



LANTBRUKSHÖGSKOLAN
UPPSALA

Fyra metoder för

Approximativ bestämning av flöde i små vattendrag

genom mätning av vattenhastigheten i en enda vertikal

Anders Bjerketorp

INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP

AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK

STENCILTRYCK NR 59

UPPSALA 1973

Fyra metoder för

APPROXIMATIV BESTÄMNING AV FLÖDE

I SMÅ VATTENDRAG

genom mätning av vattenhastigheten i en enda vertikal

2:a, översedda upplagan

av

Anders Bjerketorp

LANTBRUKSHÖGSKOLAN

Institutionen för markvetenskap
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

STENCILTRYCK NR 59

UPPSALA 1973

I N N E H Å L L S F Ö R T E C K N I N G

	Sid.
0. <u>INLEDNING</u>	1.
1. <u>YTFLYTARMETOD (NR 1)</u>	2.
12. <u>Uppskattad ungefärlig noggrannhet</u>	2.
13. <u>Mätutrustning</u>	2.
131. <u>Flytaren</u>	2.
1311. <u>Utförande</u>	2.
1312. <u>Dimensionsvillkor</u>	2.
132. <u>Övrig mätutrustning</u>	2.
1321. <u>Alltid erforderlig</u>	2.
1322. <u>Ofta behövlig</u>	3.
14. <u>Mätplatsvillkor</u>	3.
141. <u>Regelbundenhetsvillkor</u>	3.
142. <u>Vattenhastighetsvillkor</u>	3.
15. <u>Klimatiska mätvillkor</u>	3.
16. <u>Flytarmätningens förfarande</u>	3.
161. <u>Allmänna synpunkter</u>	3.
162. <u>Olika slag av sträckor vid flytarmätning</u>	4.
1621. <u>Mätsträckan (Flytarmätsträckan)</u>	4.
1622. <u>Säkerhetssträckor</u>	4.
1623. <u>Regelbundenhetssträcka</u>	4.
1624. <u>Accellerationssträcka</u>	5.
1625. <u>Flytsträcka</u>	5.
163. <u>Bestämning av förflyttningstidsmedeltalet, \bar{t}</u>	7.
1631. <u>Vid o j ä m n mätserie</u>	7.
1632. <u>Vid j ä m n mätserie</u>	7.
164. <u>Bestämning av vattenspegelbredd och medeldjup</u>	7.
165. <u>Råhetsklassificering</u>	8.
1651. <u>Enligt en totalbedömningsmetod</u>	8.
1652. <u>Enligt en partialbedömningsmetod</u>	8.
17. <u>Beräkningsförfarande vid ytflytarmätning</u>	10.

	Sid.
2. <u>MÄTNING MED HYDROMETRISK FLYGEL (METODERNA 3, 4 OCH 6).</u>	11.
22. <u>Uppskattad ungefärlig noggrannhet.</u>	11.
23. <u>Mätutrustning</u>	11.
231. <u>Den hydrometriska flygeln</u>	11.
2311. <u>Utförande</u>	11.
2312. <u>Dimensionsvillkor</u>	12.
232. <u>Övrig mätutrustning</u>	12.
24. <u>Mätplatsvillkor</u>	12.
241. <u>Regelbundenhetsvillkor</u>	12.
242. <u>Vattenhastighetsvillkor</u>	13.
25. <u>Klimatiska mätvillkor</u>	13.
26. <u>Flygelmätningförfarande</u>	13.
261. <u>Allmänna synpunkter</u>	13.
2611. <u>Mätpunktslokalisering</u>	13.
2612. <u>Mätpunktsfixering</u>	13.
2613. <u>Vinghjulsaxelns orientering</u>	13.
262. <u>Olika slag av sträckor vid envertikalsmätning med flygel</u>	14.
2621. <u>Säkerhetssträckor</u>	14.
2622. <u>Regelbundenhetssträcka</u>	15.
263. <u>Mättid och minimummättid</u>	15.
264. <u>Bestämning av vattenspegelbredd och medeldjup</u>	16.
265. <u>Råhetsklassificering</u>	16.
27. <u>Beräkningsförfarande vid mätning enligt metoderna 3, 4 och 6</u>	16.
271. <u>Medelhastigheten i en mätpunkt och beräkningsmätvärde</u>	16.
2711. <u>Medelhastigheten i en mätpunkt</u>	16.
2712. <u>Beräkningsmätvärde för hastigheten</u>	17.
277. <u>Beräkning av det skattade flödet</u>	18.

FYRA METODER FÖR APPROXIMATIV BESTÄMNING AV FLÖDE I SMÅ VATTENDRAG
GENOM MÄTNING AV VATTENHASTIGHETEN I EN ENDA VERTIKAL

Av Anders Bjerketorp

0. INLEDNING.

I en tämligen omfattande (91 s.) skrift betitlad "Preliminärt förslag till envertikalsmetoder med flytar- eller flygelmätning för approximativ bestämning av flöde i små vattendrag" (Lantbrukshögskolan. Inst. för markvetenskap, Avd. för lantbrukets hydroteknik. Stenciltryck nr 58. Uppsala 1973.) har författaren givit förslag till åtta olika flödesbestämningsmetoder med mätning i en eller två punkter i en enda vertikal.

Föreliggande stencil utgör en summarisk redogörelse för fyra av dessa åtta metoder med förbigående av originalskriftens teoretiska avsnitt. Stencilen tar dessutom endast upp mätning enligt en (den lägre) av de båda "precisionsnivåer" som ursprungsskriften anger som alternativa. Den här behandlade precisionsnivån kallas precisionsnivå 2.

Denna starkt förkortade framställning av innehållet i den utförligare skriften använder samma numrering av avdelningar, formler, tabeller ¹⁾ och metoder som denna, detta för att underlätta en eventuell parallellläsning.

De fyra envertikalsmetoder som här skall genomgå är:

1. Mätning med ytflytare.
3. Mätning med flygel invid ytan.
4. Mätning med flygel på djupläget 0,5 av totaldjupet.
6. Mätning med flygel på djuplägena 0,2 och 0,5 av totaldjupet.

I samtliga fall sker mätningen i den vertikal där sektionens största ythastighet ligger (eller bedömes ligga).

Begränsningar gemensamma för samtliga metoders användning är:

- att råbetsklassen måste ha lägre ordningstal än VII (jfr. sid. 8)
- att vattenspegelns medelbredd, \bar{b} , vid flytarmätning respektive vattenspegelbredden, b , vid flygelmätning inte får överstiga 2,5 m
- att medeldjupet, \bar{z}_m , längs flytarens förflyttningsbana vid flytarmätning, respektive totaldjupet, z_m , i mätvertikalen vid flygelmätning, inte får överstiga 2,5 m.

1) tabellerna 6a och 8c är förenklade efter originaluppsatsens tabell 6 respektive tabell 8b.

att kvoten mellan vattenspegelns medelbredd, \bar{b} , och medeldjupet, \bar{z}_m , längs flytarens förflyttningsbana, respektive kvoten mellan vattenspegelbredden, b , och totaldjupet, z_m , i mätvertikalen, inte bör överstiga talet 25.

1. YTFLYTARMETOD (METOD 1).

12. Uppskattad ungefärlig noggrannhet.

Det verkliga flödet, q , antages ligga i följande intervall i 90 % av alla fall:

$$(100 - p) \cdot q_m \leq 100 \cdot q \leq (100 + p) \cdot q_m$$

där q = det verkliga flödet (m^3/s)

q_m = det genom mätning och beräkning funna flödet (m^3/s)

p = ett "osäkerhetstal", som vid metodens tillämpning av en ovan person vid precisionsnivå 2 har värdet 25 vid goda mätförhållanden, 30 vid "normala" mätbetingelser och 35 vid dåliga mätförutsättningar.

13. Mätutrustning.

131. Flytaren.

1311. Utförande.

Ytflytaren skall antingen vara en rät cylinder eller ett rätt åttasidigt prisma.

Minst 90 % av flytaren skall ligga nedsänkt i vattnet.

Flytaren skall i stillastående vatten ligga med basytan vågrätt.

1312. Dimensionsvillkor.

Flytaren bör inte vara bredare än 10 % av vattenytans medelbredd vid det mätställe där den skall användas.

Flytaren får inte gå djupare än 10 % av totaldjupet. (Beträffande större djupgående — se originaluppsatsen.)

Flytarens djupgående skall helst inte understiga 5 % av totaldjupet i mätvertikalen.

132. Övrig mätutrustning.

1321. Alltid erforderlig.

Stoppur för tidtagning och mätstång för djuppejling m. m. Vid pejling bör mätstången förses med en bottensko (bottenplatta).

1322. Ofta behövlig.

Manipuleringshåv för iläggning och upptagning av flytaren. Håven kan tillverkas av ett isärtågbart metspö och en stor gåssil eller ett stort durkslag.

14. Mätplatsvillkor.141. Regelbundenhetsvillkor.

Mätplatsen skall förläggas till ett parti av det vattendrag vars vattenföring skall mätas, där detta på en tillräcklig lång sträcka, regelbundenhetssträcka, l_{r1} , (Jfr. avd. 1623), uppfyller följande villkor:

- a) är approximativt rakt
- b) har en längs regelbundenhetssträckan i stort sett oföränderlig sektion vid varje vattenstånd inom den nivåamplitud mätningar avses skola komma att utföras
- c) har jämnt fall
- d) är tillnärmelsevis fritt från vegetation under den säsong mätningar skall göras eller har vegetation som effektivt kan avlägsnas åtminstone vid mättillfällena
- e) är approximativt fritt från dämningssverkan. Förekommer en svag dämning kan dess verkan ofta minskas tillräckligt genom förlängning av den nedre säkerhetssträckan, l_{sn1} (Jfr. avd. 162).

142. Vattenhastighetsvillkor.

Mätplatsen skall om möjligt förläggas till ett vattendragsavsnitt, där största ythastigheten kan förväntas att inte understiga $0,05\text{m/s}$ någon gång under den planerade mätsäsongen. (Jfr. avd. 242.)

15. Klimatiska mätvillkor.

Mätning med ytflytare bör endast utföras vid lugnt väder, såvida inte mätplatsen ligger mycket vindskyddad. Ju lägre vattnets strömningshastighet är, desto känsligare för vindpåverkan är mätningen.

16. Flytarmättningsförfarande.161. Allmänna synpunkter.

Den uppmätta hastigheten, v_m , skall vara ett uttryck för vattenpartiklarnas genomsnittliga translationshastighet (hastighet i huvudströmmens riktning) invid ytan över translationssträckan, l_m , längs den strömbana där ythastigheten i medeltal är störst. Flytaren mäs-

te därför bringas att förflytta sig i en bana som approximativt sammanfaller med strömbanan för maximiytthastigheten. Detta åstadkommes genom en lämplig anpassning av iläggningenspunktens (lanceeringspunktens), P_1 , läge i sidled (transversalled).

162. Olika slag av sträckor vid flytarmätning; definitioner och längdkrav. (Jfr. fig. 1 och tab. 2)

v_{mp} i nedanstående sträckvillkor står för ett provisoriskt och approximativt värde på den hastighet, v_m , som mätningen avser att ge.

Observera att de nedan angivna sträcklängderna är minimilängder. Ofta är det lämpligt att åtminstone mätsträckan, l_m , har en konstant längd, som endast vid mätsäsongens högsta (beräknade) vattenhastighet sammanfaller med minimilängden.

1621. Mätsträckan (Flytarmätsträckan).

Mätsträckan (=translationssträckan), l_m , begränsas av mätstartpunkten, P_2 , och mätslutpunkten, P_3 .

Mätsträckan skall ha en approximativt oföränderlig sektionsgeometri i hela sin längd, och detta skall gälla för ett godtyckligt vattenstånd inom den nivåamplitud mätning avses skola företagas.

Flytarmätsträckan bör förelagsvis vara minst $6\sqrt{v_{mp}}$ m lång.

1622. Säkerhetssträckor.

Omedelbart uppströms mätstartpunkten, P_2 , och omedelbart nedströms mätslutpunkten, P_3 , måste finnas vattendragssträckor, här kallade "säkerhetssträckor", $l_{sö1}$ resp. l_{sn1} , inom vilka sektionsutformningen dels skall vara approximativt oföränderlig för varje vattenstånd inom mätamplituden, och dels överensstämma approximativt med sektionsgeometrin inom mätsträckan, l_m .

De båda säkerhetssträckorna torde behöva vara minst $12\sqrt{v_{mp}}$ m vardera, och vid tendens till dämning nedströms må längden av den nedre, l_{sn1} , fördubblas eller trefaldigas (Jfr. avd. 141e).

1623. Regelbundenhetssträcka.

De båda säkerhetssträckorna, $l_{sö1}$ och l_{sn1} , bildar tillsammans med mätsträckan, l_m , vad som här kallas "regelbundenhetssträcka", l_{r1} (Jfr. avd. 141 och avd 2622).

Längden av l_{r1} är givetvis lika med summan av längderna av sträckorna $l_{sö1}$, l_m och l_{sn1} (dvs. minst $30\sqrt{v_{mp}}$ m).

1624. Accelerationssträcka.

Flytaren måste få anpassa sin hastighet till vattnet längs en accelerationssträcka, l_a , som sträcker sig från iläggingspunkten (lanceringspunkten), P_1 , till mätstartpunkten, P_2 .

Accelerationssträckan föreslås vara minst $3(v_{mp} + \sqrt{v_{mp}})$ m lång.

1625. Flytsträcka.

Flytsträckan, l_f , slutligen, är den sträcka flytaren rör sig från iläggingspunkten (lanceringspunkten), P_1 , till upptagningspunkten (bärningspunkten), P_4 .

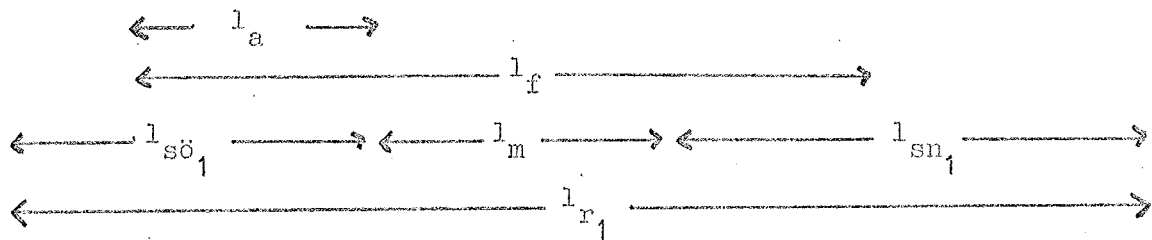
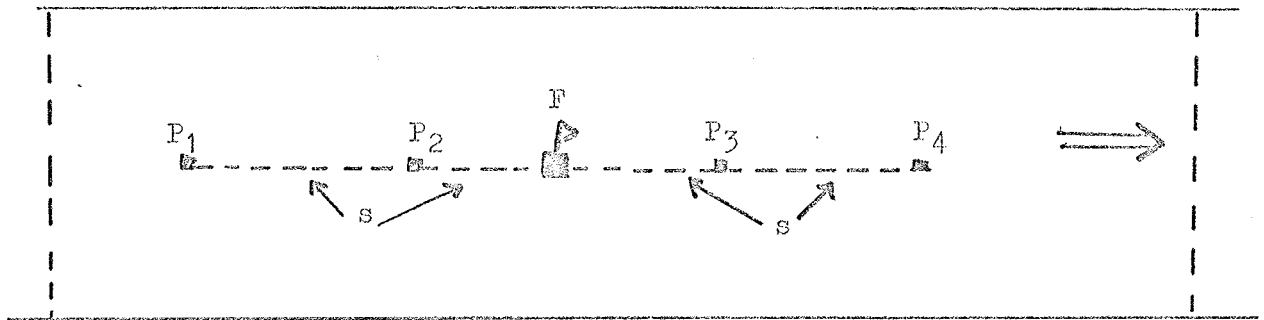
Tabell 2.

Sambandet mellan v_{mp} (i m/s) och kortaste tillåtna längden av mätsträckan, l_m , accelerationssträckan, l_a , samt säkerhetssträckan, $l_{sö_1}$ eller l_{sn_1} , vid flytarmätning enligt maximalythastighetsmetoden.

v_{mp} (m/s)	Minsta tillåtna längd (m) av sträcka		
	l_m	l_a	$l_{sö_1}$ el. l_{sn_1}
0,09	1,8	1,2	3,6
0,16	2,4	1,7	4,8
0,25	3,0	2,3	6,0
0,36	3,6	2,9	7,2
0,49	4,2	3,6	8,4
0,64	4,8	4,3	9,6
0,81	5,4	5,1	10,8
1,00	6,0	6,0	12,0
1,21	6,6	6,9	13,2
1,44	7,2	7,9	14,4

Figur 1.

Sträckarrangemang vid flytarmätning enligt maximalhastighetsmetoden.



$l_{sö_1}$ = övre säkerhetssträcka vid flytarmätning (minst $12 \sqrt{v_{m_p}}$ m)

l_m = flytarmätsträcka (minst $6 \sqrt{v_{m_p}}$ m)

l_{sn_1} = nedre säkerhetssträcka vid flytarmätning (minst $12 \sqrt{v_{m_p}}$ m; vid dämningstendens det dubbla eller trefaldiga)

l_a = accelerationssträcka (minst $3(v_{m_p} + \sqrt{v_{m_p}})$ m)

l_f = flytsträcka

l_{r_1} = regelbundenhetssträcka vid flytarmätning (Jfr. avd. 141 och avd. 2622)

P_1 = iläggingspunkt (lanceringspunkt)

P_2 = mätstartpunkt

P_3 = mätslutpunkt

P_4 = upptagningspunkt (bärgningspunkt)

F = flytare

s = förflyttningssbana

163. Bestämning av förflyttningstidsmedeltalet, \bar{t} .

Förflyttningstidsmedeltalet, \bar{t} , dvs. den tid som skall anses i medeltal åtgå för flytarens förflyttning mellan mätstartpunkten, P_2 , och mätslutpunkten, P_3 , bestämmas genom upprepade mätningar enligt endera av följande två alternativ:

1631. Vid o j ä m n mätserie.

Flytarmätningarna pågår till dess att den längsta av de tio kortaste mättiderna inte överstiger den allra kortaste av dessa tio med mer än 20 %.

Från serien av de tio kortaste mättiderna uteslutes sedan de två kortaste och de tre längsta, varefter medeltalet bildas ur de återstående fem värdena (ordningsnummer 3-7). Detta medeltal betraktas som förflyttningstidsmedeltal, \bar{t} , vid o j ä m n mätserie.

1632. Vid j ä m n mätserie.

Om den längsta av de fem kortaste mättiderna efter fem, sex eller sju observationer inte överstiger den allra kortaste mättiden med mer än 10 %, så tages medeltalet av dessa fem kortaste tider (ordningsnummer 1-5) och betraktas som förflyttningstidsmedeltalet, \bar{t} , vid j ä m n mätserie.

164. Bestämning av vattenspegelbredd och medeldjup vid flytarmätning.

Vattenspegelbredden, b_i , och medeldjupet, \bar{z}_i , bestämmas vid flytarmätning genom mätning respektive pejling i n stycken tvärsektioner inom mätsträckan, l_m , (i antar värden från 1 till n). Vanligen skall n vara lika med 3, men kan vid särskilt regelbunden fåra minskas till 2.

Medeldjupet, \bar{z}_i , erhålles enklast genom att man gör ett antal (m stycken) bestämningar av djupet, z_j , på jämna avstånd utefter tvärsnittet. Sedan kan medeldjupet, \bar{z}_i , fås ur uttrycket

$$\bar{z}_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{j=m} z_j \quad /3/$$

Medeltalet, \bar{z} , av medeldjupen, \bar{z}_i , anges av sambandet

$$\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \bar{z}_i \quad /3/$$

Vattenspegelns medelbredd, \bar{b} , fås ur det analoga uttrycket

$$\bar{b} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} b_i \quad /4/$$

165. Råhetsklassificering.

Vattendragens råhetsklass ("Psi-klass"), Ψ_i , uppskattas enligt endera av nedanstående två tillvägagångssätt, dvs. antingen enligt totalbedömningsmetoden eller partialbedömningsmetoden.

Föreligger råhetsklass VII, kan som nämnts i inledningen inte mätning ske med någon envertikalsmetod.

1651. Råhetsklassificering enligt totalbedömningsmetod.

Råhetsklassificeringen utföres med hjälp av schemat i tabell 13.

1652. Råhetsklassificering enligt partialbedömningsmetod.

Bäddmaterialets texturegenskaper (de fasta friktionsytornas mikrostruktur), bäddyornas mer storskaliga struktur (de fasta friktionsytornas makrostruktur) samt vegetationsförekomst bedömes var för sig och åsättes med hjälp av tabell 14 olika råhetspoäng, r_{ymik} , r_{ymak} och r_{veg} , vilka summeras till ett råhetstal, T_r , dvs.

$$T_r = r_{ymik} + r_{ymak} + r_{veg} \quad /5/$$

Sedan råhetstalet, T_r , beräknats, går man till tabell 15 och finner där inom vilken råhetsklass, Ψ_i , det framräknade råhetstalet ligger. Därmed är råhetsklassificeringen enligt partialbedömningsmetoden avslutad.

Tabell 13.

Bäddbeskaffenhet och råhetsklass, Ψ_i , vid totalbedömning av ett vattendrags råhet förberäkning av flöde enligt envertikalsmetoder.

Bäddbeskaffenhet	Råhetsklass, Ψ_i
Bräder eller betong	I
Korrugerad plåt eller ytterst slät och jämn jordkanal (nygrävd)	II
Måttligt ojäm, vegetationsfri jordkanal	III
Ren, slät botten och välröjda slänter	IV
Stenig botten eller välröjd måttlig vegetation (även på botten)	V
Riklig vegetationsförekomst, välröjt	VI
Oröjd bädd med riklig eller tämligen riklig vegetationsförekomst	VII

Tabell 14.

Egenskaper och råhetspoäng, r_x , för beräkning av råhetstal, T_r , och bestämning av råhetsklass, Ψ_i , (enl. tab. 15) vid partialbedömning av ett vattendrags råhet för beräkning av flöde enl. envertikalsmetoder.

Egenskap	Råhetspoäng, r_x
<u>Ytornas mikrostruktur ($r_x = r_{ymik}$)</u>	
<u>Mycket jämn</u> (trä; betong; plåt)	10
<u>Jämn</u> (sand eller fintexturellare jord; berg)	20
<u>Ojämn</u> (fint grus)	25
<u>Mycket ojämn</u> (grovt grus)	30
<u>Ytornas makrostruktur ($r_x = r_{ymak}$)</u>	
<u>Mycket jämn</u> (t.ex. träränna; vällagd betongkulvert)	0
<u>Jämn</u> (t.ex. nygrävd, välutförd kanal)	5
<u>Måttligt ojämn</u>	10
<u>Ojämn</u> (t.ex. korrugerad plåt)	15
<u>Mycket ojämn</u> (t.ex. stenigt eller kokigt)	25
<u>Förekomst av vegetation, röjd el. (inom parentes) oröjd</u> ($r_x = r_{veg}$)	
Ingen	0 (0)
Liten	5 (10)
Tämligen stor	10 (25)
Medelstor	15 (45)
Stor	25 (80)
Mycket stor	40 (125)

$$(T_r = r_{ymik} + r_{ymak} + r_{veg} / 5/)$$

Tabell 15.

Råhetstal, T_r (summerade råhetspoäng från tabell 14), och råhetsklasser, Ψ_i , vid partialbedömning av ett vattendrags råhet för beräkning av flöde enligt envertikalsmetoder.

Råhetstal, T_r	Råhetsklass, Ψ_i
18	I
15-25	II
30	III
35-40	IV
45-60	V
65-80	VI
> 80	VII

17. Beräkningsförfarande vid ytflytmätning.177. Beräkning av det skattade flödet.

Beräkning av det skattade flödet sker med hjälp av följande två ekvationer:

$$q_m = \bar{z} \cdot \bar{b} \cdot c_a \cdot c_d \cdot v_m \quad /17/$$

$$v_m = l_m / \bar{t} \quad /6/$$

där q_m = det skattade flödet i m^3/s

\bar{z} = medeltalet av medeldjupen (i m) enligt ekvation /3/ på sid. 7.

\bar{b} = vattenspegelns medelbredd enligt ekvation /4/ på sid. 7.

c_a = en allmän reduktionsfaktor som fås från tabell 17.

c_d = en korrektionsfaktor för djupgående. För djupgående som inte överstiger 10 % är $c_d = 1$. Beträffande större djupgåenden, se originaluppsatsen.

v_m = en mätta hastigheten i m/s.

l_m = mätsträckans längd i m (se avd. 1621).

\bar{t} = medelmättiden i s (se avd. 163).

Tabell 17.

Den allmänna reduktionsfaktorn, c_a , som funktion av vattenföringen för beräkning av flöde enligt envertikalismetoderna 1 och 3 vid tillämpning av den lägre precisionsnivån, dvs av precisionsnivå 2.

Råhetsklass (ψ_i)	c_a när vattenföringen är		
	liten	medelstor	stor
I	0,75	0,78	0,82
II	0,71	0,75	0,79
III	0,66	0,70	0,75
IV	0,62	0,67	0,73
V	0,57	0,62	0,69
VI	0,53	0,59	0,66

- "Liten vattenföring" $< 0,025 m^3/s$ per m av vattendragets medelbredd
- "Medelstor vattenföring" $0,025-0,100 m^3/s$ per m av vattendragets medelbredd
- "Stor vattenföring" $> 0,100 m^3/s$ per m av vattendragets medelbredd

2. MÄTNING MED HYDROMETRISK FLYGEL (METODERNA 3, 4 OCH 6).22. Uppskattad ungefärlig noggrannhet.

"Osäkerhetstalen" (jfr. avd. 12, sid. 2), p, för dessa metoder tillämpade av en tämligen ovan mättningsman framgår av tabell 6 a.

Tabell 6 a.

Ungefärlig osäkerhetsmarginal i % vid envertikalsmätning enligt metoderna 3, 4 och 6.

METOD	p om mätförhållandena är		
	goda	normala	dåliga
3. Max.ythast.metod	21	25	29
4. 0,5-metoden	20	23	26
6. 0,2-0,5-metoden	17	20	23

23. Mätutrustning.231. Den hydrometriska flygeln.2311. Utförande.

Den hydrometriska flygel som avses skola användas bör helst vara av vinghjulstyp ("propellertyp") och av oöm konstruktion.

Vinghjulets geometriska stigning skall vara högst 0,25.

Flygeln bör helst ha två kalibreringsekvationer, s.k. konstantekvationer, vilka brukar vara av typen

$$v = a' + k' \cdot n \quad \text{för lägre hastigheter} \quad /18a/$$

och

$$v = a + k \cdot n \quad \text{för högre hastigheter} \quad /18b/$$

i vilka v = hastigheten

n = antal varv per tidsenhet

a' , k' , a , och k är konstanter

Konstanten a' skall vara liten, helst 0,05 eller mindre.

Om flygeln har endast en konstantekvation av typen

$$v = \alpha + \beta \cdot n \quad /18c/$$

skall konstanten α vara liten, helst 0,03 eller mindre.

Flygeln skall anbringas på en stång. Den kan antingen intaga ett fixt läge i stångens nedre ända, dvs. användas som "flygel med hängande stång", eller, vilket ofta är att föredraga, förflyttas längs den på botten hela tiden stående stången, dvs. användas som "flygel med stående stång".

2312. Dimensionsvillkor.

Flygelns vinghjulsdiameter bör vid mätning i små vattendrag vara tämligen liten. Den bör helst inte överstiga 10 % av sektionsbredden i höjd med vinghjulscentrum på det djup mätning sker, och helst ej heller större än 15 % av sektionsdjupet på mätstället. Mätprecisionen torde dock endast måttligt påverkas om dessa procenttal tillåtes stiga till 20 % av bredden respektive 25 % av djupet.

232. Ovrig mätutrustning.

Övrig behövlig mätutrustning är räkneverk eller signalanordning (med optisk och/eller akustisk signal), stoppur samt mätstång. Vid pejling bör mätstången i allmänhet vara försedd med botten-sko (bottenplatta).

24. Mätplatsvillkor.

241. Regelbundenhetsvillkor.

Mätplatsen skall förläggas till ett parti av det vattendrag vars vattenföring skall mätas, där detta på en tillräckligt lång sträcka regelbundenhetssträcka, l_{r34} eller l_{r6} , (jfr. avd. 2622) uppfyller följande villkor:

- a) är approximativt rakt
- b) har en längs l_{r34} respektive l_{r6} i stort sett oföränderlig sektion vid varje vattenstånd inom den nivåamplitud mätningar avses skola komma att utföras
- d) är tillnärmelsevis fritt från vegetation under den säsong mätningar skall göras eller har vegetation som effektivt kan avlägsnas åtminstone vid mättillfällena

e) saknar dämpningsverkan eller har dämpningsverkan som

- 1) vid tillämpning av någon av metoderna 3-4 är svag och kompenseras genom förlängning av den nedre säkerhetssträckan, l_{sn34} (se avd. 2621).
- 2) vid tillämpning av metod 6 är svag till måttlig och som när dämningen är svag ej behöver kompenseras, men som vid mer än svag dämning motverkas genom förlängning av den nedre säkerhetssträckan, l_{sn6} (se avd. 2621).

242. Vattenhastighetsvillkor.

För metoderna 3, 4 och 6 gäller att mätning endast kan ske när medelhastigheten i den punkt vari mätning avses skola utföras är cirka 1,2-1,5 gånger så stor som konstanten a' eller 2,0-2,5 gånger så stor som konstanten α (se avd. 2311). Att hastigheten måste vara så mycket större än a' och α beror på strömmens pulsering.

25. Klimatiska mätvillkor.

Liksom förhållandet är vid tillämpning av metod 1 påverkas resultatet av mätning enligt metod 3 av blåst, dock i något mindre utsträckning. Utfallet av mätning enligt metoderna 4 och 6 kan även influeras av stark vind, särskilt om mätvertikalen är grund i förhållande till den använda flygelns vinghjulsdiameter. Man bör därför undvika att flygelmäta i blåsigt väder (såvida inte mätplatsen är vindskyddad), åtminstone om man avser att använda metod 3 eller mäta med någon av de båda andra metoderna i relativt grunda sektioner

26. Flygelmätningförfarande.

261. Allmänna synpunkter.

2611. Mätpunktslokalisering.

Mätpunkten (mätpunkterna) skall ligga på den normal som tänkes fälld mot botten från lokalen för högsta ythastigheten. Denna normal kan kallas mätvertikalen.

2612. Mätpunktsfixering.

Vinghjulets läge måste under hela mättiden vara nogt fixerat i såväl höjd- som sidled. Detta uppnås säkrast med "stående stång

2613. Vinghjulaxelns orientering.

Vinghjulaxeln måste vara riktad i huvudströmmens riktning. Axeln får således varken peka uppåt eller nedåt, varken åt höger eller vänster.

262. Olika slag av sträckor vid envertikalsmätning med flygel (metoderna 4-8); definitioner och längdkrav.

v_{mp} i nedanstående sträckvillkor står för ett provisoriskt och approximativt (uppskattat) värde på den maximala ythastigheten.

2621. Säkerhetssträckor.

Såväl omedelbart uppströms som omedelbart nedströms mätpunkten (mätvertikalen) måste finnas en vattendragssträcka, här benämnd "säkerhetssträcka", inom vilken sektionutformningen skall vara approximativt oföränderlig för varje vattenstånd inom den vattenståndsamplitud som kan tänkas bli förverkligad under den planerade mätsäsongen. De båda sträckornas utformning skall dessutom inbördes vara approximativt lika.

De båda säkerhetssträckorna betecknas för metoderna 3-4 med $l_{sö34}$ för den övre och l_{sn34} för den nedre. Som motsvarande beteckning gällande för metod 6 föreslås $l_{sö6}$ för den övre säkerhetssträckan och l_{sn6} för den nedre.

Säkerhetssträckornas minimilängder föreslås vara:

$$l_{sö34} = l_{sn34} = 12 \sqrt{v_{mp}} \text{ m}$$

$$l_{sö6} = l_{sn6} = 9 \sqrt{v_{mp}} \text{ m}$$

Vid svag dämning ökas l_{sn34} till det dubbla eller trefaldiga.

Vid måttlig dämning, varmed avses mer än svag dämning, kan inte metoderna 3-4 komma till användning. Däremot kan metod 6 brukas, under förutsättning att l_{sn6} ökas till det dubbla eller trefaldiga.

Tabell 7 ger värden på $12 \sqrt{v_{mp}}$ och $9 \sqrt{v_{mp}}$ för några värden på v_{mp} .

Tabell 7.

Sambandet mellan v_{mp} (i m/s) och kortast tillåtna säkerhetssträckor (i m) vid flygelmätning enligt envertikalsmetoderna 3, 4 och 6.

v_{mp} (m/s)	$12 \sqrt{v_{mp}}$	$9 \sqrt{v_{mp}}$
0,09	3,6	2,7
0,16	4,8	3,6
0,25	6,0	4,5
0,36	7,2	5,4
0,49	8,4	6,3
0,64	9,6	7,2
0,81	10,8	8,1
1,00	12,0	9,0
1,21	13,2	9,9
1,44	14,4	10,8

2622. Regelbundenhetssträcka.

Regelbundenhetssträckan, l_{r34} eller l_{r6} , vid envertikalsmetoder med flygelmätning (metoderna 3, 4 och 6) utgör summan av de båda säkerhetssträckorna, alltså

för metoderna 3-4

$$l_{r34} = l_{sö34} + l_{sn34} \quad /19a/$$

och för metod 6

$$l_{r6} = l_{sö6} + l_{sn6} \quad /19b/$$

263. Mättid och minimummättid.

Den tid under vilken vattnets strömningshastighet i en punkt observeras (mätes) kallas mättid, och betecknas med t_p .

Den med hänsyn till ett visst precisionskrav kortaste tillåtna mättiden i en viss punkt kallas minimummättid, och betecknas med

t_{pmin}

Minimummättiden är beroende av vattnets pulsering och hur dennas storlek växlar i mätsektionen (se originaluppsatsen).

Som riktvärde för minimummättiden (i s) kan i allmänhet de värden som ges i tabell 8c användas.

Tabell 8 c.

Riktvärden för minimummättiden, t_{pmin} , vid mätning enl. metoderna 3, 4 och 6 i små, naturliga vattendrag.

METOD	Minimummättid (i s) på relativa mätdjupet	
	0,0 - 0,2	0,5
3	120	
4		170 - 180
6	100	150

264. Bestämning av vattenspegelbredd och medeldjup vid flygelmätning.
(jfr avd. 272)

Vattenspegelbredden, b , mätes vid flygelmätning i den tvärsektion i vilken mätpunkten (mätpunkterna) ligger.

Medeldjupet, \bar{z} , erhålles vid flygelmätning enklast genom att man gör ett antal (n stycken) bestämningar av djupet z_i på jämna avstånd i tvärsnittet. Sedan kan \bar{z} fås ur uttrycket

$$\bar{z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} z_i \quad /22/$$

265. Råhetsklassificering.

Vattendragets råhetsklass ("Psi-klass"), Ψ_i , uppskattas antingen enligt totalbedömningsmetoden (se avd. 1651) eller enligt partialbedömningsförfarandet (se avd. 1652).

27. Beräkningsförfarande vid flygelmätning enligt envertikalmetoderna 3, 4 och 6.

271. Medelhastigheten i en mätpunkt och beräkningsmätvärde för hastigheten.

2711. Medelhastigheten i en mätpunkt.

Medelhastigheten, \bar{v}_{pm} , i en mätpunkt beräknas ur den använda mättiden, t_p ($t_p \geq t_{pmin}$; jfr. avd. 263), och ur det under denna tid avverkade propellervarvsantalet, n_p , genom att antalet varv per

tidseenhet, n , i den av formelerna /18a/, /18b/ eller /18c/ på sid. 17/2 som är relevant tecknas som funktion av t_p och n_p , dvs.

$$n = f(t_p, n_p) \quad /23/$$

I praktiken brukar funktionen /23/ lösas på två olika sätt beroende på om den använda hydrometriska flygeln är försedd med registrerings- eller signalutrustning.

Har flygeln registreringsutrustning (räkneverk, varvräknare) fås

$$n = n_p / t_p \quad /23'/$$

Är däremot flygeln ansluten till en akustisk och/eller optisk signalanordning blir motsvarande uttryck

$$n = k \cdot n_k / t_p \quad /23''/$$

där k = antalet signalmellanrum (kontaktintervall)

n_k = antalet varv som svarar mot ett signalmellanrum

Ekvation /23''/ är egentligen endast ett specialfall av ekvation /23'/ eftersom $n_p = k \cdot n_k$.

2712. Beräkningsmätvärde för hastigheten.

Vid tillämpning av envertikalismetoderna 3, 4 och 6 ersättes den mätta hastigheten (mät-hastigheten), v_m , vilken användes vid tillämpning av metod 1 (jfr. avd. 171), av ett beräkningsmätvärde för hastigheten, vilket också det betecknas med v_m . Beräkningsmätvärdet för hastigheten är för metod 3 egentligen helt analog med den mätta hastigheten för metod 1. Metoderna 4 och 6 har däremot beräkningsmätvärden för hastigheten vilka teoretiskt är mindre än mätta hastigheten enligt metod 1 (och beräkningsvärdet för metod 3).

Beräkningsmätvärdena för hastigheten definieras enligt följande

för metod 3-4

$$v_m = \bar{v}_{pm} \quad /24a/$$

för metod 6

$$v_m = 0,5 \cdot (\bar{v}_{pm_1} + \bar{v}_{pm_2}) \quad /24b/$$

277. Beräkning av det skattade flödet.

Vid tillämpning av metod 3 (mätning invid ytan) erhålles det skattade flödet ur likheten

$$q_m = \bar{z} \cdot b \cdot c_a \cdot v_m \quad /34'/$$

där q_m = det skattade flödet i m^3/s

\bar{z} = medeldjupet (i m) enligt ekvation /22/ i avd. 262

b = vattenspegelbredden (i m) i mätsektionen

c_a = en allmän reduktionsfaktor, som fås från tabell 17

v_m = beräkningsmätvärdet enligt definition i formel /24a/ (jfr. formlerna /18a-18c/ och /23' - 23''/).

Vid tillämpning av metod 4 (mätning på djupet 0,5) och av metod 6 (mätning på djupen 0,2 och 0,5) erhålles det skattade flödet ur likheten

$$q_m = \bar{z} \cdot b \cdot c_s \cdot k_i \cdot v_m \quad /34''/$$

där q_m , \bar{z} och b har samma innebörd som i ekvation /34'/ ovan

c_s = en speciell reduktionsfaktor som erhålles från tabell 24
Djupgruppering sker med hjälp av tabell 4.

k_i = en faktor för konvertering av beräkningsmätthastighet till medelhastighet i vertikalen.

k_4 framgår av tabell 9 och

k_6 av tabell 11

v_m = beräkningsmätvärde enligt formel /24 b/ (jfr. formlerna /18a-18c/ och /23' - 23''/).

Tabell 4.

Indelning i djupgrupper.

z_m -intervall	Djupgrupp
$\leq 0,10$	1
0,11-0,30	2
0,31-0,60	3
0,61-1,00	4
1,01-1,50	5
1,51-2,50	6

Tabell 24.

Den speciella reduktionsfaktorn, c_s , för beräkning av flöde enligt envertikalsmetoderna 4 och 6 vid tillämpning av precisionsnivå 2.

Råhetsklass Ψ_i	Djupgrupp				
	2	3	4	5	6
I	0,87	0,89	0,90	0,91	0,92
II	0,85	0,87	0,88	0,89	0,91
III	0,83	0,85	0,86	0,87	0,89
IV	0,81	0,83	0,84	0,85	0,87
V	0,78	0,80	0,81	0,83	0,85
VI	0,74	0,76	0,78	0,80	0,83

Tabell 9.

Storleken av konverteringsfaktorn, k_4 , för beräkningsmätvärdets, v_m , för hastigheten konvertering till medelhastighet, \bar{v}_v , i mätvertikalen vid tillämpning av envertikalsmetod nr 4 (0,5-metoden).

Råhetsklass Ψ_i	Djupgrupp				
	2	3	4	5	6
I	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
II	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96
III	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96
IV	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96
V	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
VI	0,94	0,95	0,95	0,95	0,95

Tabell 11.

Storleken av konverteringsfaktorn, k_6 , för beräkningsmätvärdets, v_m , för hastigheten konvertering till medelhastighet, \bar{v}_v , i mätvertikalen vid tillämpning av envertikalsmetod nr 6 (0,2-0,5-metoden).

Råhetsklass ψ_i	Djupgrupp				
	2	3	4	5	6
I	0,93	0,93	0,94	0,94	0,94
II	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93
III	0,90	0,90	0,91	0,91	0,92
IV	0,89	0,89	0,90	0,91	0,91
V	0,87	0,88	0,89	0,90	0,90
VI	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90

Förteckning över utkomna häften i serien 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. 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.

- 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. Anvisning rörande täckdikning med plaströr av styv PVC. 5 sid.
- Nr 29 Berglund, G. 1966. Vattendragsförbundet: Förslag till överenskommelse och stadgar samt något om kostnadsfördelningar 19 sid.
- Nr 30 Fahlstedt, T. 1966. Kvismaredalsprojektet -- 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. Ansvarsfördelningen vid underhåll av vattendrag inom Sagåns vattensystem. 10 sid.
- Nr 38 Håkansson, A., Johansson, W. & Fahlstedt. 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.
- 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. 77 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 ändbogsring 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.
- Nr 58 Bjerketorp, A. 1973. Envertikalmetoder med flytar- eller flygelmätning 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.

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.