

H.2



LANTBRUKSHÖGSKOLAN

UPPSALA

Några metoder för

Avkortad mätning och beräkning av flöde i små vattendrag

Del I:

*Avkortade metoder vid flygelmätning: Några allmänna förutsättningar för
mätningssproceduren och dess utvärdering*

Anders Bjerketorp

INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP

AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK

STENCILTRYCK NR 60

UPPSALA 1973

Några metoder för

AVKORTAD MÄTNING OCH BERÄKNING AV FLÖDE

I SMÅ VATTENDRAG

DEL I:

Avkortade metoder vid flygelmätning: Några allmänna förutsättningar för mätningproceduren och dess utvärdering

Av

Anders Bjerketorp

LANTBRUKSHÖGSKOLAN

Institutionen för markvetenskap
Avdeleningen för lantbrukets hydroteknik

STENCILTRYCK NR 60

UPPSALA 1973

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid.
1. <u>INLEDNING</u>	1.
2. <u>VATTENFÖRINGENS TIDSVARIATION</u>	1.
2.1. <u>Enskalemätning</u>	2.
2.1.1. <u>Grafiska metoden vid enskalemätning</u>	3.
2.1.2. <u>Tabellmetoden vid enskalemätning</u>	3.
2.1.3. <u>Funktionsmetoden vid enskalemätning</u>	5.
2.2. <u>Tvåskalemätning</u>	5.
2.2.1. <u>Grafiska metoden vid tvåskalemätning</u>	6.
2.2.2. <u>Tabellmetoden vid tvåskalemätning</u>	8.
2.2.3. <u>Funktionsmetoden vid tvåskalemätning</u>	8.
3. <u>METODER FÖR BESTÄMNING AV DET MOMENTANA FLÖDET GENOM EN SEKTION</u>	9.
4. <u>FLYGEL- OCH FLYTARMÄTNINGARS KARAKTÄR AV URVALSMETODER</u>	11.
4.1. <u>Allmänt</u>	11.
4.2. <u>Medelhastighetsberäkning; Hastighetsintegralen och dess uppdelning</u>	11.
4.3. <u>Metoder för lösning av hastighetsintegralerna</u>	13.
4.3.1. <u>Då vertikalintegralen är 1:a steg (1:a integral)</u>	13.
4.3.2. <u>Då horisontalintegralen är 1:a steg (1:a integral)</u>	14.
4.3.3. <u>Lösning av den ouppdelade dubbelintegralen</u>	14.
5. <u>UPPMÄTNING AV PUNKTMEDELHASTIGHET MED HYDROMETRISK FLYGEL</u>	15.
5.1. <u>Allmänna synpunkter</u>	15.
5.2. <u>Vattnets pulsering</u>	16.
<u>Formalisering av minimumättiden</u>	18.

6. <u>"KLASSISK" FLYGELMÄTNINGSMETODIK</u>	20.
6.1. <u>Lösning av 1:a integralen</u>	20.
6.2. <u>Lösning av 2:a integralen</u>	20.
6.2.1. <u>Genom separat best. av sektionens medelhastighet och area</u>	20.
6.2.2. <u>Genom direkt användning av vertikalhastighetsytorna</u>	21.
6.2.3. <u>Genom kontinuerlig bestämning av hastighetsytfunktionen av vertikalmedelhastighet och djup</u>	21.
7. <u>OM BEHOVET AV FÖRENKLADE MÄTNINGS- OCH UTVÄRDERINGSMETODER</u>	22.
8. <u>LITTERATURFÖRTECKNING</u>	25.
9. <u>BIBLIOTEKSKODFÖRTECKNING</u>	27.
APPENDIX: Metoder för flödesbestämning i öppna ledningar	28.

NÅGRA METODER FÖR
AVKORTAD MÄTNING OCH BERÄKNING AV FLÖDE I SMÅ VATTENDRAG

I. Avkortade metoder vid flygelmätning: Några allmänna förutsättningar för mätningproceduren och dess utvärdering

av Anders Bjerketorp

1. INLEDNING

Vid undersökning av hydrologiska problem är det mycket ofta nödvändigt att skaffa sig tillgång till flödets (vattenföringens) tidsvariation i de vattendrag som tjänar som studieobjekt. Därmed erhålles även underlag för beräkning av avrinning från och avrinningstal ("specifik avrinning") för de granskade vattendragens tillsvarende avrinningsområden.

Trots att vattenföringen är en i hydrologiska sammanhang förhållandevis lättmätt parameter, så är de vanligen tillämpade mätproceduren, vid de höga krav på precision som man i samband med hydrologiska studier i allmänhet måste ställa, ändå ganska tidskrävande och kostsamma. Särskilt stor är tidsåtgången för att få fram ett säkert underlag för framtagning av vattenföringens tidsvariation för mätstationer som saknar kalibrerade anordningar, typ överfallsdammar eller förträngningsrännor.

I en serie uppsatser, av vilka denna utgör den första, kommer att framläggas ett antal förslag till förenkling av mätmetoderna vid det sistnämnda slaget av mätstationer. De metoder som kommer att föreslås innebär en liten eller måttlig reduktion av den precision som uppnås med de långt mer arbetskrävande förfaringssätt som nu är gängse. Några av de metoder som föreslås och provas har tidigare offentliggjorts av andra författare, men är i allmänhet föga kända, för att inte säga att de varit i det närmaste bortglömda, tills författaren genom omfattande litteraturstudier spårade upp dem igen. De flesta föreslagna metoder är emellertid helt nya och bygger på författarens egna härledningar.

2. VATTENFÖRINGENS TIDSVARIATION

Man kan särskilja tre olika metoder jämte en blandmetodsgrupp för att bestämma vattenföringens tidsvariation i öppna ledningar, och att tillika fastlägga tillsvarende avrinningsvärden och avrinningstal. De tre metoderna skulle kunna benämnas den grafiska metoden, tabellmetoden (eller den diskreta metoden) och funktionsmetoden. Blandgruppens vanligaste metodkombination kan förslagsvis kallas tabell-funktionsmetoder.

Gemensamt för alla dessa metoder är att de arbetar med fyra olika relationer, nämligen vattenstånd-tid ($h-t$), vattenföring-vattenstånd ($q-h$), vattenföring-tid ($q-t$) och avrinning-tid ($Q-t$). Den grafiska metoden ger relationerna genomgående i form av diagram och kurvor. Tabellmetoden betjänar sig av tabulerade samband mellan variabler eller mera allmänt uttryckt av datasekvenser angivande variabelsamband. Funktionsmetoden visar variabelsambanden i form av (kontinuerliga) matematiska funktioner. Den vanligaste bland tabell-funktionsmetoderna är tabellmetoden med $q-h$ -funktion, vid vilken $q-h$ -relationen deklareraras med en kontinuerlig funktion, medan övriga relationer anges tabulariskt (diskret).

Arbetsgången för bestämning av vattenföringen, avrinningen och avrinningstalen är egentligen i princip densamma för alla metoderna. Vi illustrerar den med en översikt över förfarandet vid tillämpning av den grafiska metoden, tabellmetoden och funktionsmetoden, och betraktar då de två praktiskt viktiga fallen enskalemätning och tvåskalemätning.

2.1. Enskalemätning

Denna metod innebär att vattenföringen betraktas som beroende av vattenståndet, h , vid endast en pegel (primärpegel).

Enskalemätning kan för det första användas därest mätplatsen har en hydrauliskt bestämmande sektion (antingen naturlig eller artificiell) vid alla vattenstånd inom den nivåamplitud mätning äger rum, dvs. har en sektion där strömningen övergår från subkritisk till superkritisk, vilken vattennivå inom ~~mät~~amplituden som än föreligger. De teoretiska förutsättningarna för detta behandlas i alla modernare läro- och handböcker i hydromekanik och hydraulik. Här skall bara erinras om att den s.k. kritiska hastighet vid vilken strömningen övergår från subkritisk till superkritisk eller vice versa, kan visas vara lika med den hastighet varmed en vandrande vattenvåg (gravitationsvåg) förflyttar sig, vilket innebär att inga impulser kan vandra uppför en vattenmassa i kritisk eller superkritisk strömning. I övrigt hänvisas till läro- och handböcker, t.ex. Andersson (1952) eller Webber (1971). En mycket grundlig genomgång ger Böss (1927). Intressanta praktiska applikationer återfinnes i Lindqvist (1928), Woodburn (1932), Werner (1941), Wennard & Weston (1943) och Villemonte (1947). Från de två sistnämnda arbetena kan bl. a. inhämtas att vattenföringen genom en bestämmande sektion som är utformad med skarpkantad avgränsning (skarpkantad eller skarpkrönad överfallsdamm) är tämligen beroende av den s. k. täckningen (Jfr Wennard 1961, s. 432 ff.)

Enskalemotoden kan för det andra användas såvitt nedströmsvattenståndets inverkan på vattenföringen för varje given vattennivå vid mätstället är av en bestämd eller approximativt bestämd storlek.

2.1.1. Grafiska metoden vid enskalemätning.

Förhållandet mellan vattenståndet, h , och tiden, t , ges av ett vattenståndsdiagram, enligt fig. 1, medan förhållandet mellan flödet, q , och vattenståndet, h , framställs av en vattenföringskurva (avbördningskurva) enligt fig. 2. Vattenföringskurvan, och de motsvarande q - h -relationerna vid tillämpning av tabellmetoden och funktionsmetoden, bygger på ett antal genom mätning av den momentana vattenföringen (flödet) funna värdepar av h och q . Dessa sammanhörande h - och q -värden kan betecknas h_{m_k} och q_{m_k} . De godtyckliga värdeparen h_i och q_i fås genom interpolering eller utjämningsräkning. Hela uppsatsserien "Några metoder för avkortad mätning och beräkning av flöde i små vattendrag" kommer att kretsa kring frågan om hur värdeparen h_{m_k} och q_{m_k} skall tagas fram. För varje givet t ger vattenståndsdiagrammet ett visst h . Detta h motsvaras i vattenföringskurvan av ett givet q . Mot varje t svarar följaktligen ett bestämt q . Detta förhållande medger konstruktion av ett nytt diagram, ett vattenföringsdiagram (fig. 3), vilket ger vattenföringen, q , för varje tidpunkt inom det betraktade tidsintervallet. Avrinningen, Q , under en godtyckligt vald tidsperiod fås genom summering av vattenföringen över tiden. Mot varje t_x kommer då att svara en viss q -summa, dvs. Q_x . Relationen Q - t avsättes på ett avrinningsdiagram, enligt fig. 4.

2.1.2. Tabellmetoden vid enskalemätning.

Vid tillämpning av tabellmetoden ersättes alla de diagram och kurvor som användes vid den grafiska metoden av tabeller. Dessa tabeller kan vara av traditionellt slag, uppskrivna på papper, men numera lägges de i allmänhet upp på något medium som lätt kan överföra information till en datamaskin. Ifrågakommande media kan vara hålkort, hålremsor eller magnetband. Värdeparen h_i och t_i i h - t -relationen (vilken motsvarar den grafiska metodens vattenståndsdiagram) kan vara primärt diskreta, och härledda från t. ex. manuella vattenståndsmätningar eller från s. k. stanspegelr. De kan även ha tagits ut som sekundärt diskreta värden från en vanlig vattenståndsskrivares (hydrograf) kontinuerliga diagram (hydrogram).

Värdeparen q_i och h_i i q - h -relationen (vilken motsvarar den grafiska metodens vattenföringskurva) tabuleras med utgångspunkt från en matematiskt sett mer eller mindre avancerad utjämning av ett antal uppmätta q - och h -värden (q_{m_k} och h_{m_k}). Exempel på ett utjämningsförfarande ges i Melin (1961).

Mot varje värde t_x i vattenståndstabellen svarar ett värde h_x . Tabellen över q - h -relationen (avbördnings Tabellen) ger för detta h_x ett visst q_x , vilket innebär att q_x svarar mot t_x . Därmed kan en ny tabell uppställas, vilken ger q - t -relationen i form av en sekvens värdepar q_i och h_i , och som motsvarar den grafiska metodens vattenföringsdiagram.

Fig. 1-4. Enskalemetod. Beräkning av vattenföring och avrinning.

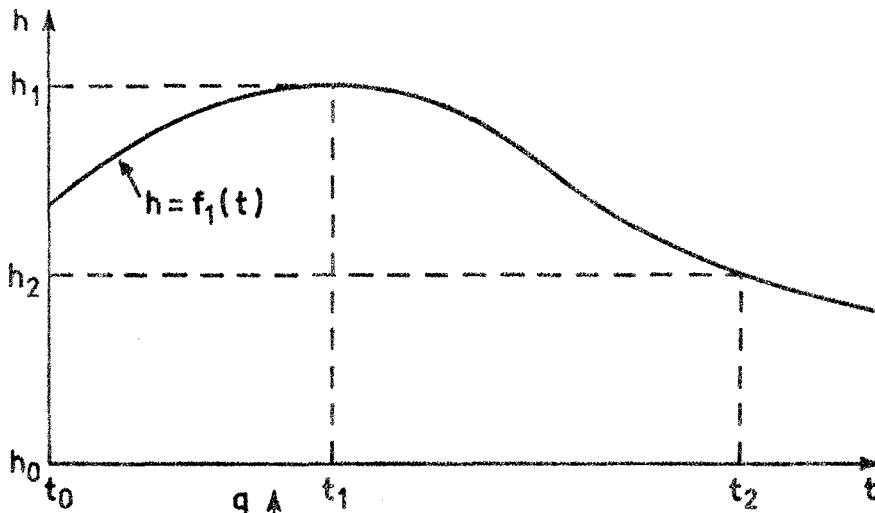


Fig. 1.

Vattenståndediagram.

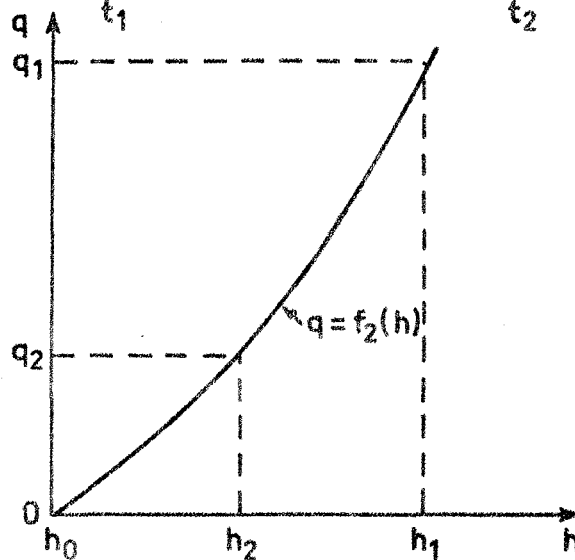


Fig. 2.

Vattenföringskurva

(avbördningskurva)

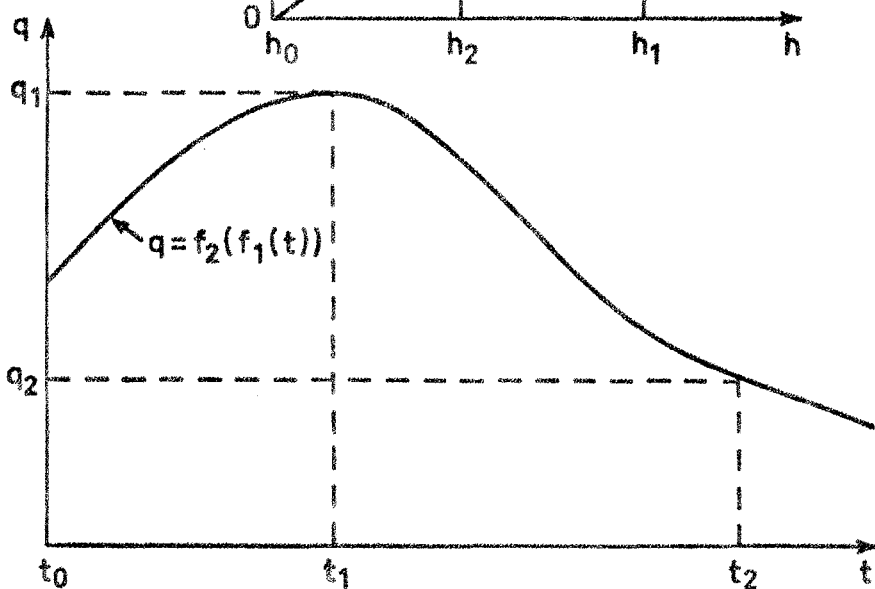


Fig. 3.

Vattenföringsdiagram.

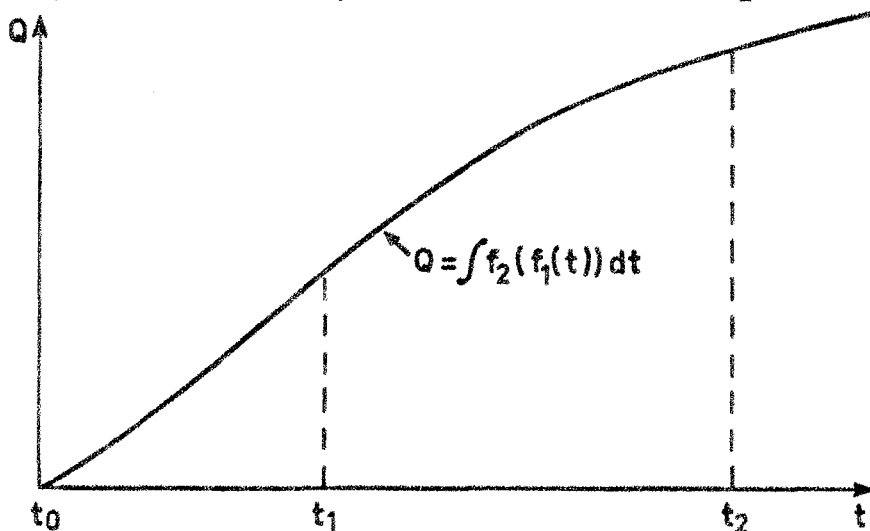


Fig. 4.

Avrinningsdiagram.

Denna sistnämnda tabell kan sedan användas för uppställande av en tabell över avrinningen (Q-tabell), motsvarande den grafiska metodens avrinningsdiagram.

2.1.3. Funktionsmetoden vid enskalemätning

Vid tillämpning av funktionsmetoden tecknas alla relationer som kontinuerliga matematiska funktioner, eller symboliskt:

h-t-relationen

$$h = f(t) \quad /1/$$

q-h-relationen

$$q = g(h) \quad /2/$$

q-t-relationen

$$q = g(f(t)) \quad /3/$$

Q-t-relationen

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} g(f(t)) dt \quad /4/$$

Funktionen /2/ är ofta tämligen lätt att finna ett fullt godtagbart approximativt uttryck för. Därför är det också vanligt att q-h-funktionen användes som ensam funktion i en f. ö. tabularisk utvärderingsgång, dvs. i den tidigare nämnda tabellmetoden med q-h-funktion.

Ekvation /1/ vållar däremot oftast stora svårigheter, så snart en någorlunda lång tidsperiod betraktas. För begränsade tidsavsnitt med en vattenståndsvariation som hjälpligt låter sig beskrivas med hjälp av elementära matematiska funktioner, kan den däremot lösas. Ett typiskt exempel är vattenståndets successiva avtagande (recession) under en torrvädersperiod. Många gånger kan också enstaka vattenståndspikar nöjaktigt anpassas till en matematisk funktion. Längre tidsserier kan visserligen angripas matematiskt med t.ex. Fourier-analys, men resultaten blir tillfredsställande endast om kraven på anpassningens överensstämmelse med den verkliga vattenståndsgången hålles på en tämligen blygsam nivå.

Kan inte ekvation /1/ (och /2/) lösas, kan inte heller /3/ och /4/ ges funktionell form.

2.2. Tvåskalemätning

Denna metod innebär att vattenföringen är (eller betraktas som) beroende av vattenståndet vid två peglar. En av dessa, vilken kan kallas primärpegeln, är lokaliserad till den egentliga mätsektionen, medan den andra, förslagsvis benämnd sekundärpegeln, är placerad en viss sträcka därifrån (vanligen nedströms). Vattenståndet vid primärpegeln kan beteck-

nas med h_p , och vid sekundärpegeln med h_s . Vattenföringen kan ses som beroende av h_p och h_s direkt eller också av h_p och differensen $h_p - h_s = \Delta H$.

Tvåskalemätning användes när inte enskalemätningen är brukbar (jfr avd. 2.1.). Eftersom tvåskalemätning kräver dubbla pglar och betydligt fler bestämningar av värdeparen q_{m_i} och h_{m_i} bör vid planering av en hydrologisk undersökning så långt som möjligt väljas mätsektioner som medger att enskalemätning kan tillämpas.

2.2.1. Grafiska metoden vid tvåskalemätning

Förhållandet mellan vattenståndet, h_p , vid primärpegeln och tiden, t , ges av ett vattenståndsdiagram (fig. 5, övre kurvan), som i princip inte skiljer sig från vattenståndsdiagrammet vid enskalemätning (fig. 1). Motsvarande förhållande mellan vattenståndet, h_s , vid sekundärpegeln och tiden, t , ges av ett annat vattenståndsdiagram (fig. 5, nedre kurvan).

Relationen mellan å ena sidan flödet, q , och å den andra sidan vattenståndsdifferensen, ΔH , mellan primärpegeln och sekundärpegeln framställs av n stycken vattenföringskurvor (avbördningskurvor) i en kurvskara i vilken varje enskild kurva kännetecknas av ett bestämt parametervärde ΔH_j (med $j = 1, 2 \dots n$). Vattenföringskurvorna, liksom de med dessa ekvivalenta tabulariska resp. funktionella $q-h_p-\Delta H$ -relationerna vid tillämpning av tabellmetoden resp. funktionsmetoden, bygger på ett antal genom mätning funna sammanhörande värden av h_p , ΔH och q . Mätvärdena i en viss grupp, k , av sammanhörande data, kan betecknas med h_{pm_k} , ΔH_{m_k} och q_{m_k} . De härledda värdena i en helt godtycklig värdegrupp, i , kan symboliseras med h_{pi} , ΔH_i och q_i , och erhålles genom interpolation eller utjämning. De härledda värdena i en bestämd grupp, x ($i = x$), får beteckningarna h_{px} , ΔH_x och q_x .

Vid en given tidpunkt, t_x , är $h_p = h_{px}$ och $\Delta H = \Delta H_x$. Det givna värdet ΔH_x ersättes med närmaste ΔH_j -värde, vid vilket h_{pj} motsvaras av q -värdet q_x . Följaktligen svarar q_x mot t_x , och generellt gäller att mot varje t svarar ett bestämt q . Detta förhållande medger konstruktion av ett nytt diagram, vattenföringsdiagram, som ger vattenföringen, q , för varje tidpunkt inom det betraktade tidsintervallet. Fig. 7 visar två sådana diagram, ett för fallet $\Delta H = \Delta H_1 = c_1$ och ett annat för fallet $\Delta H = \Delta H_2 = c_2$.

Avrinningen, Q , under en godtyckligt vald tidsperiod fås genom summering av vattenföringen över tiden. Mot varje t_x kommer då att svara en viss q -summa, dvs. Q_x . Relationen $Q-t$ avsättes på ett avrinningsdiagram. Fig. 8 visar två sådana diagram, dels för fallet $\Delta H = \Delta H_1 = c_1$ och dels för fallet $\Delta H = \Delta H_2 = c_2$.

Fig. 5-8: Tvåskalemetod. Beräkning av vattenföring och avrinning.

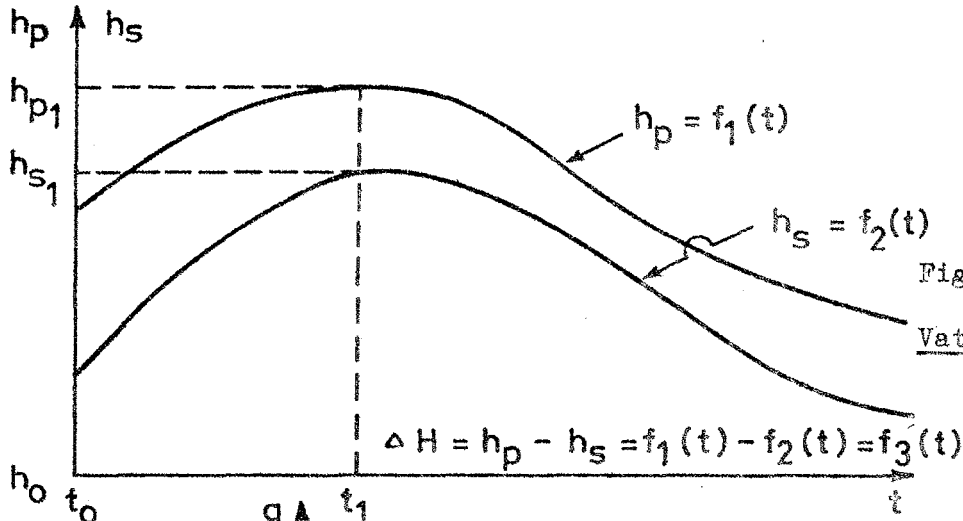


Fig. 5.

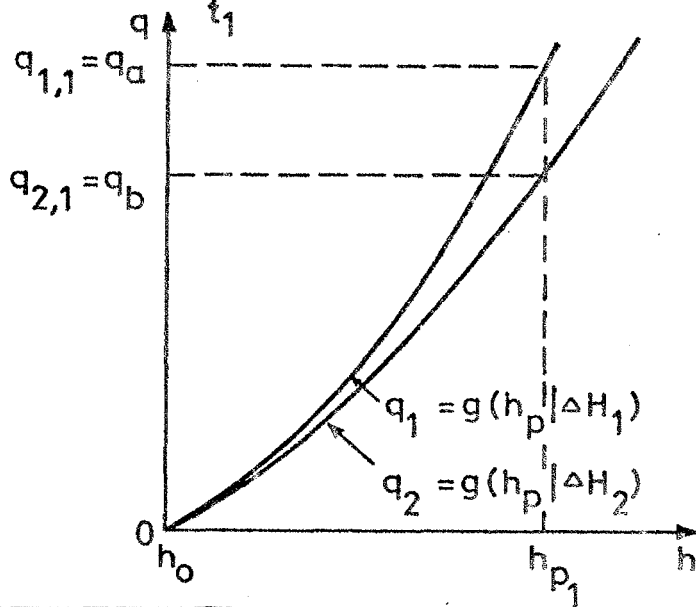


Fig. 6.

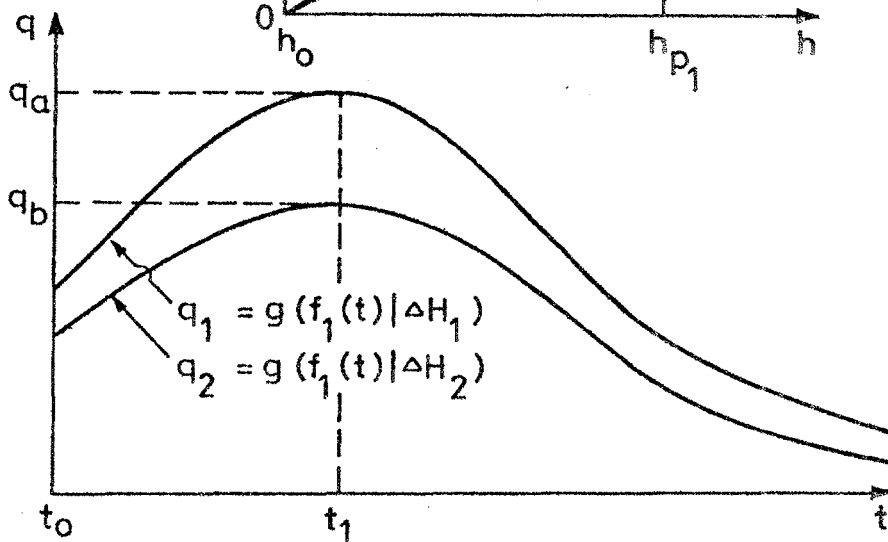


Fig. 7.

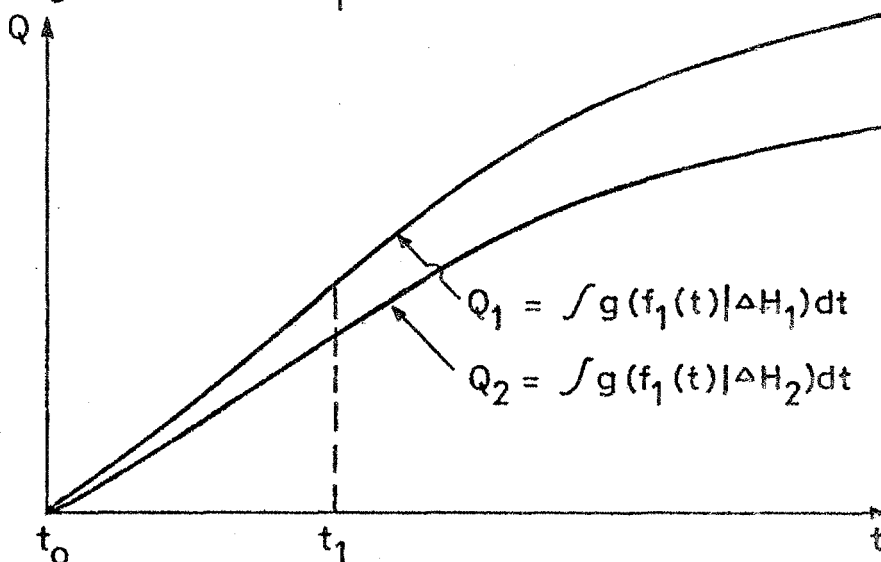


Fig. 8.

2.2.2. Tabellmetoden vid tvåskalemätning

Vid tillämpning av tabellmetoden ersättes vid tvåskalemätning liksom vid enskalemätning alla de diagram och kurvor som användes vid den grafiska metoden av tabeller, som antingen är av traditionellt slag (numera inte så vanligt) eller är upplagda på något ADB-lämpat medium (jfr avd. 2.1.2. på sid. 3). Vi går inte här närmare in på denna metod. Man kan i stort sett sluta sig till arbetsgången genom studium av avdelningarna 2.2 och 2.2.1 ovan.

2.2.3. Funktionsmetoden vid tvåskalemätning.

Vid tillämpning av funktionsmetoden tecknas alla relationer som kontinuerliga matematiska funktioner, eller symboliskt:

h_p-t-, h_s-t- och ΔH-t-relationerna

$$h_p = f_1(t) \quad (5)$$

$$h_s = f_2(t) \quad (6)$$

$$\Delta H = h_p - h_s = f_1(t) - f_2(t) = f_3(t) \quad (7)$$

q-h_p-ΔH-relationen

a) Vid stegvis representation av ΔH

$$q_j = g(h_p \mid \Delta H_j)^{(*)} \quad (8a)$$

b) Vid kontinuerlig representation av ΔH

$$q = g(h_p, \Delta H) \quad (8b)$$

q-t-relationen

a) Om ΔH = ΔH_j = c (dvs. ΔH konstant)

$$q_j = g(f_1(t) \mid \Delta H_j)^{(*)} \quad (9a)$$

b) Om ΔH = f₃(t) (dvs. ΔH variabelt)

$$q = g(f_1(t), f_3(t)) \quad (9b)$$

Q-t-relationen

a) Om ΔH = ΔH_j = c

$$Q_j = \int g(f_1(t) \mid \Delta H_j) dt \quad (10a)$$

(*) Variabel till vänster, parameter till höger om lodrätta strecket

b) Om $\Delta H = f_3(t)$

$$Q = \int g(f_1(t), f_3(t)) dt \quad (10b)$$

För funktionerna (8a) och (8b), vilka motsvarar enskalemätningens funktion (2), är det ofta möjligt att finna fullt godtagbara approximativa uttryck. Övriga funktioner vållar samma svårigheter eller ännu större problem än enskalemätningens motsvarande funktioner (1) osv. (jfr avd. 2.1.3, sid. 5).

3. OLIKA METODER FÖR BESTÄMNING AV DET MOMENTANA FLÖDET GENOM EN MÄTSEKTION

En mångfald metoder existerar för att mäta det momentana flödet genom en mätsektion i ett öppet vattendrag, dvs. för att ta fram de sammanhörande mätvärden som erfordras för att definiera vattenföringen (q) i förhållande till en (h) resp. två (h_p och ΔH) vattenståndsvariabler eller vattenståndsp parametrar.

Förefintliga metoder kan indelas i följande fem huvudgrupper:

1. Metoder för direkt uppmätning av genomströmningsmängd
2. Metoder för mätning med hjälp av utströmningsöppningar (utskov), antingen helbegränsade eller öppna (uppåt)
- 3.1. Area-fallmetoder med sektionsförträngning
- 3.2. Area-fallmetoder utan sektionsförträngning
4. Area-hastighetsmetoden
5. Dilutionsmetoder.

Av dessa kan grupp 1 i regel endast komma ifråga vid mycket små vattenmängder.

Grupperna 2 och 3.1 innesluter en lång rad metoder med hög precisionsprotokoll, t.ex. överfallsdammar av olika slag i grupp 2, och skilda typer av förträngningsrännor i grupp 3.1. Dessa metoders nackdelar är att de i allmänhet kräver ganska dyrbara anordningar samt fordrar en viss uppdamning.

Metoderna i grupp 3.2 kännetecknas av rätt betydande mätsvårigheter och tämligen dålig noggrannhet, vilket inte hindrar att de spelat och fortfarande spelar en viktig roll. Här återfinns t.ex. de Chezys formel med dess många avledningar, av vilka kan nämnas Ganguillets-Kutters formel, Gauckler-(Hagen-) Stricklers formel (hos oss på senare tid allt oftare omtalad under det felaktiga namnet Mannings formel) och Manning-Flamant-Buckleys formel (eller bara Mannings formel) samt vidare moderna tillämpningar på öppna vattendrag av ursprungligen rörhyd-

rauliska formler, typ Prandtl-Colebrook.

Metoderna i grupp 4 grundar sig alla på mätning av vattnets förflyttningshastighet i huvudströmriktningen. Hastigheten bestäms antingen punktvis, vertikalsvis eller sektionvis. Exempel på hastighetsbestämning i enskilda punkter är mätning med ytflytare, djupflytare, tvillingflytare (som mäter i två punkter samtidigt), tryckrör (enligt Henri de Pitot och hans många efterföljare), hydrometrisk flygel, Pitostakimeter och med varmtrådshydrometer. Medelhastigheten i hela vertikalen kan fås direkt med Cabeostav, kedjeflytare, uppstigande flytare (även kallad integrerande flytare) och på sätt och vis också med en stavpendel. Hastigheten genom sektionen kan utan analytiska omvägar erhållas genom tillämpning av spårningsförfarandet eller av elektrolytmetoden.

Antalet metoder i grupp 4 är stort. De olika förfaringssättens historia är av högst växlande längd. Gruppen innesluter mycket gamla metoder, såsom djupflytarmätning, som prövades redan av Leonardo da Vinci för snart 500 år sedan, samt de cirka 350-åriga metoderna Cabeostavmätning och pendelmätning. Men gruppen inrymmer också en rad högmoderna, under full utveckling varande, fysikaliska metoder för bestämning av strömningshastighet.

Precisionspotentialen för de olika i grupp 4 ingående metoderna är rätt skiftande. Ofta förstärkes dessutom olikheterna i den teoretiskt möjliga precisionen av att metoderna med den lägsta potentiella noggrannheten också uppvisar de största praktiska svårigheterna att nå i närheten av deras yttersta möjligheter i precisionshänseende. En av de allra säkraste metoderna, kanske rentav den säkraste, för fältbruk är mätning med hydrometrisk flygel. Under någorlunda gynnsamma betingelser kan även flytarmätning ge acceptabla resultat, särskilt gäller detta mätning med Cabeostav. Det är också flygel- och flytarmätning, som kommer att tas upp i den nu påbörjade uppsatsserien om avkortade metoder för bestämning av flöde i små vattendrag.

Vad slutligen metoderna i grupp 5 beträffar, så innebär de att flödet, q , s. a. s. mätes direkt. Någon bestämning av genomströmningsarean, A , är alltså inte erforderlig. Vissa dilutionsmetoder skulle kunna tänkas som komplement till de metoder för avkortad mätning med hydrometrisk flygel och med flytare, vilka kommer att föreslås i det följande. Som ett exempel på en tänkbar metod kan nämnas den av norr-
männen J. Aastad och R. Sögnen utarbetade "relativa saltförtunningsförfarandet" (Aastad & Sögnen 1928, 1930, 1955).

En något fylligare förteckning än den som här givits över metoder för flödesbestämning i öppna ledningar, återfinnes i ett appendix till denna uppsats i form av en schematisk översikt.

4. FLYGEL- OCH FLYTARMÄTNINGARS KARAKTÄR AV URVALSMETODER

4.1. Allmänt

Av alla de area-hastighetsmetoder som arbetar med punktvisa eller vertikalvisa hastighetsbestämningar, gäller att de kan uppfattas som urvalsmetoder. Mätvärdena utgör på sätt och vis ett samspel, vanligen mer eller mindre systematiskt, ur en värdeskara, som kan liknas vid en statistisk population, en värdeskara som består av hastighetsresultanterna i huvudströmmens riktning i varje ögonblick och i varje punkt i mättvärsnittet. Värdeskareurvalet utvärderas också ofta enligt metoder som i varje fall ligger mycket nära vissa statistiska förfaringssätt. Parallellt med dessa utvärderingsprocedurer finns emellertid system som arbetar enligt deterministiska riktlinjer eller bygger på renodlad matematisk interpolation utan hänsynstagande till slumpfaktorer. Alla dessa tre betraktelsesätt kommer att vara representerade bland de utvärderingsmetoder som avses skola tagas upp eller föreslås i de följande delarna i uppsatsserien.

4.2. Medelhastighetsberäkning: "Hastighetsintegralen" och dess uppdelning

Med hjälp av det ovan omtalade urvalet har man att söka finna "populationens" medelvärde, dvs. medelhastigheten i huvudströmmens riktning.

Värdeskarans (eller "populations") fördelning i planet och tiden beskrives symboliskt av uttrycket

$$v = f(x, z, t) \quad (11)$$

där v = hastigheten i huvudströmmens riktning

x = den transversella lägesvariabeln

z = den horisontella lägesvariabeln

t = tidsvariabeln.

Den sökta medelhastigheten fås genom att man integrerar hastigheten över planet och tiden och dividerar med uttrycken för integreringsintervallen. Man erhåller då följande trippelintegral.

$$\bar{v} = \frac{1}{A \cdot \Delta t} \int_{S_v}^{S_h} \int_0^{z_m} \int_{t_1}^{t_2} v \, dx dz dt \quad (12)$$

där \bar{v} = medelhastigheten i huvudströmmens riktning inom ytan A och under tiden $\Delta t = t_2 - t_1$

S_v = vänstra stranden

S_h = högra stranden

z_m = maximidjupet i sektionen

t_1 och t_2 är start- resp. sluttidpunkter för det tidsintervall (12) avser.

Man kan i allmänhet inte komma fram till medelhastigheten, \bar{v} , på det helt generella sätt som uttrycken (11) och (12) förutsätter. En viss förenkling av dessa formler måste göras. Dessutom är oftast en integraluppdelning nödvändig.

Den första åtgärden brukar vara att man gör hastighetsvariabeln tidsberoende, genom att låta hastigheten i varje punkt av tvärsnittet representeras av vad man skulle kunna kalla en "punktmedelhastighet", \bar{v}_p . Denna medelhastighet för varje godtycklig punkt i tvärsnittet bestämmas av det värde i denna punkt som en från ett antal mätpunktsmedelhastigheter, \bar{v}_{pm} , deducerad hastighetsfördelning (punktmedelhastighetsfördelning) ger.

Denna första förenkling leder till att uttrycken (11) och (12) övergår till

$$\bar{v}_p = f(x, z) \quad (11')$$

$$\bar{v} = \frac{1}{A} \int_{S_v}^{S_h} \int_0^{z_m} \bar{v}_p \, dx dz \quad (12')$$

där alltså \bar{v}_p = den tidsberoende hastighetsvariabeln = punktmedelhastigheten (deducerad ur ett antal uppmätta punktmedelhastigheter, \bar{v}_{pm} , i tvärsnittet).

Den andra åtgärden är att uppdelas dubbelintegralen (12') i två enkla integraler. Uppdelningen kan utföras på två olika sätt, nedan betecknade med a) och b).

a) Med vertikalintegralen som första steg (vanlig uppdelning)

$$\omega_v = \int_0^{z_m} \bar{v}_p \, dz \quad (13a)$$

$$\bar{v} = \frac{1}{A} \int_{S_v}^{S_h} \omega_v \, dx \quad (14a)$$

där ω_v är en hjälpvariabel med dimensionen $[L^2 T^{-1}]$.

- b) Med horisontalintegralen som första steg (mycket ovanlig uppdelning)

$$\omega_h = \int_{S_v}^{S_h} \bar{v}_p dx \quad (13b)$$

$$\bar{v} = \frac{1}{A} \int_0^{z_m} \omega_h dz \quad (14b)$$

där ω_h är en hjälpvariabel med dimensionen $[L^2 T^{-1}]$.

4.3. Metoder för lösning av hastighetsintegralerna (Jfr appendix 1)

4.3.1. Då vertikalintegralen är 1:a steg (1:a integral)

4.3.1.1. Lösning av första integralen, dvs. av (13a)

4.3.1.1.1. Direkt lösning

4.3.1.1.1.1. Genom mätning med Cabeostav eller vertikalkedjeflytare (i båda fallen eventuellt med korrektion för otillräckligt djupgående) eller med djupgående ytflytare med korrektion för stort djupgående (se Bjerketorp 1973a)

4.3.1.1.1.2. Med uppstigande flytare (s.k. integrerande flytare)

4.3.1.1.1.3. Med stavpendel

4.3.1.1.2. Grafisk lösning

efter fullständig (oavkortad mätning med t.ex. djupflytare, Wiebekingpendel, dynamometer, tryckrör, hydrometrisk flygel, Pikus-takimeter eller varmtrådshydrometer (jfr avd. 6.1.))

4.3.1.1.3. Analytisk lösning

4.3.1.1.3.1. Efter mätning med ytflytare, dubbelflytare (tvillingflytare) eller Castellipendel

4.3.1.1.3.2. Efter avkortad mätning med samma instrument som anges i avd. 4.3.1.1.2.

4.3.1.2. Lösning av andra integralen, dvs. av (14a)

4.3.1.2.1. Analytisk lösning

Analytisk lösning är inte helt omöjlig, men förekommer knappast i praktiken.

4.3.1.2.2. Grafisk lösning

Grafisk lösning har varit och är fortfarande mycket använd (jfr avd. 6.2.)

4.3.1.2.3. Numerisk lösning

Numerisk lösning är också en vanlig metod, vilken i data-maskinernas tidevarv håller på att bli den dominerande lösningsmetoden. För tillämpning inom "Undersökningar rörande sambandet mellan kulturåtgärder och avrinning" har författaren utarbetat en numerisk lösningsmetod som bygger på kurvlinjär interpolation och stegvis integrering. Metoden kommer att behandlas i en senare uppsats i serien.

4.3.2. Då horisontalintegralen är 1:a steg (1:a integral)

4.3.2.1 Lösning av första integralen, dvs. av (13b)

Denna variant är mycket sällsynt. Direkt lösning är möjlig t.ex. genom mätning med en djupflytande bom, dvs. med en mycket bred djupflytare, Williams linsträckningsmetod (se William, R. 1896. Ueber Wassermessungen. Der Civilingenieur 42:4, s. 347-348. Leipzig. och Hillebrand, D. 1950. Verkrantung und Abfluss. Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch, No. 2. Hannover.) är ett försök i samma riktning.

4.3.2.2. Lösning av andra integralen, dvs. av (14b)

Ytterst ovanlig variant. Grafiska och numeriska, liksom även analytiska lösningar tänkbara.

4.3.3. Lösning på empirisk väg av den uppdelade dubbelintegralen (19)

Vid sådana lösningar utgår man från empiriskt funna samband mellan å ena sidan vattenhastigheten i en eller flera närmare definierade mätpunkter i tvärsnittet, samt å andra sidan några för strömningsförloppet avgörande parametrar.

Man kan t.ex. utgå från hastigheten i en enda vertikal, lämpligen den vertikala i tvärsnittet där hastigheten är (eller bedömes vara) störst.

Övriga parametrar kan t.ex. vara hydrauliska medeldjupet samt någon skrovlighetsparameter (friktionsparameter).

För att komma fram till en lösning under de givna förutsättningarna krävs

- a) kännedom om den hydrauliska medeldjupets storlek samt någon kvantifiering av den valda friktionsparametern
- b) kännedom om medelhastighetens funktionella beroende av uppmätta hastigheter (eller av någon beräkningsmåthastighet härledd ur den uppmätta hastigheten), hydrauliska medel-

djupet och den valda friktionsparametern, dvs. kännedom om hur funktionen (15) är beskaffad

$$\bar{v} = f(v_m, R_h, \psi) \quad (15)$$

där \bar{v} = sektionens medelhastighet (i huvudströmriktningen)

v_m = den uppmätta hastigheten eller den ur flera i mätvertikalen uppmätta hastigheter deducerade beräkningsmätthastigheten

R_h = hydrauliskt medeldjup

ψ = en friktionsparameter (skrovlighetsparameter).

Författaren har gjort vissa försök att lösa den ouppdelade integralen (12') efter de här uppdragna riktlinjerna (Bjerketorp 1973a, 1973b), men avser att längre fram i uppsatsserien "Några metoder för avkortad mätning och beräkning av flöde i små vattendrag" återkomma till detta problem.

5. UPPMÄTNING AV PUNKTMEDELHASTIGHET MED HYDROMETRISK FLYGEL

5.1 Allmänna synpunkter

Liksom andra punkthastighetsbestämningsmetoder innebär flygelmätning att man mäter strömningshastigheten i n punkter med transversalkoordinaterna = x_i och djupkoordinaterna = z_i ($i = 1, 2 \dots n$). Vid flygelmätning tänkes den relevanta mätpunkten ligga i vinghjulsaxelns centrum. Mätpunkterna fördelas, såsom vi tidigare varit inne på, ner eller mindre systematiskt över mätsektionen, vilket skall vara ett vertikalt plan vinkelrätt mot huvudströmriktningen. Vinghjulsaxeln skall i sin tur bilda en normal till detta plan, vilket innebär att den blir parallell med huvudströmriktningen. Den i en bestämd punkt (definierad enligt ovan) uppmätta hastigheten är då, med en viss reservation (se nedan), medelvärdet i punkten av hastighetsresultanten i huvudströmmens riktning för den tid mätning i punkten pågått. Följderna av snedställd vinghjulsaxel diskuteras i bl.a. Croce (1926).

Det funna värdet innebär en viss approximering, eftersom flygeln i sträng mening inte mäter hastigheten i en enstaka punkt, utan s.a.s. ger det viktade medeltalet av hastigheterna i alla punkterna inom en kring centripunkten belägen cirkelyta med halva vinghjulsdiametern som radie. (Observera att alla dessa punkthastigheter i sin tur är tidsmedeltal!) Viktningen bestäms i varje punkt för det första av punktens avstånd till vinghjulsets centrum, dvs. av punktens momentarm, samt för det andra av den del av vinghjulsvarvet varunder varje punkts kraft är verksam på propellern.

Hastighetsfördelningens (konvexa) krökning inom vinghulets mät-räjong leder till en sänkning av mätvärdet i förhållande till det värde man skulle ha erhållit om ingen krökning förelegat. Endast vid måttlig relativ utsträckning av vinghulet är denna hastighetsreduktion försumbar.

Såsom framgår av Haeger (1926) medför en lutning av hastighetsfördelningen inom vinghulets mät-räjong, dvs. en lutning i vinghulets centralpunkt av tangenten till hastighetsfördelningen, en höjning av mätvärdet i förhållande till det värde man skulle fått om ingen lutning förekommit. En närmare undersökning är Haegers ekvationer, vilken författaren utfört, delvis med hjälp av datamaskin, visar att denna höjning är beroende av lutningens storlek, av vinghulets geometriska stigning, av flygelkonstanterna och av vattnets hastighet i centrum-punkten. Höjningen stiger med ökad vinghulsstigning och ökad vattenhastighet, samt faller med ökat värde på var och en av konstanterna i flygelns konstantekvation.

5.2. Vattnets pulsering

Strömningen ute i diken, bäckar, avloppskanaler och åar är alltid turbulent i hela eller praktiskt taget hela tvärsnittet. Därmed har man också alltid att räkna med den turbulenta strömningens s.k. pulsering, vilken innebär att hastighetsresultantens storlek i huvudströmriktningen i en viss punkt ständigt växlar kring ett medelvärde, ett medelvärde som ju är det man är ute efter att fastställa. Om pulseringens intensitet kan rent allmänt sägas att den ökar med tilltagande medelhastighet i sektionen. Vid en given medelhastighet stegras den med växande ojämnheter hos de fasta begränsningsytorna, dvs. med ökad skrovlighet (i vid bemärkelse), samt nedgår med minskande avstånd till hastighetsfördelningens maximum i sektionen. Pulseringen är starkast nära men inte helt intill vattendragets bädd. Mycket nära bädden avtager pulseringen snabbt mot noll. De virvelrörelser som betingar pulseringen s.a.s. släcks ut mot de fasta gränssytorna. Det s.k. laminära gränsskiktet har uppnåtts. Inom detta skikt är strömningen laminär, eller i varje fall av laminärtyp. Den är vad man brukar kalla viskös. Vi återkommer till begreppet gränsskikt i del II av denna uppsatsserie.

Fig. 9 ger en schematisk bild av hur hastigheten till följd av pulseringen kan växla, dels i närheten av den fria vattenytan, och delvis nära vattendragets botten. Man ser där hur pulseringen är mindre invid ytan än invid botten.

Redan den i hydrometrins historia välkända fransmannen A.G.A. Babinet (1808-1856) observerade pulseringsfenomenet inverkar på flygel-mätningar (1847; citat av Schoklitsch 1922). På 1850-talet diskutera-

problemet mera allmänt av P.P. Boileu (1811-1891) i dennes klassiska verk "Traité de la mesure des eaux courantes", utgivet i Paris 1854. Först i och med nordamerikanen D.F. Henry (1833-1907) påbörjades emellertid ett mera systematiskt empiriskt studium av pulseringen (Henry 1871). Henry tyckte sig finna pulseringar i två olika perioder, en kort på 30-60 sekunder och en lång på 5-10 minuter. Att flera olika perioder överlagras varandra tycks vara ett faktum (Dementjev 1963). Den närmare karaktären av dessa periodiciteter torde vara ett lämpligt undersökningsobjekt för den moderna s.k. spektralanalysen.

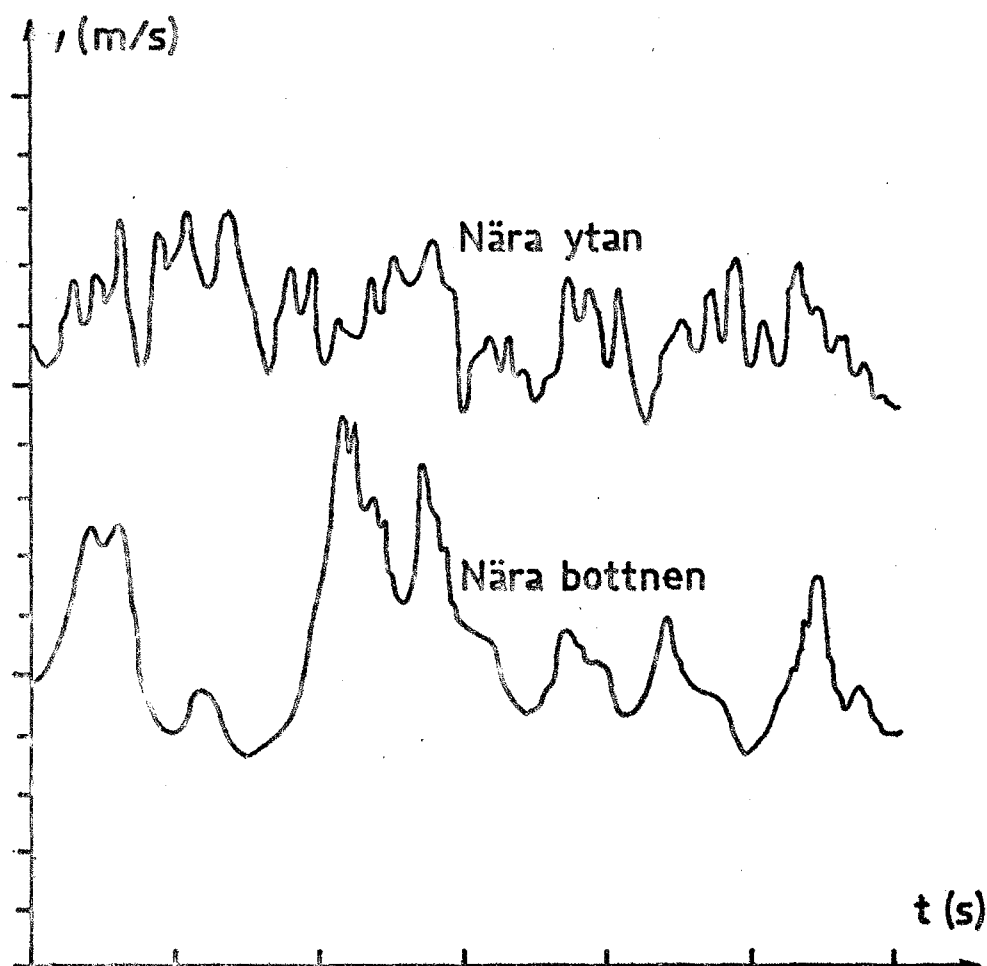


Fig. 9. Hastighetens växling i turbulent strömning.

Under första hälften av 1880-talet publicerades några arbeten om pulsering, vilka väsentligt ökade i varje fall den deskriptiva kunskapen om företeelsen. De åsyftade verken är författade av en österrikare, en tysk, en engelsman och en nordamerikan. Arbetena är av Harlacher (1881), Baum (1882), Unwin (1883) och Mackenzie (1884).

Under återstoden av 1800-talet fortsatte forskningarna på detta område i t.ex. Österrike (Hydrographische Dienst in Österreich, 1899) och

i Amerikas Förenta Stater (Murphy 1904, Seifert 1906).

Under 1900-talets två första decennier framträdde en lång rad ryska forskare (Dementjev 1963) med undersökningar som avsåg att särskilt belysa den praktiska aspekten av pulseringens inverkan på den för en viss precisionsnivå erforderliga tiden för observation av "punkthastigheten" vid flygelmätning. Från 1920-talet och framåt fortsattes dessa arbeten av sovjetiska forskare, som inte minst intresserade sig för pulseringen under is (Dr. S. 1929, Dementjev 1963).

Vid sidan av de hittills relaterade tillämpningsinriktade arbetena har framkommit en omfattande litteratur rörande pulseringarnas fysikaliska natur. Vi skall dock inte här gå in alls på dessa men teoretiska aspekter på pulseringsfenomenet.

På 1920-talet kommer det tidigare nämnda tyskspråkiga arbetet av Schoklitsch (Schoklitsch 1922) med en god, om än kortfattad sammanfattning av äldre resultat, vartill Schoklitsch lägger en del egna rön. På svenska kommer i slutet av årtiondet en liten uppsats som berör pulsering (Dahl 1928).

40 år efter Schoklitsch publiceras en liknande uppsats, ehuru betydligt mer voluminös, med sammanfattning av forskningens ståndpunkt i frågan och med tilläggande av egna resultat. Författaren är denna gång en ryss, V.V. Dementjev, och arbetet kom 1962 på ryska och 1963 på engelska (Dementjev 1963).

Formalisering av minimummättiden

Den med hänsyn till ett visst precisionskrav kortaste tillåtna mättiden i en viss punkt och flygelmätning kan förslagsvis kallas minimummättid och betecknas med $t_{p_{min}}$. Minimummättidens längd bör vara beroende av den valda precisionsnivån och av pulseringens intensitet, vilken i sin tur, som tidigare nämnts, är beroende av medelhastigheten, av avståndet från hastighetsmaximum samt av ledarväggens skrovlighet. Minimummättidens längd bör av sannolikhetsteoretiska skäl också vara beroende av det totala antalet mätpunkter i sektionen. Avståndet från hastighetsmaximum bör kunna uttryckas i två andra parametrar, nämligen mätvertikalens djup och mätpunktens relativa djupläge. Vi kan därför uppställa följande symboliska samband

$$t_{p_{min}} = f(p_f \bar{v}, z_m, z_p, \psi, p_n) \quad (16a)$$

där $t_{p_{min}}$ = minimummättiden

p_f = en faktor som uttrycker det aktuella kravet på precision

\bar{v} = medelhastighetsparameter
 z_m = totaldjupsparameter
 z_r = mätpunktens relativa djupläge
 Ψ = en skrovlighetsparameter
 p_n = totala antalet mätpunkter i sektionen.

\bar{v} och z_m kan avse antingen vertikalen eller sektionen. Om vi låter medelhastighets- och totaldjupsparametrarna avse hela sektionen och betecknar dem med \bar{v}_s resp. \bar{z}_m samt förutsätter en viss bestämd precisionsnivå erhålles

$$t_{p_{\min}} = f(\bar{v}_s, \bar{z}_m, z_r, \Psi, p_n) \quad (16b)$$

Bland de ingående parametrarna kan lämpligen \bar{z}_p och Ψ representeras grupp- eller klassvis. För djupgruppen g och skrovlighetsklassen k erhålles då

$$t_{p_{\min}(g,k)} = f(\bar{v}_s, z_r, p_n \mid \bar{z}_{m(g)}, \Psi_{(k)})^* \quad (16c)$$

där $\bar{z}_{m(g)}$ = djupgrupp med ordningstalet g
 $\Psi_{(k)}$ = skrovlighetsklass med ordningstalet k

Det närmare utseendet av t.ex. funktion (16c) är inte känt. Några grundläggande egenskaper hos den är dock bekanta.

För relativa djuplägen större än eller lika med ett visst värde, z_a , vilket i litteraturen ofta anges till 0,2, växer minimummättiden, $t_{p_{\min}}$, vid ökning av mätpunktens relativa djupläge, z_r . Minimummättiden växer likaså med ökande medelhastighet, \bar{v}_s , samt med tilltagande skrovlighet, dvs. med $\Psi_{(k)}$, och tämligen säkert också med minskande totaldjup, dvs. med $\bar{z}_{m(g)}$, åtminstone i tämligen grunda sektioner (= små vattendrag). Däremot avtager minimummättiden vid relativa djuplägen mindre än z_a (eller förblir konstant), samt med ökande antal mätpunkter, p_n , i sektionen. (Fel i de enskilda punkternas uppmätta medelhastighetsvärden tager statistiskt sett alltmer ut varandra ju fler mätpunkterna är.) Ökningen med z_r och $\bar{z}_{m(g)}$ torde vara accelererande, och detta mer utpräglar för z_r än för $\bar{z}_{m(g)}$. Minskningen med p_n är tvevelsutan retarderande.

På grundval av nu relaterade lagbundenheter, litteraturuppgifter och egen mäterfarenhet har författaren gjort ett försök att lösa funktion (16c) med utgångspunkt från en speciell teori om vertikalhastighetsfördelningens utseende (den Lavale-Rappska parabelteorin, varom mera i del II av uppsatsserien), samt under antagandet att sektionsmedelhastighetens inflytande under normala mätförhållanden är försumbar (Bjerke-

*) Variabler till vänster, parametrar till höger om lodrätta strecket.

torp 1973a). Vi går dock inte här närmare in på detta formaliseringsförsök.

6. "KLASSISK" FLYGELMÄTNINGSMETODIK

Den "klassiska" metoden för flygelmätning och utvärdering därav som varit och fortfarande är den dominerande metoden i Norden och övriga Europa (måjligen med undantag av Sovjetunionen) bygger på helt oavkortad flygelmätning med åtföljande grafisk utvärdering i två (eller tre) steg.

6.1. Lösning av 1:a integralen

Vid den "klassiska" metoden bestämes hastigheten i ett flertal punkter längs ett antal vertikaler. De funna hastighetsvärdena, hänfödda till de djup som de uppmätts på, avsättes i rätvinkliga koordinatsystem, ett för varje mätvertikal och med hastighetsvärden på den vågräta axeln och djupvärdena på den lodräta. De avsatta punkterna sammanbindes så med varandra genom en på fri hand dragen kurva, som antingen kan vara en interpolationskurva (alla mätvärdespar ligger på kurvan; sträckan mellan översta mätpunkten och vattenytan extrapoleras) eller en anpassningskurva. Kurvan skall gå ända upp till "ytan". Vid "botten" drages den numera i allmänhet till origo (vilket innebär att bottenhastigheten tilldelas värdet noll). Nästa åtgärd är att planimetrera ytan mellan kurvan och koordinatsystemets axlar. Första integralen, dvs. vår ekvation (13a) (se sid. 12 och jfr avd. 4.3.1.1.2. på sid. 13), är därmed bestämd. Dess värde är produkten mellan hastighet och vertikaldjup. Medelhastigheten längs vertikalen, \bar{v}_v , erhålles givetvis genom att dividera integralvärdet med vertikaldjupet.

6.2. Lösning av 2:a integralen

För den fortsatta arbetsgången, dvs. för lösande av den andra integralen, tillämpas endera av följande tre, ganska likartade grafiska metoder:

6.2.1. Genom separat bestämning av sektionmedelhastighet och sektionsarea

Vertikalmedelhastigheterna, \bar{v}_{v_i} , avsättes på ett diagram med transversalkoordinaterna, x_i , som oberoende variabel, sammanbindes eller utjämnas med en kurva med funktionsvärdet $\bar{v} = f(x)$. Ytan under kurvan planimetreras och det erhållna värdet divideras med integreringsintervallet i x-led. Som resultat erhålles en parameter med dimensionen $[L T^{-1}]$, som brukar identifieras med sektionmedelhastigheten, \bar{v}_s . Det är emellertid underkastat tvivel om det erhållna värdet verkligen är sektion-

medelhastigheten. Grundsky (1896) framhåller med skärpa att det inte är riktigt att dividera ytan under vertikalmedelhastighetskurvan med vattenytans bredd (integrationsintervallet) och kalla den erhållna kvoten sektionens medelhastighet. Detta stämmer bara när tvärsektionen är rektangulär. — Flödet, q , fås slutligen som produkten av arean, A , och sektionens medelhastigheten, \bar{v}_s . Givetvis blir även q felaktigt om \bar{v}_s är oriktigt.

6.2.2. Genom direkt användning av vertikalhastighetsytorna

En vertikalhastighetsyta är produkten av vertikalens djup och dess medelhastighet. En sådan yta brukar betecknas med ω . Dess dimension är $[L^2 T^{-1}]$. Om vertikalhastighetsytan divideras med måtenheten (vanl. 1 m), så ändras självfallet inte det numeriska värdet, men dimensionen övergår till $[L T^{-1}]$. Vi har då erhållit medelhastigheten i vertikalen återförd till måtenhetens djup. Hastighetsytornas mätvärden, ω_{v_i} , avsättes på ett nytt diagram med motsvarande x -värden, x_i , som oberoende variabel, och sammanbindes eller utjämnas med en kurva. Ytan under kurvan planimetreras. Dess värde har dimensionen $[L^2 T^{-1}] \cdot [L] = [L^3 T^{-1}]$ och utgör produkten av arean, A , och sektionens medelhastigheten, \bar{v}_s , enligt vår ekvation (14a) på sid. 12 (jfr avd. 4.3.1.2.2. på sid. 14). Denna produkt är lika med flödet, q . Vi har alltså utan att laborera med medelhastigheter kommit fram till målet. Lösningen är också teoretiskt riktigare än den lösning den under avd. 6.2.1. återgivna metoden ger. Lägg märke till att ytan, A , står som integrationsintervall i ekvation (14a)!

6.2.3. Genom kontinuerlig bestämning av hastighetsyfefunktionen av vertikalmedelhastighet och djup

Med hjälp av vertikalmedelhastigheterna, \bar{v}_{v_1} , och tillgängliga djupvärden, z_{m_1} , samt tillsvarende x -koordinater, x_1 , upprättas ett diagram över \bar{v}_v - x -relationen och ett diagram över z_m - x -relationen. Det \bar{v}_v -värde resp. det z_m -värde dessa diagram ger för varje betraktat x -värde vid förflyttning i x -led, multipliceras och produkten, ω (dimension $[L^2 T^{-1}]$), avsättes på ett nytt diagram över ω - x -relationen. När ytan under kurvan i det sistnämnda diagrammet planimetreras, erhålles ett värde med dimensionen $[L^3 T^{-1}]$, vilket är produkten av arean, A , och vår ekvation (14a) på sid. 12, dvs. flödet, q . Detta förfaringsätt, som bara är en exaktare variant av den under avd. 6.2.2. återgivna metoden, kallas Harlachers metod, efter sin upphovsman A.R Harlacher (1842-1890). Se Harlacher (1881) och Brauer (1907).

7. OM BEHOVET AV FÖRENKLÄDE MÄTNINGS- OCH UTVÄRDERINGSMETODER

Den "klassiska" metoden med lösning av andra integralen enligt en-dera av de metoder som anges i avdelningarna 6.2.2.2 och 6.2.2.3, ger visserligen mycket säkra värden på flödet, men är, som framgått av ovanstående genomgång, tämligen arbetskrävande, både vad gäller mätningarna i fält och ifråga om beräkningsarbete. Särskilt kan den tidsödande mät-ningsproceduren ute i vattendragen vålla allvarliga problem, vilka här skall antydast.

Vid insamling av de värdepar, q_{m_i} och h_{m_i} (enskalemätning), resp. grupper av värden, q_{m_k} , h_{pm_k} och ΔH_{m_k} (tvåskalemetoden), som erfordras för konstruktion av vattenföringskurvor (avbördningskurvor), är det ef-tersträvansvärt att h_{m_i} -resp. h_{pm_k} -värdena ligger någorlunda jämnt för-delade över hela nivåamplituden, dvs. någorlunda jämnt fördelade i in-tervaller mellan högsta och lägsta vattenstånd. Erfarenheter från den vid Lantbrukshögskolans avdelning för lantbrukets hydroteknik sedan 1967 pågående undersökningen rörande kulturåtgärders inflytande på av-rinningen från ett antal icke-urbana avrinningsområden, tyder enligt författarens mening på att det vid enskalemätning tycks vara önskvärt med minst fyra, vad författaren vill kalla effektiva, h_{m_i} -värden i var-dera 1:a (lägsta) och 4:e (högsta) kvartilen av nivåamplituden, samt minst tre effektiva h_{m_i} -värden i vardera 2:a och 3:e kvartilen. Enligt författarens definition är antalet effektiva h_{m_i} -värden inom en viss nivåamplitud eller del därav summan av solitära h_{m_i} -värden och ekviva-lent solitära h_{m_i} -värden inom det betraktade intervallet. Ett solitärt h_{m_i} -värde är i sin tur ett h_{m_i} -värde som ligger minst en tjugofemtedel av hela nivåamplituden från närmast belägna andra h_{m_i} -värde. En grupp av tätbelägna h_{m_i} -värden räknas som $n+1$ ekvivalent solitära h_{m_i} -värden, där n är det antal fullständiga tjugofemtedelar av hela nivåamplituden som gruppen gemensamt täcker.

För tvåskalemätning kan liknande regler uppställas. Vi skall inte gå närmare in på detta, utan konstaterar bara att minst dubbelt så många mätningar måste göras vid tvåskalemätning som vid enskalemätning.

För att återgå till enskalemätning så kan man lätt förstå att det är behovet av fyra effektiva h_{m_i} -värden i 4:e (övre) kvartilen som i första hand ger upphov till de ovan nämnda problemen med den "klassis-ka" metodens tidskrävande mättningsprogram. Det kan nämligen bli svårt att på ett rimligt antal år hinna insamla nödvändiga mätdata för denna kvartil, åtminstone i samband med undersökningar som i förhållande till befintliga resurser innefattar många avrinningsmätstationer med kort högflödesvaraktighet.

Inom undersökningen om kulturåtgärders inverkan på avrinningen framstod dessa svårigheter redan efter något år helt klart. Huvuddelen

av undersökningens avrinningsstationer visade sig ha sina övre-kvartilvärden koncentrerade till en mycket kort tidsrymd. Som det senare har framkommit, tycks vid de enskilda stationerna den övre kvartilens värden förekomma från 0 till 5 dygn per år. För vintern varit snöfattig är frekvensen cirka 0-2 dygn. Efter en snörik vinter kan representationen av den övre kvartilens värden vid den enskilda stationen stiga till 3-5 dygn. På grund av undersökningsområdets geografiskt samlade belägenhet (i norra Uppland) och, trots olikheter i kulturpåverkan, relativt likartad karaktär hos avrinningsområdena, är tidsförskjutningen mellan områdenas vattenståndsgång ganska måttlig. Till följd härav ligger oftast ett 15-tal områdets övrekvartilvärden samlade till en period av drygt en vecka.

Inför dessa problem och inför uppgiften att konstruera och planimetrera tusentals vertikalhastighetskurvor och hundratals transversalfördelningar, startades 1969 försök med avkortade metoder för mätning och beräkning av den momentana vattenföringen. En del av detta material återfinnes hos Molin & Montell (1971).

De första försöken med avkortade mätningar byggde på den mest kända enpunktsmetoden, 0,6-djupsmetoden, den mest kända tvåpunktsmetoden, 0,2-0,8-djupsmetoden och den mest kända trepunktsmetoden, 0,2-0,6-0,8-djupsmetoden. Tonvikten vid försöken låg på 0,2-0,8-djupsmetoden, även kallad "amerikanska tvåpunktsmetoden", en metod som författaren numera kallar "Cunninghams tvåpunktsmetod med likviktade mätthastigheter" (se del II i uppsatsserien) eller "0,2-0,8-djupsmetoden" eller "0,2-0,8-metoden".

0,2-0,8-djupsmetoden befanns i många fall ge fullt acceptabla resultat. Den visade sig emellertid långt ifrån generellt tillämpbar för de små vattendrag som tjänstgör som undersökningsobjekt i projektet "Kulturåtgärders inverkan på avrinningen". Det stod klart att den prövade metoden skulle behöva ersättas eller åtminstone kompletteras av förfaringssätt som inte inbegrep någon hastighetsbestämning så nära botten (med den bottenära pulseringens besvärande hastighetsdepressioner) som 0,2-0,8-djupsmetoden (liksom givetvis även 0,2-0,6-0,8-djupsmetoden) förutsätter. Detta villkor uppfylles visserligen av 0,6-djupsmetoden, men försök att använda den ger föga uppmuntrande resultat. Andra metoder måste därför komma ifråga.

Det stod från början klart att dessa, till de prövade tre metoderna alternativa procedurer, måste fotas, dels på teoretiska föreställningar om hastighetsfördelningen i mätsektionen, och då främst om hastighetens ändring med djupet, samt dels på empirisk prövning av de teoretiska modellerna.

Den planerade uppgiften visade sig leda vidare än tänkt var. Inventeringen och systematiseringen av teorier och metoder blev grundligare än beräknat, paradoxalt nog delvis beroende på de initiala svårigheterna att överhuvud taget få fram några uppgifter i ämnet utöver påfallande torftiga notiser i den mer frekventa handbokslitteraturen, notiser som särskilt i de amerikanska alstren kännetecknades av att samtliga torra strån idisslades årtionde efter årtionde. Först genom ett hårt krävande inträngande i en omfattande tidskriftslitteratur och genom kontakt med några inte helt färska tyska handböcker började mera essentiella fakta att uppenbaras. Med den växande kunskapen som grund kom också fler nya metoder att härledas, än som var avsett från början. Enda uppgiften har alltså blivit större än den ursprungliga avsikten med den i och för sig motiverar. Det är emellertid författarens förhoppning att inventeringarna, systematiseringarna och metoddeduktionerna skall komma till långt vidare nytta, när resultaten av dem nu framlägges i en uppsatsserie, av vilken föreliggande arbete utgör första delen.

8. LITTERATURFÖRTECKNING

(Bibliotekskod inom parentes)

- Aastad, J. & Sögnen, R. 1928. Ny metode for bestemmelse av vannføringen i naturlige og kunstige vannløp. Teknisk Ukeblad 46:29, s. 283-286. Oslo. (T)
- Aastad, J. & Sögnen, R. 1930. Eine neue Methode zur Bestimmung der Abflussmengen in natürlichen und künstlichen Wasserläufen. II. Weltkraftkonferenz, Berlin 1930. Gogarthbericht 18, s. 113-129. Berlin. (T)
- Aastad, J. & Sögnen, R. 1955. Discharge measurements by means of a salt solution, "The relative dilution method". Association Internationale d'Hydrologie Scientifique (AIHS). Assemblée générale de Rome, 1954, Tome 3 (= AIHS, Publication No. 38), s. 289-292. Louvain. (V, D:T)
- Andersson, S. 1952. Kompendium i agronomisk hydroteknik, I: Elementär hydromekanik. Lantbrukshögskolan. Institutionen för lantbrukets hydroteknik. Stenciltryck nr 19. Uppsala. (u)
- Baum, A. 1882. Strommessungen im Rhein unterhalb der Brücke bei Konstanz. Allgemeine Bauzeitung 47:4, s. 53-69, 47:5, s. 80-85. Wien. (T)
- Bjerketorp, A. 1973a. Envertikalometoder med flytar- eller flygelmätning för approximativ bestämning av flöde i små vattendrag. Preliminärt förslag. Lantbrukshögskolan. Institutionen för markvetenskap. Avdelningen för lantbrukets hydroteknik. Stenciltryck nr 58. Uppsala. (u)
- Bjerketorp, A. 1973b. Fyra metoder för approximativ bestämning av flöde i små vattendrag genom rätning av vattenhastigheten i en enda vertikal. Lantbrukshögskolan. Institutionen för markvetenskap. Avdelningen för lantbrukets hydroteknik. Stenciltryck nr 59. Uppsala. (u)
- Brauer, R. 1907. Die Grundzüge der praktischen Hydrographie. Hannover. (T)
- Böss, P. 1927. Berechnung der Wasserspiegellage. VDI-Forschungsheft 284. Berlin. (T)
- Croce, K. 1926. Ueber die Genauigkeit von Wassermessungen mit den hydrometrischen Flügel. Bayerischer Revisions-Verein, Zeitschrift 30:5, s. 53-57; 30:6, s. 71-75. München. (T)
- Dahl, H. O. 1928. Några ord om vattennätning medels flygel. Teknisk Tidskrift, Mekanik 58:2, s. 149. Stockholm. (T)

- Dementjev, V. V. 1963. Investigations of pulsation of velocities of flow of mountain streams and of its effect on the accuracy of discharge measurements. Soviet Hydrology: Selected Papers 1962:6, s. 588-623. Washington. (u)
- Grundsky, C. E. 1896. Methods for approximate gauging of rivers. Engineering Record 33:14, s. 239. New York. (D:T)
- Haeger, C. G. 1926. Om vattenmängdsmätningar med hydrometrisk flygel. Teknisk Tidskrift. Mekanik 56:8, s. 101-106; 56:9, s. 118-121. Stockholm. (T)
- Harlacher, A. R. 1881. Die Messungen in der Elbe und Donau und die hydrometrischen Apparate und Methoden' des Verfassers. Leipzig. (u)
- Henry, D. F. 1871/72. On the flow of water in canals and rivers. The Journal of the Franklin Institute 62:3, s. 167-173, pl. 1; 62:4, s. 257-262; 62:5, s. 322-328, pl. 6; 62:6, s. 383-389; 63:1, s. 24-32; 63:2, s. 107-113; 63:4, s. 257-265; 64:1, s. 10. Philadelphia. (T)
- Hydrographischer Dienst in Österreich. 1899. Die hydrometrischen Erhebungen an der Donau nächst Wien im Jahre 1897. Hydrographische Central-Bureau. Beiträge zur Hydrographie Österreichs, 3. Heft. Wien. (V, ÖNB)
- Lindquist, E. 1928. Om sektioner, bestämmande för avrinningen genom ett vattendrag. Teknisk Tidskrift. Väg- och Vattenbyggnadskonst 58:1, s. 8-9. Stockholm. (T)
- Mackenzie, A. 1884. Report on current-meter observations in the Mississippi River, near Burlington, Iowa, during the month of October 1879. Washington. Engineering Department, United States Army. (V)
- Melin, R. 1971. Om avbördningskurvor. Meddelanden från Vattenfallsstyrelsens BRH, nr 2. Stockholm. (x)
- Molin, G. & Montell, P. 1971. En jämförelse mellan utvärdering av flygel-mätningar enligt den klassiska vertikalkurvetoden och den amerikanska tvåpunktsmetoden. Uppsala, Lantbrukshögskolan, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för lantbrukets hydroteknik (Handschrift). (Afh)
- Murphy, E. Ch. 1904. Accuracy of stream measurements, 2nd edition. Amerikas Förenta Stater. Geological Survey. Water-Supply and Irrigation Papers, No. 95. Washington. (W)
- Dr. S. 1929. Hydrometrische Messungen am Syr Darja-Fluss unter der Eisdecke. Zentralblatt der Bauverwaltung 49:16, s. 262. Berlin. (T)

- Schoklitsch, A. 1922. Ueber die Bewegung des Wassers in offenen Gerinnen. Schweizerische Bauzeitung 80:5, s. 47-50. Zürich. (T)
- Seifert, R. 1906. Om noggrannheten af hastighetsmätningar i floder. Helsingfors. Tekniska Föreningens i Finland Förhandlingar 26:8, s. 155-159. Helsingfors. (G)
- Unwin, W.C. 1883. Current-meter observations in the Thames. Institution of Civil Engineers, Minutes of Proceedings 71(1882/83):Part 1, s. 338-349. London (1883).
- Vennard, J.K. & Weston, R.R. 1943. Submergence effect on sharpcrested weirs. Engineering News-Record 130:22, s. 814-816. New York. (T)
- Vennard, J.K. 1961. Elementary fluid mechanics, 4th edition. New York & London. (u)
- Villemonte, J.R. 1947. Submerged-weir discharge studies. Engineering News-Record 139:26, s. 866-869. New York. (T)
- Webber, N.B. 1971. Non-uniform flow in channels. Fluid mechanics for civil engineers by N.B. Webber. SI-edition, Chapter 8, s. 168-210. London. (N:T)
- Werner, P.W. 1941. Några synpunkter och iakttagelser rörande bestämmande sekticner i naturliga vattendrag. Teknisk Tidskrift. Väg- och Vattenbyggnadskonst 71:1, s. 11-13. Stockholm. (T)
- Woodburn, J.G. 1932. Tests of broad-crested weirs. American Society of Civil Engineers, Transactions 96:1797, s. 387-408. New York. (T)

9. BIBLIOTEKSKODFÖRTECKNING. *)

- Afh = Avd. för lantbrukets hydroteknik, Lantbrukshögskolan, Uppsala
- D:T = Danmarks Tekniske Bibliotek, Köpenhamn, Danmark
- G = Göteborgs Universitetsbibliotek, Göteborg
- N:T = Norges Tekniske Högskolas Bibliotek, Trondheim, Norge
- T = Kungl. Tekniska Högskolans Bibliotek, Stockholm
- u = Lantbrukshögskolans Ultunabibliotek, Uppsala
- V = Kungl. Vetenskapsakademiens Bibliotek, Stockholm
- W = Kungl. Vetenskapssocietetens Bibliotek, Uppsala
- x = Sveriges Hydrologiska och Meteorologiska Institutets (SMHI) Bibliotek, Stockholm
- ÖNB = Österreichische National Bibliothek, Wien, Österrike

*) Den förtecknade litteraturen finns med säkerhet på de bibliotek som enligt ovanstående kod finns angivna inom parentes efter varje titel i litteraturförteckningen, vilket givetvis inte utesluter att ett visst arbete även kan återfinnas på andra bibliotek.

APPENDIX 1METODER FÖR FLÖDESBESTÄMNING I ÖPPNA LEDNINGAR --- EN SCHEMATISK ÖVERSIKT

Av Anders Bjerketorp

1. METODER FÖR DIREKTUPPMÄTNING (VOLYMETRISKA OCH GRAVIMETRISKA METODER)1.1. Manuell mätning med behållare1.1.1. Mätning med enkel behållare1.1.2. Mätning med tvåfackslåda (försedd med ventiler)1.2. Automatisk mätning med behållare1.2.1. Mätning med automatiskt manipulerad tvåfackslåda1.2.2. Mätning med vattenvippa ("vippkärl")1.2.2.1. Enligt volymetrisk princip1.2.2.2. Enligt gravimetrisk princip2. METODER FÖR MÄTNING MED HJÄLP AV UTSTRÖMNINGSÖPPNINGAR ("UTSTRÖMNINGSMETODER")2.1. Mätning genom utströmning från hål (helt begränsad öppning)2.1.1. Mätning genom f r i utströmning från helt begränsad öppning2.1.1.1. Mätning med enstaka hål2.1.1.1.1. Ovariabla hål2.1.1.1.2. Variabla hål2.1.1.1.2.1. Irisbländade hål2.1.1.1.2.2. Ponceletsluta (Ponceletöppning)2.1.1.1.2.3. Gruvsluta (gruvspalt; guldgrävarsluta, guldgrävarspalt)2.1.1.2. Mätning med flera hål2.1.1.2.1. Placerade på lodrät vägg2.1.1.2.1.1. Med hålen i en rad (typ Bornemann)2.1.1.2.1.2. Med hålen i flera rader (typ Hervé Mangon)2.1.1.2.2. Placerade i botten av en behållare (= Danaidsåll; Danaidsåll med endast enstaka hål finnes även)2.1.2. Mätning genom t ä c k t (helt eller delvis) utströmning från hål

- 2.2. Mätning genom utströmning från ofullständigt begränsad öppning
- 2.2.1. Mätning genom f r i eller funktionellt fri utströmning från ofullständigt begränsad öppning
- 2.2.1.1. Mätning med bredkrönade, funktionellt fria överfallsdammar
- 2.2.1.2. Mätning med rundkrönade, funktionellt fria överfallsdammar (strålen frifotad)
- 2.2.1.3. Mätning med skarpkrönade ("skarpkantade"), fria överfallsdammar; t.ex.
- 2.2.1.3.1. Rektangulära
- 2.2.1.3.1.1. Utan sidokontraktion (Rehbocköverfall)
- 2.2.1.3.1.2. Med sidokontraktion (kallas ibland Poncelet-överfall; Jfr 2.1.1.1.2)
- 2.2.1.3.2. Trapetsformade
(Specialfall: Cipollettiöverfall (1886))
- 2.2.1.3.3. Triangulära (Thomsonöverfall)
- 2.2.1.3.4. Cirkulära (Stausöverfall)
- 2.2.1.3.5. Paraboliska
- 2.2.1.3.5.1. Rättvänt paraboliska
- 2.2.1.3.5.2. Omvänt paraboliska (dubbelparaboliska, spetsparaboliska, uddparaboliska)
- 2.2.1.3.6. Exponentiella
- 2.2.1.3.7. Linearitetsöverfall (hyperboliska överfall, Stout-överfall, Sutroöverfall)
- 2.2.1.3.8. Poebingöverfall (1922; flera olika typer)
- 2.2.2. Mätning genom d e l v i s t ä c k t utströmning ("motus mixtus") från ofullständigt begränsad öppning
(Övergångsform mellan 2.2.1. och 3.1.1. dvs. mellan överfalls- och överströmningsdammar)

3. AREA-FALL METODER

- 3.1. Area-fallmätning m e d sektionsförträngning
- 3.1.1. Mätning med överfallsdammar med ö v e r v ä g a n d e t ä c k t utströmning (överströmningsdammar)
(Jfr 2.2.1. och 2.2.2.)
- 3.1.2. Mätning med förträngningsrännor (hydrometriska rännor, Venturirännor)
- 3.1.2.1. Rännor med subkritisk strömning ("Egentliga Venturirännor")
- 3.1.2.2. Rännor med superkritisk strömning
(Specialfall: Parshallrännor (1920-talet))
- 3.3. Mätning med hjälp av brotrummar o. dyl.

3.2. Area-fallmätning u t a n sektionsförträngning

3.2.1. Med användande av de Chézys formel (1775)

$$(\bar{v} = C \cdot \sqrt{R \cdot I})$$

3.2.1.1. Med C enligt Ganguillet-Kutter (1869)

(GK-formeln)

3.2.1.2. Med C enligt Gauckler-Hagen-Strickler (1868, 1881, 1923)

(GHS-formeln)

3.2.1.3. Med C enligt Manning-Flamant-Buckley (1890, 1891, 1911)

(MFB-formeln)

3.2.1.4. Med C enligt Pavlowsky (1925)

3.2.1.5. Med C som en avledning av formler av typ Prandtl-Colebrook

3.2.1.6. Med något annat uttryck för C

T.ex. enl. Eytelwein (1801), Darcy & Bazin (1865), Harder (1878), Bazin (1897), Hessle (1898/99), Lundgren (1904), Beyerhaus (1921), Forchheimer (1923), Winkel (1923) eller Hallin (1924).

3.2.2. Med användande av någon annan area-fallformel

4. AREA-HASTIGHET METODER

4.1 Flytarmätningar

4.1.1. Mätning med ytflytare

4.1.1.1. Enligt medelythastighetsmetoden

4.1.1.2. Enligt maximalythastighetsmetoden

4.1.2. Mätning med de Vinci-flytare (djupflytare)

4.1.3. Mätning med dubbelflytare (tvillingflytare)

4.1.4. Mätning med flytare med stor utsträckning i vartikalled

4.1.4.1. Mätning med oböjlig stav (Cabeostav, stavflytare)

4.1.4.2. Mätning med böjlig flytare (vertikalkedjeflytare, kedjeflytare)

4.1.5. Mätning med uppstigande flytare (s.k. integrerande flytare)

4.2. Statisk strömhastighetsmätning

4.2.1. Mätning med hydrometrisk pendel

4.2.1.1. Med Castellipendel (1628)

(Användes redan omkring 1740 i Sverige av P. Elvius)

4.2.1.2. Med Wiebekingpendel (början av 1800-talet)

4.2.1.3. Med stavpendel (1900-talet)

4.2.2. Mätning med dynamometrar och närbesläktade anordningar, t.ex.

Leupoldväg (1724)
 Michelottiväg (1771)
 Lorgnaspel (1777)
 Ximemes' vattenfana, "ventola idraulica" (1780)
 Brüningstachometer (1801)
 Czerwenkaväg (1876)
 de Perrodils hydrodynamometer (1877)
 Meineckeväg (1882)
 Hele Shaw's strömningsmätare (1883)
 Gillet's strömväg (1884)
 Franks självregistrerande strömningsmätare (1885)
 von Schoens fluviograf (1890)
 Theunes hydrodynamometer (1914)
 Renqvists strömindikator (1936)

4.2.3. Mätning med tryckrör

4.2.3.1. För mätning av hastigheten i en punkt

Exempel: Pitotrör (1732)
 Pitot-Ducheminrör (1842)
 Darcyör (1857, 1858)
 Darcy-Ritterör (1886)
 Prandtlrör (1900-talet)
 Brabbéerör (1900-talet)

4.2.3.2. För integrerad mätning av vertikalens medelhastighet

Exempel: Sante Pinis rör (1886)
 Franks rör (1888)
 Hannings rör (1922)

} Intressanta, men
 vetenskapligt dubi-
 ösa mätanordningar.

4.3. Flygelmätning

4.3.1. "Fullständig" flygelmätning

4.3.2. Avkortade flygelmätningssmetoder

4.4. Hastighetsmätning med spårningsförfaranden

4.4.1. Mätning med salthastighetsförfarandet enligt Allan och Ruppel (1922, 1931)

4.4.2. Hastighetsmätning med radioaktiva isotoper (jfr 5.4.)

4.5. Mätning med Thrupps vågspridningsmetod

4.6. Mätning med Pikus' utströmningstakimeter (1954)

4.7. Hastighetsmätning med moderna fysikaliska metoder

4.7.1. Mätning enligt varmtrådsmetoden; varmtrådshydrometer (början av 1930-talet)

4.7.2. Mätning med elektrolytmetoden (1940-talet; ett första försök redan 1917)

4.7.3. Mätning enligt någon annan fysikalisk hastighetsbestämningsmetod

(Flera olika prövade, särskilt under det senaste kvartseket)

5. DILUTIONSMETODER

5.1. Mätning med den termometriska metoden (1884)

5.2. Mätning med färgdilutionsmetoder (omkring år 1900)

5.3. Mätning med kemiska dilutionsmetoder

(Specialfall: Saltförtunningsförfarandet)

5.3.1. Mätning med titreringsmetoder (1863)

5.3.2. Mätning med kemo-elektriska metoder (Kappa-metoder)(1915)

(En nordisk "Kappa-metod" är Aastad & Sögnens "relativa saltförtunningsförfarande"; 1928, 1930, 1955)

5.3.3. Mätning med kolorimetriska metoder (1947)

5.4. Dilutionsmätning med radioaktiva isotoper (jfr 4.4.2.)

Förteckning över utkomna häften i serien:

Lantbrukshögskolan. Inst. för lantbrukets hydroteknik. STENCILTRYCK.

- Nr 1 Håkansson, A. 1952. Redogörelse för resultaten av 1951 års täckdikningsförsök. 71 sid.
- Nr 2 Håkansson, A. 1953. Redogörelse för resultaten av 1952 års täckdikningsförsök. 64 sid.
- Nr 3 Håkansson, A. 1954. Redogörelse för resultaten av 1953 års täckdikningsförsök. 84 sid.
- Nr 4 Berglund, G. & Eriksson, J. 1955. Redogörelse för resultaten av 1954 års täckdikningsförsök. 97 sid.
- Nr 5 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1956. Redogörelse för resultaten av 1955 års täckdikningsförsök. 59 sid.
- Nr 6 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1957. Redogörelse för resultaten av 1956 års täckdikningsförsök. 66 sid.
- Nr 7 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1958. Redogörelse för resultaten av 1957 års täckdikningsförsök. 56 sid.
- Nr 8 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1959. Redogörelse för resultaten av 1958 års täckdikningsförsök. 66 sid.
- Nr 9 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1960. Redogörelse för resultaten av 1959 års täckdikningsförsök. 70 sid.
- Nr 10 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1961. Redogörelse för resultaten av 1960 års täckdikningsförsök. 53 sid.
- Nr 11 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1962. Redogörelse för resultaten av 1961 års täckdikningsförsök. 59 sid.
- Nr 12 Håkansson, A., Berglund, G. & Eriksson, J. 1963. Redogörelse för resultaten av 1962 års täckdikningsförsök. 57 sid.
- Nr 13 Håkansson, A., Berglund, G., Eriksson, J. & Johansson, W. 1964. Resultat av 1963 års täckdikningsförsök och bevattningsförsök. 63 sid.
- Nr 14 Håkansson, A., Berglund, G., Eriksson, J. & Johansson, W. 1965. Resultat av 1964 års täckdikningsförsök och bevattningsförsök. 75 sid.
- Nr 15 Håkansson, A., Berglund, G., Eriksson, J. & Johansson, W. 1966. Resultat av 1965 års täckdikningsförsök och bevattningsförsök. 82 sid.
- Nr 16 Hallgren, G. 1940. Dalgångarna Fyrisån-Östersjön; Några hydrografiska och hydrotekniska studier. 30 sid.
- Nr 17 Hallgren, G. 1942. Om sambandet mellan grundvattenståndet och vattennivån i en recipient. 27 sid.
- Nr 18 Hallgren, G. 1943. Om sambandet mellan nederbörd och skördeavkastning. 161 sid.
- Nr 19 Andersson, S. 1952. Kompendium i agronomisk hydroteknik. I: Elementär hydromekanik. 162 sid.
- Nr 20 Andersson, S. 1952. Kompendium i agronomisk hydroteknik. Tabeller med kommentarer och exempel till Kompendium i elementär hydromekanik. 22 sid.
- Nr 21 Andersson, S. 1960. Kapillaritet. 115 sid.
- Nr 22 Andersson, S. 1961. Markens temperatur och värmehushållning. 25 sid.

Förteckning över utkomna häften i serien:

Lantbrukshögskolan. Inst. för lantbrukets hydroteknik. STENCILTRYCK.

- Nr 23 Johansson, W. 1962. Bevattningsförsök i potatis, korn och foderbetor vid Tönnersa försöksgård 1959-1961. 13 sid.
- Nr 24 Johansson, W. 1962. Metodik och erfarenheter vid användning av hålkort för undersökning av torrlägningsförhållanden och ytsänkning vid Nedre Olandsån. 10 sid.
- Nr 25 Johansson, W. 1962. Utredning för förslag till bevattningsanläggning vid Sör Salbo, Salbohed, Västmanlands län. 9 sid.
- Nr 26 Andersson, S. 1963. Skrivningar i agronomisk hydroteknik. 50 sid.
- Nr 27 Berglund, G. & Sjöberg, S. 1964. Undersökning av plaströrsdikningar. 15 sid.
- Nr 28 Håkansson, A. 1964. Anvisningar rörande täckdikning med plaströr av styv PVC. 5 sid.
- Nr 29 Berglund, G. 1966. Vattendragsförbundet: Förslag till överenskommelse och stadgar samt något om kostnadsfördelning. 19 sid.
- Nr 30 Fahlstedt, T. 1966. Kvismardalsprojektet -- en orientering samt Redogörelse för undersökning i syfte att klargöra avkastningens beroende av högvattenstånden i Kvismare kanal. 29 sid.
- Nr 31 Hallgren, G. 1966. Vattenrätt. 77 sid.
- Nr 32 Brink, N. 1966. Hydrologi. 17 sid.
- Nr 33 Jonsson, Y. 1967. Ytplanering med planersladd. 36 sid.
- Nr 34 Håkansson, A., Berglund, G., Eriksson, J. & Johansson, W. 1967. Resultat av 1966 års täckdikningsförsök och bevattningsförsök. 85 sid.
- Nr 35 Nitsch, U. 1967. Om Östersjövattnets användbarhet för bevattningsändamål. 35 sid.
- Nr 36 Håkansson, A., Johansson, W., Berglund, G. & Eriksson, J. 1968. Resultat av 1967 års täckdikningsförsök och bevattningsförsök. 96 sid.
- Nr 37 Brink, N. 1968. Ansvarsfördelning vid underhåll av vattendrag inom Sagåns vattensystem. 10 sid.
- Nr 38 Håkansson, A., Johansson, W. & Fahlstedt, T. 1968. Nederbördens storlek och fördelning. En detaljstudie av nederbördsdata från 16 nederbördsstationer. 175 sid.
- Nr 39 Berglund, G. 1968. Om genomsläppligheten i återfyllning och rörfogar. 14 sid.
- Nr 40 Håkansson, A., Berglund, G., Eriksson, J. & Johansson, W. 1969. Resultat av 1968 års täckdikningsförsök och bevattningsförsök. 83 sid.
- Nr 41 Brink, N. 1969. Kväve och fosfor i Sävjaån. 10 sid.
- Nr 42 Brink, N. 1969. Sagåns vatten. 33 sid.
- Nr 43 Johansson, W. 1970. Anvisningar för projektering och dimensionering av bevattningsanläggningar. 34 sid.

Förteckning över utkomna häften i serien:

Lantbrukshögskolan. Inst. för lantbrukets hydroteknik. STENCILTRYCK.

- Nr 44 Hallgren, G. 1970. Dränering av tomtmark, vägar, trädgårdar, kyrkogårdar, idrottsplatser, flygfält m. m. 140 sid.
- Nr 45 Håkansson, A., Berglund, G., Eriksson, J. & Johansson, W. 1970. Resultat av 1969 års täckdikningsförsök och bevattningsförsök. 73 sid.
- Nr 46 Berglund, G. 1971. Kalkens inverkan på jordens struktur. 10 sid.
- Nr 47 Håkansson, A., Johansson, W., Berglund, G. & Eriksson, J. 1971. Resultat av 1970 års täckdiknings-, bevattnings- och kalkförsök. 78 sid.
- Nr 48 Sandsborg, J. 1971. Exempelsamling i hydromekanik. 148 sid.
- Nr 49 Eriksson, J. 1971. Bevattning. Tropiskt jordbruk. 21 sid.
- Nr 50 Eriksson, J. 1971. Erosion. Tropiskt jordbruk. 27 sid.
- Nr 51 Håkansson, A., Johansson, W., Berglund, G. & Eriksson, J. 1972. Resultat av 1971 års täckdiknings-, bevattnings- och kalkningsförsök. 78 sid.
- Nr 52 Andersson, S. 1972. Agrohydrologi. Skrivningar för 5 poäng med svar, lösningar och kommentarer. 100 sid.
- Nr 53 Berglund, G. 1973. Försök med påskyndad snösmältning. 11 sid.
- Nr 54 Kristiansson, L. & Sundéll, G. 1973. Studier av arbetstiden för olika bevattningssystem. 81 sid.
- Nr 55 Andersson, P.-O. & Rydén, M. 1973. Studier av arbetstiden vid ändbogsering av spridarledning. 16 sid.
- Nr 56 Berglund, G. & Hofvendahl, G. 1973. Inventering av dämningmöjligheterna inom Sävjaåns avrinningsområde. 14 sid.
- Nr 57 Berglund, G. 1973. Slamavsättning i släta och i korrugerade dräneringsrör av plast. 25 sid.

Förteckning över utkomna häften i serien:

Lantbrukshögskolan, Uppsala. Inst. för markvetenskap.

Avd. för lantbrukets hydroteknik. STENCILTRYCK.

- Nr 58 Bjerketorp, A. 1973. Envertikalsmetoder med flytar- eller flygel-mätning för approximativ bestämning av flöde i små vattendrag. Preliminärt förslag. 86 sid.
- Nr 59 Bjerketorp, A. 1973. Fyra metoder för approximativ bestämning av flöde i små vattendrag genom mätning av vattenhastigheten i en enda vertikal. 2:a översedda uppl. 20 sid.
- Nr 60 Bjerketorp, A. 1973. Några metoder för avkortad mätning och beräkning av flöde i små vattendrag. Del I: Avkortade metoder vid flygel-mätning: Några allmänna förutsättningar för mätningsproceduren och dess utvärdering. 32 sid.

Denna skriftserie, benämnd Stenciltryck, utges av Avdelningen för lantbrukets hydroteknik vid Institutionen för markvetenskap, Lantbrukshögskolan. Serien utkommer i fri följd och innehåller undersökningsresultat och annat material, som avdelningen funnit angeläget att redovisa, men som av olika anledningar ej befunnits möjligt att framlägga i tryck, exempelvis i den från institutionen utgivna tidskriften Grundförbättring. Sådana anledningar kan vara att ett arbete är för omfångsrikt att trycka, är av mera preliminär natur eller vänder sig till en för liten grupp av läsare.

Serien finns tillgänglig vid avdelningen, och enskilda nummer kan i mån av tillgång erhållas därifrån.

Adress: Lantbrukshögskolan, Inst. för markvetenskap, Avd. för lantbrukets hydroteknik, 750 07 Uppsala 7.

Address: Agricultural College of Sweden, Dept. of Soil Science, Div. of Agr. Hydrotechnics, S-750 07 Uppsala 7, Sweden.