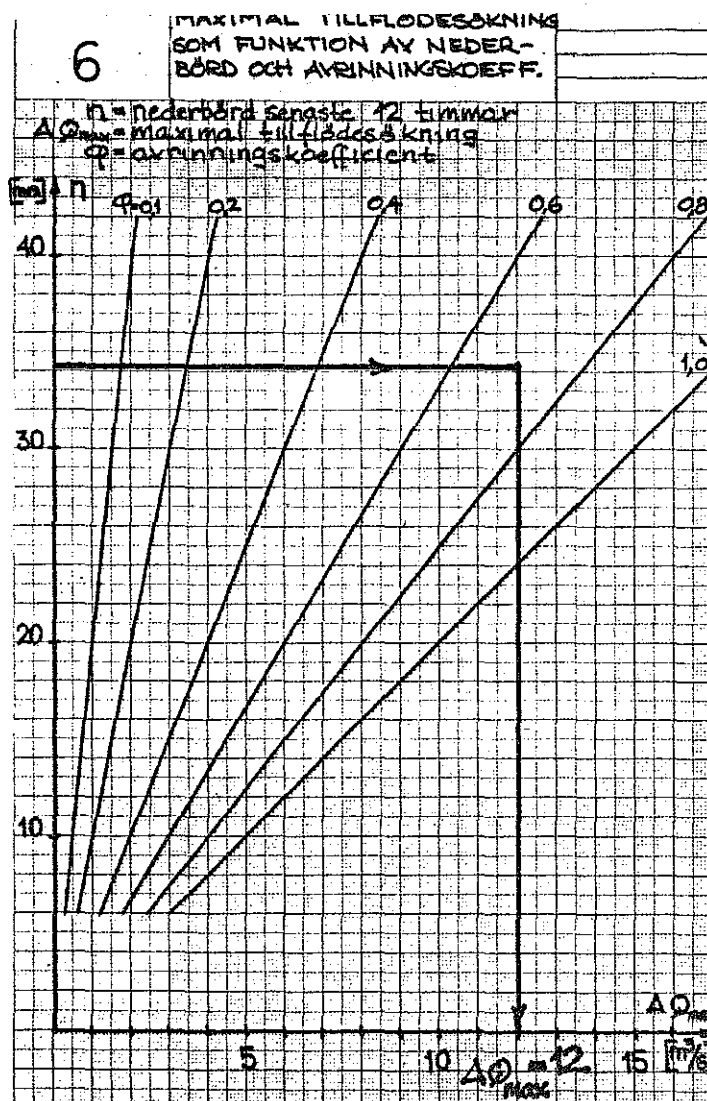
$$n_s = 24 \cdot 1.0 + 13 \cdot 0.7 + 6 \cdot 0.2 = 34.3 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} n_s = 34 \\ \varphi = 0.7 \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta Q_{\max} = 12.0 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{\max} = 12.0 + 2.4 = 14.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Svar 1 :

$$Q_{\max} = 14.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

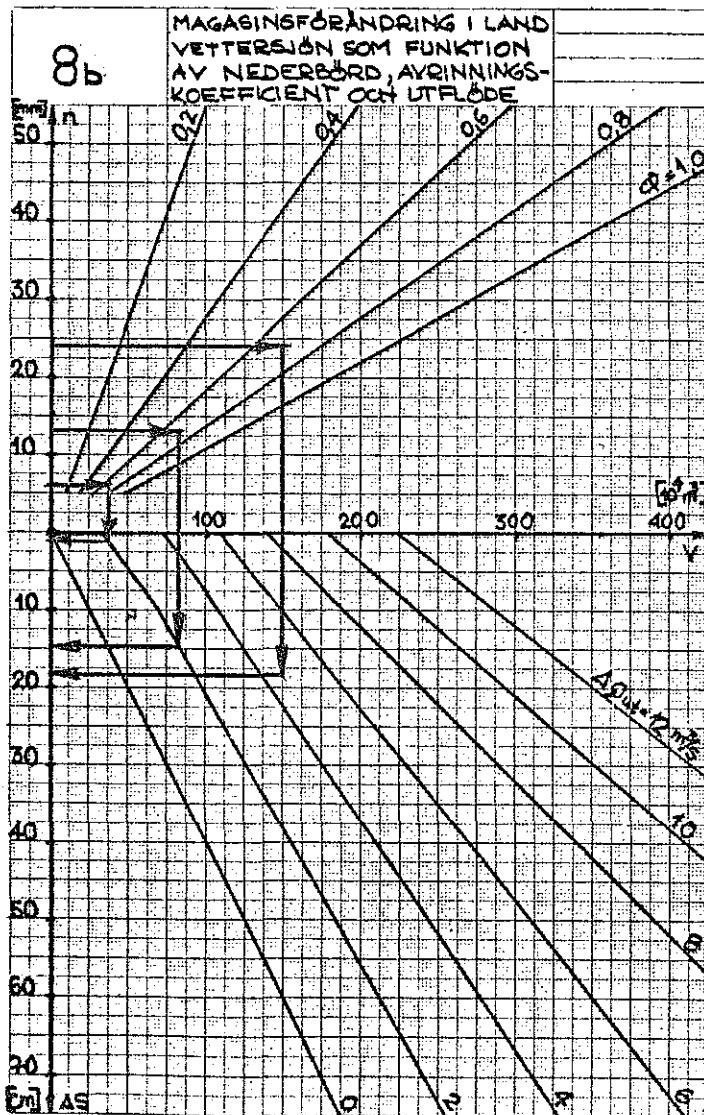


Steg 5

Vid beräkning av totala magasinsförändringen summeras resp regns magasinsförändring.

Vid regn 1 och 2 var $Q_{ut} = 4.4 \text{ m}^3/\text{s}$

$$\Delta Q_{ut} = 4.4 - 2.4 = 2.0 \text{ m}^3/\text{s}$$



$$\Delta S_1 = 1 \text{ cm}$$

$$\Delta S_2 = 15 \text{ ''}$$

$$\Delta S_3 = 18 \text{ ''}$$

$$\Delta S_{tot} = 34 \text{ cm}$$

Svar 2 :

Totala magasins-
förändringen blir

$$\Delta S_{tot} = 34 \text{ cm}$$

7 MODELLEN JÄMFÖRD MED VERKLIGA VARIATIONER

För att kontrollera avrinningsmodellens giltighet, jämför vi den med några flödes och nivåtoppar från hösten 1984. Dessutom kontrollerar vi hur diagrammen från kap 6 överensstämmer med verkligheten.

Utflödet ur Landvettersjön är bestämt m h a diagram 1-3 och nederbördsdata är hämtad från väderleksstationen på Landvetters flygplats.

Vi kommer dels att jämföra tillflöde beräknat från mätdata med tillflöde beräknat m h a enhetshydrograf-metoden (vår modell), dels verklig nivå i sjön från pegelregistrering med nivå beräknad utgående från enhets-hydrograferna.

7.1 Oktober 2, 1984

<u>Datum</u>	<u>nederbörd [mm]</u>	<u>φ</u>	<u>$\Delta Q_{\max}$ [m³/s]</u>
18/10	14	0.4	3.5
19/10	10	0.5	2.5
20/10	10	0.5	2.5
22/10	33	0.6	10.0
23/10	5	0.7	1.7
25/10	10	0.7	3.5
27/10	5	0.7	1.7
29/10	5	0.7	1.7

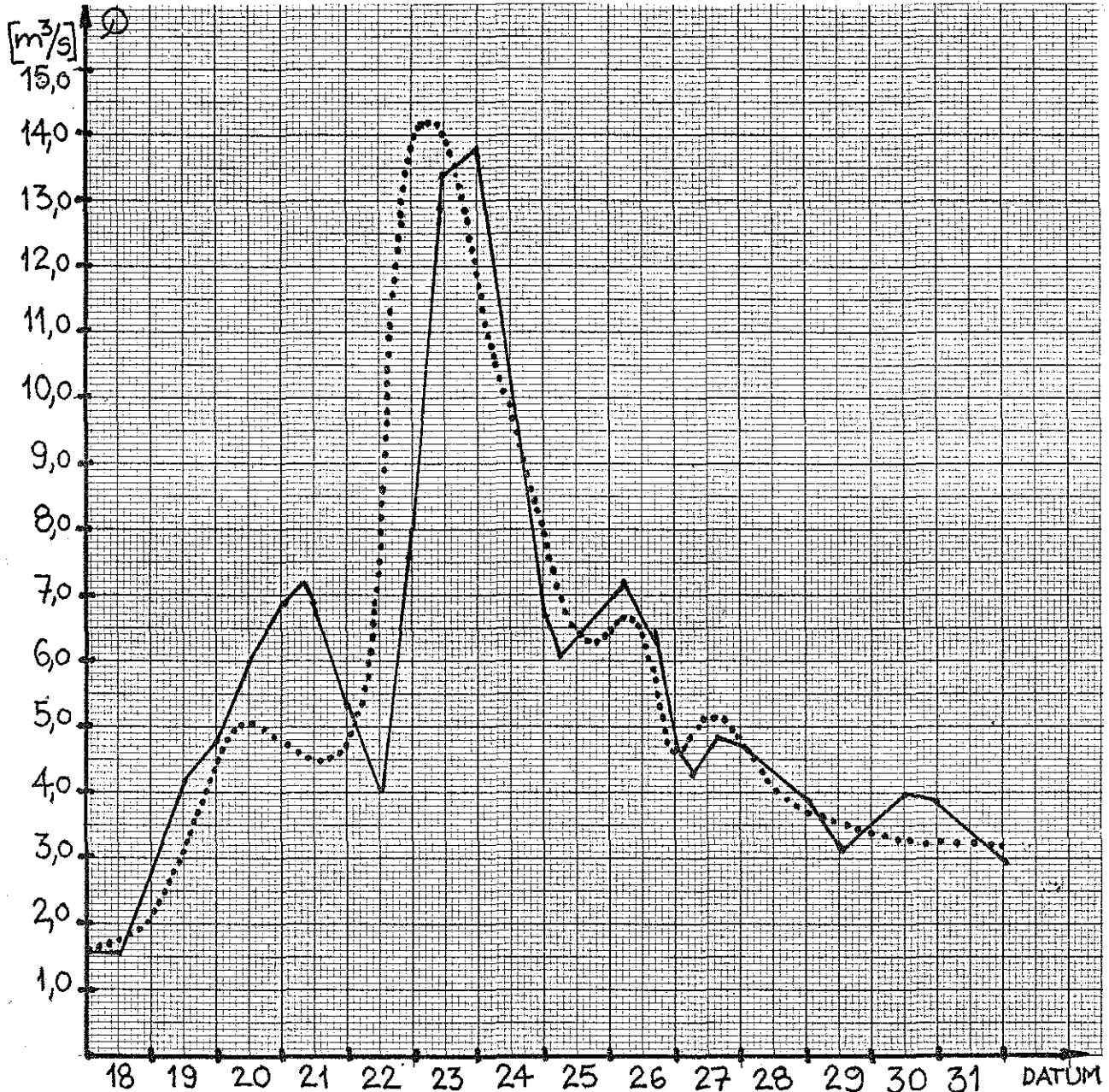


Fig 7.1 Tillflöde till Landvettersjön Oktober 1984

..... Framtagen från mätdata

————— Konstruerad m h a enhetshydrograf

Som synes är överensstämmelsen relativt god. Det är viktigt att komma ihåg att den prickade kurvan inte står för det verkliga flödet, eftersom den är framtagen från pegelregistreringar. Fel på upp till ett par m^3/s förekommer säkerligen i denna kurva. (För vidare kommentar se 5.4). Att den första flödestoppen är överskattad med enhetshydrografmetoden kan bero på att början av hösten var torr och att vi därigenom överskattat avrinningskoefficienten. Fig 7.2 visar magasinförändringen beräknad m h a enhetshydrograf jämförd med verklig.

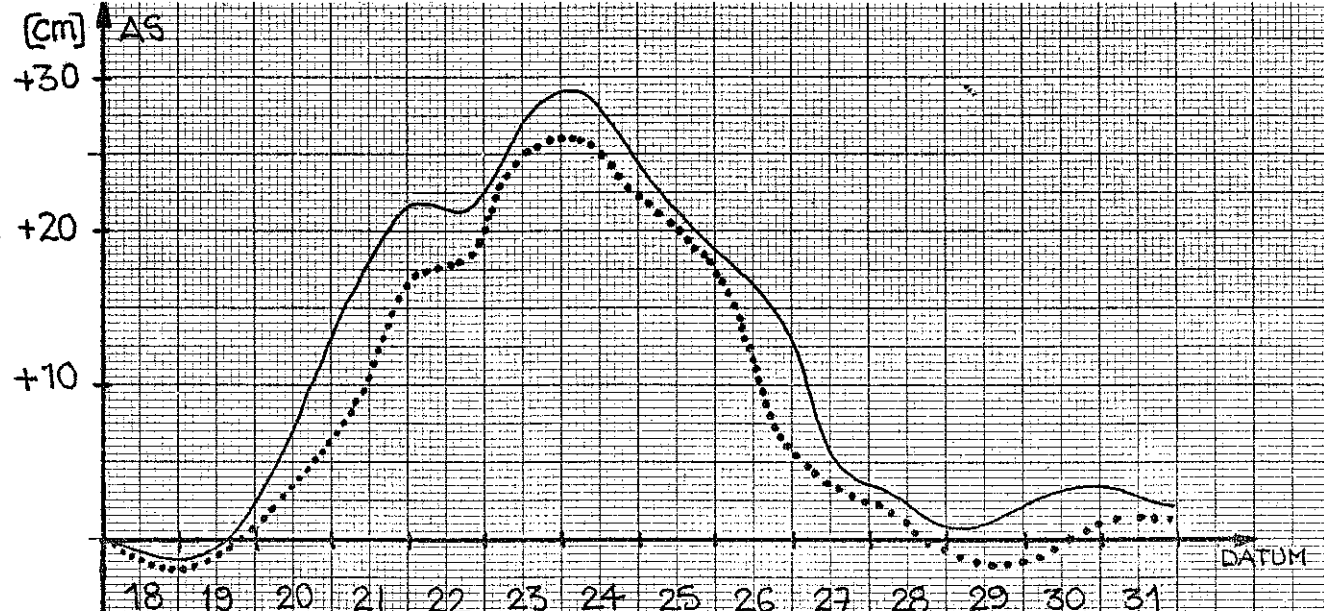


Fig 7.2 Nivå enligt pegelregistrering

———— Nivå beräknad från enhetshydrografen

Det kan vara svårt att m h a diagrambilagan uppskatta magasinförändringar p g a att utflödet ändras flera gånger under hydrografens avrinningstid samt att hydrografer från olika regn överlappar varandra.

Man får använda ett $\Delta Q_{\text{ut-medel}}$ och summera bidragen från varje regn. Nivåer, flöden och nederbörd finns bifogade i bilaga (D). Basflödet sätts till $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$

Datum	nederbörd [mm]	φ	$\Delta Q_{\text{ut-medel}}$ [m^3/s]	ΔS [cm]
18/10	13	0.4	1.5	7
19/10	10	0.5	2.0	5
20/10	10	0.5	2.5	2
22/10	33	0.6	7.0	12
				26

Ett annat sätt är att att m h a superponeringsfaktorn vikta alla regnen till den 22/10. På detta sätt får man en grov approximation .

<u>Datum</u>	<u>nederbörd [mm]</u>	<u>ψ</u>	<u>n [mm]</u>
18/10	13	0	0
19/10	10	0.2	2
20/10	10	0.3	3
22/10	33	1.0	<u>33</u>
			38

$$\left. \begin{array}{l} n = 38 \\ \Delta Q_{\text{ut-medel}} = 5.0 \\ \psi = 0.6 \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta S = 30 \text{ cm}$$

Nivåskillnadsdiagram

För att kontrollera om nivåskillnadsdiagrammet ger en godtagbar uppskattning av de verkliga nivåskillnaderna i sjön gör vi följande kontroll.

<u>Datum</u>	<u>utflöde</u> <u>[m³/s]</u>	<u>Nivåskillnad [cm]</u>	
		<u>enl diagram</u>	<u>enl pegel-</u> <u>avläsning</u>
24/10	11	19	17
27/10	7	11	9

I tabellen kan man konstatera att de uppskattade nivåskillnaderna är i rätt storleksordning.

7.2 November 2, 1984

<u>Datum</u>	<u>nederbörd [mm]</u>	<u>ψ</u>	<u>$\Delta Q_{\max}$ [m³/s]</u>
20/11	5	0.4	1.0
22/11	13	0.4	2.7
24/11	10	0.5	2.5
25/11	2	0.5	0.5
28/11	13	0.6	4.0

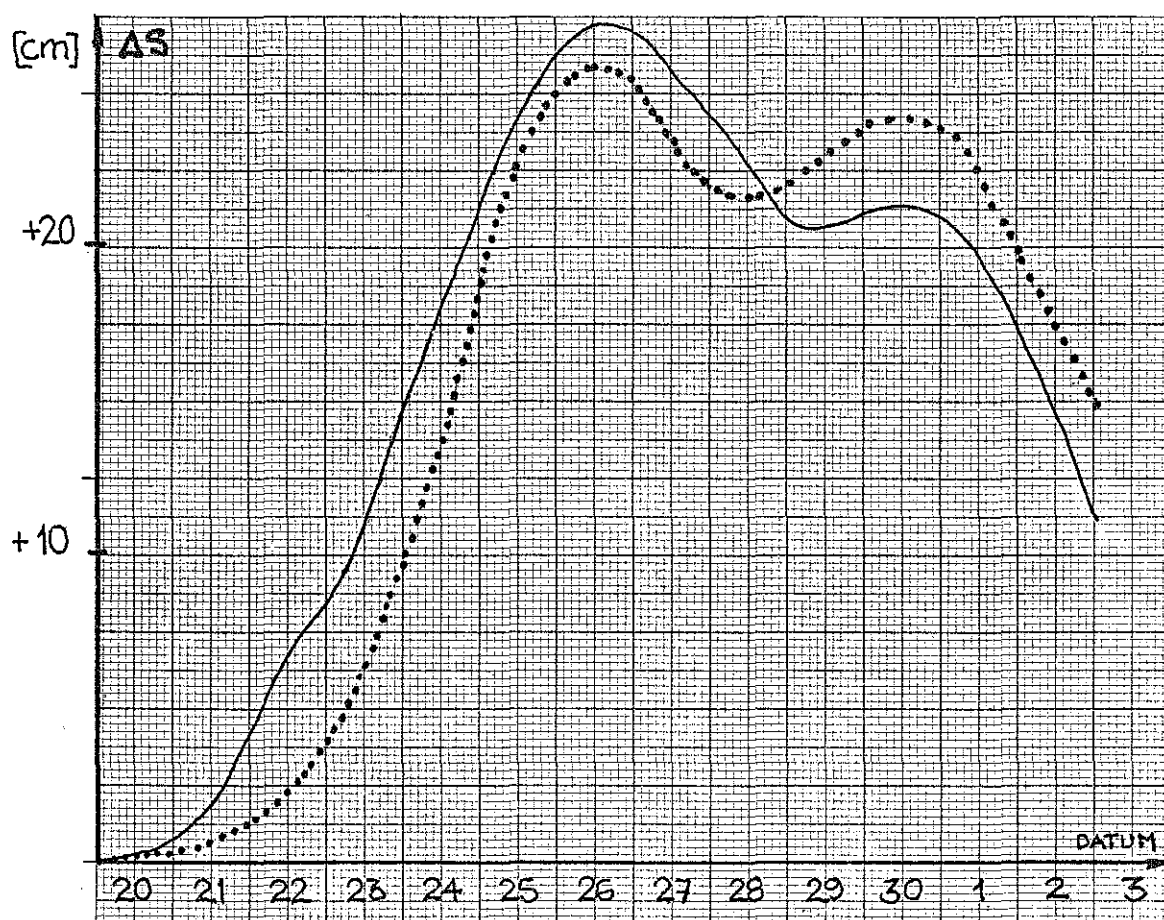


Fig 7.3 Nivå från pegelregistrering
 — Nivå beräknad från enhetshydrograf

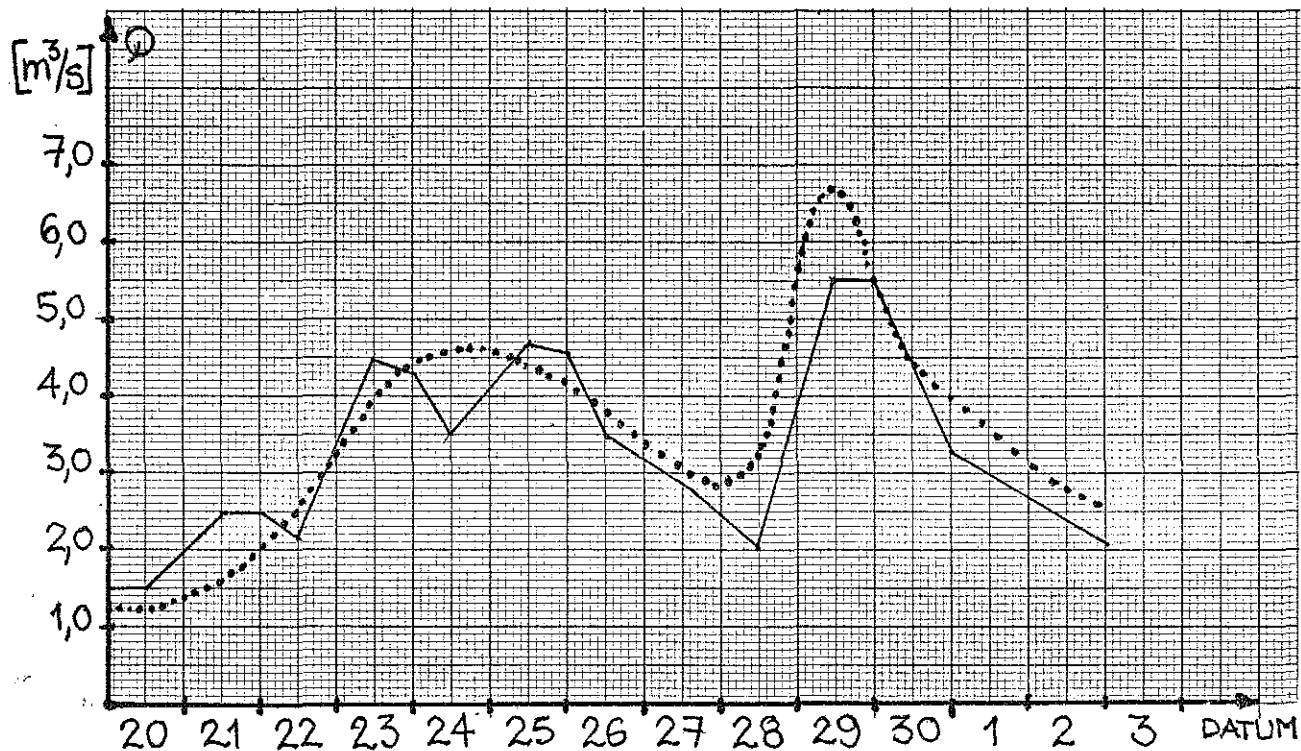


Fig 7.4 Tillflöde till Landvettersjön November 1984
 Framtagen från mätdata
 ————— Konsruerad m h a enhetshydrograf

Även här förelgger god överensstämmelse mellan modell och verklighet.

Enligt approximativ metod (m h a diagram 8) och med basflöde = $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$ fås $\Delta S_{\text{max}} = 24 \text{ cm}$.

Maximala tillflödet beräknat med superponeringsfaktor ger $Q_{\text{till,max}} = 5.5 \text{ m}^3/\text{s}$

8 REGLERING

Avsnitten 8.1-8.3 är hämtade från "Diskussionsunderlag avseende tappningsregler för Gröen" VBB 1982-11-30.

8.1 Grundprinciper för föreslagen reglering enligt VBBs PM av 1935-11-20

1. Vattenstånden i Gröen resp Stensjön-Rådasjön (i fortsättningen enbart benämnd Stensjön) hålls på lägsta möjliga nivå vid tappning upp till 4,5 m³/s. Härigenom erhålls bästa möjliga förutsättningar för att vattnet från kraftigare regn skall kunna magasineras i sjöarna utan extra tappning.
2. För extremt höga vattenstånd, ca 40 cm över (dämningsgränsen), eftersträvas ungefär lika stora överdämningar i båda sjöarna. Vid överdämningar, 0-40 cm över dg, hålls vattenståndet i Gröen upp till 20 cm högre än i Stensjön. Kommentar: Skälet härtill var önskemålet att magasinera vatten i Gröen med hänsyn till den tidigare förekommande kraftverksdriften vid Mölnlycke fabriker.

8.2 Nuvarande förhållanden och förutsättningar för reglering

Från Mölnlycke fabrikers sida finns inte något önskemål om extra magasinering i Gröen sedan kraftverket i fabriken lades ner. Tvärtom är det primära önskemålet att undvika översvämning i fabriken samt i möjligaste mån minimera översvämningar upp- och nedströms om fabriken vid högvattenflöden.

Den tidigare kraftverksdriften begränsade den praktiska sänkningsgränsen till 21 cm under dg. Enligt hävd har dock Gröen tidigare avsänkts ner till 41 cm under dg. Denna undre sänkningsgräns kan nu återigen tillämpas.

Ur magasineringssynpunkt kan Gröen och Stensjön betraktas som ett enda samlat magasin.

Kvarnbyn handhar regleringen av Mölndalsåns sjösystem exkl Gröen och är genom råvattenuttag och kraftverksdrift största vattenintressent i Mölndalsån. Tappningen från Gröen bör därför anpassas så att Kvarnbyns intressen tillgodoses.

I vilken ordning magasinen i Gröen resp Stensjön fylls upp är ur Kvarnbyns synpunkt av mindre betydelse så länge detta sker på ett sådant sätt att det samlade magasinet utnyttjas maximalt.

Tappningen från det samlade magasinet bestäms i princip av tappningen från Stensjön. Uppfyllning eller tappning av Gröen relativt Stensjön innebär bara en omfördelning av den magasinerade vattenvolymen mellan sjöarna.

Vid höga vattenstånd i sjöarna öppnas luckorna i Stensjön helt. Tappningskapaciteten i Mölnlycke är däremot så stor att samtliga luckor normalt ej behöver öppnas. Den faktiska regleringen av Gröen-Stensjö-magasinen sker då vid Mölnlycke fabriker. Tappningen från Stensjön vid fullt öppna luckor beror enbart av vattenståndet i sjön, vilket påverkas av tappningen från Gröen.

8.3 Förslag till tappningsregler

Tappningsreglerna bör utformas så att Stensjön och Gröen får samma specifika magasineringsförmåga upp till dämningssgränsen, dvs förmåga att magasinera tillrinning till följd av kraftig nederbörd från eget oreglerat nederbördsområde. Detta utgör 90 km² och 26 km² för Gröen resp Stensjön.

Eftersom de båda sjöarna är lika stora är Stensjöns magasineringskapacitet $\frac{90}{26}=3,5$ ggr så stor som Gröens. Vid vattenstånd under dämningssgränsen bör således avståndet till dg vara ca 3 ggr så stort i Gröen som i Stensjön för att få ett ungefär samtidigt överskridande av dämningssgränsen i de båda sjöarna vid kraftig nederbörd.

När dämningssgränsen överskrids bör stigning eftersträvas i båda sjöarna upp till 30 cm över dg.

Vid nivån dg +30 cm är Stensjöns avbördningskapacitet (fullt öppna luckor) 13,6 m³/s och marginalen mot översvämning i Mölndalsåns nedre lopp genom Mölndal och Göteborg relativt liten. (Maxkapacitet 19-21 m³/s innan översvämningar inträffar för det samlade flödet från Stensjön samt från Källered- och Balltorpsbäckarna). Det kan därför vara rimligt att Gröen får stiga snabbare än Stensjön vid nivåer över dg +30 cm.

Detta torde även vara rimligt ur den synpunkten att Gröen tidigare alltid överdämts kraftigare än Stensjön. Den ger en hög hög vattenståndsnivå i Stensjön/Rådasjön i kombination med stor tappning från Gröen betydande översvämningar längs ån genom Mölnlycke tätort.

Vid riktigt kraftiga överdämningar av naturkatastrofkaraktär är det rimligt att uppfyllningen i sjöarna åter sker i samma takt.

Under avtappningsskedet efter kraftig överdämning kan vattenstånden lämpligen hållas på samma nivå relativt dämningssgränsen ner till nivån dg +30 cm. Därunder tappas Gröen ned snabbare så att bästa möjliga avbördningskapacitet vid Stensjön utnyttjas. Ju snabbare avtappningen från det samlade Stensjön-Gröenmagasinet sker, desto större marginaler erhålls mot nya översvämningar.

Eventuella nya kraftiga flöden från nederbördsområdet till följd av regn bör under avtappningsskedet i första hand magasineras i Gröen tills korresponderande nivåer för uppfyllning uppnås igen.

Vattenstånd i cm relativt dämningssgränsen

STENSJÖN

GRÖEN

	<u>Uppfyllning</u>	<u>Avsänkning</u>
lägre än -10	-40 till -30	-40 till -30
-5	-15	-25
0	0	-20
10	10	-10
20	20	0
30	30	10
33	40	33
36	50	36
40	60	40
45	70	45
50	80	50
60	90	60
70	100	70

8.4 Praktisk bestämning av erforderlig tappning från Landvettersjön enligt föreslagna tappningsregler

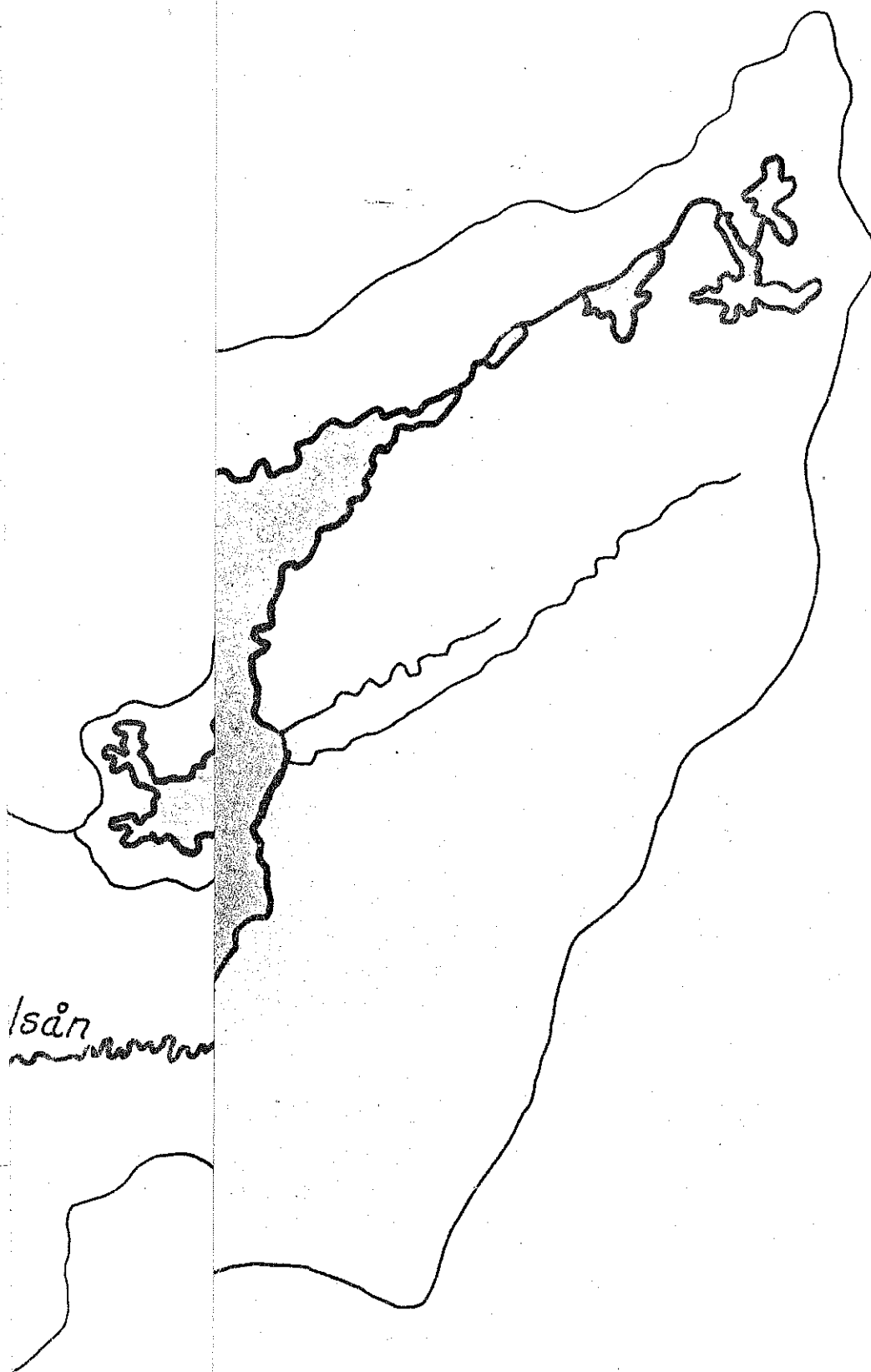
För bestämning av erforderlig tappning kan diagrambilagan (E) användas. Exempel på dess användning finns i kap 6.

LITTERATURFÖRTECKNING

<u>författare</u>	<u>litteratur</u>
Reinius E	Vattenbyggnad del 1, Hydraulik [1] Stockholm 1968
Reinius E	Vattenbyggnad del 2, Hydrologi och [2] vattenreglering, Stockholm 1963
	Exempelsamling, Hydraulik för [3] väg och vattenbyggare Göteborg 1979
Lindestam B	Hydrologisk studie av ett mindre [4] nederbördsområde med speciell in- riktning på enhetshydrografens tillämpning, Göteborg 1970
Ljunggren O	Hydrologi för V2, undervisnings- [5] skrift, Göteborg 1978
Cederwall K	Hydraulik för väg och vatten- [6] byggare, 1979.
Larsen P	
Meiner O E	Hydrology [7]
Hermansson L-E	Mölndalsån, Göteborg 1972 [8]
Petersson S-E	
Tolstoy N	

BILAGA A

Karta över Mölndalsåns avrinningsområde



ALSÅNS AVRINNINGSBOMRÅDE
1: 50 000

BILAGA B

Mätutrustning och data

1 Mätutrustning

Två olika typer av mätutrustning har använts för insamlandet av mätdata. För registrering av sjöns nivå har använts två peglar av typ OTT-Kempton. Nederbörden och dess intensitet registrerades med en regnmätare av typ Lambrecht 1509-H.

1.1 Registrerande pegel

En flottör placerad i ett flotörhus känner av sjöns nivå. Via en wire överförs sedan nivåförändringarna till ett ritstift som rör sig horisontellt. Detta stift ligger an mot en pappersbelagd trumma som roterar med konstant hastighet m h a ett urverk. Pappret är sedan graderat så att ett skalstreck motsvarar 1 cm:s nivåförändring i sjön (se fig B1).

1.2 Registrerande nederbörds-mätare

Denna mätare samlar upp nederbörden i ett flottörhus. När det regnar stiger vattennivån i flottörhuset och även flottören. Till flottören är kopplat ett ritstift som ritar en kurva visande den ackumulerade nederbörden som funktion av tiden på ett diagrampapper (se fig B2).

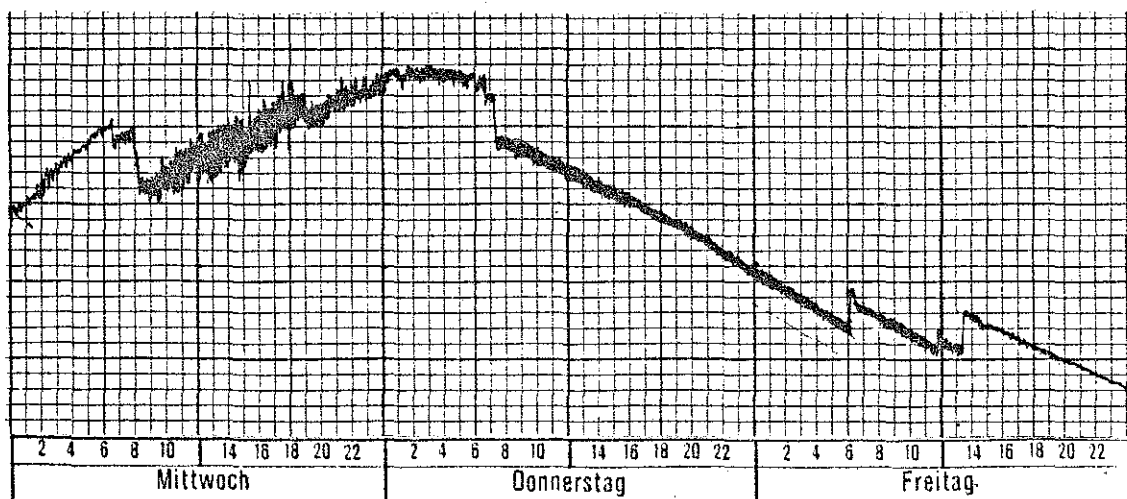


Fig B1 Registrering från pegel

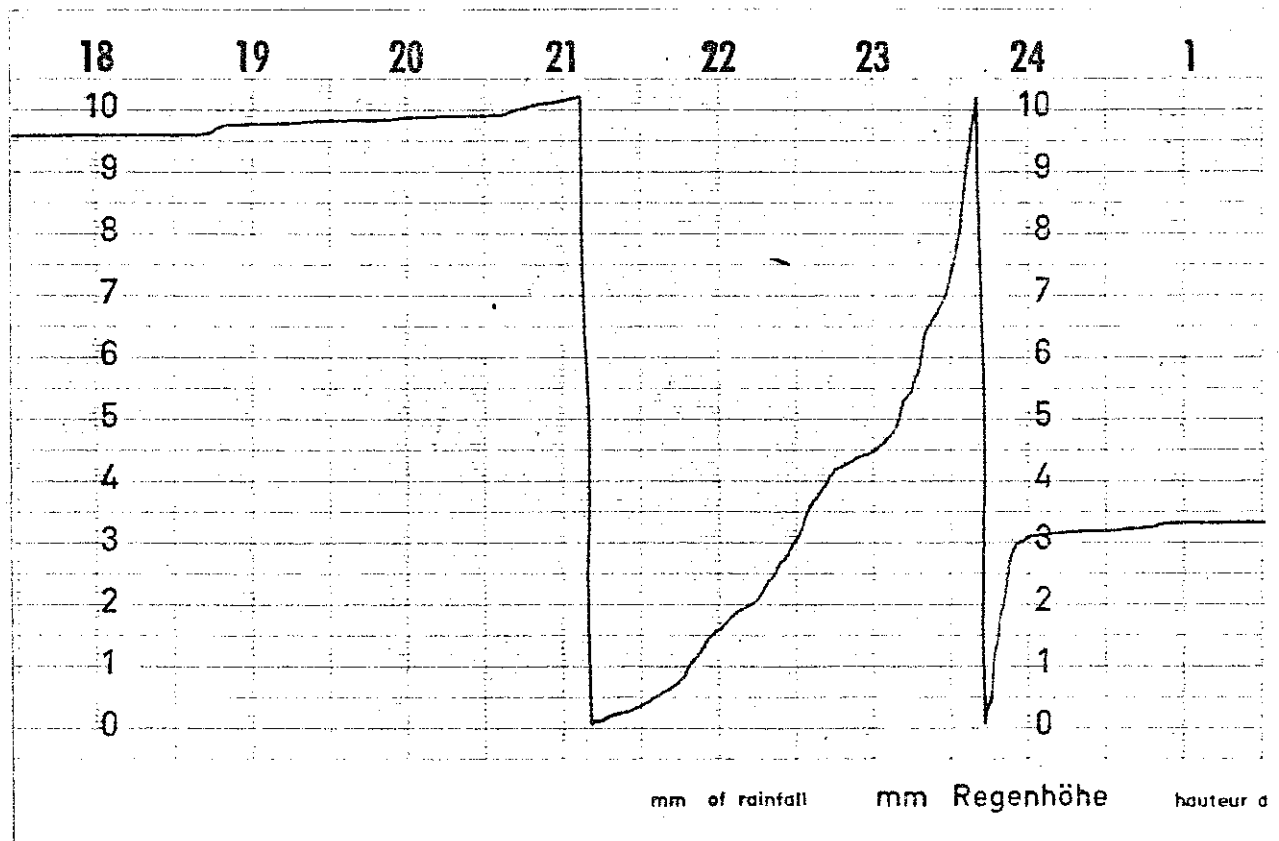
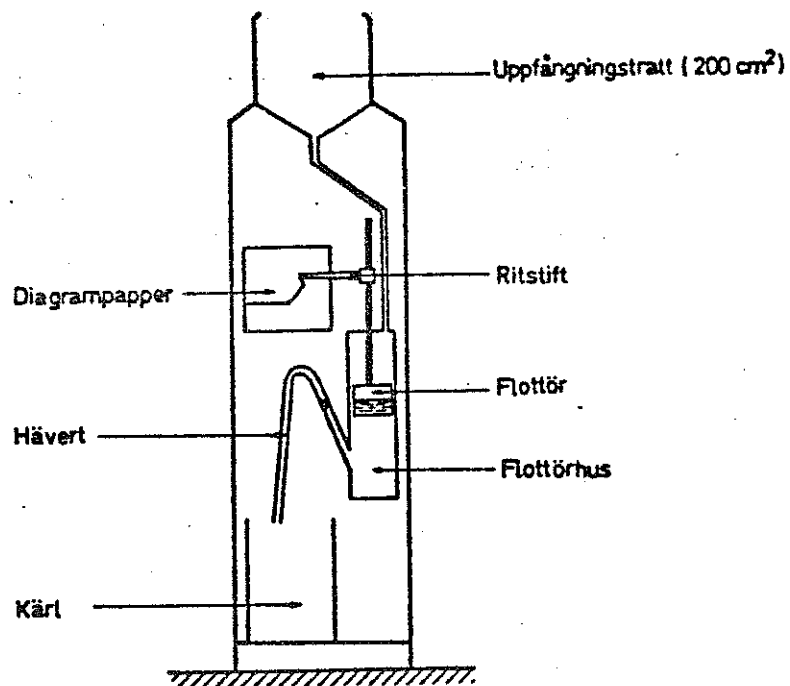


Fig B2 Registrerande nederbördsjätare och registrering

2 Mätutrustningens placering

2.1 Peglar

För att uppskatta utflödet genom dammluckorna i Landvettersjön registreras vattennivån i dammbassängen m h a en pegel R1 placerad enl fig. Friktionsförluster i tilloppskanalen, virvelbildningar i dammen mm gör att pegel R1 inte registrerar sjöns nivå på ett tillfredsställande sätt. Därför har pegel R2 placerats uppströms bron. Denna registrering ligger till grund för bl a magsineringsberäkningar i sjön.

2.2 Nederbördsräknare

Nederbördsräknaren är placerad på ett ställe intill tilloppskanalen där omgivande natur inte stör mätningarna.

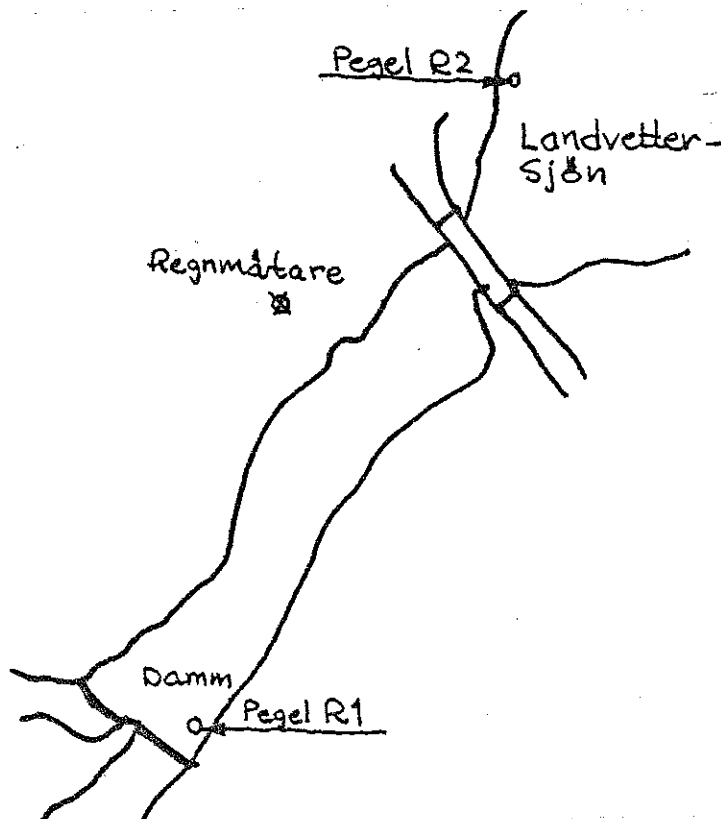


Fig B.3 Mätutrustningens placering i Mölnlycke

3 Insamlade data

För att få större bredd har den egenhändigt uppmätta datan kompletterats med insamlad data. Den tid (okt 83-nov 84) som mätutrustningen enl 2 har varit uppsatt är så kort att en större tidmässig spridning på mätuppgifter har varit önskvärd. En geografiskt mer representativ mätning av nederbörden än den egna har anskaffats. Nedan följer en presentation av insamlade mätdata.

3.1 Nedebördsdata

I nederbördsområdet finns två nederbördsmätare, en i Mölndal och en på Landvetters flygplats. Den i Mölndal avläses en gång per dygn medan den i Landvetter avläses två gånger per dygn. Då den senare också ligger centralt i Landvettersjöns avrinningsområde beslutade vi oss för att enbart utnyttja denna.

3.2 Luckdata

För att kunna beräkna utflödet från Landvettersjön krävs dels uppgifter om vattennivån i dammen, dels uppgifter om lucköppningar. Mölnlycke industrier har sedan länge registrerat vattennivån men de har tyvärr inte samlat några uppgifter om luckornas öppning. Sedan examensarbetet sattes igång har dammvakten dock registrerat dessa. Det är därför inte möjligt att bestämma utflödet annat än från tiden då examensarbetet pågått.

3.3 Vattenståndsdata + Utflöde

Enligt vad som nämndes under rubriken luckdata registreras alltså vattennivån av Mölnlycke Fabriker. Detta sker varannan timme och bokförs tillsammans med uppskattat utflöde och regn de senaste 24 timmarna på en förtryckt blankett. Uppskattningen av utflödet har skett med hjälp av ögonsikte. Jämförelsen mellan beräknade flöden och Mölnlyckes

uppskattade, visar att de senare är kraftigt överskattade. Detta begränsar användbarheten av dessa gamla data.

3.4 Vattenrapporter

Vid studiet av avrinningskoefficientens variation har Mölnldals kvarnbys vattenrapporter (81-84) kommit till god användning. Utflöden från sjösystemets reglerade sjöar samt magasinförändringar finns här angivna.

7242 LANDVETTER FLYG
POSITION: 5740 1218 HÖH: 154

SYNOPNR: 526
FLODOMR: 107

ÅR: 1983 MÅN: 10

D A T U M	L U F T T E M P E R A T U R SVENSK NORMALTID =GMT + 1H						N E D E R B Ö R D				S N Ö D J U P I C M	D A T U M
	DYGNS- MEDEL					UPPMÄTT		DYGNS				
	01	07	13	19	MAX	MIN	KL 07	KL 19	NBD			
1	-0.1	-1.6	9.7	5.4	3.7	9.7	-2.8					1
2	4.4	4.3	6.1	7.0	5.7	7.0	3.6		3.3	3.3		2
3	8.0	9.5	12.0	12.4	10.9	12.4	7.0	0.0	1.1	3.5		3
4	11.5	11.4	12.1	13.5	12.4	13.5	11.2	2.4	1.6	5.8		4
5	14.8	13.3	12.1	11.1	12.4	15.4	10.9	4.2	1.6	13.5		5
6	10.5	10.2	8.9	6.5	8.5	11.1	5.4	11.9	0.4	0.4		6
7	5.0	6.6	10.3	11.4	9.0	11.5	4.1		2.3	5.1		7
8	7.8	7.5	9.9	2.6	6.4	11.4	2.6	2.8	0.5	0.5		8
9	-0.8	0.5	5.9	5.1	3.5	8.1	-0.9		0.2	0.2		9
10	3.6	1.9	6.7	10.5	6.1	10.5	0.7		6.5	12.3		10
11	8.0	8.1	10.0	7.5	8.4	10.5	6.9	5.8	3.0	6.3		11
12	7.5	8.9	9.5	7.9	8.7	10.4	6.8	3.3	0.9	6.6		12
13	8.0	11.4	11.8	11.1	11.1	12.2	7.6	5.7	0.0	0.1		13
14	9.8	12.1	12.3	9.9	11.3	12.4	9.6	0.1	0.8	0.9		14
15	9.0	9.7	13.1	10.1	10.7	13.2	9.0	0.1	0.0	1.5		15
16	9.8	9.9	10.1	10.4	10.0	10.4	9.0	1.5	6.0	19.2		16
17	7.6	8.4	9.7	8.7	8.9	10.6	7.6	13.2	0.2	0.7		17
18	8.5	8.6	9.4	8.5	8.8	10.0	8.1	0.5	2.5	26.5		18
19	11.0	9.3	10.0	8.6	9.3	11.1	8.5	24.0	0.0	0.0		19
20	6.6	5.8	8.3	5.2	6.3	8.8	5.2			0.0		20
21	6.7	5.5	9.1	4.4	6.2	9.7	4.4	0.0				21
22	5.4	6.6	9.9	8.7	7.9	10.5	3.3			0.0		22
23	8.5	8.2	9.6	9.6	9.0	9.7	8.1	0.0		2.2		23
24	8.2	6.1	5.5	2.8	5.0	9.7	2.8	2.2	0.0	0.0		24
25	1.4	2.5	3.4	6.5	3.9	6.5	-1.1		11.1	14.2		25
26	9.2	10.5	11.3	10.6	10.4	11.6	6.5	3.1				26
27	9.2	9.1	9.8	8.7	9.2	10.6	8.7		7.2	14.4		27
28	6.7	5.2	7.3	2.0	4.6	8.7	1.8	7.2				28
29	-3.4	-0.2	6.2	5.3	2.9	6.7	-4.7		0.0	0.0		29
30	5.5	6.5	7.2	7.4	6.8	7.4	4.9	0.0	2.6	7.6		30
31	7.3	7.9	11.2	8.1	8.9	11.6	7.2	5.0	0.3	0.3		31
1												1
M	6.9	7.2	9.3	8.0	8.0	10.4	5.2	93.0	52.1	145.1		
	33	38	79	54	54							
MAX DYGNSTEMP 12.4 DEN 4 5 MAX POS.ANDR. AV DYGNSTEMP 6.5 DEN 26												
MIN DYGNSTEMP 2.9 DEN 29 MAX NEG.ANDR. AV DYGNSTEMP -4.6 DEN 28												
MAXTEMP 15.4 DEN 5 MAX DYGN SAMPLITUD 12.5 DEN 1												
MINTEMP -4.7 DEN 29 MAX DYGN SNBD 26.5 DEN 18												

BILAGA C

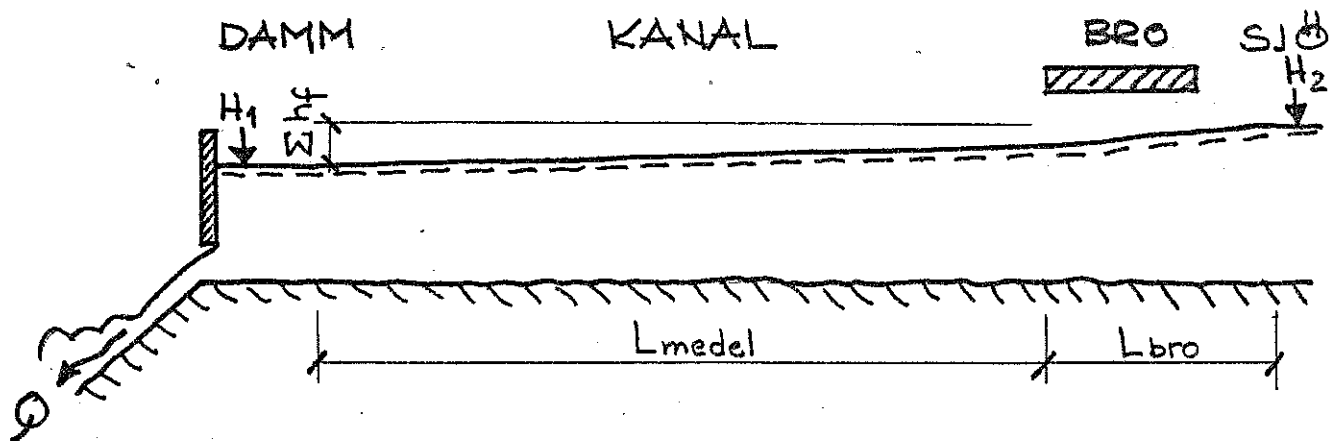
Beräkningar

1 Nivåskillnadsberäkningar

För att uppskatta nivåskillnaderna mellan sjön och dammbassängen har vi utnyttjat teori för kanalströmning.

1.1 Energiekvationen

För att få fram ett lämpligt samband har vi tecknat energiekvationen mellan snitt II vid sjön och snitt I precis innan kanalens utlopp i dammbassängen (se fig)



Energiekvationen:
$$H_2 = H_1 + \frac{U_1^2}{2g} + h_f + h_t \quad (\text{ekv 1})$$

där: H_2 är vattennivå vid snitt II
 H_1 är vattennivå vid snitt I
 h_f är friktionsförluster längs kanalen
 h_t är tilläggsförluster (försummas)
 U_1 är vattenhastighet i snitt I

Sammanhörande H_1 och H_2 är registrerade med peglar i snitt I och II. Flödet Q_1 är sedan framplockat med bottenutskovsformler och höjder H_1 . Genom att sedan dividera Q_1 med arean i snitt I erhålls U_1 .

1.2

Förluster

Mellan snitt II och I passerar vattnet först en trång sektion under en bro (se fig). Efter denna passage vidgar sig kanalen till en relativt konstant bredd som den bevarar ända ner till snitt I. Vi har därför valt att räkna förluster dels i den trånga sektionen h_{fb} , dels i den relativt konstanta sektionen h_{fm} . Kanalens geometri har erhållits genom fältmätningar.

$$h_{fb} = \frac{U_b^2 \cdot L_b}{M^2 \cdot R_b^{4/3}} \quad h_{fm} = \frac{U_m^2 \cdot L_m}{M^2 \cdot R_m^{4/3}}$$

där:

index b står för bro

" m " " medel

U är vattenhastighet

A är vattensektionens area

L är längden

R är hydraulisk radie

M är Mannings tal

Mannings_tal

Genom att analysera samhörande värden för några tidpunkter i ekv 1 har vi plockat fram tillhörande värden på M. Det visar sig då att Mannings tal blir ganska konstant 10-15 (se tabell). Jämförelsevis kan sägas att formelsamlingar anger $M = 35-40$ för slät jord. Det låga värdet ($\bar{M} = 13.1$) beror troligtvis på försummandet av tilläggsförluster samt på att kanalens botten är bevuxen och full av stenar.

H_2	H_2-H_1	Q	M
64,93	0,08	5,8	12,74
65,00	0,20	8,0	10,41
64,85	0,04	4,0	13,76
64,70	0,01	2,0	15,52

$$\bar{M}=13,1$$

Mannings tal, variation och medelvärde

1.3

Diagram

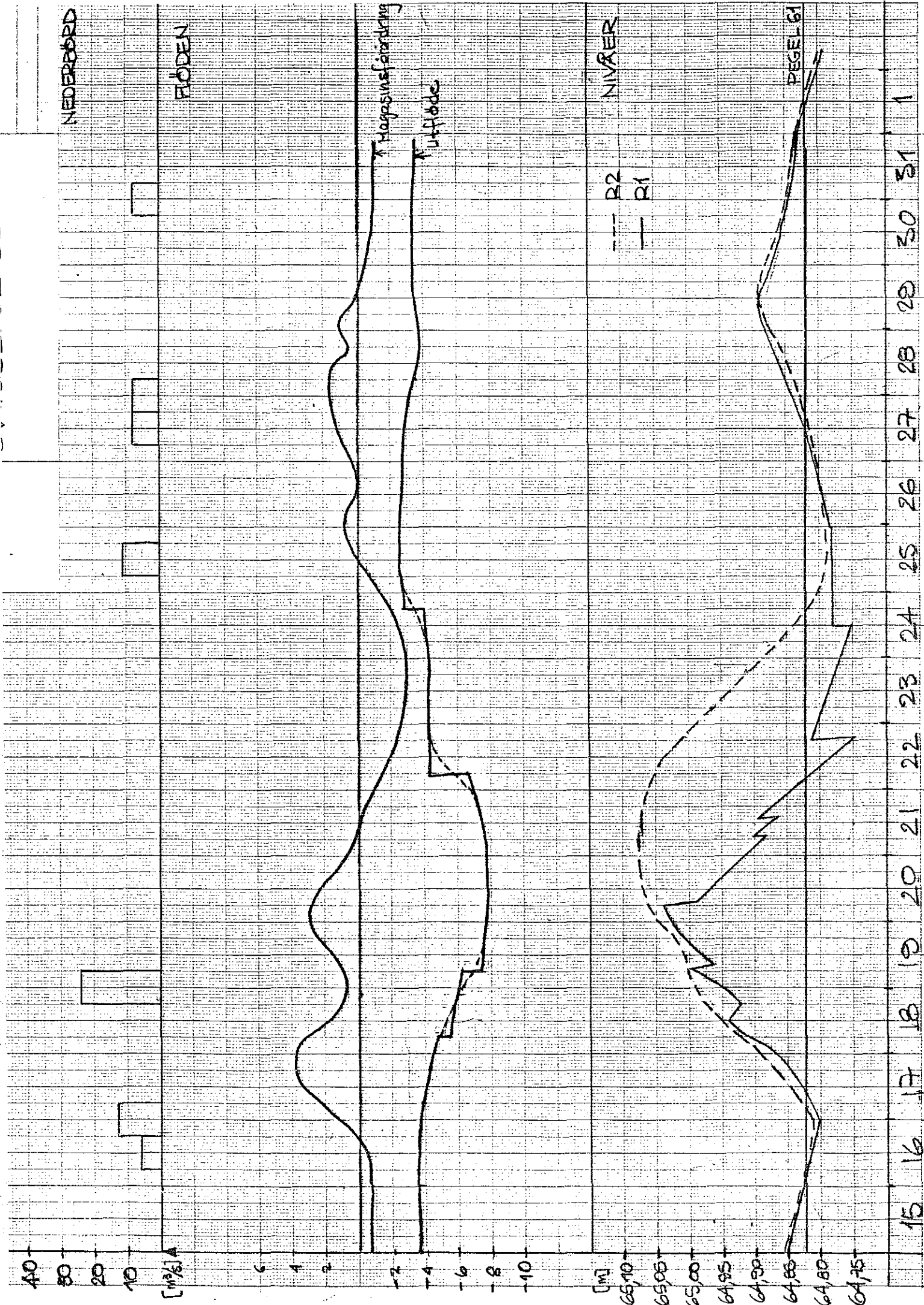
Vi har sedan stuvat om i ekv 1 och m h a den upprättat kurvor för (H_2-H_1) som funktion av flödet.

$$(H_2-H_1) = \frac{U^2}{2g} + h_{fb} + h_{fm} \quad \text{ekv 1'}$$

Eftersom förlusterna är beroende av vattnets hastighet har vi upprättat tre kurvor för olika nivåer H_1 vid dammen.

BILAGA D

Nivåer och flöden



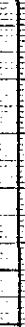
1 NOVEMBER 1 - 83

NEDEBORG

FLÖDE

[m³/s]

40
30
20
10
0
-2
-4
-6
-8
-10



[m]

6500
6495
6490
6485
6480
6475
6470
6465
6460

R1 NIVÅER

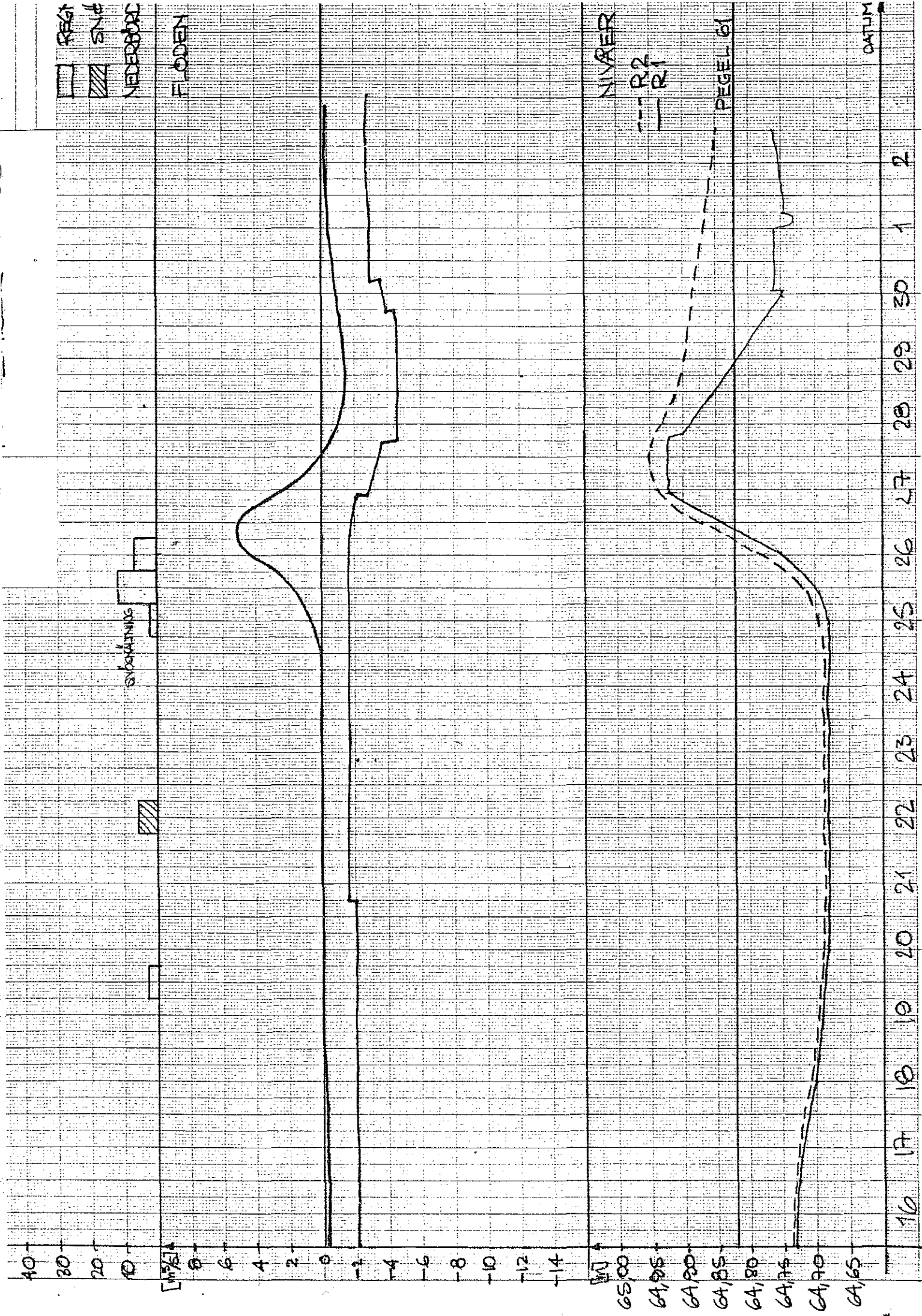
R2

PEGEL G1



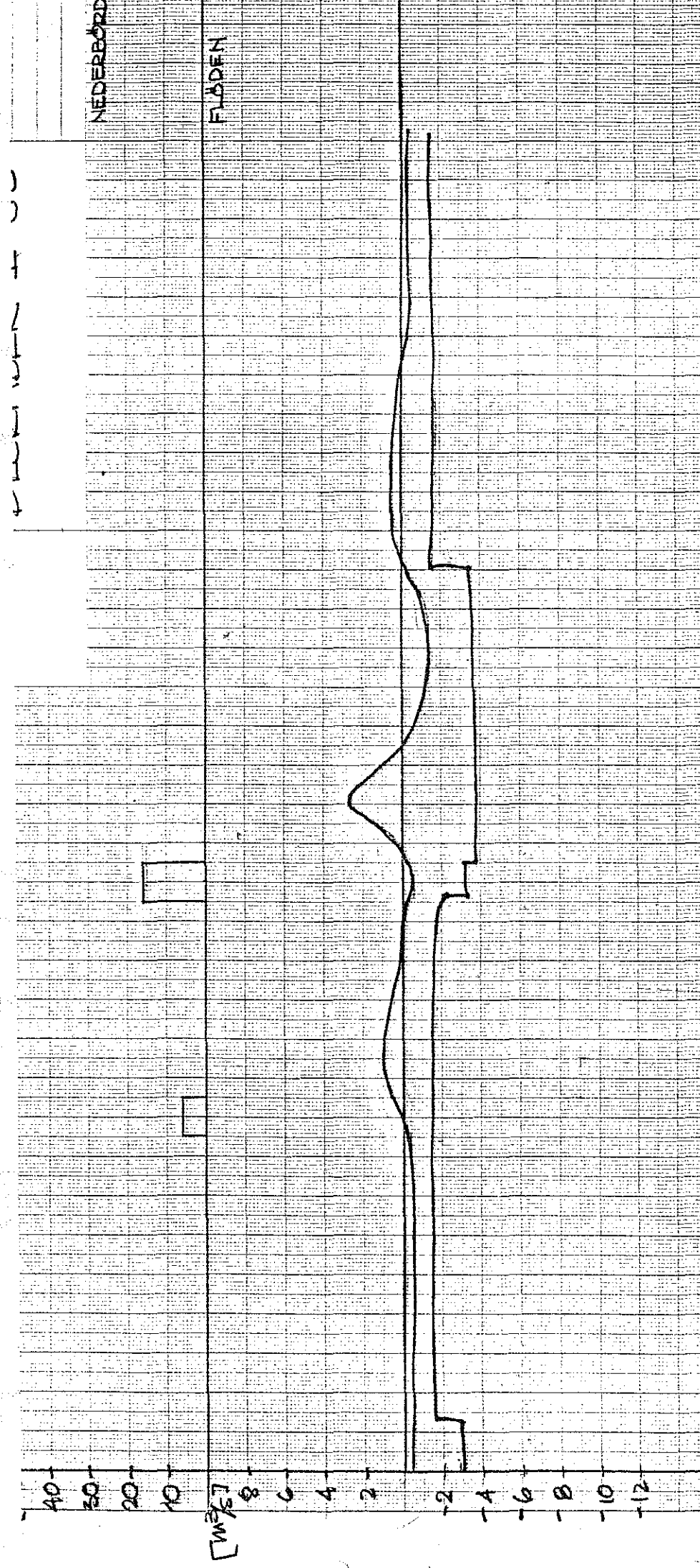
DATUM

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17



NEDERBORD

FLÖDEN

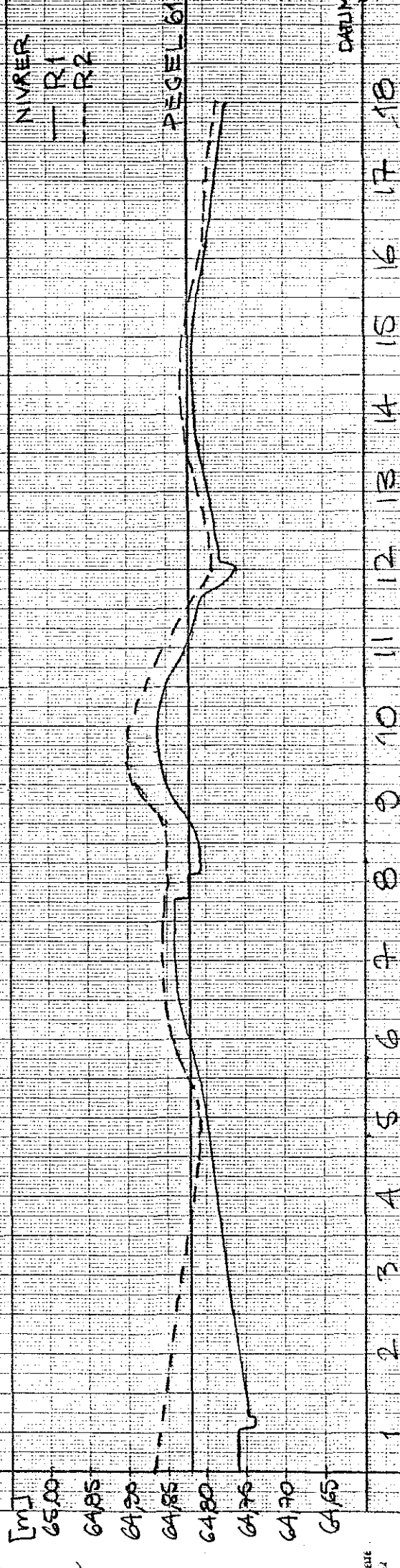


NIVÅER

— R1

--- R2

PEGEL 61



DATUM

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

STON

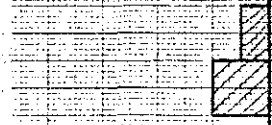
NIEDEBBORD

FLÖDEN

3,8 -4,4 -12 0,4 1,7 2,5 3,1 1,6 1,4 1,1 2,3 5,6 3,4 3,8 3,6

40
30
20
10
0
-2
-4
-6
-8
-10
-12
-14

[m³/s]



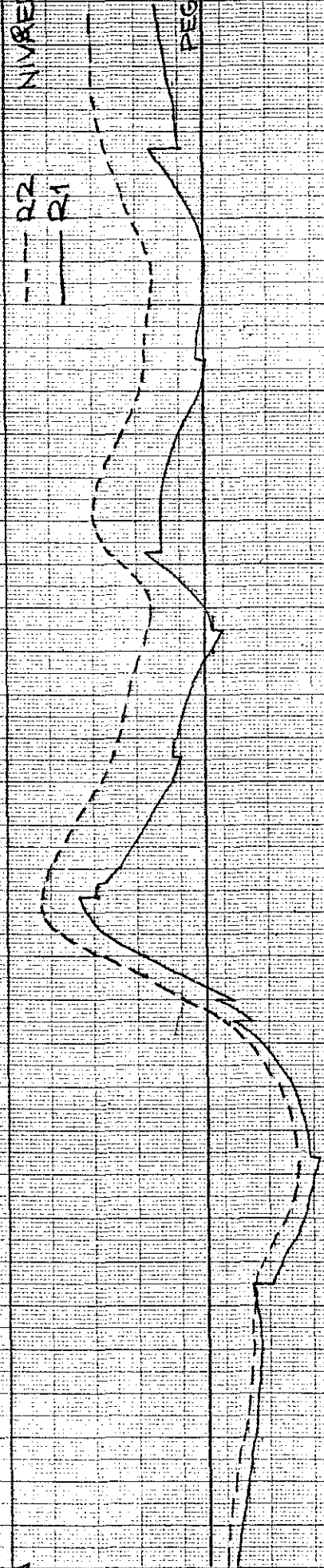
[m]

65,00
64,85
64,80
64,85
64,80
64,75
64,70
64,65

NIVÅER

--- R2
— R1

PEGEL 61



DATUM

17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 1 2 3 4

OKTOBER 2 84

NEDERBÖD

FLÖDEN

Magasinförändring

Utflyde

R2 NIVÅER
R1

PEGEL G1

16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 1 2 DATUM

30

20

10

12

10

8

6

4

2

0

-2

-4

-6

-8

-10

6505

6500

6495

6490

6485

6480

6475

6470

NOVEMBER 2 84

NEDERBÖRD

FLÖDEN

mm/d

5.0

4.0

3.0

2.0

1.0

0

-1.0

-2.0

-3.0

-4.0

-5.0

-6.0

mm/s

64.90

64.80

64.70

64.60

64.50

Magasinshöjning

Utfyllnad

R2 NIVÅER

R1

PEGEL G1

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

1

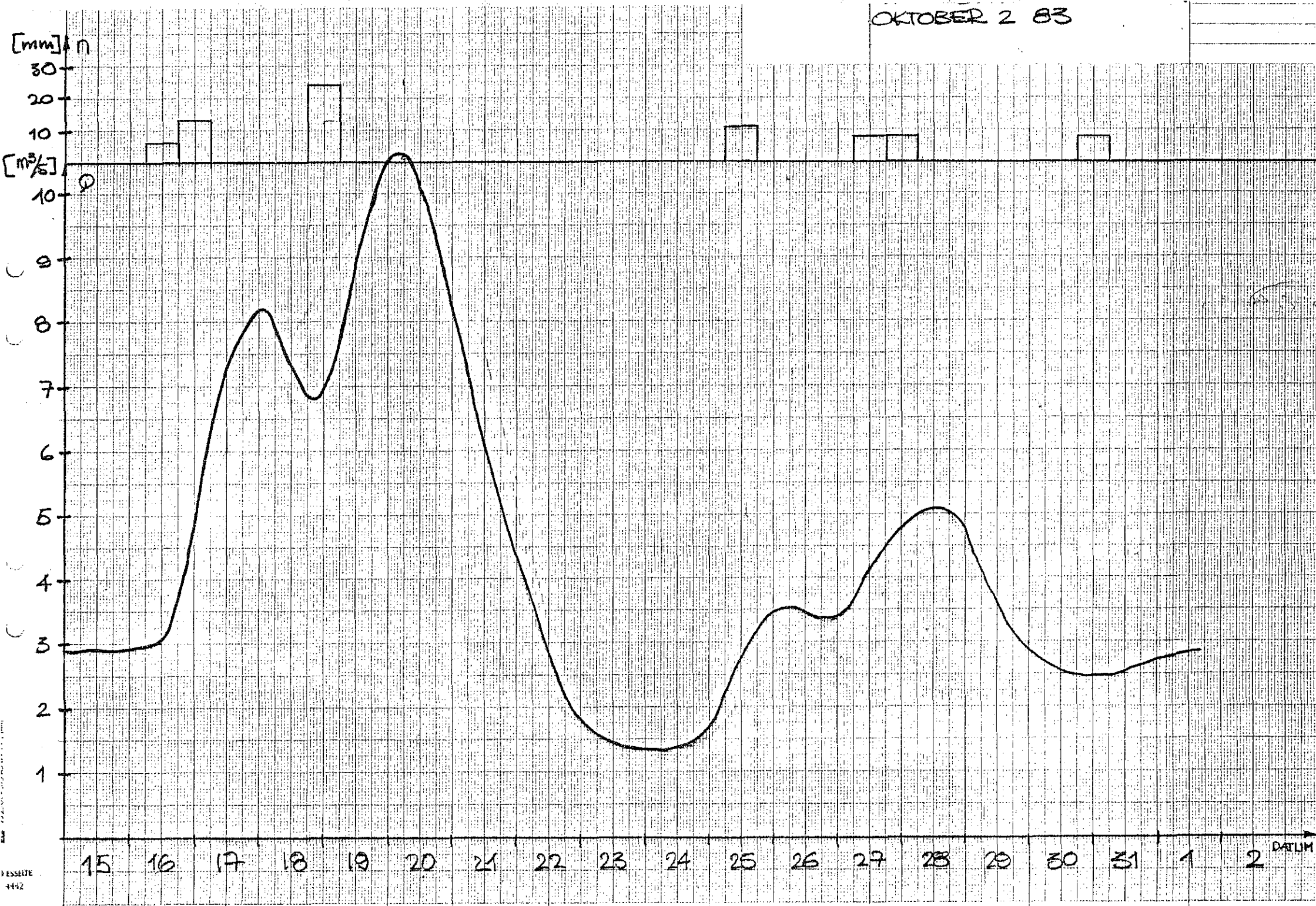
2

3

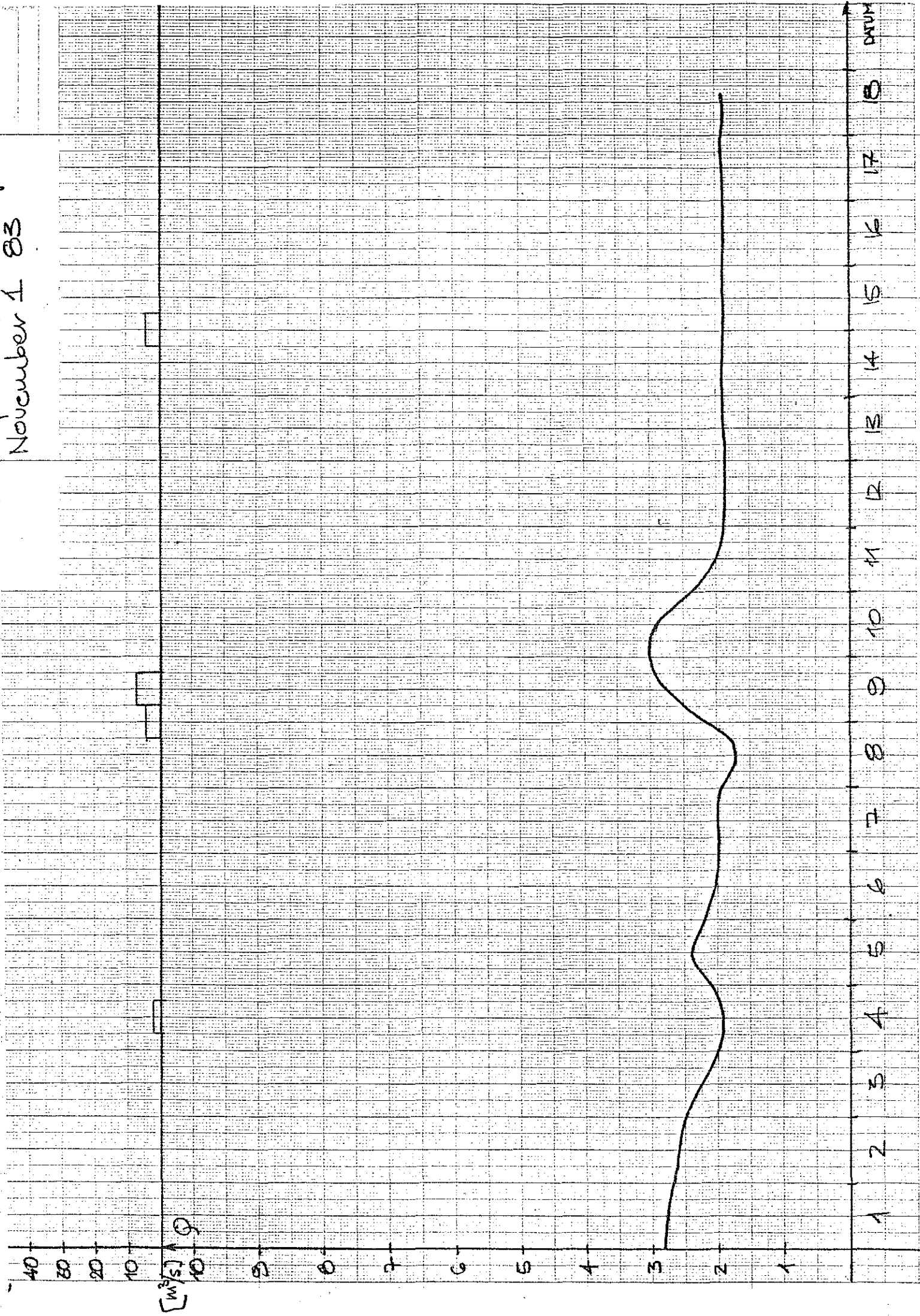
4

DATUM

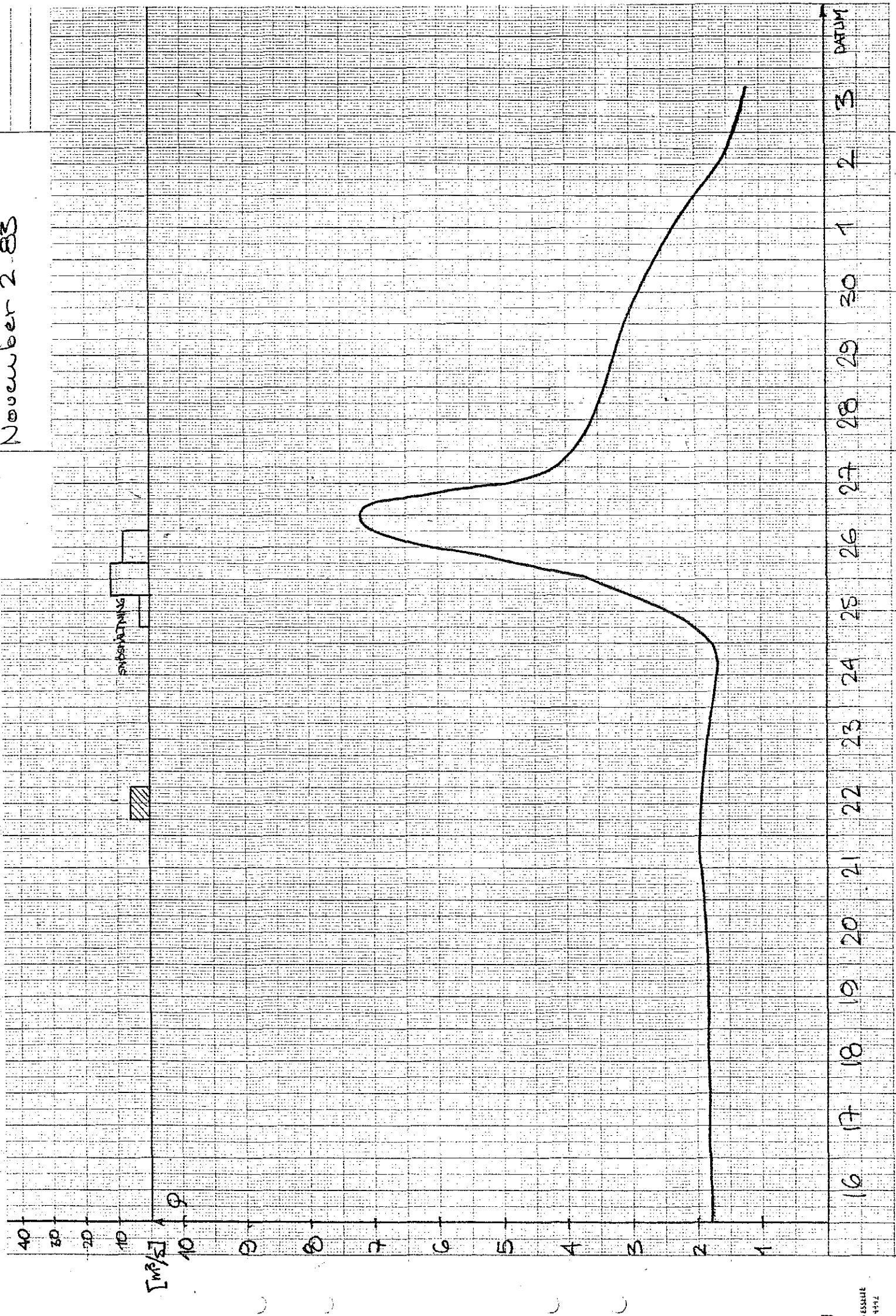
OCTOBER 2 83



November 1 83



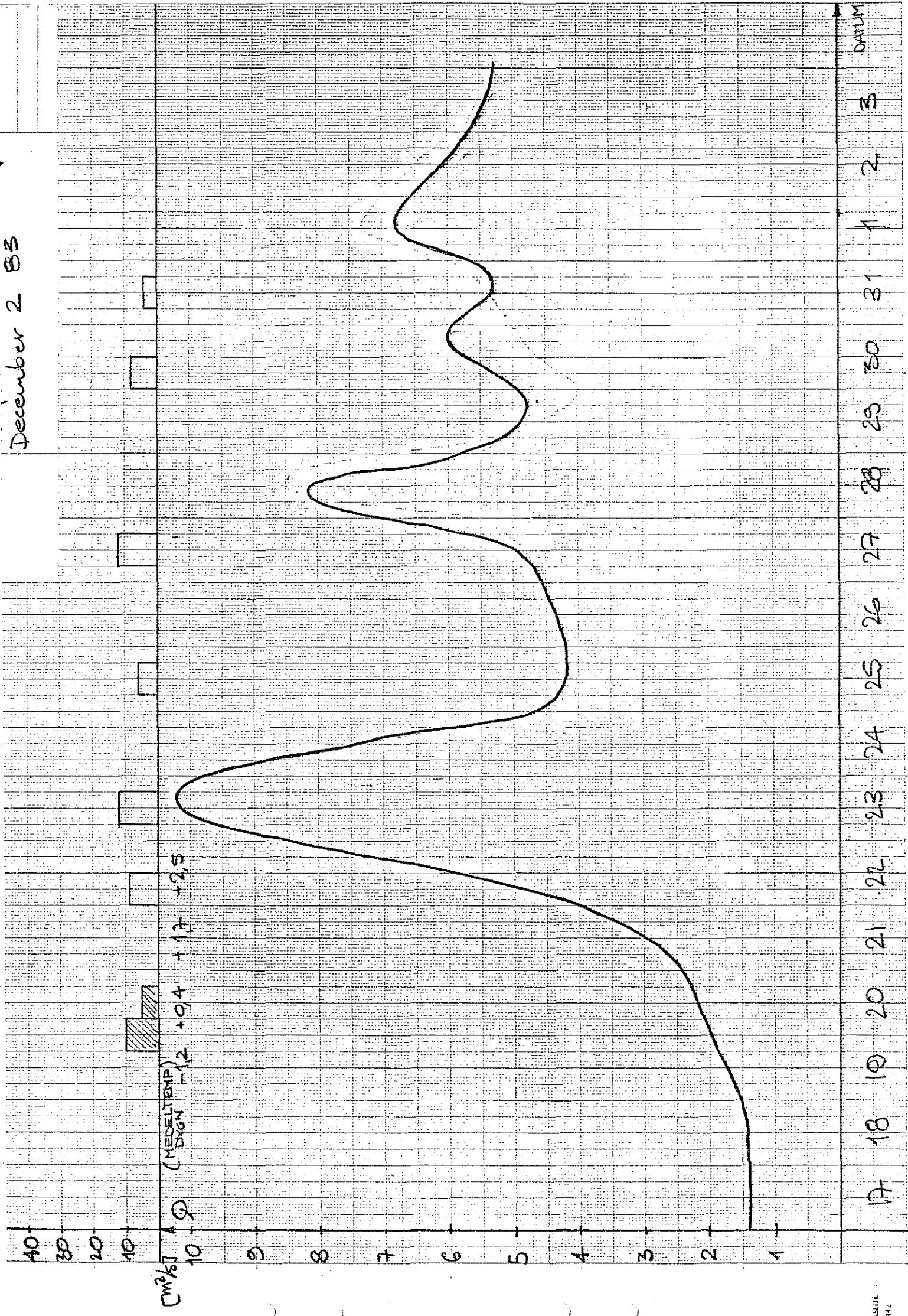
November 2-83



December 1 83



December 2 83



Vörsen-Sonnenaren 84

[m/s]

2,0

1,5

1,0

0,5

12

24

36

48

60

72

84

96

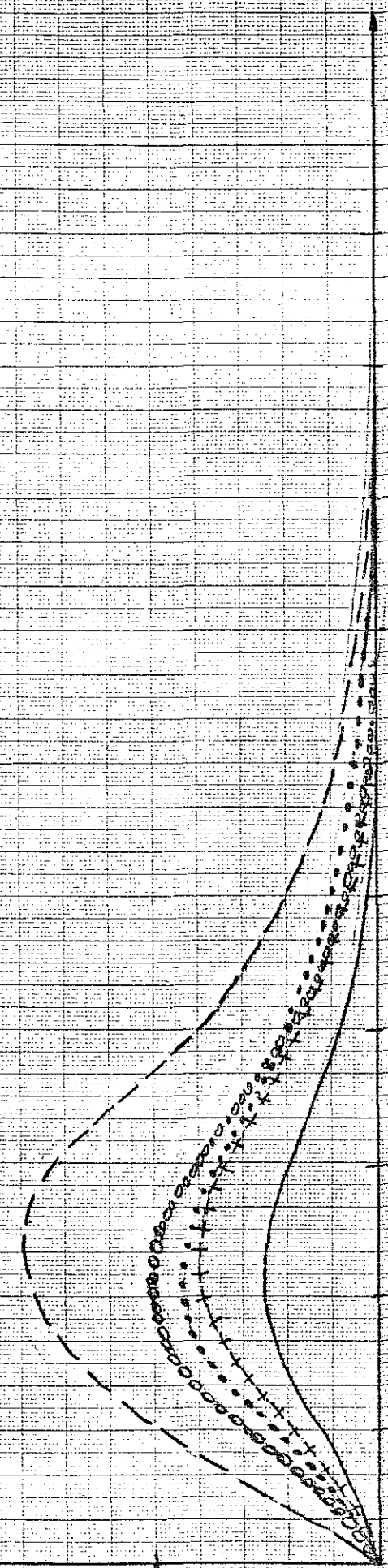
108

120

12000

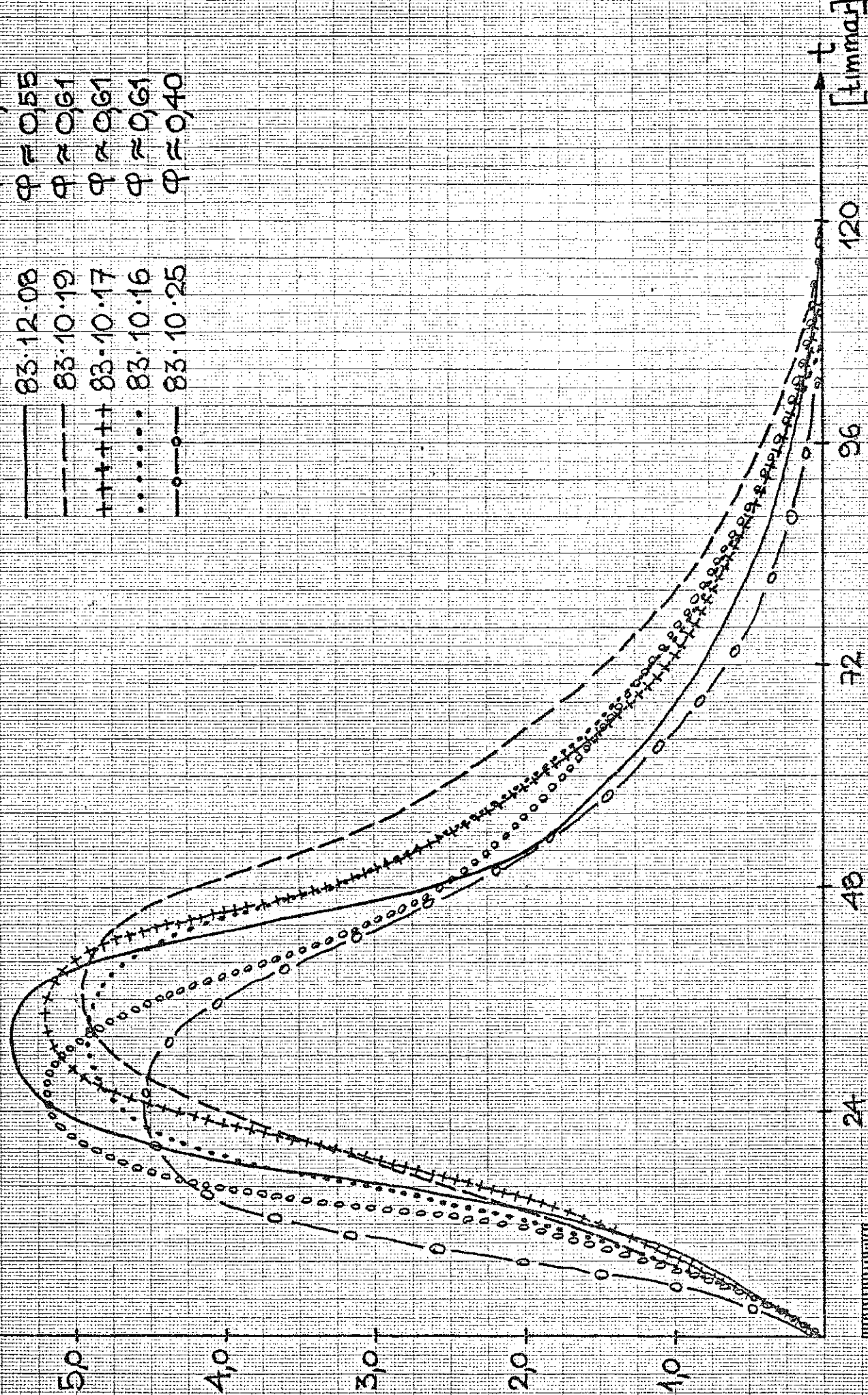
12/6-84 $\varphi \approx 0,06$
 22/6-84 $\varphi \approx 0,08$
 22/7-84 $\varphi \approx 0,07$
 17/5-84 $\varphi \approx 0,08$
 2/6-84 $\varphi \approx 0,08$

(REGN)

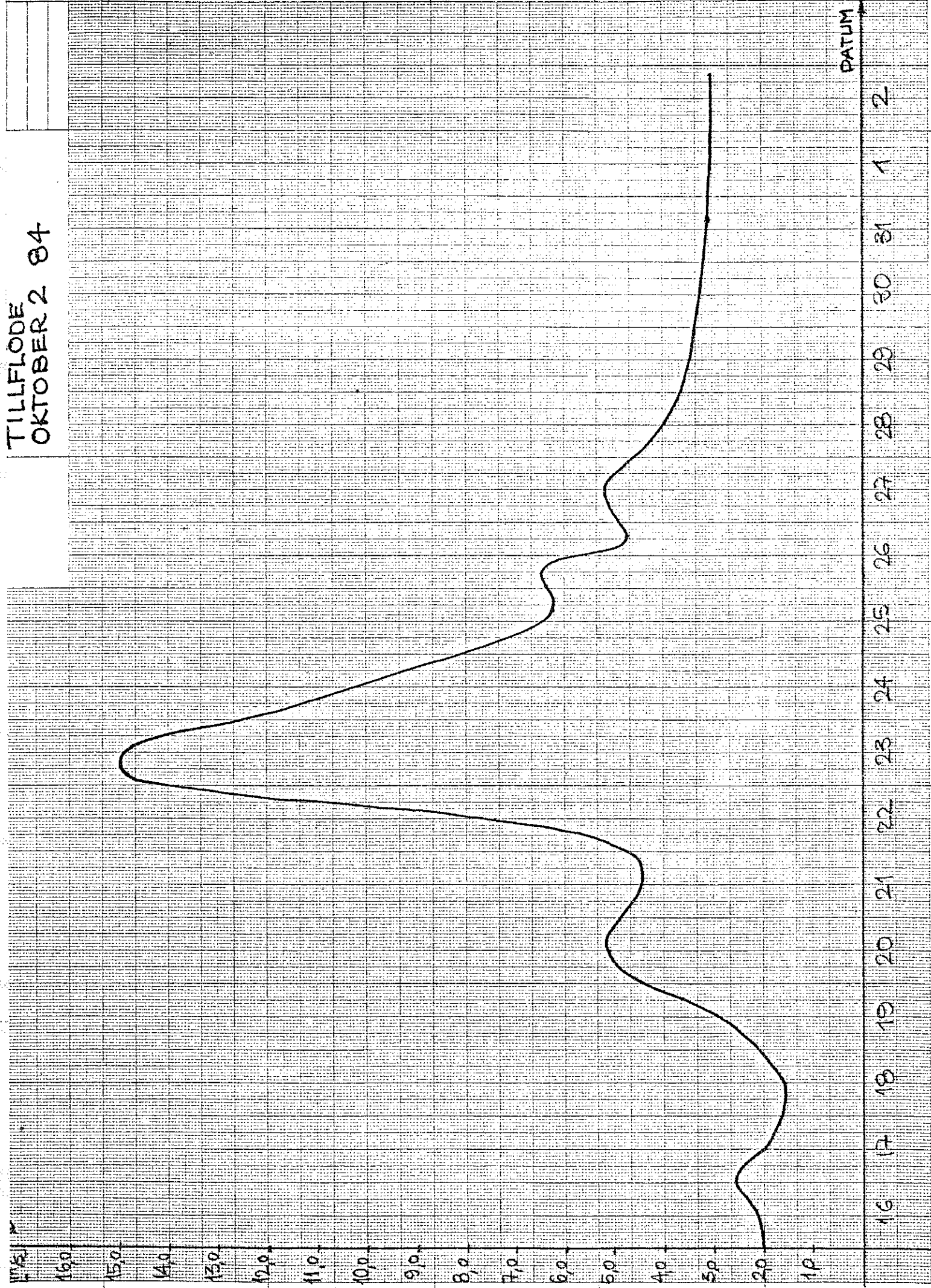


FÖR 10mm REGN
UNDER TIDEN 0-12 TIM.

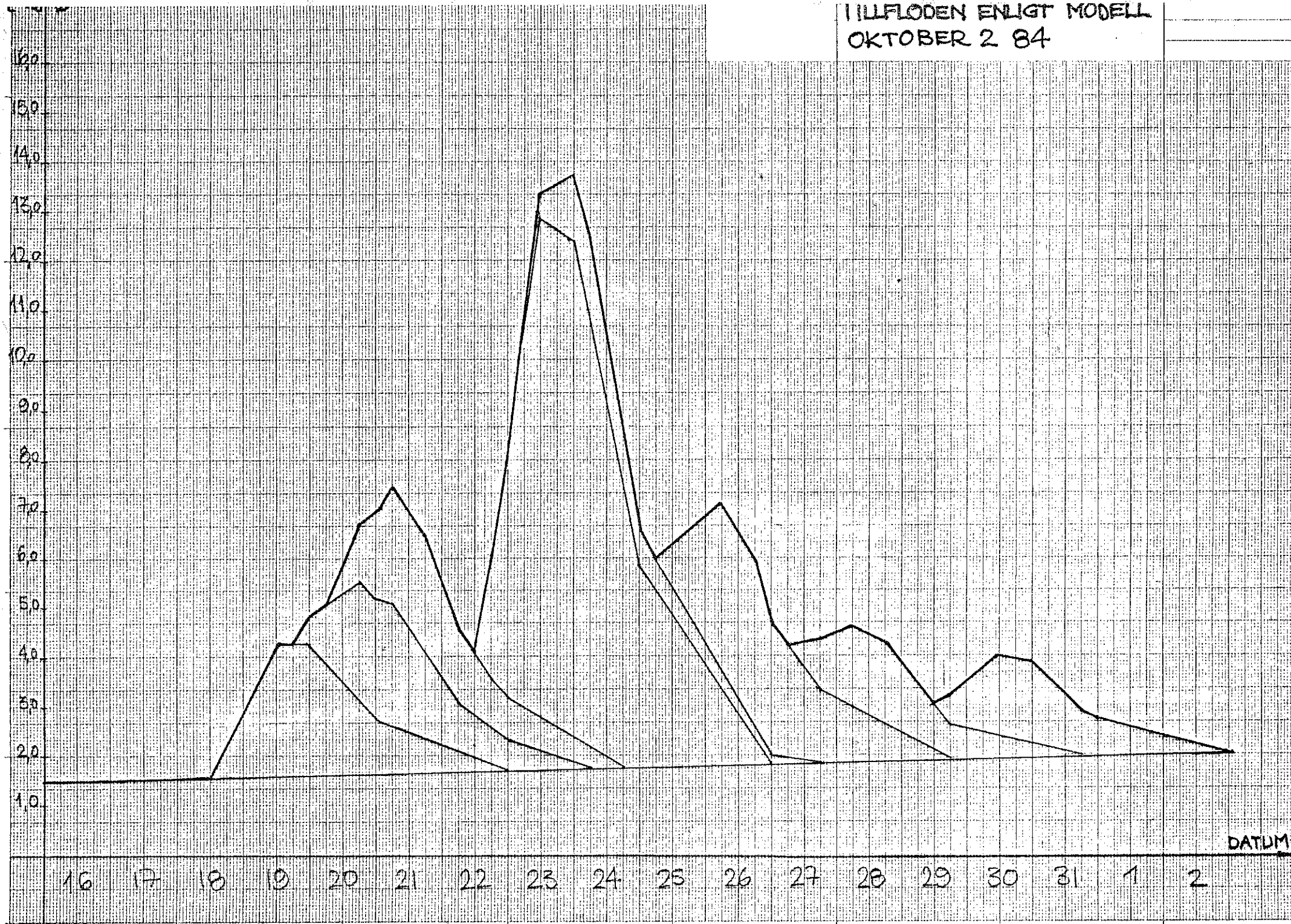
oooooooo	83.12.27	$\varphi \approx 0,75$
-----	83.12.08	$\varphi \approx 0,55$
-----	83.10.19	$\varphi \approx 0,61$
+++++	83.10.17	$\varphi \approx 0,61$
.....	83.10.16	$\varphi \approx 0,61$
-o-o-	83.10.25	$\varphi \approx 0,40$



TILLFLODE
OKTOBER 2 84



HILLFLODEN ENLIGT MODELL
OKTOBER 2 84



W/S

NOVEMBER 2 84

10.0

9.0

8.0

7.0

6.0

5.0

4.0

3.0

2.0

1.0

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

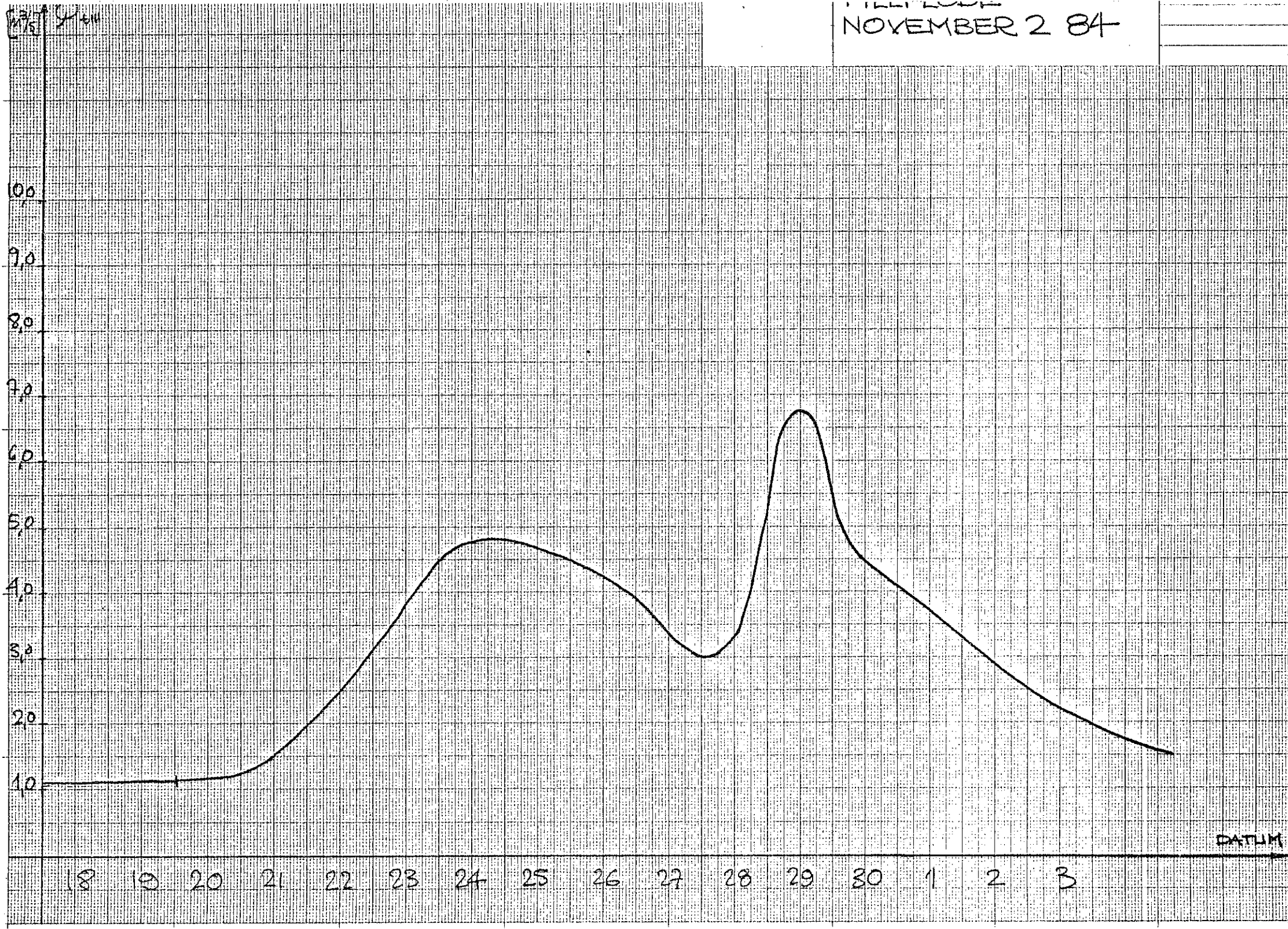
30

1

2

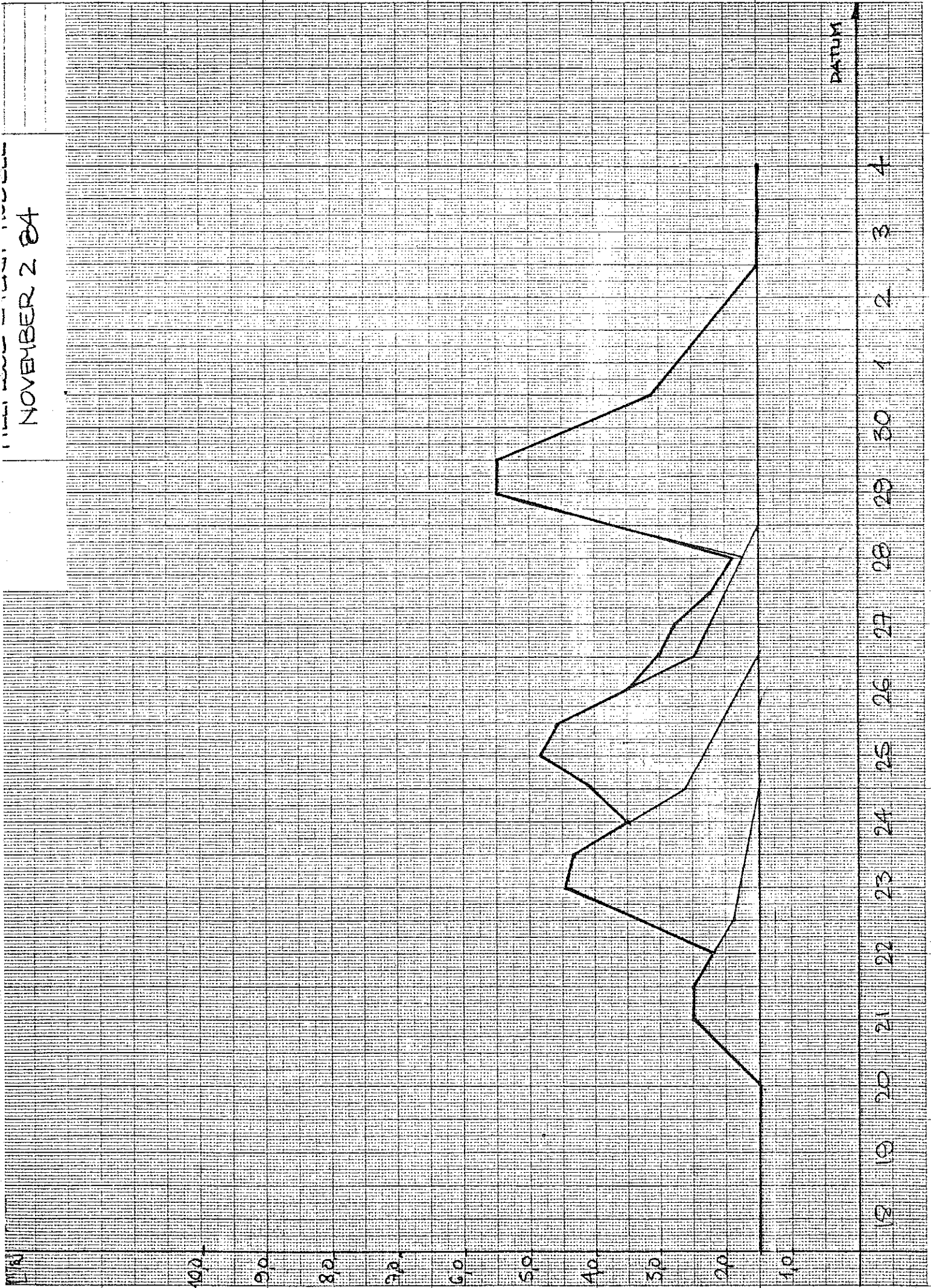
3

DATUM



DATE

NOVEMBER 20 2004

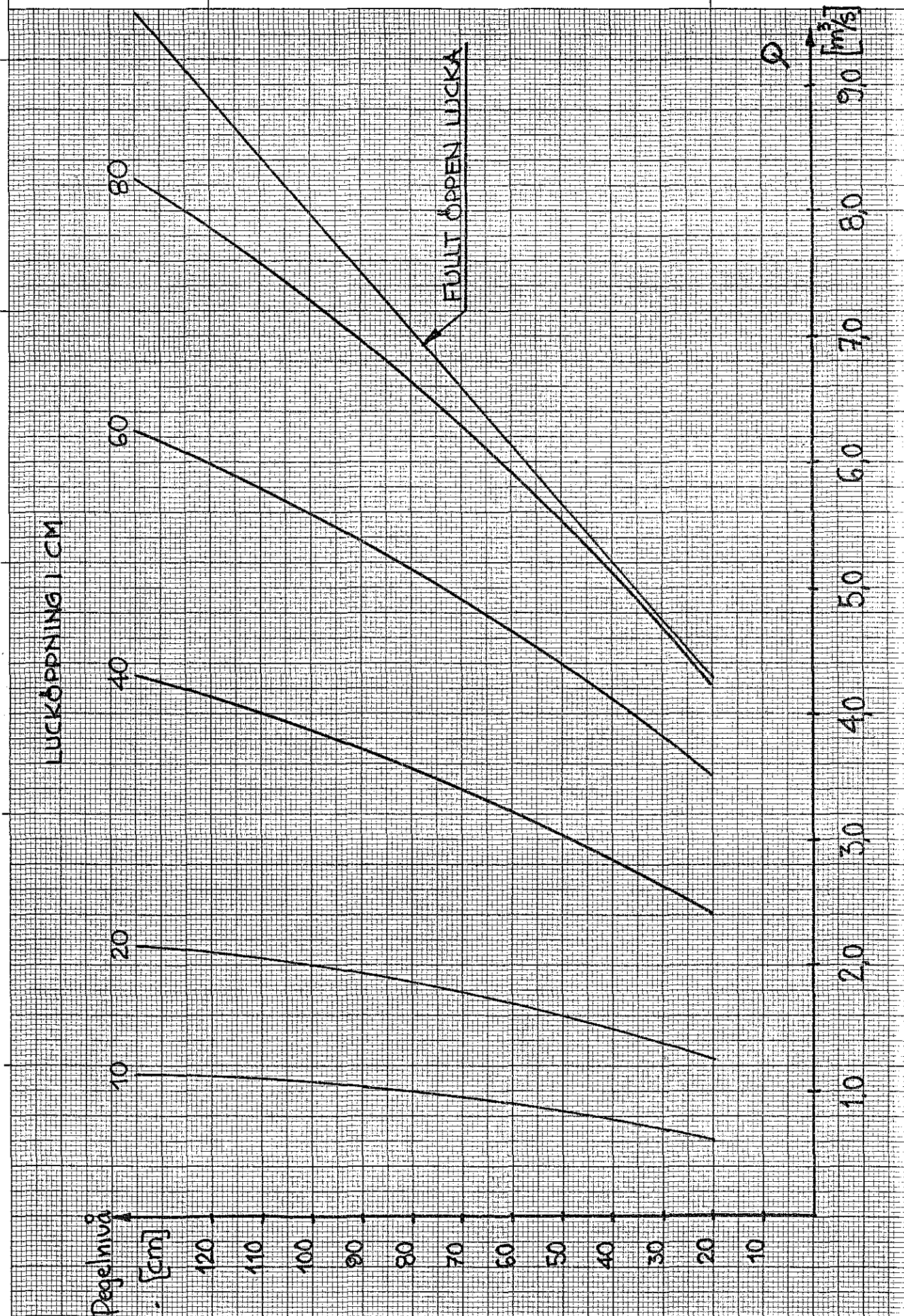


BILAGA E

Diagram 1-11

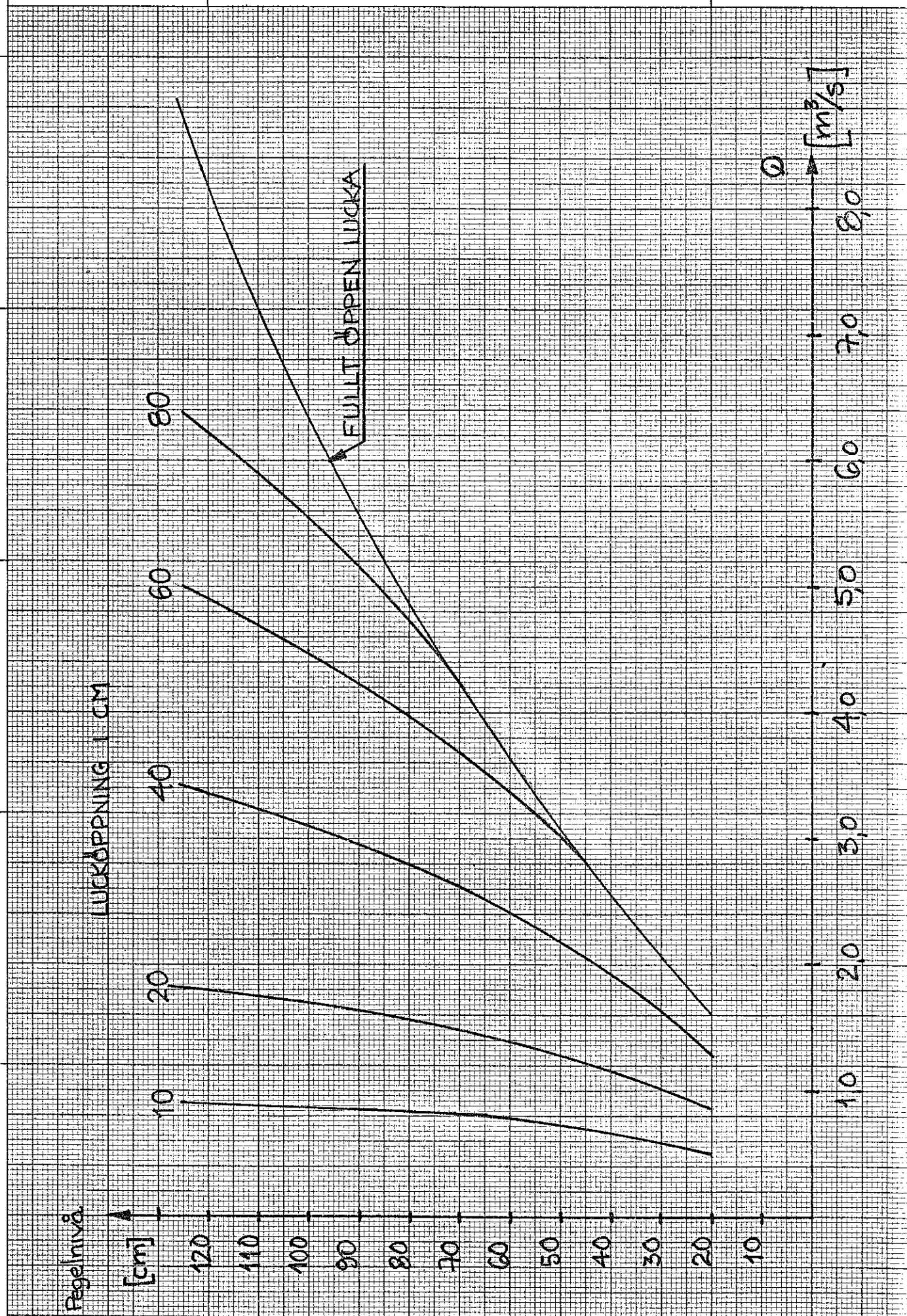
1

FLÖDEN GENOM LUCKA 1 SOM
FUNKTION AV NIVÅ I SJÖN
OCH LUCKÖPPNING



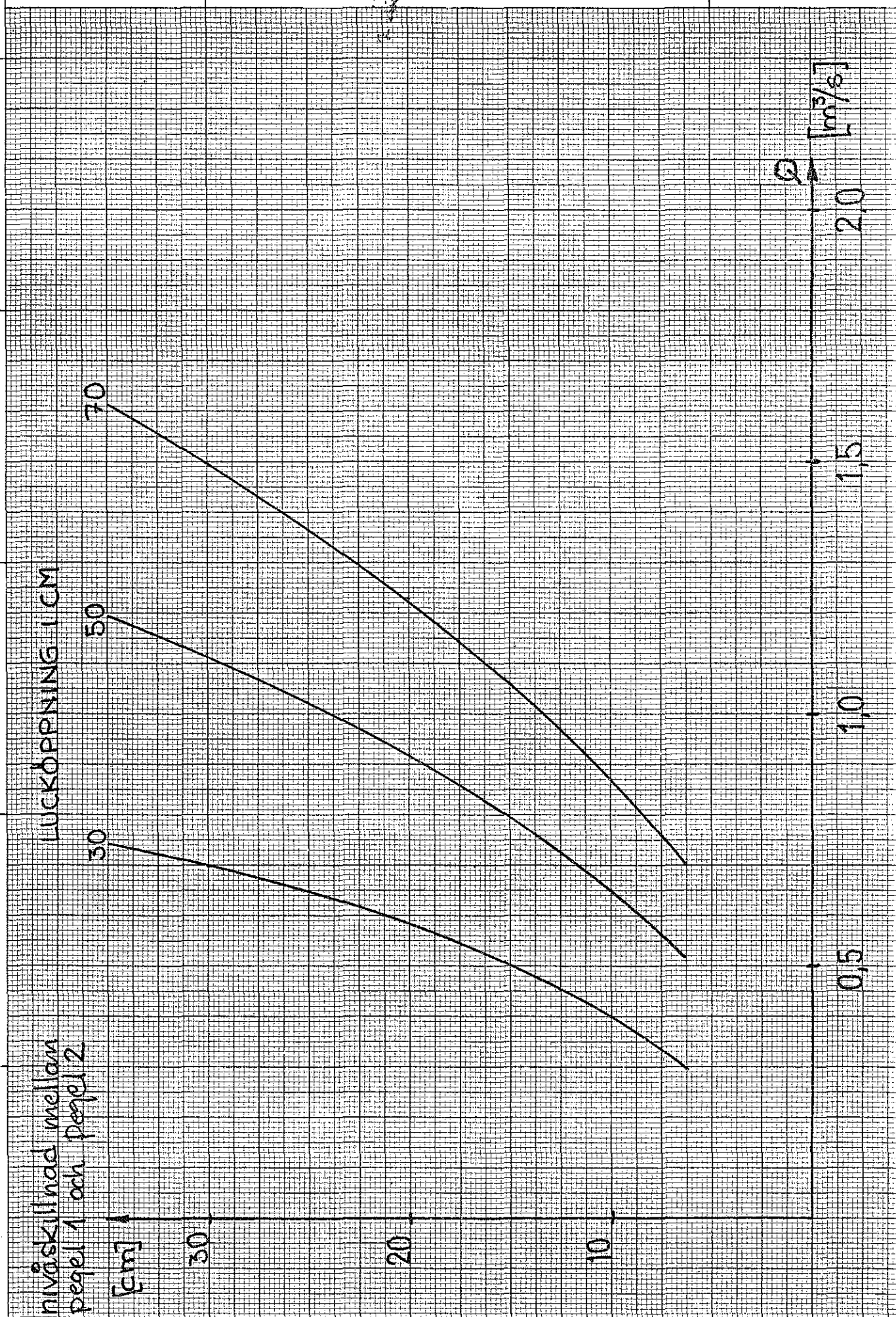
2

FLÖDEN GENOM LUCKA 2 SOM FUNKTION AV NIVÅ I SJÖN OCH LUCKÖPPNING



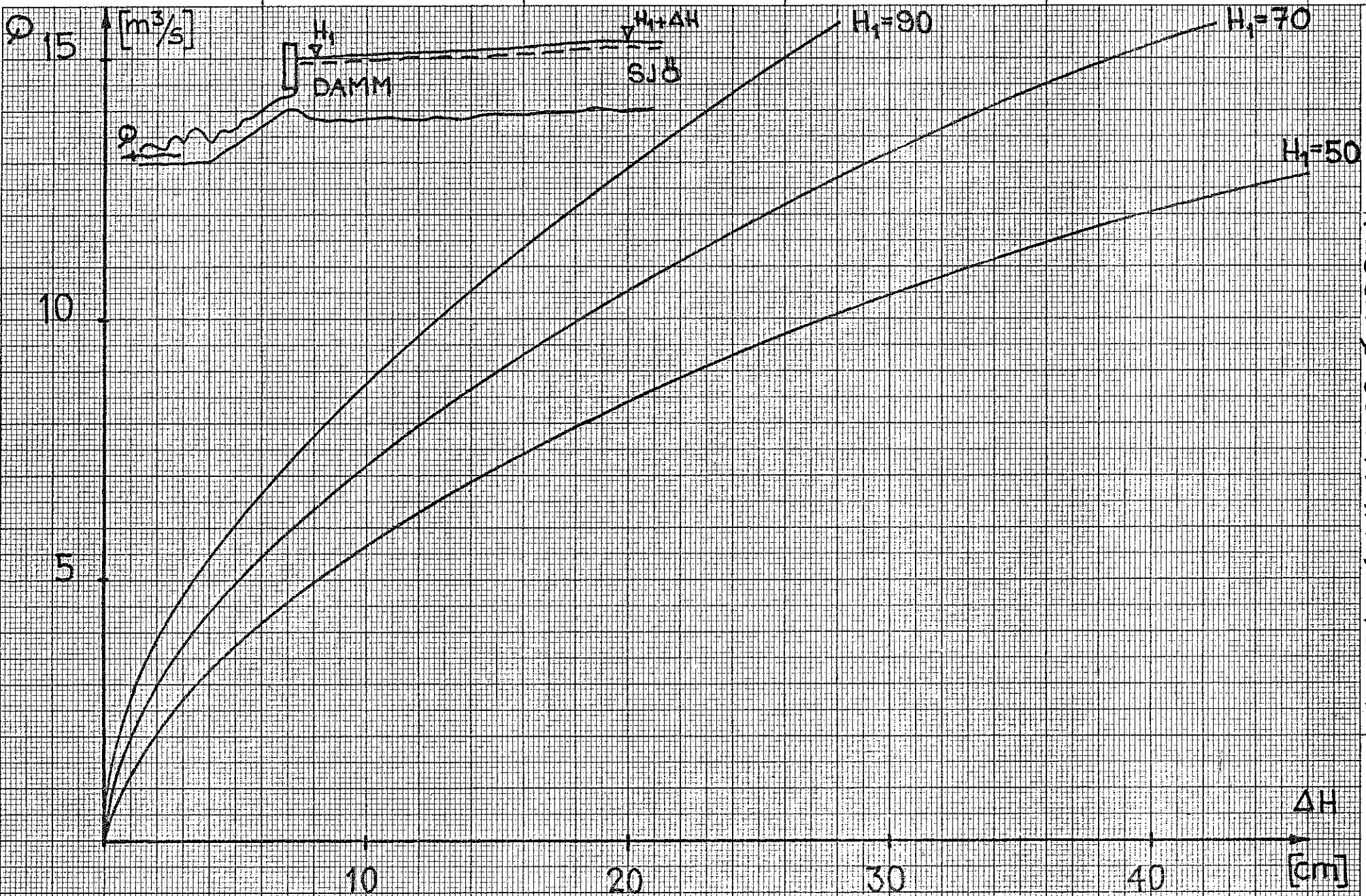
3

FLÖDEN GENOM LUCKA 3 SOM FUNKTION AV NIVÅSKILLNAD OCH LUCKÖPPNING



4

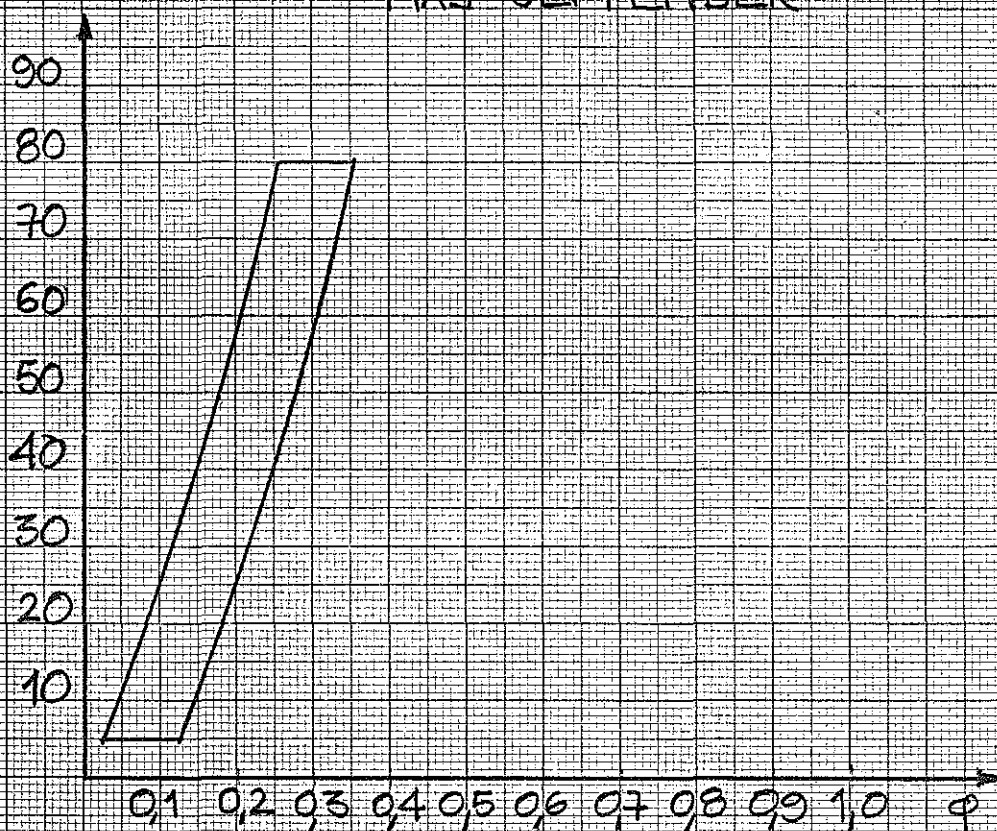
NIVÅSKILLNAD MELLAN LAND-
VETTERSJÖN OCH PEGEL VID
DAMM SOM FUNKTION AV UT-
FLÖDE Q OCH NIVÅ VID PEGEL



5

AVRINNGSKOEFFICIENT ϕ SOM
FUNKTION AV NEDERBÖRD
SENASTE VECKANmm regn
Senaste veckan

MAJ-SEPTEMBER

mm regn
Senaste veckan

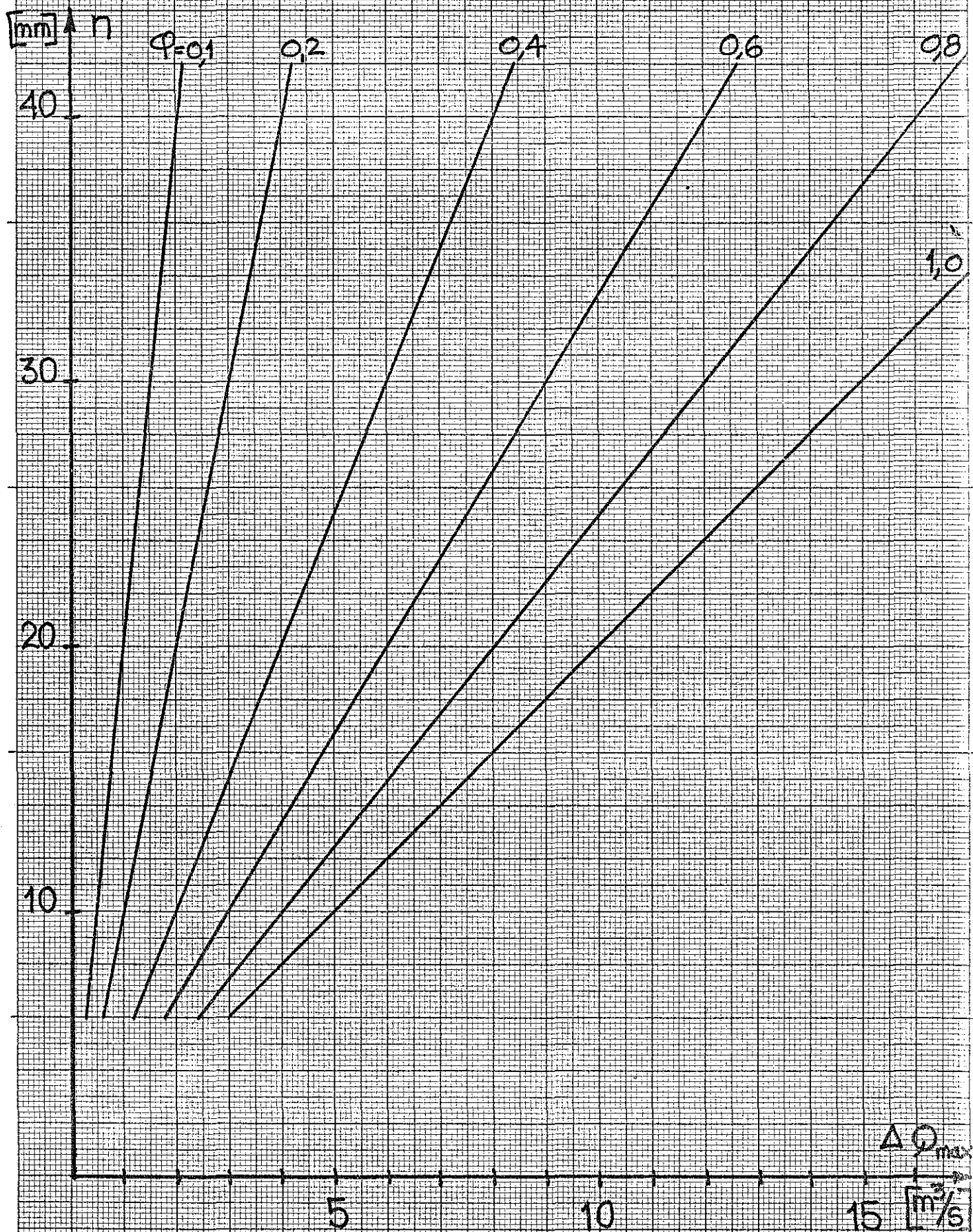
OKTOBER-APRIL



6

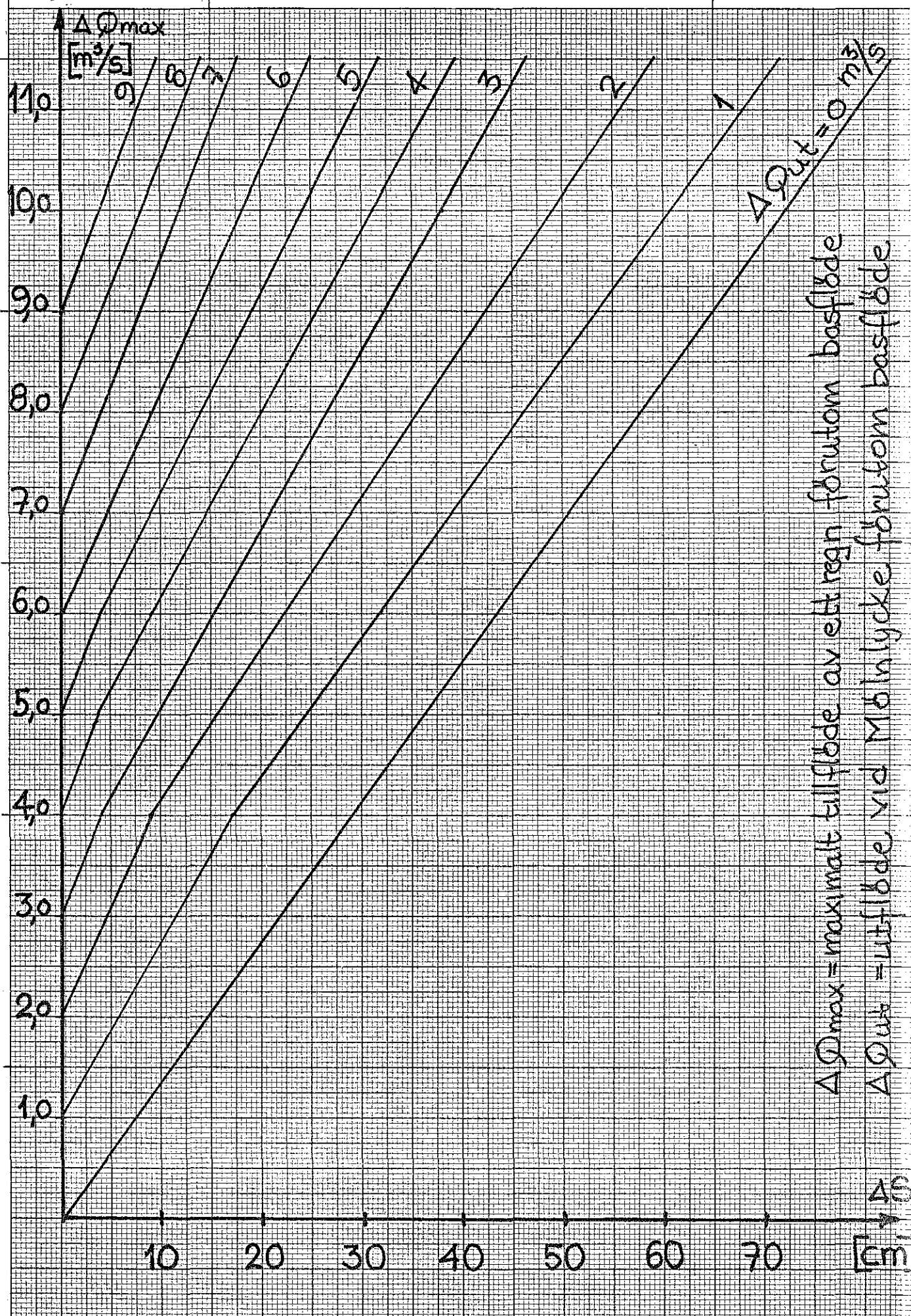
MAXIMAL TILLFLÖDESBÖKNING
SOM FUNKTION AV NEDER-
BÖRD OCH AVRINNINGSKOEFF.

n = nederbörd senaste 12 timmar
 $\Delta Q_{\max}$ = maximal tillflödesökning
 φ = avrinningskoefficient



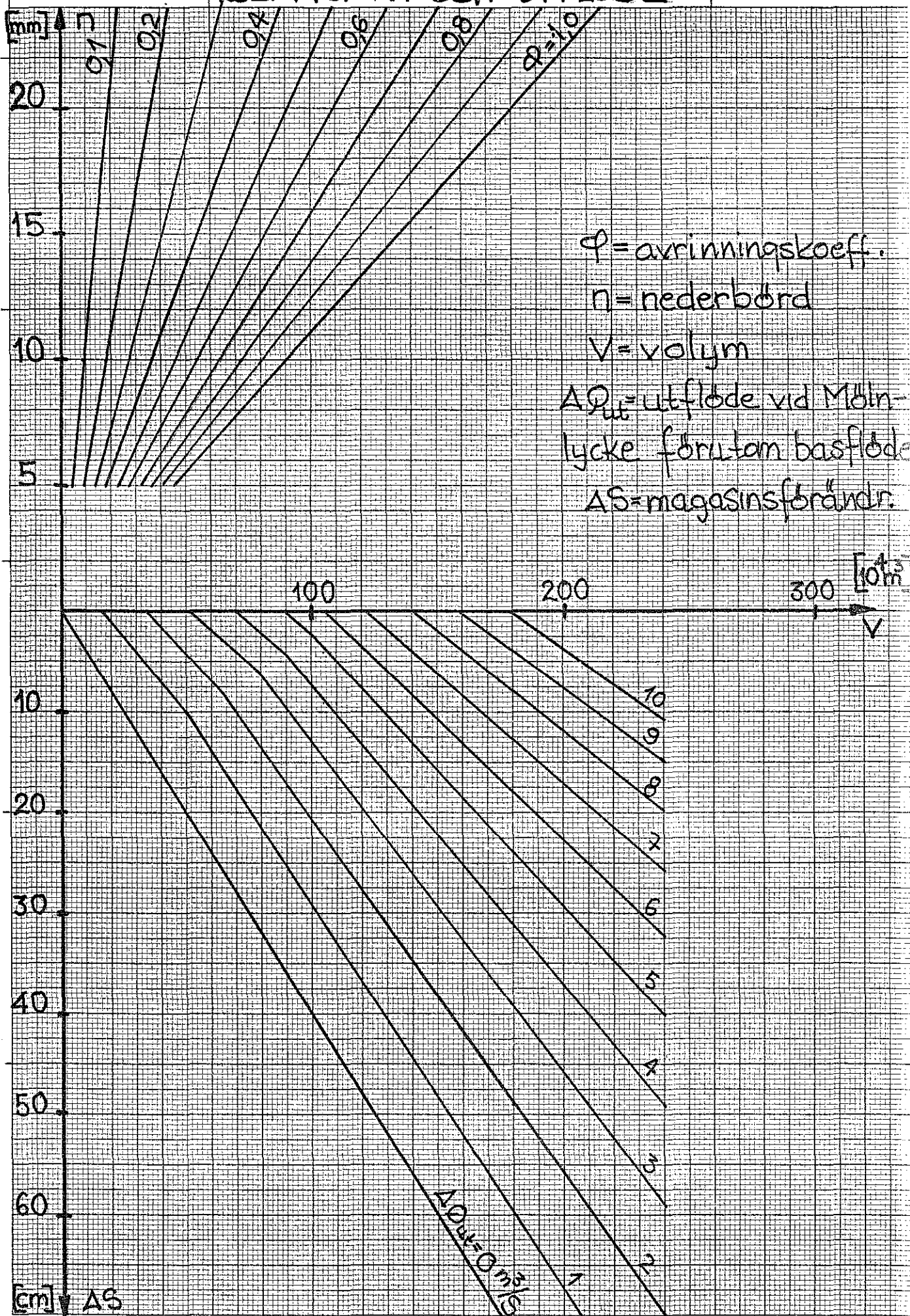
7

MAGASINSFÖRÄNDRING I LAND- VETTERSJÖN SOM FUNKTION AV $\Delta Q_{\max}$ OCH ΔQ_{ut}



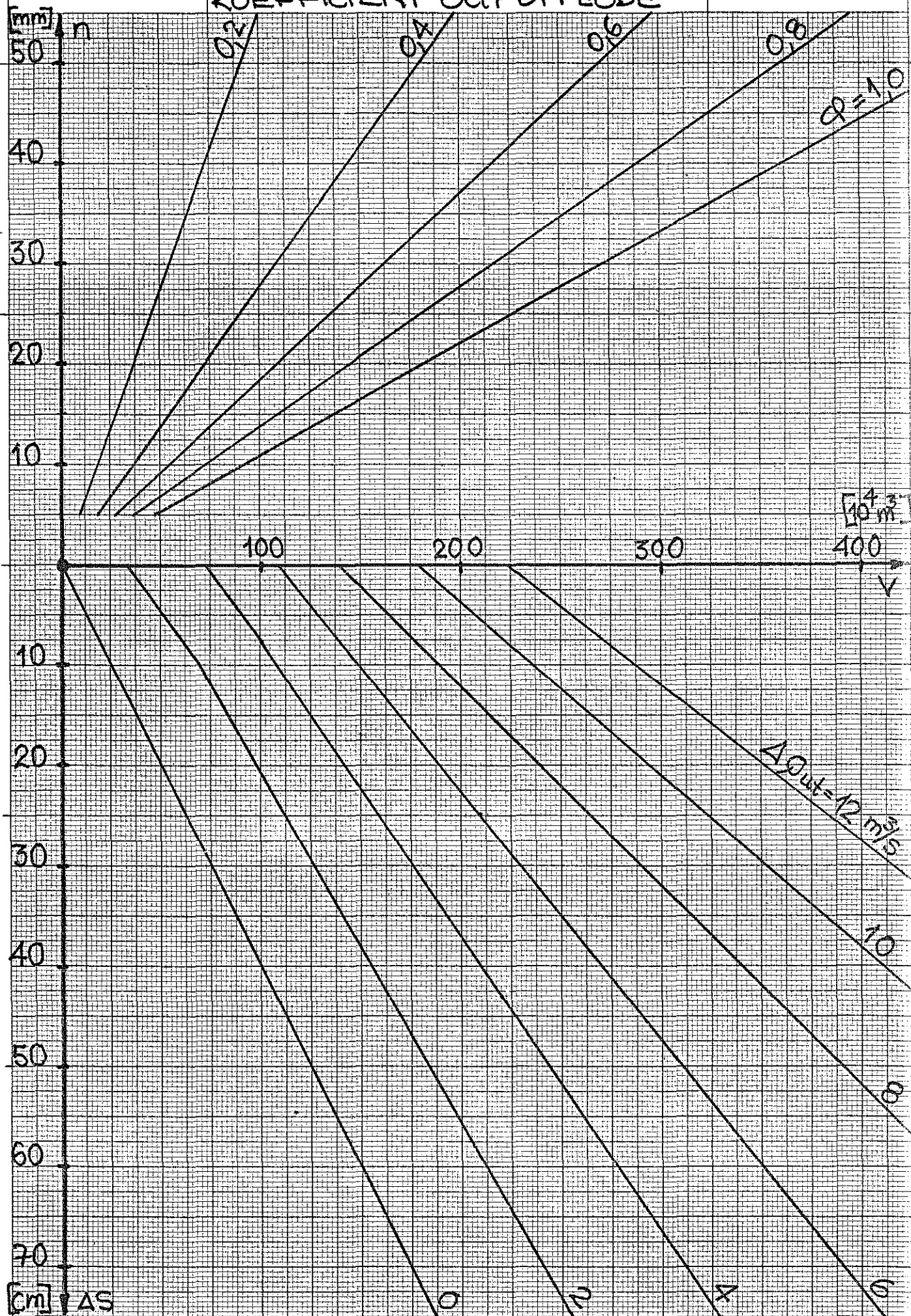
8a

MAGASINSFÖRÄNDRING I LAND-VETTERSJÖN SOM FUNKTION AV NEDERBÖRD, AVRINNINGSKOEFFICIENT OCH UTFLODE



8b

MAGASINSFÖRÄNDRING I LAND VETTERSJÖN SOM FUNKTION AV NEDERBÖRD, AVRINNINGS- KOEFFICIENT OCH UTFLODE



9

TID TILL MAGASINSMAX
SOM FUNKTION AV $\Delta Q_{\max}$
OCH ΔQ_{ut}

 $[\text{m}^3/\text{s}] \Delta Q_{\text{ut}}$

10,0

9,0

8,0

7,0

6,0

5,0

4,0

3,0

2,0

1,0

 $\Delta Q_{\max} = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

8

6

4

2

12

24

36

48

60

72

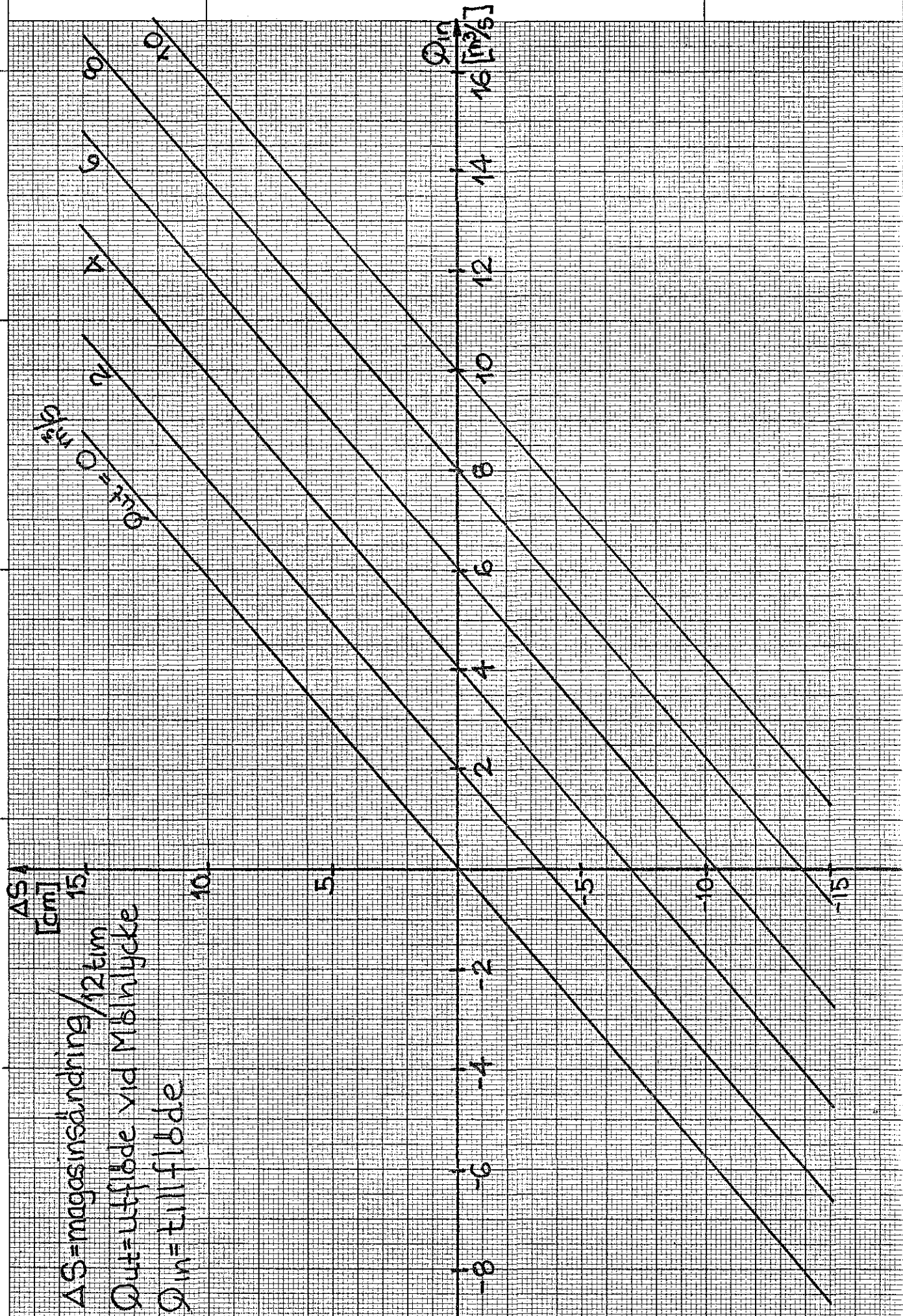
84

96

[h]

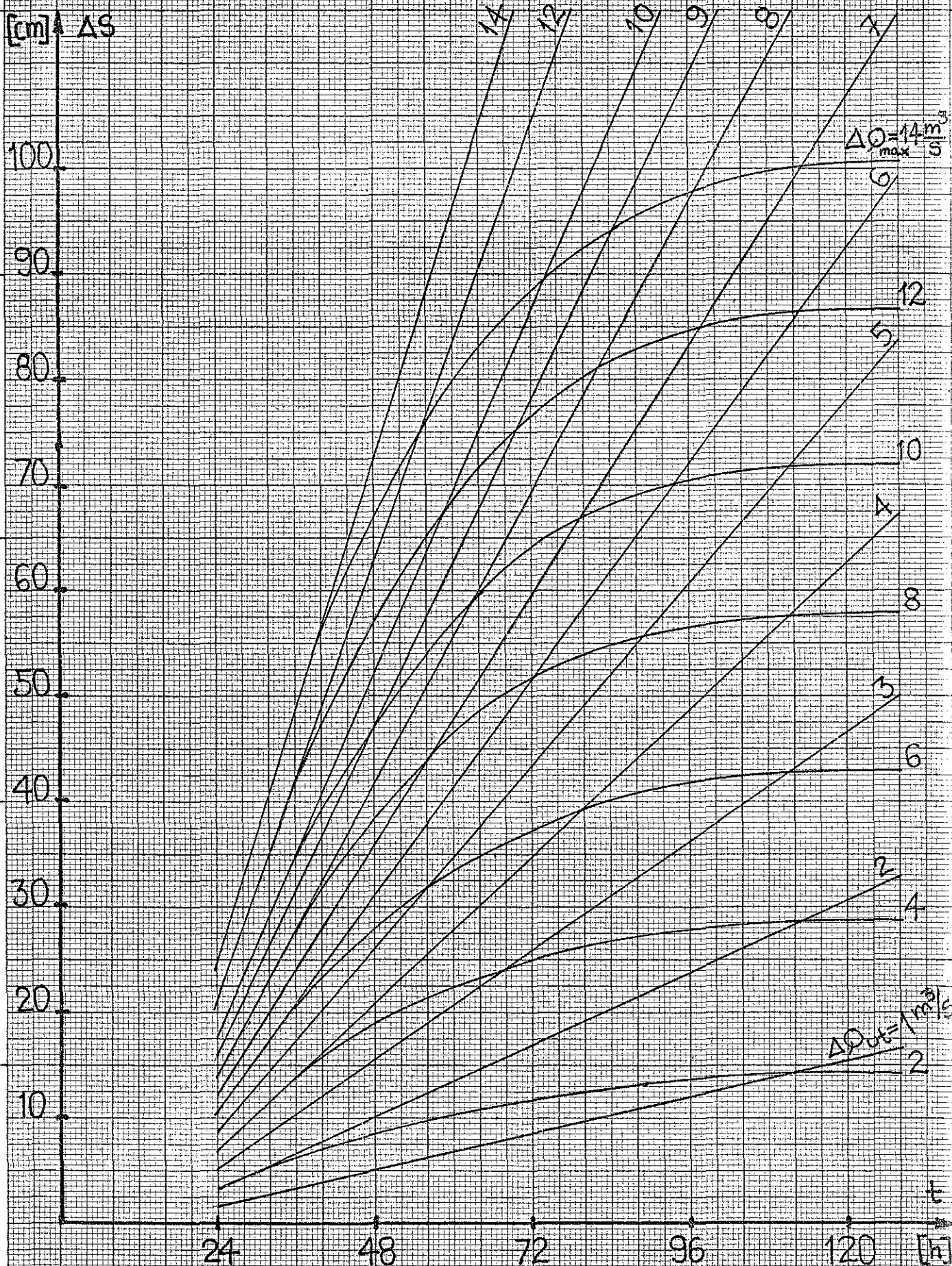
10

TILLFLÖDE TILL LANDVETTER- SJÖN SOM FUNKTION AV UTFLÖDE OCH MAGASINSFÖRÄNDR.



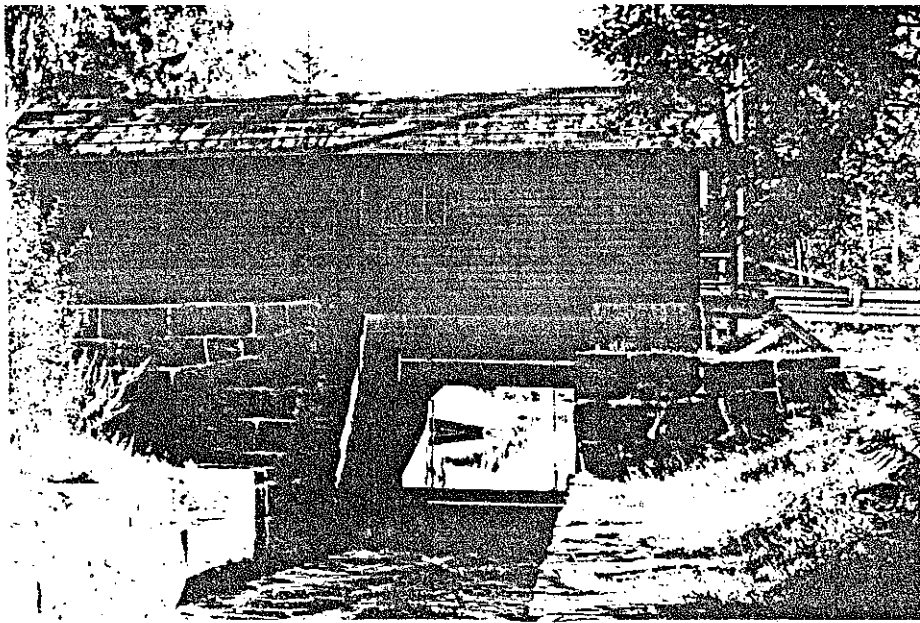
11

MAGASINSFÖRÄNDRING SOM FUNKTION AV TID

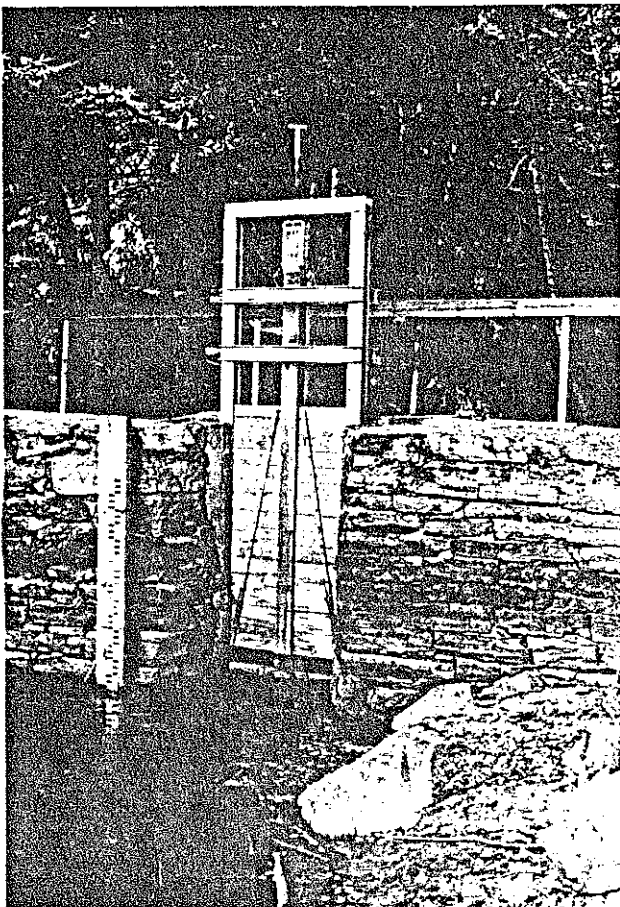


BILAGA F

Fotografier



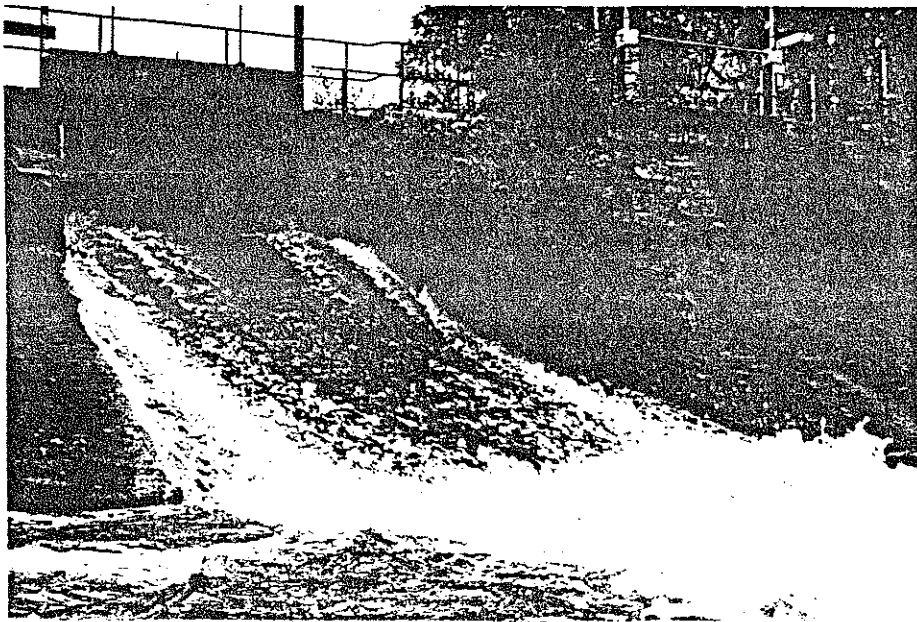
Dämnet vid Västra Nedsjön



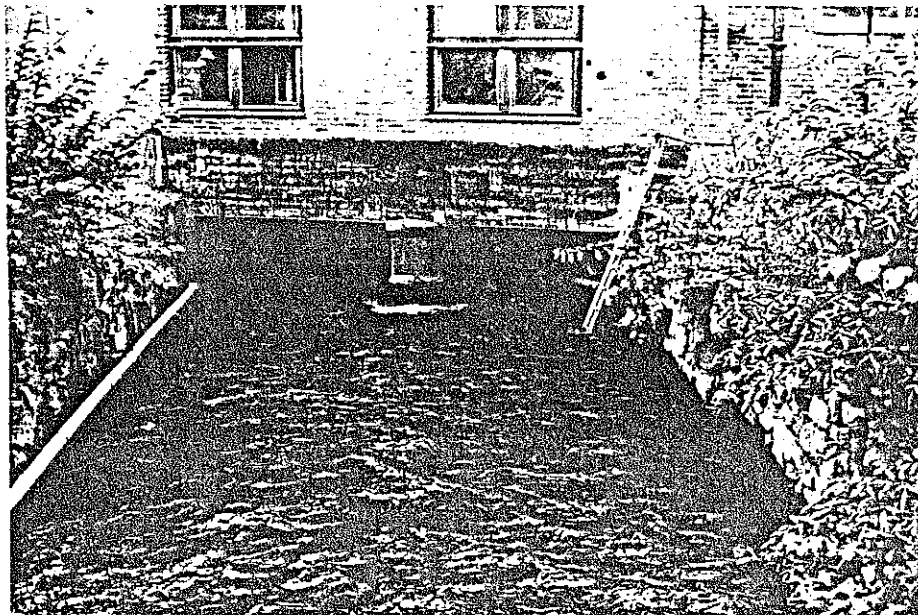
Dämnet vid Lilla Härsjön



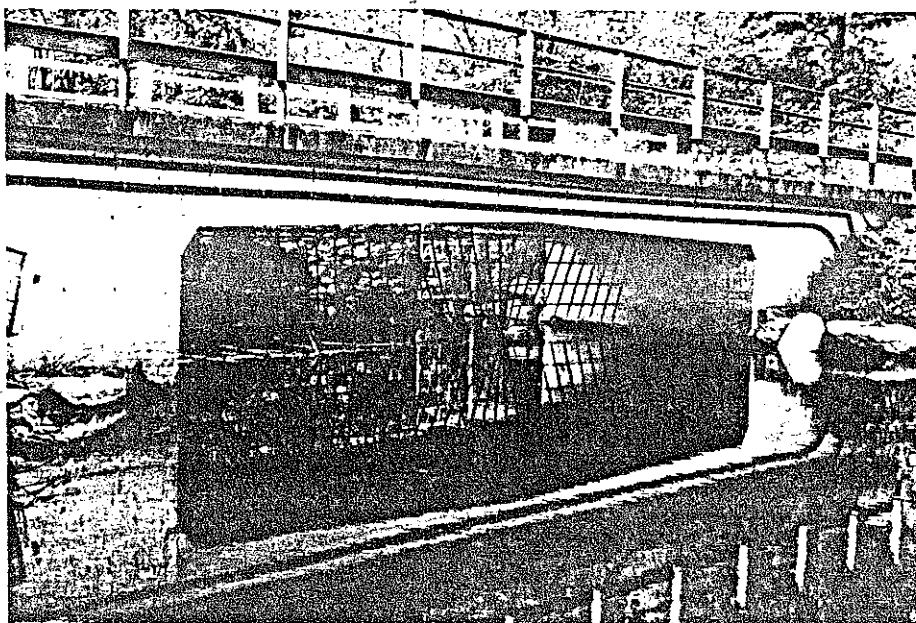
Dämnet vid Stora Härsjön



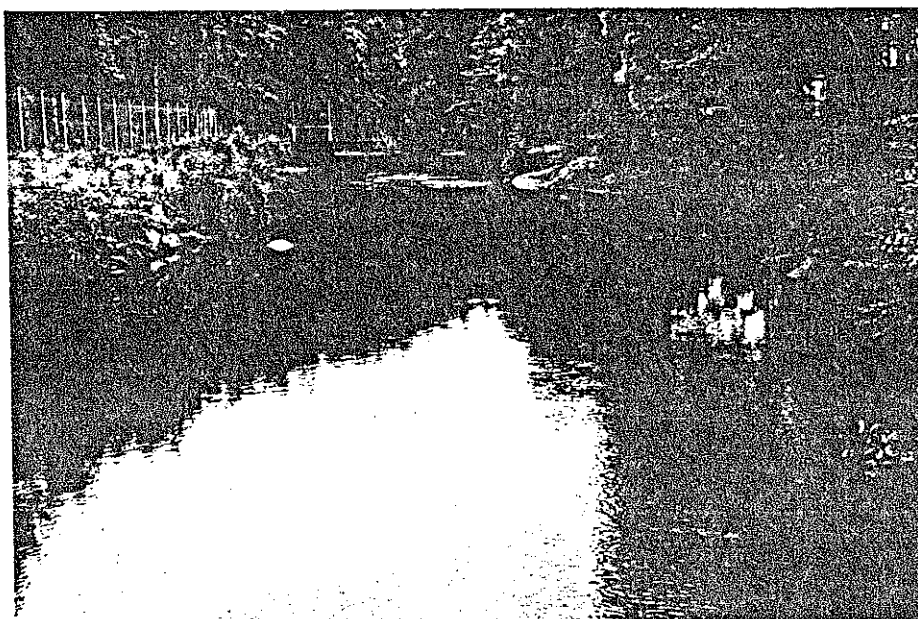
Utflöde ur Landvettersjön, till höger lucka 1
till vänster lucka 2



Mölndalsåns lopp under fabrikerna vid Mölnlycke



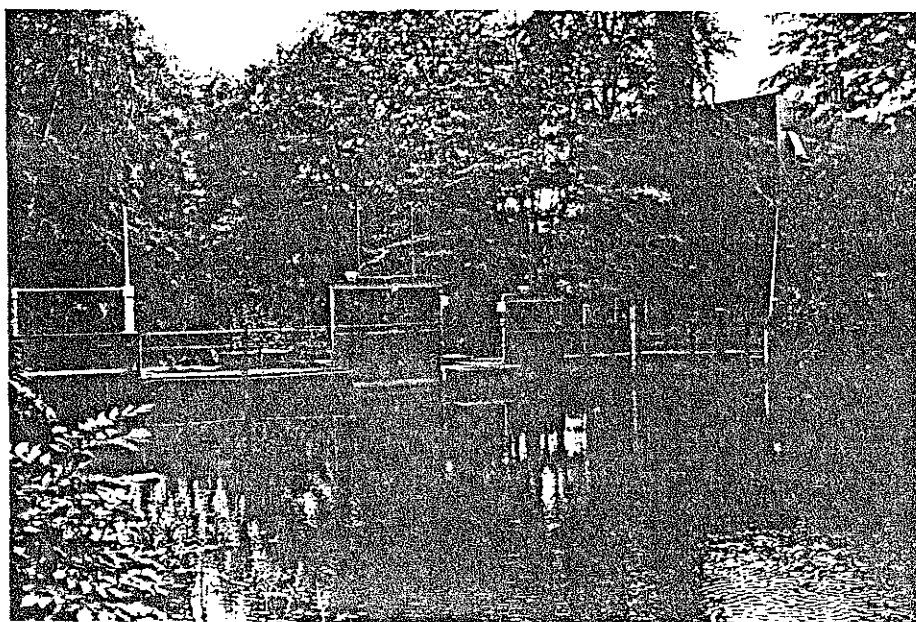
Landvettersjöns utlopp till tilloppskanal och damm



Tilloppskanal



Turbinkanal



Dämmet vid Mölnlycke fabriker, från vänster
lucka 1, 2 och 3