



# LANTBRUKSHÖGSKOLAN

## UPPSALA

---

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET  
Institutionen för markvetenskap  
Avd för hydroteknik  
750 07 UPPSALA 7

BIBLIOTEKET

### **Envertikalsmetoder med flytar- eller flygelmätning för approximativ bestämning av flöde i små vattendrag**

*Preliminärt förslag*

Anders Bjerketorp

---

INSTITUTIONEN FÖR MARKVETENSKAP

AVDELNINGEN FÖR LANTBRUKETS HYDROTEKNIK

STENCILTRYCK NR 58

UPPSALA 1973

SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET  
Institutionen för markvetenskap  
Avd för hydroteknik  
750 07 UPPSALA 7

BIBLIOTEKET

ENVERTIKALSMETODER MED FLYTAR- ELLER FLYGELMÄTNING  
FÖR APPROXIMATIV BESTÄMNING AV FLÖDE  
I SMÅ VATTENDRAG  
Preliminärt förslag

av

Anders Bjerketorp

LANTBRUKSHÖGSKOLAN

Institutionen för markvetenskap  
Avdelningen för lantbrukets hydroteknik

STENCILTRYCK NR 58

UPPSALA 1973

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

0. <u>INLEDNING.</u>	1
1. <u>MÄTNING MED FLYTARE (METODERNA 1-2).</u>	2
11. <u>Underlag för det preliminära förslaget till mätmetoder.</u>	2
111. <u>Litteraturstudier.</u>	2
112. <u>Eqna undersökningar.</u>	2
12. <u>Uppskattad ungefärlig noggrannhet hos metoderna 1-2.</u>	3
13. <u>Mätutrustning.</u>	3
131. <u>Flytaren.</u>	3
1311. <u>Utförande.</u>	3
1312. <u>Dimensionsvillkor.</u>	4
132. <u>Övrig mätutrustning.</u>	5
14. <u>Mätplatsvillkor.</u>	5
141. <u>Regelbundenhetsvillkor.</u>	5
142. <u>Vattenhastighetsvillkor.</u>	5
15. <u>Klimatiska mätvillkor.</u>	5
16. <u>Flytarmättningsförfarande.</u>	6
161. <u>Allmänna synpunkter.</u>	6
162. <u>Olika slag av sträckor vid flytarmätning</u>	6
163. <u>Bestämning av förflyttningstidsmedeltalet, <math>\bar{t}</math>.</u>	9
1631. <u>Vid o_j_ä_m_n_mätserie.</u>	9
1632. <u>Vid j_ä_m_n_mätserie.</u>	9
164. <u>Bestämning av vattenspegelbredd och medeldjup vid flytarmätning.</u>	9
165. <u>Råhetsklassificering.</u>	10
1651. <u>Råhetsklassificering enligt totalbedömningsmetod.</u>	10
1652. <u>Råhetsklassificering enligt partialbedömningsmetod.</u>	10

17.	<u>Beräkningsförfarande vid flytarmätning enl. envertikalsmetoder.</u>	11
171.	<u>Beräkning av mätta hastigheten ("mät hastigheten").</u>	11
172.	<u>Beräkning av sektionemedelarean.</u>	11
173.	<u>Beräkning av hydrauliskt medeldjup.</u>	11
174.	<u>Skattning av den allmänna reduktionsfaktorn.</u>	12
1741.	<u>Den allmänna reduktionsfaktorn vid precisionsnivå 1.</u>	14
1742.	<u>Den allmänna reduktionsfaktorn vid precisionsnivå 2.</u>	14
175.	<u>Skattning av korrektionsfaktor för (stort) djupgående.</u>	15
1751.	<u>Djupgående högst 10 %.</u>	15
1752.	<u>Djupgående större än 10 %.</u>	15
1753.	<u>Cabeostavsmätning (Metod 2).</u>	18
176.	<u>Beräkning av medelhastigheten i medelsektionen.</u>	18
177.	<u>Beräkning av skattade flödet.</u>	18
2.	<u>MÄTNING MED HYDROMETRISK FLYGEL (METODERNA 3-8).</u>	19
21.	<u>Underlag för det preliminära förslaget till mätmetoder.</u>	19
211.	<u>Litteraturstudier.</u>	19
212.	<u>Egna undersökningar.</u>	19
22.	<u>Uppskattad ungefärlig noggrannhet hos metoderna 3-8.</u>	19
23.	<u>Mätutrustning.</u>	20
231.	<u>Den hydrometriska flygeln.</u>	20
2311.	<u>Uförande.</u>	20
2312.	<u>Dimensionsvillkor.</u>	21
232.	<u>Övrig mätutrustning.</u>	22
24.	<u>Mätplatsvillkor.</u>	23
241.	<u>Regelbundenhetsvillkor.</u>	23
242.	<u>Vattenhastighetsvillkor.</u>	24
25.	<u>Klimatiska mätvillkor.</u>	25

26.	<u>Flygelmättningsförfarande.</u>	25
261.	<u>Allmänna synpunkter.</u>	25
2611.	<u>Mätpunktslokalisering.</u>	25
2612.	<u>Mätpunktsfixering.</u>	25
2613.	<u>Vinghjulssaxelns orientering.</u>	25
262.	<u>Olika slag av sträckor vid envertikalsmätning med flygel.</u>	26
263.	<u>Mättid och minimummättid.</u>	28
2631.	<u>Mättid.</u>	28
2632.	<u>Minimummättid.</u>	28
26321.	Definition och beteckning.	28
26322.	Minimummättidens beroende av vattnets s. k pulsering.	28
263221.	Allmänna synpunkter.	28
263222.	Förslag till formalisering.	28
264.	<u>Bestämning av vattenspegelbredd och medeldjup vid flygelmätning.</u>	32
265.	<u>Råhetsklassificering.</u>	32
27.	<u>Beräkningsförfarande vid flygelmätning enligt metoderna 3-8.</u>	33
271.	<u>Medelhastighet i en punkt och beräkningsmätvärde för hastigheten.</u>	33
2711.	<u>Medelhastigheten i en mätpunkt.</u>	33
2712.	<u>Beräkningsmätvärde för hastigheten.</u>	33
272.	<u>Beräkning av sektionens arean.</u>	34
273.	<u>Beräkning av hydrauliskt medeldjup.</u>	34
274.	<u>Skattning av den allmänna och den speciella reduktionsfaktorn.</u>	35
2741.	<u>Vid användande av metod 3.</u>	35
2742.	<u>Vid användande av någon av metoderna 4-8.</u>	35
275.	<u>Omvandling av beräkningsmätvärdet för hastigheten till medelhastighet i vertikalen.</u>	36
2751.	<u>Konverteringsfaktorn.</u>	36
2752.	<u>Medelhastigheten i vertikalen.</u>	37

276.	<u>Beräkning av medelhastigheten i sektionen.</u>	37
2761.	<u>Vid tillämpning av metod 3.</u>	37
2762.	<u>Vid tillämpning av någon av metoderna 4-8.</u>	38
277.	<u>Beräkning av det skattade flödet.</u>	38
3.	<u>SAMMANFATTNING.</u>	39
4.	<u>LITTERATURFÖRTECKNING.</u>	42
5.	<u>BIBLIOTEKSKOD.</u>	45
6.	<u>TABELLBILAGA.</u>	46
	Tabell 9: Storleken av konverteringsfaktorn $k_4$	47
	Tabell 10: Storleken av konverteringsfaktorn $k_5$	47
	Tabell 11: Storleken av konverteringsfaktorn $k_6$	48
	Tabell 12: Storleken av konverteringsfaktorn $k_7$	48
	Tabell 13: Bäddbeskaffenhet och råhetsklass vid <u>totalbedömning</u> av ett vattendrags råhet	49
	Tabell 14: Egenskaper och råhetspoäng för beräkning av råhetstal och bestämning av råhetsklass vid <u>partialbedömning</u> av ett vattendrags råhet	50
	Tabell 15: Råhetstal och råhetsklasser vid <u>partialbedömning</u> av ett vattendrags råhet	49
	Tabell 16: Den allmänna reduktionsfaktorn vid precisionsnivå 1	51
	Tabell 17: Den allmänna reduktionsfaktorn vid precisionsnivå 2	54
	Tabell 18: Korrektionsfaktorn för djupgående vid mätning med flytare	55
	Tabell 19: Den speciella red.-faktorn vid precisionsnivå 1 (Djupgrupp 2)	58
	Tabell 20: Den speciella red.-faktorn vid precisionsnivå 1 (Djupgrupp 3)	60
	Tabell 21: Den speciella red.-faktorn vid precisionsnivå 1 (Djupgrupp 4)	62
	Tabell 22: Den speciella red.-faktorn vid precisionsnivå 1 (Djupgrupp 5)	64
	Tabell 23: Den speciella red.-faktorn vid precisionsnivå 1 (Djupgrupp 6)	66
	Tabell 24: Den speciella red.-faktorn vid precisionsnivå 2	68
	APPENDIX I: Metoder för flödesbestämning -- en schematisk översikt.	69
	APPENDIX II: Några teoretiska randanmärkingar till area-hastighets- metoderna för flödesbestämning i öppna ledningar.	79



Preliminärt förslag till  
ENVERTIKALSMETODER MED FLYTAR- ELLER FLYGELMÄTNING  
FÖR APPROXIMATIV BESTÄMNING AV FLÖDE I SMÅ VATTENDRAG

Av Anders Bjerketorp

0. INLEDNING.

Förslaget, som är högst preliminärt, upptar åtta olika area-hastighetsmetoder med mätning i endast en vertikal. Såsom samlingsbeteckning föreslås envertikalmetoder. Anledningen till att förslaget framlägges i preliminär form är de från olika håll yppade, tämligen livliga önskemålen om att utan tidsutsträckt få metoder presenterade vilka för praktiska ändamål möjliggör en snabb och föga kostsam approximativ bestämning av den momentana vattenföringen, företrädesvis i små vattendrag.

De båda första av dessa åtta metoder avser mätning med flytare; metod nr. 1 med ytflytare och metod nr. 2 med Cabeostav (stavflytare). Metod nr. 1 övergår kontinuerligt i metod nr. 2.

Metoderna nr. 3-8 förutsätter mätning med hydrometrisk flygel. Bland dessa metoder innebär nr. 3 mätning invid vattenytan och nr. 4-8 mätning på större djup.

Bland metoderna nr. 4-8 är nr. 4 och nr. 5 s. k. enpunktsmetoder med mätning på resp. 0,5 och 0,6 (räknat från ytan) av totaldjupet i mätvertikalen.

Metoderna nr. 6, 7 och 8 är s. k. tvåpunktsmetoder med mätning på djupen 0,2 och 0,5, 0,2 och 0,6 resp. 0,2 och 0,8 av totaldjupet i mätvertikalen.

För att dels främja textens överskådlighet och dels underlätta användningen av de för praktiskt bruk avsedda tabellerna, har dessa samlats i en särskild tabellbilaga.

För att möjliggöra ett insättande av de åtta föreslagna metoderna i sitt sammanhang med andra hydrometriska metoder, har till förslagets fogats ett appendix (nr. I), som ger en schematisk översikt över metoder för flödesbestämning i öppna ledningar.

Ännu ett appendix (nr. II) har tillagts, vilket i all blygsamhet ger några teoretiska randanmärkningar till area-hastighetsmetoderna i allmänhet.

Det här framlagda arbetet har möjliggjorts tack vare det rika mätmaterial och den omfattande mäterfarenhet som hopsamlats och förvärvats inom de undersökningar rörande sambandet mellan kulturåtgärder och avrinning som pågått sedan 1967 vid Lantbrukshögskolans institution för markvetenskap, avdelningen för lantbrukets hydroteknik, undersökningar som författaren under professor G. Hallgrens överinseende hela tiden handhavt. Undersökningarna, vilka ännu (1973) inte är avslutade, har bekostats av Statens Råd för Skogs- och Jordbruksforskning (1967-1969), Statens Naturvårdsverk (1969-1970) och Avdelningen för lantbrukets hydroteknik vid Lantbrukshögskolan (1970-1973).

## 1. MÄTNING MED FLYTARE (METODERNA 1-2).

### 11. Underlag för det preliminära förslaget till mätmetoder.

#### 111. Litteraturstudier.

Mer än 50 uppsatser eller bokavsnitt behandlande flytarmätningar har genomgåts. Många av dessa arbeten behandlar dock helt eller delvis andra flytarmätmetoder än de här aktuella.

Å ena sidan gav studierna vid handen att det under skilda tider och i skilda trakter av vår jord företagits en hel del undersökningar om ytflytar- och stavflytarmätning, och att vid dessa framkommit ett betydande erfarenhetsmaterial, vilket man i viss utsträckning försökt generalisera och formalisera. Särskilt viktiga och relevanta förefaller följande åtta arbeten att vara: Harlacher & Richter (1886), Thrupp (1908), Hydrographischer Dienst in Österreich (1908), Fischer (1916), Hartmann (1927), Matakiewicz (1930), Griffith (1941) och Bellasis o. a. (1941).

Å andra sidan visade genomgången att generaliseringen och formaliseringen stannat vid ansatser, låt vara att dessa stundom varit mycket beaktansvärda. Ansatserna har allmänt sett varit sämre för de mycket små vattendragen (vattenföringarna) än för de något större och för de stora. Ytterligare undersökningar, och förmodligen ganska omfattande sådana, skulle därför utan tvekan behövas, inte minst beträffande de smärre vattinflödena. I avvaktan på att sådana forskningar eventuellt kommer till stånd någon gång någonstädes, har i all blygsamhet företagits vissa...

#### 112. Egna undersökningar

utförda i fält, huvudsakligen sommaren 1972, inom ramen för ovannämnda undersökningar rörande sambandet mellan kulturåtgärder och avrinning, och underkastade en preliminär bedömning. Härtill kommer matematisk-analytiska undersökningar av olika tänkbara funktionella samband.



12. Uppskattad ungefärlig noggrannhet hos metoderna 1-2.

Det verkliga flödet,  $q$ , antas ligga inom följande intervall i 90 % av alla fall (Jfr. avd. 22, s. 19):

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

där  $q_m$  = det genom mätning och beräkning funna flödet

$p$  = ett "osäkerhetstal", hämtat från tabell 1 ( $p$ -värdena i tabellen gäller endast vid omsorgsfull tillämpning av de föreslagna metoderna)

Tabell 1.

Ungefärlig osäkerhetsmarginal i % vid envertikalsmätning enligt metoderna 1 och 2 (Jfr. tabell 6, s. 20). Sannolikhetsnivå: 90 %.

M E T O D	Osäkerhetstal, $p$ (i %), för $q$ om mätningssmannen är											
	tämligen ovan						ytterst van och kunnig <sup>1)</sup>					
	$n_1$			$n_2$			$n_1$			$n_2$		
	$f_g$	$f_n$	$f_d$	$f_g$	$f_n$	$f_d$	$f_g$	$f_n$	$f_d$	$f_g$	$f_n$	$f_d$
1. Ytflytarmätning	20	<u>25</u>	30	25	<u>30</u>	35	14	17	20	17	20	23
2. Cabeostavmätning	16	<u>20</u>	24	21	<u>25</u>	29	11	14	17	14	17	20

1) Härmed avses en utpräglad expert. Detta fall har intresse endast som en illustration av metodernas yttersta möjligheter.

$n_1$  = precisionsnivå 1

$n_2$  = precisionsnivå 2

$f_g$  = extremt goda mätförutsättningar, t. ex. förekomst av inskodd mätsektion av hög kvalitet

$f_n$  = normala mätförutsättningar

$f_d$  = extremt dåliga mätförutsättningar, särskilt vad möjligheten att bestämma sektionsarean beträffar

13. Mätutrustning.131. Flytaren.1311. Utförande.

13111. Ytflytaren skall vara antingen en rät cylinder eller ett rätt åttasidigt prisma.

Väljer man den prismatiska formen skall tillses att prismats alla åtta sidor är lika långa. Om normalavståndet mellan två parallella sidor betecknas med  $l$  fås sidlängden,  $s$ , ur följande uttryck

$$s = (\sqrt{2} - 1) \cdot l \approx 0,4142 \cdot l \quad //$$

eller i trigonometrisk form

$$s = l \cdot \operatorname{tg} 180/8^\circ = l \cdot \operatorname{tg} 22,5^\circ \approx 0,4142 \cdot l \quad //$$

Oktagonalens bredd,  $b$ , vinkelrätt mot vattnets huvudströmriktning är beroende av flytarsidornas orientering i förhållande till denna riktning enligt följande

$$b = l \cdot P$$

och

$$P = \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 v}$$

/2/

där  $v$  är vinkeln mellan strömriktningen och normalen till åttahörningens "bakersta sida", dvs. till den sida vars normal bildar minsta vinkeln mot strömriktningen. Vinkeln  $v$  ligger i följande intervall

$$0^\circ \leq v \leq 22,5^\circ$$

När  $v = 22,5^\circ$  finns två "bakersta sidor".

$P$  växer från minimivärdet 1 vid  $v = 0^\circ$  till maximivärdet  $\sqrt{(1+q)/q}$  med  $q = 3 + 2\sqrt{2}$  vid  $v = 22,5^\circ$ . Maximivärdet är approximativt 1,0824, varför  $b$  alltså ligger i följande intervall

$$1 \leq b < \approx 1,0824 \cdot l$$

Storlekskillnaden i  $b$  torde sakna praktisk betydelse. Som jämförelse kan nämnas att  $b$  för en kvadratisk flytare varierar mellan 1 och  $\sqrt{2} \cdot l$  (approximativt 1,4142  $\cdot l$ ). Differensen mellan minsta och största värde på  $b$  är alltså fem gånger så stor för en flytare med kvadratisk utformning, som för en åttakantig flytare. En sextonkantig flytare har å andra sidan en differens som är mindre än fjärdedelen av den åttakantigas, dvs. dess största  $b$  är knappt 2 % större än dess minsta  $b$ .

13112. Minst 90 % av flytaren skall ligga nedsänkt i vattnet.

13113. Flytaren skall i stillastående vatten ligga med basytorna vågrätt.

#### 1312. Dimensionsvillkor.

13121. Flytaren bör inte vara bredare än 10 % av vattenytans bredd vid det mätställe där den skall användas.

13122. Flytaren får inte utan användande av korrektionsfaktor ( $c_d$ ) ha ett djupgående som överstiger 10 % av medeldjupet,  $\bar{z}_m$ , längs den strömbana den förflyttar sig utefter (Jfr. avd. 175, s. 15).

13123. Flytarens djupgående skall helst ej understiga 5 % av medeldjupet,  $\bar{z}_m$ , längs dess förflyttningsbana.

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 för iläggning och upptagning av flytaren. Håven kan tillverkas av ett isärtagbart metspö och en stor såssil 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 tillräckligt lång sträcka, regelbundenhetssträcka,  $l_{r12}$  (Jfr. avd. 1623, s. 7), 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 avlägnas åtminstone vid mättillfällena.
- e) är approximativt fritt från dämningens verkan. Förekommer en svag dämning kan dess verkan ofta minskas tillräckligt genom förlängning av den nedre säkerhetssträckan,  $l_{sn12}$  (Jfr. avd. 162, s. 6).

142. Vattenhastighetsvillkor.

Mätplatsen skall om möjligt förläggas till ett vattendragsavsnitt, där största ythastigheten kan förväntas att inte understiga 0,05 m/s någon gång under den planerade mätsäsongen. (Jfr. avd. 242, s. 24)

15. Klimatiska mätvillkor.

Mätning med ytflytare bör endast utföras vid lugnt väder, såvida inte mätplatsen ligger mycket vindskyddad.

Cabeostavmätning är möjlig att utföra även vid blåst, såvida 1) vindhastigheten vid mätplatsen inte överstiger 10 m/s, 2) medelvattendjupet längs förflyttningsträckan är minst 0,35 m samt 3) flytarens relativa djupgående är minst 60 %.

16. Flytarmätning

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 måste därför bringas att förflytta sig i en bana som approximativt sammanfaller med strömbanan för maximi-ythastigheten. Detta åstadkommes genom en lämplig anpassning av iläggningspunktens (lanceringspunktens),  $p_1$ , 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. Alla föreslagna uttryck för minimumsträcklängder ges i form av s. k. mätetalsekvationer. De är dimensionsmässigt inhomogena, vilket dock saknar praktisk betydelse. Sträckuttrycken är ungefärliga och utgör endast preliminära försök att formalisera resultat av egna undersökningar.

1621. Mätsträcka (Flytarmätsträcka).

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 förslagsvis 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",  $l_{sö12}$  resp.  $l_{sn12}$ , inom vilka sektionsutformningen dels skall vara approximativt oföränderlig för varje vattenstånd inom mätamplituden, och dels skall 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,  $l_{sn12}$ , fördubblas eller trefaldigas (Jfr. avd. 141e, s. 5).

1623. Regelbundenhetssträcka.

De båda säkerhetssträckorna,  $l_{sö12}$  och  $l_{sn12}$ , bildar tillsammans med mätsträckan,  $l_m$ , vad som här kallas "regelbundenhetssträcka",  $l_{r12}$  (Jfr. avd. 141, s. 5, och avd. 2622, s. 27).

Längden av  $l_{r12}$  är givetvis lika med summan av längderna av sträckorna  $l_{sö12}$ ,  $l_m$  och  $l_{sn12}$  (dvs. minst  $30 \sqrt{v_{m_p}}$  m).

1624. Accelerationssträcka.

Flytaren måste få anpassa sin hastighet till vattnets längs en accelerationssträcka,  $l_a$ , som sträcker sig från iläggingspunkten (lanceringspunkten),  $p_1$ , till mätstartpunkten,  $p_2$ .

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

1625. Flytsträcka.

Flytsträckan,  $l_f$ , slutligen, är den sträcka flytaren rör sig från iläggingspunkten (lanceringspunkten),  $p_1$ , till upptagningspunkten (bärningspunkten),  $p_4$ .

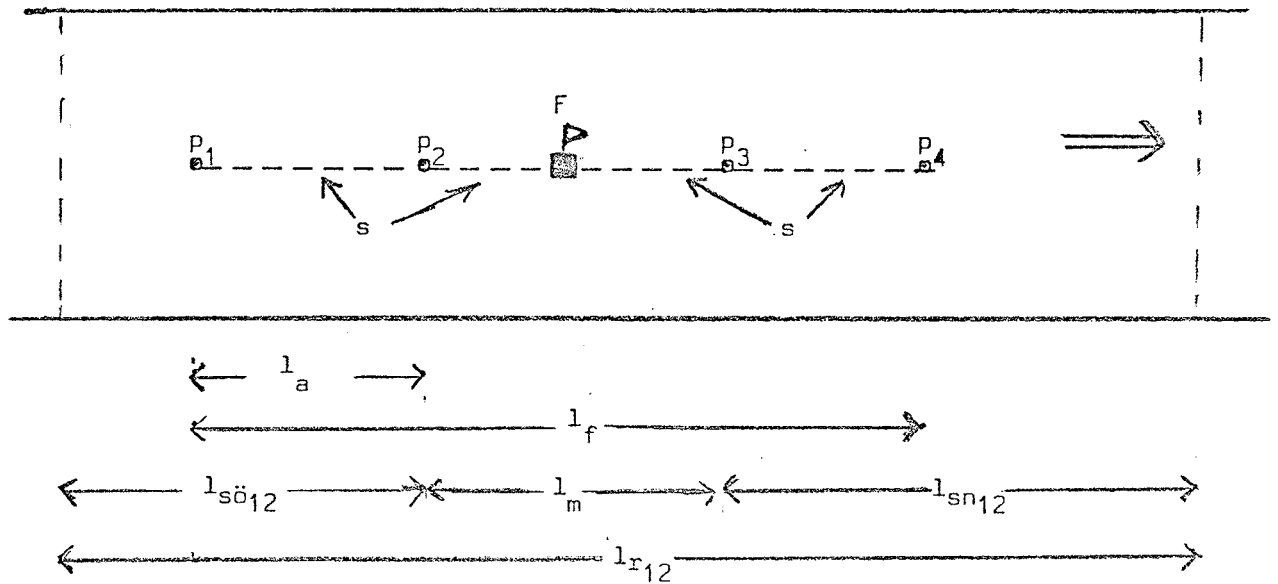
Tabell 2.

Sambandet mellan  $v_{m_p}$  (i m/s) och kortaste tillåtna längden av mätsträckan,  $l_m$ , accelerationssträckan,  $l_a$ , samt säkerhetssträckorna,  $l_{sö12}$  och  $l_{sn12}$ , vid flytarmätning enligt maximalytastighetsmetod.

$v_{m_p}$ (m/s)	Minsta tillåtna längd (m) av sträcka		
	$l_m$	$l_a$	$l_{sö12}$ el. $l_{sn12}$
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 maximalytthastighetsmetod.



$l_{sö12}$  = övre säkerhetssträcka vid flytarmätning (minst  $12 \sqrt{v_{mp}}$  m)

$l_m$  = flytarmätsträckan (minst  $6 \sqrt{v_{mp}}$  m)

$l_{sn12}$  = nedre säkerhetssträcka vid flytarmätning (minst  $12 \sqrt{v_{mp}}$  m; vid dämningstendens det dubbla eller trefaldiga)

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

$l_f$  = flytsträcka

$l_{r12}$  = 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 = förflyttningsbana

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,  $p_3$ , bestäms 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 betrakts 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 betrakts som förflyttningstidsmedeltalet,  $\bar{t}$ , vid j ä m n mätserie.

164. Bestämning av vattenspegelbredd och medeldjup vid flytarmätning.

(Jfr. avd. 172-173, s. 11)

Vattenspegelbredden,  $b_i$ , och medeldjupet,  $\bar{z}_i$ , bestäms 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"),  $\Psi_i$ , uppskattas enligt endera av nedanstående två tillvägagångssätt, dvs. antingen enligt totalbedömningsmetoden eller enligt partialbedömningsmetoden.

Föreligger råhetsklass VII, kan inte mätning ske med någon envertikalsmetod.

1651. Råhetsklassificering enligt totalbedömningsmetod.

Råhetsklassificeringen utföres med hjälp av schemat i tabell 13 på sid. 49, vilket författaren ställt upp på erfarenhetsmässiga grunder.

1652. Råhetsklassificering enligt partialbedömningsmetod.

Bäddmaterialets texturegenskaper (de fasta friktionsytornas mikrostruktur), bäddyornas mer storskaliga struktur (de fasta friktionsytornas makrostruktur) samt vegetationsförekomsten bedöms var för sig och åsättes med hjälp av tabell 14 på sid. 50 olika råhetspoäng,  $r_{ymik}$ ,  $r_{ymak}$  och  $r_{veg}$ , vilka summeras till ett råhetstal,  $T_r$ , dvs.

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

Poängsättningen bygger på erfarenhetsmässig bedömning. En viss ledning har studium av Cowan (1956) givit.

Sedan råhetstalet,  $T_r$ , beräknats, går man till tabell 15 på sid. 49 och finner där inom vilken råhetsklass,  $\Psi_i$ , det framräknade råhetstalet ligger. Därmed är råhetsklassificeringen enligt partialbedömningsmetoden avslutad.

Även klassindelningen enligt tabell 15 bygger på erfarenhetsmässig bedömning.

17. Beräkningsförfarande vid flytarmätning enligt envertikalsmetoder.

171. Beräkning av mätta hastigheten ("mätthastigheten"),  $v_m$ .

Mätta hastigheten ("mätthastigheten"),  $v_m$ , beräknas ur förflyttningstidsmedeltalet (medelmättiden),  $\bar{t}$  (Jfr. avd. 163, s. 9), och mätsträckan,  $l_m$  (Jfr. avd. 1621, s. 6), genom sambandet

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

172. Beräkning av sektionsmedelarean,  $\bar{A}$ .

Sektionsmedelarean,  $\bar{A}$ , utgör vid flytarmätning produkten av medeldjupsmedeltalet,  $\bar{z}$ , som erhålles ur ekvation /3/, och medelbredden,  $\bar{b}$ , som fås ur ekvation /4/, dvs.

$$\bar{A} = \bar{z} \cdot \bar{b} \quad /7/$$

(Jfr. avd. 164, s. 9)

173. Beräkning av hydrauliskt medeldjup,  $R_h$ .

Beräkningen av hydrauliskt medeldjup inleds med att den vätta medelperimetern,  $\bar{p}$ , skattas med hjälp av följande approximeringsformel, analog med formel /26/ på sid. 34 (författarens förslag):

$$\bar{p} = \bar{b} + 2 \bar{z} \quad /8/$$

$b$  och  $z$  fås från formlerna /3/ och /4/, angivna i avd. 164, s. 9.

Det hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , är definitionsmässigt kvoten mellan tvärsnittsytan och vätta perimetern, dvs. i vårt fall kvoten mellan sektionsmedelarean,  $\bar{A}$ , och vätta medelperimetern,  $\bar{p}$ , eller formelmässigt uttryckt

$$R_h = \bar{A} / \bar{p} = \bar{b} \cdot \bar{z} / (\bar{b} + 2 \cdot \bar{z}) \quad /9/$$

Formel /9/ är analog med formel /27/ på sid. 34.

174. Skattning av den allmänna reduktionsfaktorn,  $c_a$ .

Den allmänna reduktionsfaktorn,  $c_a$ , är ett uttryck för det förhållandet att flytaren rör sig i en del av vattenkroppen där hastigheten är större än vattnets medelhastighet (Jfr. Appendix II).

Den allmänna reduktionsfaktorn,  $c_a$ , är främst en funktion av hastighet, relativ friktionsyta och bäddråhet. Vi kan välja den mätta hastigheten,  $v_m$ , hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , och råhetsklassen,  $\psi_i$  (även råhetstalet,  $T_r$ , skulle kunna användas), som lämpliga parametrar för de bestämmande fysikaliska egenskaperna. Sambandet mellan de olika parametrarna kan symboliskt tecknas

$$c_a = f_1(v_m, R_h, \psi_i) \quad /10/$$

eller vid en given råhetsklass

$$c_{a(\psi_i)} = f_2(v_m, R_h) \quad /10^*/$$

Den allmänna reduktionsfaktorn,  $c_a$ , avtar med ökad råhet och stiger med ökande hydrauliskt medeldjup. Reduktionsfaktorn ökar också med stigande hastighet, i varje fall inom det hastighetsintervall som torde vara aktuellt vid mätningar ute i fält. Hur funktionerna /10/ och /10\*/ mera i detalj är beskaffade är ofullständigt utforskat (Jfr. avd. 11, s. 2). Författaren har för formel /10\*/, efter ingående överväganden och provningar (numeriska analyser), kommit fram till antagandet att funktions-sambandet borde kunna anges med hjälp av följande uttryck

$$c_{a(\psi_i)} = c_{a_m} - (c_{a_m} - c_{a_0})/S = (c_{a_m} \cdot (S - 1) + c_{a_0})/S \quad /11/$$

$$S = 1 + P(a \cdot v_m (b_v + (1-b_v)v_m) + (1-a)R_h (b_R + (1-b_R)R_h)) \quad /11^*/$$

$$P = (c_{a_m} - c_{a_0}) / (c_{a_m} - c_{a_1}) - 1 \quad /11^{**}/$$

där

$v_m$  = uppmätt hastighet ("mät hastigheten")

$R_h$  = hydrauliskt medeldjup

$c_a(\psi_i)$  = den allmänna reduktionsfaktorn för råhetsklassen "i" som funktion av uppmätt hastighet och hydrauliskt medeldjup

$c_{a_0}$  = värdet av  $c_a(\psi_i)$  då  $v_m = R_h = 0$

$c_{a_1}$  = värdet av  $c_a(\psi_i)$  då  $v_m = R_h =$  måtenheten (= "1")

$c_{a_m}$  = värdet av  $c_a(\psi_i)$  vid mycket stora värden på hjälpvariabeln S

a = numerisk konstant, vilken anger vikten av  $v_m$  i förhållande till  $R_h$  (vid  $v_m = R_h =$  måtenheten).  $0 \leq a \leq 1$ .

$b_v$  = numerisk konstant, vilken anger vikten av första potensen av  $v_m$  i förhållande till andra potensen av  $v_m$ .  $0 \leq b_v \leq 1$ .

$b_R$  = numerisk konstant, vilken anger vikten av första potensen av  $R_h$  i förhållande till andra potensen av  $R_h$ .  $0 \leq b_R \leq 1$ .

S och P är hjälpvariabler.

Författaren har låtit skatta de sex parametrarna  $c_{a_0}$ ,  $c_{a_1}$ ,  $c_{a_m}$ , a,  $b_v$  och  $b_R$  genom att successivt anpassa funktion /11/ till ett antal mätvärden hämtade från egna och andras undersökningar. Varkens materialets karaktär eller omfattning har, i varje fall i detta preliminära skede, inte inbjudit till en matematiskt och statistiskt mer stringent estimering, t. ex. genom användande av minstakvadratanpassning..

De sex parametrarnas uppskattade storlek vid råhetsklasserna I-VI (vid råhetsklass VII kan, såsom nämnts i avd. 165, s. 10, inga envertikalsmetoder komma till användning) framgår av tabell 3 på sid. 14.

Med utgångspunkt från dessa parametervärden har den allmänna reduktionsfaktorn,  $c_a$ , beräknats enligt ekvation /11/ för en rad kombinationer av värden på den mätta hastigheten,  $v_m$ , och på det hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ . Två tabellversioner har upprättats över  $c_a$ , en utförlig för en högre precisionsnivå, kallad precisionsnivå 1, samt en mer summarisk variant för en lägre precisionsnivå, kallad precisionsnivå 2.

Tabell 3.

Uppskattad storlek vid olika råhetsklasser av de sex parametrar som ingår i ekvationerna /11/, /11'/ och /11''/.

RÅHETSKLASS	Skattade värden på parametrarna					
	$c_{a0}$	$c_{a1}$	$c_{am}$	$a$	$b_v$	$b_R$
I	0,72	0,82	0,92	0,40	0,95	0,90
II	0,67	0,79	0,91	0,39	0,96	0,91
III	0,62	0,76	0,90	0,38	0,97	0,92
IV	0,57	0,73	0,90	0,37	0,98	0,93
V	0,52	0,70	0,89	0,36	0,99	0,94
VI	0,47	0,67	0,88	0,35	1,00	0,95

1741. Den allmänna reduktionsfaktorn vid precisionsnivå 1.

Vid tillämpning av precisionsnivå 1 ges den allmänna reduktionsfaktorn,  $c_a$ , som funktion av den mätta hastigheten,  $v_m$ , och det hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , i tabellerna 16:I-16:VI på sid. 51-53, gällande för råhetsklasserna I-VI.

1742. Den allmänna reduktionsfaktorn vid precisionsnivå 2.

Anser man sig tillräckligt betjänt av en något lägre noggrannhet (Se avd. 12, s. 3) kan man utnyttja de värden på den allmänna reduktionsfaktorn,  $c_a$ , vid precisionsnivå 2 som är uppställda i tabell 17 på sid.54, där  $c_a$  schematiskt ges som funktion av vattenföringen.

175. Skattning av korrektionsfaktor för (stor) vertikal instrumentutsträckning.1751. Djupgående högst 10 %.

Är flytarens relativa djupgående,  $d_r$ , högst  $0,1 \cdot \bar{z}_m$ , dvs. högst 10 % av medeldjupet,  $\bar{z}_m$ , i den strömbana den förflyttar sig utefter (Jfr. avd. 13122, s. 4) är korrektionsfaktorn för vertikal instrumentutsträckning  $= c_d = 1,000$ .

1752. Djupgående större än 10 %.

Är flytarens relativa djupgående,  $d_r$ , större än  $0,1 \cdot \bar{z}_m$ , dvs. större än 10 % av medeldjupet,  $\bar{z}_m$ , i den strömbana den förflyttar sig utefter (Jfr. avd. 13122, s. 4) är (nästan alltid) korrektionsfaktorn för vertikal instrumentutsträckning  $= c_d > 1$ .

Detta beror på att flytarens hastighet blir oförsumbart mindre än ythastigheten, då djupgåendet ökar över ett visst värde. Detta värde har författaren valt att sätta till 10 % av totaldjupet.

Värdet på korrektionsfaktorn för vertikal instrumentutsträckning,  $c_d$ , stiger med ökat relativt djupgående,  $d_r$ , och stiger snabbare ju större råheten är och ju mindre medeldjupet,  $\bar{z}_m$ , är (dvs. ju kortare avståndet är mellan vattenytan och den för vertikalhastighetsfördelningens utformning i hög grad bestämmande friktionsyta som botten bildar).

Korrektionsfaktorn,  $c_d$ , för djupgående kan sägas vara en funktion av flytarens relativa djupgående,  $d_r$ , medeldjupet,  $\bar{z}_m$  (vid gruppindelning  $\bar{z}_{mg}$ ), längs flytarens förflyttningssbana ( $s$ ; Se sid. 8) samt av råheten,  $\Psi$  (vid klassindelning  $\Psi_i$ ), dvs.

$$c_d = f_1(d_r, \bar{z}_m, \Psi) \quad /12/$$

eller vid gruppindelning av medeldjupet och klassindelning av råheten och för en bestämd grupp,  $g$ , och en bestämd klass,  $i$

$$c_d(z_{mg}, \Psi_i) = f_2(d_r) \quad /12/$$

Författaren har låtit teoretiskt härleda korrektionsfaktorn,  $c_d$ , ur den Lavale-Rappska teorin om att hastighetsfördelningen längs en vertikal från ytan till botten kan beskrivas med en parabel av godtyckligt gradtal och lodrät axel, även (ehuru mindre precist) benämnd högregradsparabel eller parabel av högre grad (Rapp 1883, Rapp 1927, Kolupaila 1930, Bjerketorp 1973).

Den Lavale-Rappska parabeln kan vid dimensionslös djuprepresentering skrivas

$$v = a(1 - z)^{\frac{1}{m}} \quad /13/$$

där  $v$  = vattenhastigheten längs vertikalen

$z$  = djupvariabel, uttryckt som fraktion av 1

$m$  = gradtalet

$a$  = en numerisk konstant, beroende av vattendraget

Genom att differntiera ekvation /13/ och integrera mellan  $z = 0$  och  $z = d_r$  samt reducera med ett gränsvärdesuttryck, som framtagits genom integrering från  $z = 0$  till  $z = d_g$ , där  $d_g$  = det största djup (i fraktion av 1), som beslutats skola gälla som högsta tillåtna djupgående för mätning utan korrektion (dvs. med  $c_d = 1$ ) erhålles följande uttryck för korrektionsfaktorn,  $c_d$  ( $d_g$  är i vårt fall 0,1):

$$c_d = (d_r^\alpha) / ((1 - (1 - d_r)^\alpha) - ((0,1)^\alpha / (1 - 0,9^\alpha) - 1)) \quad /14/$$

$$\alpha = (m+1)/m$$

Korrektionsfaktorn,  $c_d$ , tecknas alltså här som en funktion av relativa djupgåendet,  $d_r$ , och av gradtalet,  $m$ , (eller av  $\alpha$ ). Men  $m$  (eller  $\alpha$ ) är i sin tur en funktion av vattendjup (djupgrupp,  $\bar{z}_{mg}$ ; se nedan) och råhet (råhetsklass,  $\psi_i$ ), dvs.

$$m = g(\bar{z}_{mg}, \psi_i) \quad /15/$$

Ekvation /12/ på sid. 15 kan då också skrivas

$$c_d = f_3(d_r, m) = f_3(d_r, g(\bar{z}_{mg}, \psi_i)) \quad /12'/$$



Tabell 4 redovisar ett förslag till djupgruppsindelning och tabell 5 ett förslag till värden på gradtalet,  $m$ , vid olika djupgrupper,  $\bar{z}_{m_g}$ , och råhetsklasser,  $\Psi_i$ . Såväl djupgruppsindelning som gradtalsval bygger på bedömning och orienterande matematisk analys av mätresultat, såväl egna som andras (Se t. ex. Hagen 1884 och Kolupaila 1930).

Tabell 4.

Indelning av djupgrupper,  $\bar{z}_{m_g}$ , för beräkning av korrektionsfaktor,  $c_d$ , för (stor) vertikal instrumentutsträckning vid flytarmätning.

$z_m$ -intervall	Djupgrupp ( $\bar{z}_{m_g}$ )
$\leq 0,10$	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 5.

Uppskattning av gradtalet,  $m$ , till Lavale-Rapps parabel vid olika råhetsklasser,  $\Psi_i$ , och djupgrupper,  $\bar{z}_{m_g}$  (Vid flygelmätning  $z_{m_g}$ ).

Råhetsklass	Gradtal vid djupgrupp					
	1	2	3	4	5	6
I	6,25	6,60	6,95	7,30	7,65	8,00
II	4,80	5,15	5,50	5,85	6,20	6,55
III	3,75	4,10	4,45	4,80	5,15	5,50
IV	3,15	3,50	3,85	4,20	4,55	4,90
V	2,67	3,02	3,37	3,72	4,07	4,42
VI	2,30	2,65	3,00	3,35	3,70	4,05

Med kännedom om aktuellt värde på flytarens relativa djupgående,  $d_r$ , (genom mätning) och gradtalet,  $m$ , i den Lavale-Rappska parabeln (enligt tabellerna 4 och 5) kan var och en själv beräkna korrektionsfaktorn,  $c_d$ , med hjälp av ekvation /14/ på föregående sida. Beräkningen är emellertid ganska arbetskrävande. Betydligt enklare är att i stället utnyttja tabellerna 18:1 - 18:6 på sid. 55-57, vilka ger korrektionsfaktorn,  $c_d$ , som funktion av relativa djupgåendet,  $d_r$ , och råhetsklassen,  $\Psi_i$ , vid de sex olika djupgrupperna givna i tabell 4.

1753. Cabeostavsmätning (Metod 2).

Tillämpning av formel /14/ på sid. 16 med tillhörande tabeller 18:1 - 18:6 på sid. 55 - 57 gör det föreslagna flytarmätningssystemet helt flexibelt. Man kan mäta enligt den egentliga ytflytarmätningssystemet (metod 1), företaga en utpräglad Cabeostavsmätning (metod 2) eller tillämpa en godtycklig övergångsform mellan dessa båda metoder.

176. Beräkning av medelhastigheten,  $\bar{v}$ , i medelsektionen.

Medelhastigheten i sektionen (medelsektionen) beräknas ur relationen

$$\bar{v} = c_a \cdot c_d \cdot v_m \quad /16/$$

där  $\bar{v}$  = beräknad medelhastighet i sektionen i m/s

$c_a$  = allmänna reduktionsfaktorn (Jfr. avd. 174, s. 12)

$c_d$  = korrektionsfaktor för vertikal instrumentutsträckning (Jfr. avd. 175, s. 15-17)

$v_m$  = mätta hastigheten i m/s (Jfr. avd. 171, s. 11)

177. Beräkning av det skattade flödet.

Slutligen beräknas det skattade flödet,  $q_m$ , ur ekvationen

$$q_m = \bar{A} \bar{v} \quad /17/$$

där  $q_m$  = det genom mätning och beräkning skattade flödet i m<sup>3</sup>/s (Jfr. avd. 12, s. 3)

$\bar{A}$  = sektionsmedelarean i m<sup>2</sup> (Jfr. avd. 172, s. 11)

$\bar{v}$  = beräknad medelhastighet i m/s i medelsektionen (Jfr. avd. 176)

2. MÄTNING MED HYDROMETRISK FLYGEL (METODERNA 3-8).21. Underlag för det preliminära förslaget till mätmetoder.211. Litteraturstudier.

Den genomgångna litteraturen om flygelmätningens teori och praktik samt om teorierna om hastighetens fördelning i öppna ledningar är mycket omfattande, åtskilliga hundra uppsatser och bokavsnitt. Endast ett fåtal av dessa många arbeten kommer att åberopas och förtecknas i detta, för praktiska ändamål närmast avsedda häfte.

Beträffande ytterligare litteratur om hastighetens fördelning längs vertikalen och om olika avkortade metoder för lösning av den s. k. 1:a integralen (Se Appendix II, s. 82. formel /3a/) hänvisas till Bjerketorp (1973), som redovisar mer än 150 titlar.

212. Egna undersökningar.

Ganska omfattande egna undersökningar har också utförts, dels i fält, främst under åren 1969-1971 inom ramen för undersökningarna rörande sambandet mellan kulturåtgärder och avrinning (Se avd. 0, s. 2), dels också en tämligen omfattande matematisk analys, utförd 1970-1973, av olika hastighetsfördelningsmodeller och möjligheterna att ur dess härledda avkortade mättningsförfaranden av skilda slag.

22. Uppskattad ungefärlig noggrannhet hos metoderna 3-8.

Det verkliga flödet,  $q$ , antas ligga inom följande intervall i 90 % av alla fall (Jfr. avd. 12, s. 3):

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

där  $q_m$  = det genom mätning och beräkning skattade flödet

$q$  = det verkliga flödet

$p$  = ett "osäkerhetstal", hämtat från tabell 6 ( $p$ -värdena i tabellen gäller endast vid omsorgsfull tillämpning av de föreslagna metoderna)

Tabell 6.

Ungefärlig osäkerhetsmarginal i % vid envertikalsmätning enligt metoderna 3-8 (Jfr. tabell 1, s. 3). Sannolikhetsnivå: 90 %.

M E T O D	Osäkerhetstal, p (i %), för q om mätningssmannen är											
	tämligen ovan						ytterst van och kunnig <sup>1)</sup>					
	n <sub>1</sub>			n <sub>2</sub>			n <sub>1</sub>			n <sub>2</sub>		
	f <sub>g</sub>	f <sub>n</sub>	f <sub>d</sub>	f <sub>g</sub>	f <sub>n</sub>	f <sub>d</sub>	f <sub>g</sub>	f <sub>n</sub>	f <sub>d</sub>	f <sub>g</sub>	f <sub>n</sub>	f <sub>d</sub>
3. Max.ythast.metod STÖRRE-DJUPSMETODER	16	<u>20</u>	24	21	<u>25</u>	29	12	15	18	15	18	21
4-5. Enpunktsmetoder	15	<u>16</u>	21	20	<u>23</u>	26	11	13	15	14	16	18
6-8. Tvåpunktsmetoder	12	<u>15</u>	18	17	<u>20</u>	23	8	10	12	11	13	15

1) Härmed avses en utpräglad expert. Detta fall har intresse endast som en illustration av metodernas yttersta möjligheter.

n<sub>1</sub> = precisionsnivå 1

n<sub>2</sub> = precisionsnivå 2

f<sub>g</sub> = extremt goda mätförutsättningar, t. ex. förekomst av inskodd mätsektion av hög kvalitet.

f<sub>n</sub> = normala mätförutsättningar.

f<sub>d</sub> = extremt dåliga mätförutsättningar, särskilt vad möjligheten att bestämma sektionsarean beträffar.

### 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.

Vinghulets geometriska stigning skall vara högst 0,25.

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

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

och

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

i vilka v = hastigheten

n = antal varv per tidsenhet

a', k', a, och k är konstanter

Ekvationerna /18a/ och /18b/ är oftast egentligen asymptot-  
ekvationer till flygelns generella, hyperboliska ekvation; Se  
närmare härom i Ott (1925).

Den punkt som skiljer den "lägre hastigheten" från den "högre hastig-  
heten, dvs. skärningspunkten mellan de båda räta linjer som ekvationerna  
/18a/ och /18b/ definierar, har abscissan  $n_p = (a' - a)/(k - k')$  och  
ordinatan  $v_p = (a'k - ak')/(k - k')$

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  $\alpha$  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 täm-  
ligen liten. Den bör helst inte överstiga 10 % av sektionbredden i  
höjd med vinghjulscentrum på det djup mätning sker, och helst ej heller  
större än 15 % av sektionsdjupet på mätstället. Utan alltför stor ned-  
gång av precisionen torde dock dessa procenttal få vara 20 % av bredden  
och 25 % av djupet, något lägre för kombinationen höga råhetsklasser  
och låga djupgrupper, något högre för kombinationen låga råhetsklasser  
och höga djupgrupper.

Den hastighet man avser att mäta med hydrometrisk flygel är hastigheten  
i den punkt i mätsektionen i vilken vinghjul saxelns centrum ligger.  
Det mätvärde man i själva verket får är en mer eller mindre god approxi-  
mation av den sökta hastigheten. Mätvärdet är nämligen det viktade me-  
deltalet av hastigheterna i alla punkterna inom en kring centralpunkten  
belägen cirkelyta med halva vinghjulsdiametern som radie (Alla dessa  
punkthastigheter är i sin tur tidsmedeltal!). Viktningen bestämmas i  
varje punkt för det första av punktens avstånd till vinghjulets centrum,  
dvs. av punktens momentarm, samt för det andra av den del av vinghjul-  
varvet varunder varje punkts kraft är verksam.

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 vinghulets är denna hastighets-  
reduktion försumbar.

Såsom framgår av Haeger (1926) medför en lutning av hastighetsfördel-  
ningen inom vinghulets mätjäjong, dvs. en lutning i vinghulets cen-  
trumpunkt av tangenten till hastighetsfördelningen, en höjning av mät-  
värdet i förhållande till det värde man skulle fått om ingen lutning  
förekommit. Denna höjning är beroende av lutningens storlek, av ving-  
hulets stigning, av flygelkonstanterna och av vattnets hastighet i  
centrumpunkten. Höjningen stiger med ökad vinghulsstigning och ökad  
vattenhastighet, samt faller med ökat värde på flygelkonstanten  $a'$ ,  $a$   
eller  $\alpha$ , liksom med ökat värde på flygelkonstanten  $k'$ ,  $k$  eller  $\beta$   
(Jfr. avd. 2311, s. 20-21).

På grund av de mycket komplicerade sammanhang vilka vid flygelmätning  
bestämmer förhållandet mellan mätvärde och punktvärde, har författaren  
t. v. avstått från att utveckla något korrektionsförfarande i stil med  
det för flytarmätning föreslagna (Jfr. avd. 175, s. 15-17). För att  
gardera mot större fel har i stället restriktioner givits för instru-  
mentutsträckning (Se föregående sida).

#### 232. Övrig mätutrustning.

Övrig behövlig mätutrustning är räkneverk eller signalanordning (med op-  
tisk och/eller akustisk signal), stoppur samt mätstång. Vid pejling bör  
mätstången i allmänhet vara försedd med bottensko (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,  $l_{r35}$  eller  $l_{r68}$ , (Jfr. avd 2622, s. 27) uppfyller följande villkor:

- a) är approximativt rakt
- b) har en längs  $l_{r35}$  respektive  $l_{r68}$  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 måttillfällena.
- e) saknar dämningverkan eller har dämningverkan som
  - 1) vid tillämpning av någon av metoderna 3-5 är svag och kompenseras genom förlängning av den nedre säkerhetssträckan,  $l_{sn35}$  (Se avd. 2621, s. 26).
  - 2) vid tillämpning av någon av metoderna 6-8 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,  $l_{sn68}$  (Se avd. 2621, s. 26).



242. Vattenhastighetsvillkor.

(Jfr. avd. 142, s. 5)

För metoderna 3-8 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  $a^*$  (Som brukar ligga obetydligt under den hastighet,  $v_0$ , som erfordras för att flygelns vinghjul inte skall stanna; Se vidare i Ott 1925) eller någonting på 2,0 a 2,5 gånger konstanten  $\alpha$  (Jfr. avd. 2311, s. 20-21). Att hastigheten måste vara så mycket större än  $a^*$  och  $\alpha$  (och  $v_0$ !) beror på strömmens pulsering,

Med tanke på hastighetens avtagande med djupet samt med hänsyn till att pulseringsamplituden ökar med avtagande hastighet inom en och samma vattenmassa (Se t. ex. Murphy 1904 (s. 28-32), Seifert 1906, Schoklitsch 1922, Dementjev 1963, Kolupaila 1964, Bjerketorp 1973) innebär detta att den kritiska vertikalmiddelshastighet som ej får underskridas om mätning skall vara möjlig, stiger i ordningen (Metodnummer) 3  $\rightarrow$  4 och 6  $\rightarrow$  5 och 7  $\rightarrow$  8 (vid användande av samma hydrometriska flygel). Den kritiska vertikalmiddelshastigheten kan i ogynnsamma fall vara inemot tre gånger så stor vid tillämpning av metod 8 som vid användande av metod 3. Oftast har flytarmätningssmetoderna (metod 1 och 2) en ännu lägre kritisk vertikalmiddelshastighet än den i detta avseende bästa flygelmätningssmetoden, metod 3.

De nu relaterade förhållandena måste givetvis beaktas vid val av mätplats (Jfr. avd. 142, s. 5), liksom vid val av mätmetod. Självklart är emellertid att man för en viss mätplats inte behöver binda sig för en enda metod att användas vid alla vattennivåer. Vid relativt högt vattenstånd kan t. ex metod 8 brukas, medan metod 1-2 eller metod 3 tillämpas när vattennivån står som lägst.

25. Klimatiska mätvillkor.

Liksom förhållandet är vid tillämpning av metoderna 1-2 (Jfr. avd. 15, s. 5) påverkas resultatet av mätning enligt metod 3 av blåst, dock i något mindre utsträckning. Utfallet av mätning enligt metoderna 4-8 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 att mäta med någon av de andra metoderna (4-8) i relativt grunda sektioner.

Flyglar som är lagrade i oljebad, har en viss benägenhet att ge för låga mätvärden, när vattentemperaturen är låg. Detta sammanhänger med att oljans viskositet stiger med fallande temperatur och att lagerfriktionen därmed ökar (Natermann 1951); flygelns konstantekvationer är inte längre giltiga. Om möjligt bör därför mätning med sådana flyglar ej ske vid lägre temperatur än  $3-4^{\circ}\text{C}$  (Om inte vattnets strömningshastighet överstiger  $0,75\text{ m/s}$ ), såvida man inte är beredd antingen att acceptera hastighetsnedsättningen och precisionsminskningen eller att införa en korrektionsfaktor.

26. Flygelmättningsförfarande.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 noga fixerat i såväl höjd- som sidled. Detta uppnås säkrast med "stående stång" (Jfr. s. 21).

2613. Vinghjulsaxelns orientering.

Vinghjulsaxeln 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. Alla föreslagna uttryck för minimumsträcklängder ges i form av s. k. mätetalsekvationer. De är dimensionsmässigt inhomogena, vilket dock saknar praktisk betydelse. Sträckuttrycken är ungefärliga och utgör endast preliminära försök att formalisera resultat av egna undersökningar (Jfr. avd. 162, s. 6).

2621. Säkerhetssträckor.

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

De båda säkerhetssträckorna betecknas för metoderna 3-5 med  $l_{sö_{35}}$  för den övre och  $l_{sn_{35}}$  för den nedre. Som motsvarande beteckning gällande för metoderna 6-8 föreslås  $l_{sö_{68}}$  för den övre säkerhetssträckan och  $l_{sn_{68}}$  för den nedre (Jfr. avd. 1622, s. 6)

Säkerhetssträckornas minimilängder föreslås vara:

$$l_{sö_{35}} = l_{sn_{35}} = 12 \cdot \sqrt{v_{mp}} \quad m$$

$$l_{sö_{68}} = l_{sn_{68}} = 9 \cdot \sqrt{v_{mp}} \quad m$$

Vid svag dämning ökas  $l_{sn_{35}}$  till det dubbla eller trefaldiga (Jfr. avd. 241.e.1, s. 23).

Vid måttlig dämning, varmed avses mer än svag dämning, kan inte metoderna 3-5 komma till användning. Däremot kan metoderna 6-8 brukas, under förutsättning att  $l_{sn_{68}}$  ökas till det dubbla eller trefaldiga (Jfr. avd. 241.e.2, s. 23).

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

Tabell 7.

Sambandet mellan  $v_{m_p}$  (i m/s) och kortast tillåtna säkerhetssträckor (i m) vid flygelmätning enligt envertikalsmetoderna 3-5 resp. 6-8.

$v_{m_p}$ (m/s)	$12 \cdot \sqrt{v_{m_p}}$	$9 \cdot \sqrt{v_{m_p}}$
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
1,69	15,6	11,7
1,96	16,8	12,6

2622. Regelbundenhetssträcka.

Regelbundenhetssträckan,  $l_{r35}$  eller  $l_{r68}$ , vid envertikalsmetoder med flygelmätning (metoderna 3-8) utgör summan av de båda säkerhetssträckorna, alltså

för metoderna 3-5:

$$l_{r35} = l_{sö35} + l_{sn35} \quad /19a/$$

och för metoderna 6-8:

$$l_{r68} = l_{sö68} + l_{sn68} \quad /19b/$$

263. Mättid och minimummättid.2631. Mättid.

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

2632. Minimummättid.

## 26321. Definition och beteckning.

Den med hänsyn till ett visst precisionskrav kortaste tillåtna mättiden i en viss punkt föreslås kallas minimummättid med beteckningen  $t_{p_{\min}}$ .

## 26322. Minimummättidens beroende av vattnets s. k. pulsering.

## 263221. Allmänna synpunkter.

Eftersom strömningen ute i diken, bäckar etc. alltid är turbulent i hela eller praktiskt taget hela tvärsnittet (Se t. ex. Andersson 1952, Radermacher 1970, Unbehauen 1970, Bjerketorp 1973) är strömningen också alltid pulserande (Jfr. avd. 242, s. 24). Till följd därav måste vattenhastigheten i en viss punkt observeras (mätas) under en ganska lång tid för att det funna hastighetsmedeltalet skall ge en god skattning av den verkliga medelhastigheten i punkten (Se t. ex. Murphy 1904 (s. 28-32), Seifert 1906, Schoklitsch 1922, Dahl 1928, Dementjev 1963, Kolupaila 1964, Bjerketorp 1973).

Om pulseringens intensitet kan rent allmänt sägas att den tilltager med ökande ojämnheter hos de fasta friktionsytorna, dvs. med med ökande råhet (i vid bemärkelse), samt avtager med minskande avstånd till hastighetsfördelningens maximum i sektionen. Pulseringen är intensivast nära men inte helt intill vattendragets bädd. Mycket nära bädden avtar pulseringen snabbt till noll. Virvlarna s. a. s. släcks ut mot de fasta gränsyterna. Det s. k. laminära gränsskiktet har uppnåtts (Se Andersson 1952, Radermacher 1970, Unbehauen 1970, Bjerketorp 1973).

## 263222. Förslag till formalisering.

Författaren föreslår att  $t_{p_{\min}}$  bestämmas som funktion av

- a) det aktuella kravet på precision, uttryckt t. ex. som en precisionsfaktor,  $P_f$
- b) mätpunktens relativa djupläge,  $z_r$
- c) gradtalet,  $m$ , till den aktuella vertikalhastighetsfördelningen enligt Lavale-Rapps teori (Jfr. sid. 16-17) som funktion av råhetsklass,  $\psi_i$ , och djupgrupp,  $z_{mg}$
- d) totala antalet mätpunkter i sektionen (vertikalen),  $p_n$

Symboliskt kan detta tecknas

$$t_{P_{\min}} = f_1(P_f, z_r, f_2(\psi_i, \bar{z}_{mg}), p_n) \quad /20/$$

eller om  $m = f_2(\psi_i, \bar{z}_{mg})$  och vid ett bestämt värde  $P_f$  på  $P_f$

$$t_{P_{\min}} = f_3(z_r, m, p_n) \quad /20^4/$$

Det närmare utseendet av funktion /20<sup>4</sup>/ 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 omkring 0,2, växer minimummättiden,  $t_{P_{\min}}$ , med ökning av mätpunktens relativa djupläge,  $z_r$ . Minimummättiden växer likaså med ökande råhet,  $\psi$ , och tämligen säkert också med minskande totaldjup,  $z_m$ , åtminstone i tämligen grunda mätsektioner (= små vattendrag), två fakta som leder till slutsatsen att minimummättiden stiger då gradtalet,  $m$ , i Lavale-Rapps högregradsparabel sjunker. Däremot avtager minimummättiden vid relativa djuplägen större än  $z_a$  samt med ökande antal mätpunkter,  $p_n$ , i mätsektionen (Fel i de enskilda punkterna tar statistiskt sett alltmer ut varandra, ju fler mätpunkterna är). Ökningen med  $z_r$  och med  $m$  torde i båda fallen vara accelererande, och detta mer utpräglat för  $z_r$  än för  $m$ . Minskningen med  $p_n$  är tvivelsutan retarderande.

För djuplägen från  $z = 0,0$  till  $z = z_a$  ger litteraturkällorna motsägande besked. De vanligaste utsagorna är emellertid att pulseringen och därmed också minimummättiden i detta intervall antingen

- a) minskar med ökande djupläge, dvs. med ökande avstånd från ytan,
- eller
- b) är oberoende av djupläget.

Det är inte osannolikt att utsaga a) har mest fog för sig. Då emellertid de empiriska rönen i detta avseende inte är entydiga, har författaren för enkelhetens skull antagit att minimummättiden,  $t_{P_{\min}}$ , är oberoende av mätpunktens relativa djupläge,  $z_r$ , i intervallet  $0,0 \leq z_r < z_a$ . Minimummättiden inom detta intervall antages vidare endast vara beroende av kvoten mellan å ena sidan hastigheten på djupet  $z = z_a$  och å andra sidan medelhastigheten. Dessutom antages att  $z_a = 0,2$  (av totaldjupet).

för djup större än eller lika med 0,2 av totaldjupet antar författaren som en första ansats att minimummättidens avtagande med ökat djupläge bestämmas av differensen mellan å ena sidan kvadraten av kvoten mellan hastigheten på 0,2-nivån och ythastigheten, samt å den andra sidan kvadraten av kvoten mellan hastigheten på  $z_r$ -nivån ( $z_r \geq 0,2$ ) och ythastigheten.

De gjorda antagandena leder fram till följande helt preliminära uttryck för funktionen /20'/:

$$t_{Pmin} = \alpha \cdot c_1 + \beta \cdot c_2 \cdot p_n (\gamma - 1) \quad /21/$$

där  $t_{Pmin}$  = minimummättiden

$$c_1 = (m + 1)/m \cdot (0,8)^{1/m} = \text{hastigheten på 0,2-nivån uttryckt i medelhastighet (m = gradtalet i Lavale-Rapps parabel)}$$

$$c_2 = (0,8)^{2/m} - (1 - z_r)^{2/m} = \text{differensen mellan kvadraterna av hastigheterna på 0,2-nivån och på } z_r\text{-nivån uttryckta i ythastighet}$$

$p_n$  = antalet mätpunkter i sektionen

$\alpha$ ,  $\beta$  och  $\gamma$  är numeriska konstanter

Ekvation /21/ gäller för intervallet  $0,2 \leq z_r \leq 0,8$ . För intervallet  $0,0 \leq z_r \leq 0,2$  antas samma  $t_{Pmin}$ -värden gälla som vid  $z_r = 0,2$ .

För den allmänna precisionsnivå (2-4 % osäkerhet i bestämningen av medeltalet av punktmedelhastigheterna) som ligger till grund för de föreslagna sex envertikalsmetoderna med flygelmätning (metoderna 3-8), har författaren efter ganska omfattande prövningar och jämförelser med empiriska data, hämtade från litteraturen, samt kollationering med egna mäterfarenheter, kommit fram till följande förslag till preliminära värden på  $\alpha$ ,  $\beta$  och  $\gamma$

$$\alpha = 101,3$$

$$\beta = 282,0$$

$$\gamma = 0,750$$



Dessa konstanter storleksordning har bestämts med hänsyn till empiriska data och egen erfarenhet. Den exakta storleken har framräknats med hjälp av följande ur praktiska aspekter formulerade, i någon mån godtyckliga förutsättningar:

- a)  $m = \text{konst.} = 4,2$  (dvs. det gradtal som tidigare /sid. 17/ föreslagits gälla för råhetsklass IV, djupgrupp 4)
- b)  $t_{p_{\min}} = 100$  när  $p_n = 2$  och  $z_r = 0,2$
- c)  $t_{p_{\min}} = 160$  när  $p_n = 2$  och  $z_r = 0,6$
- d)  $t_{p_{\min}} = 60$  när  $p_n = 50$  och  $z_r$ -värdena antas ligga jämnt fördelade i intervallet  $0,0 \leq z_r \leq 0,8$  (Detta  $t_{p_{\min}}$ -värde är alltså ett medeltalsvärde. Det har bestämts med numerisk integrering enligt trapetsmetoden och med trapetsbredden 0,01)

Tabell 8a ger minimummättiden,  $t_{p_{\min}}$ , i sekunder för de relevanta djuplägena 0,0, 0,2, 0,5, 0,6 och 0,8 vid tre karakteristiska värden på gradtalet  $m$  enligt Lavale-Rapps teori. De tre gradtalen representerar

- a) ett lägsta, praktiskt förekommande värde, 2,65, avseende råhetsklass VI, djupgrupp 2
- b) ett "normalvärde för små, naturliga vattendrag", avseende råhetsklass IV, djupgrupp 4
- c) ett högsta, praktiskt förekommande värde, 7,30, avseende råhetsklass I, djupgrupp IV

Tabell 8a.

Minimummättid,  $t_{p_{\min}}$ , (i sekunder) vid tillämpning av envertikalsmetoderna 3-8.

Rel. djupläge ( $z_r$ )	Gradtal (m)	Minimummättid, $t_{p_{\min}}$ , vid metod nr.					
		3	4	5	6	7	8
0,0 } 0,2 }	2,65	128			108	108	108
	4,20	119			100	100	100
	7,30	112			94	94	94
0,5	2,65		199		168		
	4,20		170		143		
	7,30		144		121		
0,6	2,65			225		190	
	4,20			190		160	
	7,30			158		133	
0,8	2,65						238
	4,20						203
	7,30						164

Vid mätning enligt metoderna 3-8 i små, naturliga vattendrag med Lavale-Rappska gradtal större än 3,15 (Jfr. sid. 17) torde i allmänhet de riktvärden för minimummättiden vilka ges i tabell 8b, kunna användas.

Tabell 8b.

Riktvärden för minimummättiden,  $t_{p_{min}}$ , vid mätning enl. metoderna 3-8 i små, naturliga vattendrag.

METOD	Minimummättid på relativa mätdjupet			
	0,0-0,2	0,5	0,6	0,8
3	120			
4		170-180		
5			190-210	
6	100	150		
7	100		160-180	
8	100			210

264. Bestämning av vattenspegelbredd och medeldjup vid flygelmätning.

(Jfr. avd. 272, s. 34)

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"),  $\psi_i$ , uppskattas antingen enligt totalbedömningsmetoden (Se avd. 1651, s. 10) eller enligt partialbedömningsförfarandet (Se avd. 1652, s. 10).

27. Beräkningsförfarande vid flygelmätning enligt envertikalsmetoderna 3-8.271. Medelhastigheten i en mätpunkt och beräkningsmätvärde för hastigheten.2711. Medelhastigheten i en mätpunkt.

(Jfr. Appendix II, s. 83)

Medelhastigheten,  $\bar{v}_{pm}$ , i en mätpunkt beräknas ur den använda mättiden,  $t_p$  ( $t_p \geq t_{pmin}$ ; jfr. avd. 263, s. 28-32), och ur det under denna tid avverkade propellervarvsantalet,  $n_p$ , genom att antalet varv per tidsenhet,  $n$ , i den av formlerna /18a/, /18b/ eller /18c/ på sid. 20-21 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 flygel 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 envertikalsmetoderna 3-8 ersättes den mätta hastigheten (mätthastigheten),  $v_m$ , vilken användes vid tillämpning av metoderna 1-2 (Jfr. avd. 171, s. 11), av ett beräkningsmätvärde för hastigheten, vilket också det betecknas med  $v_m$ . Beräkningsmätvärdet för hastigheten är för metod 3 egentligen helt analogt med den mätta hastigheten för metoderna 1-2. Metoderna 4-8 har däremot alla beräkningsmätvärden för hastigheten vilka teoretiskt är mindre än mätta hastigheten enligt metoderna 1-2 (och beräkningsmätvärdet för metod 3).

Beräkningsmätvärdena för hastigheten definieras enligt följande

för metoderna 3-5

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

för metoderna 6-8

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

272. Beräkning av sektionsarean.

Sektionsarean, A, utgör vid flygelmätning helt enkelt produkten av medeldjupet,  $\bar{z}$ , som erhålles ur ekvation /22/ på sid 32, och vattenspegelbredden, b (Jfr. avd. 264, s. 32), dvs.

$$A = \bar{z} \cdot b \quad /25/$$

273. Beräkning av hydrauliskt medeldjup.

Beräkningen inledas med att den vätta perimetern, p, skattas med hjälp av följande approximeringsformel (författarens förslag), analog med formel /8/ på sid. 11:

$$p = b + 2 \bar{z} \quad /26/$$

där p = vätta perimetern

b = vattenspegelbredden

$\bar{z}$  = medeldjupet

} Se avd. 264, s. 32

Det hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , är definitionsmässigt kvoten mellan sektionsarean, A, och vätta perimetern, p, dvs.

$$R_h = A/p = \bar{z} b / (b + 2\bar{z}) \quad /27/$$

Formel /27/ är analog med formel /9/ på sid. 11.

274. Skattning av den allmänna och den speciella reduktionsfaktorn.2741. Vid användande av metod 3.

Vid flygelmätning med tillämpning av envertikalsmetod nr. 3, dvs. vid mätning av hastigheten invid ytan på det ställe i tvärsnittet där ythastigheten är störst, bestäms den allmänna reduktionsfaktorn,  $c_a$ , enligt avd. 174 på sid 12-14 och fås ur tabellerna 16:I-16:VI på sid. 51-53, om precisionsnivå 1 tillämpas, samt ur tabell 17 på sid. 54, om precisionsnivå 2 kommer till användning.

2742. Vid användande av någon av metoderna 4-8.

Vid flygelmätning med tillämpning av någon av envertikalsmetoderna 4-8, dvs. vid mätning på större djup än invid ytan, ersättes den allmänna reduktionsfaktorn av en speciell reduktionsfaktor,  $c_s$ , som härleds ur den allmänna reduktionsfaktorn samt ur det teoretiska (enligt Lavale-Rapps teori) förhållandet mellan en "mätythastighet", definierad som hastigheten på djupläget 0,05 av vertikalens hela djup, och medelhastigheten i vertikalen. Djupläget 0,05 antages representera medelmätdjupet vid tillämpning av metoderna 1-3.

Beräkningsgången är denna:

Förhållandet,  $F$ , mellan hastigheten på djupläget 0,05 av vertikalens hela djup och medelhastigheten i vertikalen anges teoretiskt av följande uttryck

$$F = \alpha (1 - 0,05 / (1 - 0,95^\alpha)) + 1 \quad \left. \vphantom{F} \right\} \quad /28/$$

$$\alpha = (n + 1) / n$$

där  $n$  = gradtalet i den Lavale-Rappska parabeln

Ett "speciellt"  $v_m$ -värde bildas därefter med hjälp av följande ekvation

$$v_m = \bar{v}_v / F \quad /29/$$

där  $\bar{v}_v$  = vertikalens medelhastighet enligt avd. 2752, s. 37

Det enligt ekvation /29/ funna  $v_m$ -värdet insättes i ekvation /11"/ på sid. 12, och  $c_a$  enligt ekvation /11/ på samma sida beräknas.

Slutligen erhålles den speciella reduktionsfaktorn,  $c_s$ , gällande för ett givet  $\bar{v}_v$ , ur följande uttryck

$$c_s = c_a * F \quad /30/$$

27421. Den speciella reduktionsfaktorn vid tillämpning av precisionsnivå 1.

De genom de nyss relaterade räkneoperationerna framtagna värdena på den speciella reduktionsfaktorn,  $c_s$ , vilka alltså endast är avsedda för metoderna 4-8, finns för precisionsnivå 1 (Jfr. sid. 20) angivna i tabellerna 19:I-VI, 20:I-VI, 21:I-VI, 22:I-VI och 23:I-VI på sid. 58 - 67 och gällande för djupgrupperna 2-6 (Se tabell 4, s. 17) och råhetsklasserna I-VI (Se avd. 165, s. 10).

27422. Den speciella reduktionsfaktorn vid tillämpning av precisionsnivå 2.

Anser man sig tillräckligt betjänt av en något lägre noggrannhet, kan man om man så vill utnyttja de värden på den speciella reduktionsfaktorn,  $c_s$ , vid precisionsnivå 2 (Jfr. sid. 20), vilka ges i tabell 24 på sid. 68.

275. Omvandling av beräkningsmätvärdet för hastigheten till medelhastighet i vertikalen vid tillämpning av någon av envertikalsmetoderna 4-8.

2751. Konverteringsfaktorn.

Vid tillämpning av någon av de föreslagna envertikalsmetoderna 4-8 skall en konverteringsfaktor,  $k_i$  ( $4 \leq i \leq 8$ ), användas, med vars hjälp beräkningsmätvärdet,  $v_m$ , för hastigheten (Jfr. avd. 2712, s. 33-34) kan omräknas till medelhastigheten,  $\bar{v}_v$ , i mätvertikalen.

De olika  $k_i$ -värdena har framtagits av författaren med hjälp av Lavale-Rapps parabelteori och med användande av de i tabell 5 på sid. 17 angivna gradtalen för olika råhetsklasser,  $\psi_i$ , och djupgrupper,  $z_{m_g}$  (Observera att djupgrupperna vid flygelmätning betecknas med  $z_{m_g}$  och inte som vid flytarmätning med  $\bar{z}_{m_g}$ !).

Översikt över konverteringsfaktorerna,  $k_i$

Metod 4 (D,5-metoden).

"Exakta" (dvs. teoretiskt exakta) värden på  $k_4$  erhålles från tabell 9 på sid. 47. Utan större noggrannhetsförlust kan för små, naturliga vattendrag enhetsvärdet  $k_4 = 0,95$  användas.

Metod 5 (0,6-metoden).

"Exakta" (dvs. teoretiskt exakta) värden på  $k_5$  erhålles från tabell 10 på sid. 47. För precisionsnivå 2 (Jfr. avd. 22, s. 19-20) kan för små, naturliga vattendrag enhetsvärdet  $k_5 = 1,01$  användas (För inskodda sektioner är motsvarande värde 1,00).

Metod 6 (0,2-0,5-metoden).

Teoretiskt beräknade värden på  $k_6$  erhålles från tabell 11 på sid. 48.

Metod 7 (0,2-0,6-metoden).

Teoretiskt beräknade värden på  $k_7$  erhålles från tabell 12 på sid. 48.

Metod 8 (0,2-0,8-metoden).

Med en teoretisk avvikelse av endast  $\pm 0,001$  är  $k_8 = 0,991$ .

Ett anmärkningsvärt faktum är att en rent empirisk undersökning som under författarens ledning utfördes 1969-1970, gav just faktorn 0,991 (Molin & Montell 1971), vilken teoretiskt deducerades först år 1973.

2752. Medelhastigheten i vertikalen.

Vid tillämpning av någon av envertikalsmetoderna 4-8 erhålles medelhastigheten,  $\bar{v}_v$ , i vertikalen ur följande formel

$$\bar{v}_v = k_i \cdot v_m \quad /31/$$

där  $k_i$  = den konverteringsfaktor som givits i närmast föregående avd. (2751)

$v_m$  = beräkningsmätvärdet för hastigheten enligt avd. 2712, s. 33-34 (m/s)

276. Beräkning av medelhastigheten i sektionen.2761. Vid tillämpning av metod 3.

Vid tillämpning av envertikalsmetod nr. 3 beräknas medelhastigheten i sektionen ur formeln

$$\bar{v} = c_a \cdot v_m \quad /32/$$

där  $\bar{v}$  = medelhastigheten i sektionen (m/s)

$c_a$  = den allmänna reduktionsfaktorn enligt avd. 2741 på sid. 35

$v_m$  = beräkningsmätvärde för hastigheten enligt formel /24a/ på sid. 34 (Avd. 2742) (m/s)

2762. Vid tillämpning av någon av metoderna 4-8.

Vid tillämpning av någon av envertikalsmetoderna 4-8 beräknas medelhastigheten i sektionen ur formeln

$$\bar{v} = c_s \cdot \bar{v}_v \quad (= c_s \cdot k_i \cdot v_m) \quad /33/$$

där  $\bar{v}$  = medelhastigheten (m/s) i sektionen

$c_s$  = den speciella reduktionsfaktorn enligt avd. 2742, s. 35-36

$\bar{v}_v$  = medelhastigheten (m/s) i vertikalen enligt formel /31/ på sid 37 (Avd. 2752)

277. Beräkning av det skattade flödet.

Vid tillämpning av envertikalsmetoderna 3-8 (=flygelmätningssmetoderna) beräknas det skattade flödet,  $q_m$ , slutligen ur den med ekvation /17/ på sid 18 analoga formeln

$$q_m = A \cdot \bar{v} \quad /34/$$

där  $q_m$  = det genom mätning och beräkning skattade flödet i  $m^3/s$  (Jfr. avd. 22, s. 19-20)

$A$  = sektionsarean i  $m^2$  (Jfr. avd. 272, s. 34)

$\bar{v}$  = medelhastighet i sektionen (m/s) enligt formel /32/ (Metod 3) på sid. 37 eller formel /33/ (Metoderna 4-8) på denna sida



3. SAMMANFATTNING.

Föreliggande skrift har tillkommit på tillskyndan av försöksverksamheten inom bevattningsområdet och av i lokala bevattningsproblem engagerade. Den anknyter till de undersökningar rörande kulturåtgärders inverkan på avrinningen, vilka sedan 1967 pågått vid Lantbrukshögskolans avdelning för lantbrukets hydroteknik.

I skriften framlägges i preliminär form förslag till åtta olika metoder för skattning av det momentana flödet i små vattendrag genom mätning av vattenhastigheten i en eller två punkter i en enda vertikal. Metoderna, vilka samtliga torde sakna direkta motsvarigheter i litteraturen, kallas sammanfattningsvis envertikalsmetoder.

Metoderna 1-2, vilka genomgås på sid. 2-18, förutsätter mätning med flytare; metod 1 med ytflytare och metod 2 med s. k. Cabeostav. En steglös övergång mellan metod 1 och metod 2 är möjlig (Se avd. 1753, s. 18).

En uppskattning av dessa två metoders ungefärliga noggrannhet under olika mätförutsättning och vid olika beräkningsprecision redovisas i tabell 1 på sid. 3. Flytaren och kraven på denna behandlas på sid. 3-4 och de ganska höga kraven på mätplatserna formuleras på sid. 5.

På sid. 6-10 lämnas en redogörelse för mätningsförfarandet. Här definieras också en rad olika "sträckbegrepp" (sid. 6-10) med mer eller mindre stark anknytning till mätplatskraven på sid. 5.

Beräkningsförfarandet vid tillämpning av metoderna 1-2 genomgås på sid. 11-18.

Metoderna 3-8, vilka behandlas på sid. 19-38, avser mätning med hydrometrisk flygel; metod 3 invid ytan och metoderna 4-8 på större djup. Metoderna 4-5 är (liksom metod 3) s. k. enpunktsmetoder (med mätning på djuplägena 0,5 respektive 0,6 av mätvertikalens totaldjup), medan metoderna 6-8 är tvåpunktsmetoder (med mätning på djuplägena 0,2 och 0,5 respektive 0,2 och 0,6 respektive 0,2 och 0,8).

En uppskattning av dessa sex metoders ungefärliga noggrannhet under olika mätförutsättningar och vid olika beräkningsprecision redovisas i tabell 6 på sid. 20. Den hydrometriska flygeln och kraven på denna genomgås på sid. 20-22. Kraven på mätplatserna och på vattenhastigheten formuleras på sid. 23-24.

På sid. 25-32 beskrives mätningsförfarandet. Betydande utrymme (sid. 28-32) ägnas här åt ett försök att generalisera och formalisera kraven på minimummättiden,  $t_{\text{Pmin}}$ .

Sid. 33-38, slutligen, behandlar beräkningsförfarandet vid tillämpning av envertikalsmetoderna 3-8 (flygelmätningssmetoderna).

Gemensamt för alla de åtta föreslagen envertikalsmetoderna är för det första, att mätning alltid företages i den vertikal i tvärsnittet som innehåller (eller bedömes innehålla) hela tvärsnittets högsta ythastighet (Jfr. avd. 2611, s. 25).

Gemensamt för alla de åtta föreslagna envertikalsmetoderna är för det andra, att vattendraget vid mätplatsen och för varje mättillfälle måste inordnas i en råhetsklass,  $\psi_i$ , och i en djupgrupp,  $\bar{z}_{mg}$  (vid flytarmätning) eller  $z_{mg}$  (vid flygelmätning).

Råhetsklassificeringen, som behandlas på sid. 10 och även beröres på sid. 32, föreslås ske antingen genom en totalbedömningsmetod eller genom en partialbedömningsmetod.

Klassificering enligt totalbedömningsmetoden beskrives på sid. 10 och utföres med stöd av tabell 13 på sid. 49.

Klassificering enligt partialbedömningsmetoden beskrives även den på sid. 10. Den genomföres med hjälp av tabellerna 14-15 på sid. 50 och 49.

Djupgruppsindelningen ges i tabell 4 på sid. 17.

Gemensamt för alla de åtta föreslagna envertikalsmetoderna är för det tredje, att man måste skatta ett provisoriskt och approximativt hastighetsvärde,  $v_{mp}$  (Se sid. 6 och 26), samt beräkna (approximera) det hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , enligt formel /19/ på sid. 11 (vid flytarmätning) eller formel /27/ på sid 34 (vid flygelmätning). Särskilda approximeringsformler för den vätta perimetern föreslås på sid. 11 och 34 (formel /8/ respektive formel /26/).

Beräkning av det skattade flödet,  $q_m$ , sker i princip på tre olika sätt:

Vid tillämpning av metoderna 1-2 erhålles flödet ur likheten

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

vilken erhållits genom att högra leden av ekvationerna /7/ på sid. 11 och /16/ på sid. 18 insatts i ekvation /17/ på sid. 18.

De olika symbolerna i uttrycket /17<sup>e</sup>/ har följande betydelse:

$q_m$  = det skattade momentana flödet i  $m^3/s$

$\bar{z}$  = medeltalet av medeldjupen (i m), vilket erhålles ur ekvation /3/ (och /3<sup>e</sup>/) på sid. 9

$\bar{b}$  = vattenspegelns medelbredd (i m) enligt ekvation /4/ på sid. 9

- $c_a$  = en allmän reduktionsfaktor, härledd och avhandlad på sid. 12-14. Faktorn är tabulerad i tabell 16:I-16:VI på sid. 51-53 för precisionsnivå 1 och i tabell 17 för precisionsnivå 2 (sid. 54)
- $c_d$  = en korrektionsfaktor för flytarens djupgående, härledd och avhandlad på sid. 15-17 samt tabulerade i tabell 18:1-18:6 på sid. 55-57
- $v_m$  = den mätta hastigheten i m/s enligt formel /6/ på sid. 11

Vid tillämpning av metod 3 erhålles flödet ur likheten

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

vilken erhållits genom att högra leden av ekvationerna /25/ på sid. 34 och /32/ på sid. 37 insatts i ekvation /34/ på sid. 38.

De olika symbolerna i uttrycket /34/ har följande betydelse:

- $q_m$  = det skattade momentana flödet i  $m^3/s$
- $\bar{z}$  = medeldjupet (i m), vilket erhålles från ekvation /22/ på sid. 32
- $b$  = vattenspegelbredden i m (Se sid. 32)
- $c_a$  = samma allmänna reduktionsfaktor som förekommer i likheten /17<sup>6</sup>/
- $v_m$  = ett s. k. beräkningsmätvärde för hastigheten, definierat på sid. 34 (Jfr. sid. 33, överst)

Vid tillämpning av metod 4-8 erhålles flödet ur likheten

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

vilken erhållits genom att högra ledet av ekvation /31/ på sid. 37 insatts i ekvation /33/ på sid. 38, varefter högra ledet av den senare ekvationen jämte högra ledet av ekvation /25/ på sid. 34 insatts i ekvation /34/ på sid. 38.

De olika symbolerna i uttrycket /34<sup>##</sup>/ har följande betydelse:

- $q_m$ ,  $\bar{z}$ ,  $b$  och  $v_m$  har samma innebörd som för likheten /34<sup>#</sup>/ ovan
- $c_s$  = en speciell reduktionsfaktor, som härledes och avhandlas på sid. 35-36 och tabuleras i tabellerna 19-23 på sid. 58-67 för precisionsnivå 1 och i tabell 24 på sid. 68 för precisionsnivå 2
- $k_i$  = en faktor för konvertering av beräkningsmätthastighet till medelhastighet i vertikalen. Konverteringsfaktorn behandlas på sid. 36-37 och är för metoderna 4-7 även tabulerad i tabellerna 9-12 på sid. 47-48.

4. LITTERATURFÖRTECKNING.

(Med bibliotekshänvisning inom parentes)

- Andersson, S., 1952. Kompendium i agronomisk hydroteknik, I. Elementär hydro-  
mekanik. Institutionen för lantbrukets hydroteknik, Stencil-  
tryck, nr. 19. Uppsala. (u)
- Bellasis, E. S., Doran, W. E., Essex, E. H., Hurst, H. E., Lacey, J. M. & Griffith,  
W. M., 1941. Correspondence on " Discharge by surface floats" by  
W. M. Griffith (Inst. Civ. Eng., J. 15:4, s. 284-296). Institution  
of Civil Engineers (London), Journal 16:8, s. 464-485. London. (U)
- Bjerketorp, A., 1973. Några metoder för avkortad mätning och beräkning av flöde  
i små vattendrag. I: Avkortade metoder vid flygelmätning: Verti-  
kalhastighetsbestämning; historik, teori och förslag till nya me-  
toder. Lantbrukshögskolan, Inst. för markvetenskap, avd. för  
lantbrukets hydroteknik. Uppsala. (Manuskript)
- Cowan, W. L., 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients. Agricultural  
Engineering 37:7, s. 473-475. St. Joseph. (u)
- Dahl, Hj., O., 1928. Några ord om vattenmätning medels flygel. Teknisk Tidskrift,  
Mekanik 58:2, s. 149. Norrköping. (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)
- Fischer, J., 1916. Die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in offenen Gerinnen  
in ihrer Beziehung zu den Oberflächen-Geschwindigkeiten. Eine  
hydrotechnische Studie zur Förderung und Vereinfachung der Wasser-  
messungen. Dissertation, Technische Hochschule, Dresden.  
München. (T)
- Griffith, W. M., 1941. Discharge by surface floats. Institution of Civil Engineers  
(London), Journal 15:4, s. 284-296. London. (U)

- Haeger, C. G., 1926. Om vattenmängdsmätningar med hydrometrisk flygel. Teknisk Tidskrift, Mekanik 56:8, s. 101-106; 56:9, s. 118-121. Stockholm. (T)
- Hagen, G., 1884. Geschwindigkeit des strömenden Wassers in verschiedenen Tiefen. Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Abhandlungen, Mathematische Klasse 1883, s. 1-79. Berlin. (V)
- Harlacher, A. R. & Richter, H., 1886. Mittheilungen über eine einfache Ermittlung der Abflussmengen von Flüssen und über die Vorherbestimmung der Wasserstände. Allgemeine Bauzeitung 51:2, s. 17-20; 51:3, s. 25-32. Wien. (T)
- Hartmann, O., 1927. Die Möglichkeit mathematischer Berechnung sekundlicher Wassermengen und Geschwindigkeiten mit Hilfe der Querschnitte und Oberflächengeschwindigkeiten. München. A. Buchholz. 68 s. (x)
- Hydrographischer Dienst in Österreich, 1908. Grundsätzliche Bestimmungen für die Durchführung hydrometrische Erhebungen, 3. Aufl. K. k. hydrographisches Zentralbureau. Wien. (F:T)
- Kolupaila, S., 1930. Ueber die Verteilung der Geschwindigkeiten auf der Lotrechten des Stromes. III. Hydrologische Konferenz der Baltischen Staaten. Warszawa, Mai 1930. Berichte, No. 43. Warszawa. (g)
- Kolupaila, S., 1964. Discussion of "Accuracy of current meter measurements" by R. W. Carter & I. E. Anderson (ASCE, J. Hyd. Div. 89(1963):HY4, s. 105-115). American Society of Civil Engineers, Journal of the Hydraulics Division 90:HY1, s. 352-355. Ann Arbor. (T)
- Matakiewicz, M., 1930. Forschungen über das Verhältnis der mittleren Profilvergeschwindigkeit zur grössten Oberflächengeschwindigkeit in künstlichen Betten und Vorschlag zu einer Messmethode. III. Hydrologische Konferenz der Baltischen Staaten. Warszawa, Mai 1930. Berichte, No. 47. Warszawa. (g)
- Molin, G. & Montell, P., 1971. En jämförelse mellan utvärdering av flygelmätningar enligt den klassiska vertikalkurvemetoden och den amerikanska tvåpunktsmetoden. Lantbrukshögskolan, Inst för markvetenskap, avd. för lantbrukets hydroteknik. Uppsala. (Manuskript)

- Murphy, E. Ch., 1904. Accuracy of stream measurements, 2nd ed. Amerikas Förenta Stater. Geological Survey, Water-Supply and Irrigation Papers, No. 95. Washington. (W)
- Natermann, E., 1951. Ueber die Zuverlässigkeit der Flügelmessungen. Die Wasserwirtschaft 41(1950/51):10, s. 274-277. Stuttgart. (T)
- Ott, L. A., 1925. Theorie und Konstantenbestimmung des hydrometrischen Flügels. Berlin. J. Springer. 49 s., 1 pl. (u)
- Radermacher, H., 1970. Hydraulik und Bemessung offener Entwässerungsgräben mit geringen Dimensionen unter besonderer Berücksichtigung von Verkrautung und Unterhaltung. Bonn. Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität, Institut für Städtebau, Siedlungswesen und Kulturtechnik. Bonn. (Dissertation) (u)
- Rapp, J., 1883. Unsere natürliche Wasserläufe. Wasser- und Geschiebebewegung, Form des selbstgeschaffenen und des abgeänderten Bettes derselben, mit besonderer Berücksichtigung der Rheincorrection, Hydrotechnische Studien aus den Papieren des Oberbaurathes Georg Lavale. Weilheim. Boegler. 58 s. (TUM)
- Rapp, J., 1927. Die Wassergeschwindigkeitsverhältnisse im Querschnitt natürlicher Wasserläufe. Wasserkraft und Wasserwirtschaft 22:7, s. 100-103; 22:8, s. 116-120. München. (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. Tekniska Föreningens i Finland Förhandlingar 26:8, s. 155-159. Helsingfors. (S)
- Thrupp, E. C., 1908. Flowing-Water Problems. Institution of Civil Engineers (London), Minutes of Proceedings 171:1, s. 346-359. London. (U)
- Unbehauen, W., 1970. Die universelle logarithmische Geschwindigkeitsverteilung in natürlichen Gerinnen. Bayerische Landesstelle für Gewässerkunde, Schriftenreihe, H. 2. München. (u)

5. BIBLIOTEKSKOD.

- F:T Tekniska Högskolans i Helsingfors bibliotek, Helsingfors.
- g Sveriges geologiska undersöknings bibliotek, Stockholm.
- S Kungl. Biblioteket, Stockholm.
- T Kungl. Tekniska Högskolans bibliotek, Stockholm.
- TUM Technische Universität München, Bibliothek, München.
- u Lantbrukshögskolans Ultunabibliotek, Uppsala.
- U Uppsala Universitetsbibliotek, Uppsala.
- V Kungl. Vetenskapsakademiens bibliotek, Stockholm.
- W Kungl. Vetenskapssocietetens bibliotek, Uppsala.
- x Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Instituts bibliotek, Stockholm.

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 givet arbete även kan återfinnas på andra bibliotek.

6.

TABELLBILAGA

(Innehåller tabellerna 9-24)



Tabell 9.

Storleken av konverteringsfaktorn,  $k_4$ , (Jfr. avd. 2751, s. 36-37) för beräkningsmätvärdet,  $v_m$ , för hastigheten (Jfr. avd. 2712, s. 33-34) till medelhastighet,  $\bar{v}_v$ , i mätvertikalen (Jfr. avd. 2752, s. 37) vid tillämpning av envertikalsmetod nr. 4 (0,5-metoden).

RÅHETSKLASS	DJUPGRUPP				
	2	3	4	5	6
1	0.965	0.966	0.967	0.968	0.969
2	0.958	0.960	0.961	0.963	0.964
3	0.952	0.954	0.956	0.958	0.960
4	0.948	0.950	0.953	0.955	0.957
5	0.945	0.947	0.950	0.952	0.954
6	0.943	0.945	0.947	0.949	0.952

Tabell 10.

Storleken av konverteringsfaktorn,  $k_5$ , (Jfr. avd. 2751, s. 36-37) för beräkningsmätvärdet,  $v_m$ , för hastigheten (Jfr. avd. 2712, s. 33-34) till medelhastighet,  $\bar{v}_v$ , i mätvertikalen (Jfr. avd. 2752, s. 37) vid tillämpning av envertikalsmetod nr. 5 (0,6-metoden).

RÅHETSKLASS	DJUPGRUPP				
	2	3	4	5	6
1	0.998	0.997	0.997	0.997	0.997
2	1.000	1.000	0.999	0.998	0.998
3	1.005	1.003	1.002	1.000	1.000
4	1.011	1.007	1.005	1.003	1.001
5	1.018	1.012	1.008	1.005	1.003
6	1.026	1.018	1.012	1.008	1.006

Tabell 11.

Storleken av konverteringsfaktorn,  $k_6$ , (Jfr. avd. 2751, s. 36-37) för beräkningsmätvärdet,  $v_m$ , för hastigheten (Jfr. avd. 2712, s. 33-34) till medelhastighet,  $\bar{v}_v$ , i mätvertikalen (Jfr. avd. 2752, s. 37) vid tillämpning av envertikalsmetod nr. 6 (0,2-0,5-metoden).

RAHETSKLASS	DJUPGRUPP					
	2	3	4	5	6	
1	0.930	0.933	0.936	0.939	0.941	
2	0.914	0.919	0.923	0.926	0.930	
3	0.897	0.904	0.909	0.914	0.919	
4	0.885	0.892	0.899	0.905	0.911	
5	0.872	0.881	0.890	0.897	0.903	
6	0.860	0.871	0.881	0.889	0.897	

Tabell 12.

Storleken av konverteringsfaktorn,  $k_7$ , (Jfr. avd. 2751, s. 36-37) för beräkningsmätvärdet,  $v_m$ , för hastigheten (Jfr. avd. 2712, s. 33-34) till medelhastighet,  $\bar{v}_v$ , i mätvertikalen (Jfr. avd. 2752, s. 37) vid tillämpning av envertikalsmetod nr. 7 (0,2-0,6-metoden).

RAHETSKLASS	DJUPGRUPP					
	2	3	4	5	6	
1	0.945	0.948	0.950	0.952	0.954	
2	0.933	0.937	0.940	0.943	0.945	
3	0.920	0.925	0.929	0.933	0.937	
4	0.911	0.917	0.922	0.926	0.931	
5	0.901	0.908	0.915	0.920	0.925	
6	0.893	0.901	0.908	0.914	0.920	

Tabell 13.

Bäddbeskaffenhet och råketsklass,  $\Psi_i$ , vid totalbedömning av ett vattendrags råkhet för beräkning av flöde enligt envertikalsmetoderna 1-8.

Bäddbeskaffenhet	Råketsklass, $\Psi_i$
Bräder eller betong	I
Korrugerad plåt eller ytterst slät och jämn jordkanal (nygrävd)	II
Måttligt ojämn, 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 15.

Råhetstal,  $T_r$  (Summerade råketspoäng från tabell 14 på nästa sida), och råketsklasser,  $\Psi_i$ , vid partialbedömning av ett vattendrags råkhet för beräkning av flöde enligt envertikalsmetoderna 1-8.

Råhetstal, $T_r$	Råketsklass, $\Psi_i$
10	I
15-25	II
30	III
35-40	IV
45-60	V
65-80	VI
> 80	VII

Tabell 14.

Egenskaper och råhetspoäng,  $r_x$ , för beräkning av råhetstal,  $T_r$ , och bestämning av råhetsklass,  $\Psi_i$  (Enligt tabell 15 på föregående sida), vid partialbedömning av ett vattendrags råhet för beräkning av flöde enligt envertikalsmetoderna 1-8.

Egenskap	Råhetspoäng, $r_x$
<u>Ytornas mikrostruktur</u> ( $r_x = r_{ymik}$ )	
<u>Mycket jämn</u> (Trä; betong; plåt)	10
<u>Jämn</u> (Sand eller finare jord; berg)	20
<u>Ojämn</u> (Fint grus)	25
<u>Mycket ojämn</u> (Grovt grus)	30
<u>Ytornas makrostruktur</u> ( $r_x = r_{ymak}$ )	
<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 eller (inom parentes) oröjd</u>	
	( $r_x = r_{veg}$ )
<u>Ingen</u>	0 (0)
<u>Liten</u>	5 (10)
<u>Tämligen liten</u>	10 (25)
<u>Medelstor</u>	15 (45)
<u>Stor</u>	25 (80)
<u>Mycket stor</u>	40 (125)

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

Tabell 16:I-II.

Den allmänna reduktionsfaktorn,  $c_a$ , som funktion av mät hastigheten (beräkningsmätvärdet),  $v_m$ , och hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , vid beräkning av flöde enligt envertikalismetoderna 1-3 och tillämpning av precisionsnivå 1.

RÅHETSKLASS I:

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$					
	0,10	0,30	0,50	0,70	1,00	1,50
0.1	0.74	0.75	0.77	0.78	0.80	0.82
0.2	0.74	0.76	0.77	0.79	0.80	0.82
0.3	0.75	0.76	0.78	0.79	0.80	0.82
0.4	0.75	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82
0.5	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.83
0.6	0.76	0.78	0.79	0.80	0.81	0.83
0.7	0.77	0.78	0.79	0.80	0.81	0.83
0.8	0.77	0.79	0.80	0.80	0.82	0.83
0.9	0.78	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83
1.0	0.78	0.79	0.80	0.81	0.82	0.83
1.5	0.80	0.81	0.81	0.82	0.83	0.84

RÅHETSKLASS II:

0.1	0.69	0.71	0.73	0.74	0.76	0.79
0.2	0.70	0.72	0.73	0.75	0.77	0.79
0.3	0.70	0.72	0.74	0.75	0.77	0.79
0.4	0.71	0.73	0.74	0.76	0.77	0.80
0.5	0.72	0.73	0.75	0.76	0.78	0.80
0.6	0.72	0.74	0.75	0.76	0.78	0.80
0.7	0.73	0.74	0.76	0.77	0.78	0.80
0.8	0.73	0.75	0.76	0.77	0.78	0.80
0.9	0.74	0.75	0.76	0.77	0.79	0.81
1.0	0.74	0.76	0.77	0.78	0.79	0.81
1.5	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80	0.82

Tabell 16:III-IV.

Den allmänna reduktionsfaktorn,  $c_a$ , som funktion av mätastigheten (beräkningsmätvärdet),  $v_m$ , och hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , vid beräkning av flöde enligt envertikalismetoderna 1-3 och tillämpning av precisionsnivå 1.

RÅHETSKLASS III:

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$					
	0,10	0,30	0,50	0,70	1,00	1,50
0,1	0,64	0,67	0,69	0,71	0,73	0,76
0,2	0,65	0,68	0,70	0,71	0,73	0,76
0,3	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74	0,77
0,4	0,67	0,69	0,71	0,72	0,74	0,77
0,5	0,68	0,69	0,71	0,73	0,75	0,77
0,6	0,68	0,70	0,72	0,73	0,75	0,77
0,7	0,69	0,71	0,72	0,73	0,75	0,77
0,8	0,69	0,71	0,72	0,74	0,75	0,78
0,9	0,70	0,72	0,73	0,74	0,76	0,78
1,0	0,71	0,72	0,73	0,74	0,76	0,78
1,5	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,79

RÅHETSKLASS IV:

0,1	0,60	0,63	0,65	0,67	0,70	0,73
0,2	0,61	0,63	0,66	0,68	0,70	0,73
0,3	0,62	0,64	0,66	0,68	0,71	0,74
0,4	0,62	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74
0,5	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,74
0,6	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72	0,74
0,7	0,65	0,67	0,68	0,70	0,72	0,75
0,8	0,65	0,67	0,69	0,70	0,72	0,75
0,9	0,66	0,68	0,69	0,71	0,73	0,75
1,0	0,66	0,68	0,70	0,71	0,73	0,75
1,5	0,69	0,71	0,72	0,73	0,74	0,77

Tabell 16:V-VI.

Den allmänna reduktionsfaktorn,  $c_a$ , som funktion av mätastigheten (beräkningsmätvärdet),  $v_m$ , och hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , vid beräkning av flöde enligt envertikalismetoderna 1-3 och tillämpning av precisionsnivå 1.

RÅHETSKLASS V:

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$					
	0,10	0,30	0,50	0,70	1,00	1,50
0,1	0,55	0,58	0,61	0,63	0,66	0,70
0,2	0,56	0,59	0,62	0,64	0,67	0,71
0,3	0,57	0,60	0,62	0,65	0,67	0,71
0,4	0,58	0,61	0,63	0,65	0,68	0,71
0,5	0,59	0,61	0,64	0,66	0,68	0,71
0,6	0,60	0,62	0,64	0,66	0,69	0,72
0,7	0,60	0,63	0,65	0,67	0,69	0,72
0,8	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,72
0,9	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,73
1,0	0,63	0,65	0,66	0,68	0,70	0,73
1,5	0,65	0,67	0,69	0,70	0,72	0,74

RÅHETSKLASS VI:

0,1	0,50	0,54	0,57	0,60	0,63	0,67
0,2	0,52	0,55	0,58	0,61	0,64	0,68
0,3	0,53	0,56	0,59	0,61	0,64	0,68
0,4	0,54	0,57	0,59	0,62	0,65	0,68
0,5	0,55	0,58	0,60	0,62	0,65	0,69
0,6	0,55	0,58	0,61	0,63	0,65	0,69
0,7	0,56	0,59	0,61	0,63	0,66	0,69
0,8	0,57	0,60	0,62	0,64	0,66	0,70
0,9	0,58	0,60	0,62	0,64	0,67	0,70
1,0	0,59	0,61	0,63	0,65	0,67	0,70
1,5	0,62	0,64	0,65	0,67	0,69	0,71

Tabell 17.

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

Råhetsklass	$c_a$ 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



Tabell 18:1-2.

Korrektionsfaktorn för djupgåendet vid mätning med flytare,  $c_d$ , som funktion av relativa djupgåendet,  $d_r$  ( $D_R$ ), och råhetsklassen,  $\psi_i$ .

DJUPGRUPP 1 ( $\leq 0,10$ )

+++++

I	I	RÅHETSKLASS										I		
		I	1	I	2	I	3	I	4	I	5		I	6
I	$D_R$	I	1	I	2	I	3	I	4	I	5	I	6	I
I	0.10	I	1.000	I	1.000	I	1.000	I	1.000	I	1.000	I	1.000	I
I	0.15	I	1.004	I	1.006	I	1.007	I	1.009	I	1.010	I	1.012	I
I	0.20	I	1.009	I	1.012	I	1.015	I	1.018	I	1.021	I	1.025	I
I	0.25	I	1.014	I	1.018	I	1.023	I	1.028	I	1.033	I	1.038	I
I	0.30	I	1.019	I	1.025	I	1.031	I	1.038	I	1.045	I	1.052	I
I	0.35	I	1.024	I	1.031	I	1.040	I	1.048	I	1.057	I	1.067	I
I	0.40	I	1.030	I	1.039	I	1.050	I	1.059	I	1.070	I	1.082	I
I	0.45	I	1.035	I	1.046	I	1.059	I	1.071	I	1.084	I	1.098	I
I	0.50	I	1.041	I	1.054	I	1.070	I	1.084	I	1.099	I	1.116	I
I	0.55	I	1.048	I	1.063	I	1.081	I	1.097	I	1.115	I	1.134	I
I	0.60	I	1.055	I	1.072	I	1.093	I	1.111	I	1.132	I	1.154	I
I	0.65	I	1.063	I	1.082	I	1.106	I	1.126	I	1.150	I	1.176	I
I	0.70	I	1.071	I	1.093	I	1.119	I	1.143	I	1.170	I	1.199	I
I	0.75	I	1.080	I	1.104	I	1.135	I	1.161	I	1.192	I	1.224	I
I	0.80	I	1.089	I	1.117	I	1.151	I	1.181	I	1.215	I	1.252	I
I	0.85	I	1.100	I	1.132	I	1.170	I	1.204	I	1.242	I	1.283	I
I	0.90	I	1.113	I	1.148	I	1.191	I	1.229	I	1.272	I	1.318	I
I	0.95	I	1.129	I	1.169	I	1.217	I	1.260	I	1.308	I	1.359	I

## DJUPGRUPP 2 (0,11-0,30)

+++++

I	I	RÅHETSKLASS										I		
		I	1	I	2	I	3	I	4	I	5		I	6
I	$D_R$	I	1	I	2	I	3	I	4	I	5	I	6	I
I	0.10	I	1.000	I	1.000	I	1.000	I	1.000	I	1.000	I	1.000	I
I	0.15	I	1.004	I	1.005	I	1.007	I	1.008	I	1.009	I	1.010	I
I	0.20	I	1.008	I	1.011	I	1.014	I	1.016	I	1.019	I	1.021	I
I	0.25	I	1.013	I	1.017	I	1.021	I	1.025	I	1.029	I	1.033	I
I	0.30	I	1.018	I	1.023	I	1.029	I	1.034	I	1.039	I	1.045	I
I	0.35	I	1.023	I	1.029	I	1.037	I	1.043	I	1.050	I	1.058	I
I	0.40	I	1.028	I	1.036	I	1.045	I	1.053	I	1.062	I	1.071	I
I	0.45	I	1.033	I	1.043	I	1.054	I	1.064	I	1.074	I	1.085	I
I	0.50	I	1.039	I	1.051	I	1.064	I	1.075	I	1.087	I	1.100	I
I	0.55	I	1.045	I	1.059	I	1.074	I	1.087	I	1.101	I	1.116	I
I	0.60	I	1.052	I	1.067	I	1.085	I	1.100	I	1.116	I	1.133	I
I	0.65	I	1.059	I	1.076	I	1.096	I	1.113	I	1.132	I	1.151	I
I	0.70	I	1.067	I	1.086	I	1.109	I	1.128	I	1.149	I	1.171	I
I	0.75	I	1.075	I	1.097	I	1.123	I	1.144	I	1.168	I	1.193	I
I	0.80	I	1.085	I	1.109	I	1.138	I	1.162	I	1.189	I	1.217	I
I	0.85	I	1.095	I	1.123	I	1.155	I	1.182	I	1.213	I	1.244	I
I	0.90	I	1.107	I	1.138	I	1.175	I	1.205	I	1.239	I	1.274	I
I	0.95	I	1.122	I	1.157	I	1.198	I	1.233	I	1.271	I	1.310	I

Tabell 18:3-4.

Korrektionsfaktorn för djupgåendet vid mätning med flytare,  $c_d$ , som funktion av relativa djupgåendet,  $d_r$  ( $D_R$ ), och råhetsklassen,  $\psi_i$ .

## DJUPGRUPP 3 (0,31-0,60)

+++++

$D_R$	RÅHETSKLASS					
	1	2	3	4	5	6
0.10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.15	1.004	1.005	1.006	1.007	1.008	1.009
0.20	1.008	1.010	1.013	1.015	1.017	1.019
0.25	1.012	1.016	1.019	1.022	1.026	1.029
0.30	1.017	1.021	1.026	1.031	1.035	1.040
0.35	1.022	1.027	1.034	1.039	1.045	1.051
0.40	1.027	1.034	1.042	1.048	1.055	1.062
0.45	1.032	1.040	1.050	1.058	1.066	1.075
0.50	1.037	1.047	1.059	1.068	1.078	1.088
0.55	1.043	1.055	1.068	1.079	1.090	1.102
0.60	1.049	1.063	1.078	1.090	1.104	1.117
0.65	1.056	1.071	1.089	1.103	1.118	1.133
0.70	1.063	1.081	1.100	1.116	1.133	1.151
0.75	1.071	1.091	1.113	1.131	1.150	1.170
0.80	1.080	1.102	1.127	1.147	1.169	1.191
0.85	1.090	1.115	1.142	1.165	1.190	1.214
0.90	1.102	1.129	1.160	1.186	1.214	1.241
0.95	1.116	1.147	1.182	1.211	1.242	1.273

## DJUPGRUPP 4 (0,61-1,00)

+++++

$D_R$	RÅHETSKLASS					
	1	2	3	4	5	6
0.10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.15	1.004	1.005	1.006	1.007	1.007	1.008
0.20	1.008	1.010	1.012	1.013	1.015	1.017
0.25	1.012	1.015	1.018	1.021	1.023	1.026
0.30	1.016	1.020	1.025	1.028	1.032	1.035
0.35	1.021	1.026	1.031	1.036	1.041	1.045
0.40	1.025	1.032	1.039	1.044	1.050	1.056
0.45	1.030	1.038	1.046	1.053	1.060	1.067
0.50	1.035	1.044	1.054	1.062	1.070	1.078
0.55	1.041	1.051	1.063	1.072	1.082	1.091
0.60	1.047	1.059	1.072	1.083	1.094	1.104
0.65	1.053	1.067	1.082	1.094	1.106	1.119
0.70	1.060	1.076	1.093	1.106	1.120	1.134
0.75	1.068	1.085	1.104	1.120	1.136	1.151
0.80	1.076	1.096	1.117	1.134	1.152	1.170
0.85	1.086	1.108	1.132	1.151	1.171	1.191
0.90	1.097	1.121	1.148	1.170	1.193	1.215
0.95	1.110	1.138	1.169	1.193	1.219	1.244

Tabell 18:5-6.

Korrektionsfaktorn för djupgåendet vid mätning med flytare,  $c_d$ , som funktion av relativa djupgåendet,  $d_r$  ( $D_R$ ), och råhetsklassen,  $\psi_i$ .

## DJUPGRUPP 5 (1,01-1,50)

+++++

$D_R$	RÅHETSKLASS					
	1	2	3	4	5	6
0.10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.15	1.004	1.004	1.005	1.006	1.007	1.007
0.20	1.007	1.009	1.011	1.012	1.014	1.015
0.25	1.011	1.014	1.017	1.019	1.021	1.023
0.30	1.015	1.019	1.023	1.026	1.029	1.032
0.35	1.020	1.024	1.029	1.033	1.037	1.041
0.40	1.024	1.030	1.036	1.041	1.046	1.050
0.45	1.029	1.036	1.043	1.049	1.055	1.060
0.50	1.034	1.042	1.051	1.057	1.064	1.071
0.55	1.039	1.048	1.059	1.066	1.074	1.082
0.60	1.045	1.055	1.067	1.076	1.085	1.094
0.65	1.051	1.063	1.076	1.087	1.097	1.107
0.70	1.058	1.071	1.086	1.098	1.110	1.121
0.75	1.065	1.080	1.097	1.110	1.124	1.136
0.80	1.073	1.090	1.109	1.124	1.139	1.153
0.85	1.082	1.101	1.123	1.139	1.156	1.172
0.90	1.092	1.114	1.138	1.157	1.176	1.194
0.95	1.105	1.130	1.157	1.178	1.200	1.220

## DJUPGRUPP 6 (1,51-2,50)

+++++

$D_R$	RÅHETSKLASS					
	1	2	3	4	5	6
0.10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
0.15	1.003	1.004	1.005	1.006	1.006	1.007
0.20	1.007	1.009	1.010	1.011	1.013	1.014
0.25	1.011	1.013	1.016	1.018	1.020	1.021
0.30	1.015	1.018	1.021	1.024	1.027	1.029
0.35	1.019	1.023	1.027	1.031	1.034	1.037
0.40	1.023	1.028	1.034	1.038	1.042	1.046
0.45	1.028	1.034	1.040	1.045	1.050	1.055
0.50	1.032	1.040	1.047	1.053	1.059	1.065
0.55	1.037	1.046	1.055	1.062	1.068	1.075
0.60	1.043	1.052	1.063	1.071	1.078	1.086
0.65	1.049	1.060	1.071	1.080	1.089	1.098
0.70	1.055	1.067	1.081	1.091	1.101	1.110
0.75	1.062	1.076	1.091	1.102	1.114	1.124
0.80	1.069	1.085	1.102	1.115	1.128	1.140
0.85	1.078	1.096	1.115	1.129	1.143	1.157
0.90	1.088	1.108	1.129	1.145	1.162	1.177
0.95	1.100	1.123	1.147	1.165	1.184	1.201

Tabell 19:I-III.

Den speciella reduktionsfaktorn,  $c_s$ , som funktion av beräkningsmätvärdet,  $v_m$ , och hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , vid beräkning av flöde enligt envertikalsmetoderna 4-8 och tillämpning av precisionsnivå 1.

DJUPGRUPP 2. RÅHETSKLASS I.

*Så som i tabellen för Råhetsklass II*

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$				
	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
0.05	0.84	0.84	0.85	0.85	0.86
0.20	0.85	0.85	0.86	0.86	0.87
0.40	0.86	0.86	0.87	0.87	0.88
0.60	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88
0.80	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89
1.00	0.89	0.89	0.90	0.90	0.90
1.50	0.91	0.91	0.91	0.92	0.92
2.00	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93

DJUPGRUPP 2. RÅHETSKLASS II.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$				
	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
0.05	0.81	0.82	0.82	0.83	0.84
0.20	0.82	0.83	0.83	0.84	0.85
0.40	0.84	0.84	0.85	0.85	0.86
0.60	0.85	0.85	0.86	0.86	0.87
0.80	0.86	0.87	0.87	0.87	0.88
1.00	0.87	0.88	0.88	0.88	0.89
1.50	0.90	0.90	0.90	0.90	0.91
2.00	0.91	0.92	0.92	0.92	0.93

DJUPGRUPP 2. RÅHETSKLASS III.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$				
	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
0.05	0.78	0.79	0.80	0.81	0.82
0.20	0.80	0.80	0.81	0.82	0.83
0.40	0.81	0.82	0.83	0.83	0.84
0.60	0.83	0.83	0.84	0.85	0.85
0.80	0.84	0.85	0.85	0.86	0.86
1.00	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88
1.50	0.88	0.89	0.89	0.89	0.90
2.00	0.90	0.91	0.91	0.91	0.92

## Tabell 19:IV-VI.

Den speciella reduktionsfaktorn,  $c_s$ , som funktion av beräkningsmätvärdet,  $v_m$ , och hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , vid beräkning av flöde enligt envertikalsmetoderna 4-8 och tillämpning av precisionsnivå 1.

## DJUPGRUPP 2. RÅHETSKLASS IV.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$				
	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
0.05	0.75	0.76	0.77	0.78	0.78
0.20	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80
0.40	0.78	0.79	0.80	0.80	0.81
0.60	0.80	0.80	0.81	0.82	0.83
0.80	0.81	0.82	0.83	0.83	0.84
1.00	0.83	0.83	0.84	0.85	0.85
1.50	0.86	0.86	0.87	0.87	0.88
2.00	0.88	0.89	0.89	0.90	0.90

## DJUPGRUPP 2. RÅHETSKLASS V.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$				
	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
0.05	0.71	0.72	0.73	0.74	0.75
0.20	0.72	0.74	0.75	0.76	0.77
0.40	0.74	0.76	0.77	0.78	0.78
0.60	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80
0.80	0.78	0.79	0.80	0.81	0.81
1.00	0.80	0.80	0.81	0.82	0.83
1.50	0.83	0.84	0.85	0.85	0.86
2.00	0.86	0.87	0.87	0.88	0.88

## DJUPGRUPP 2. RÅHETSKLASS VI.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$				
	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
0.05	0.67	0.68	0.69	0.71	0.72
0.20	0.68	0.70	0.71	0.72	0.74
0.40	0.71	0.72	0.73	0.74	0.75
0.60	0.73	0.74	0.75	0.76	0.77
0.80	0.75	0.76	0.77	0.78	0.79
1.00	0.76	0.77	0.78	0.79	0.80
1.50	0.80	0.81	0.82	0.83	0.83
2.00	0.83	0.84	0.85	0.85	0.86

Tabell 20:I-III.

Den speciella reduktionsfaktorn,  $c_s$ , som funktion av beräkningsmätvärdet,  $v_m$ , och hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , vid beräkning av flöde enligt envertikalsmetoderna 4-8 och tillämpning av precisionsnivå 1.

## DJUPGRUPP 3. RÅHETSKLASS I.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$				
	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50
0.05	0.85	0.85	0.86	0.87	0.87
0.20	0.86	0.86	0.86	0.87	0.88
0.40	0.87	0.87	0.87	0.88	0.89
0.60	0.88	0.88	0.88	0.89	0.90
0.80	0.88	0.89	0.89	0.90	0.90
1.00	0.89	0.90	0.90	0.90	0.91
1.50	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92
2.00	0.92	0.93	0.93	0.93	0.94

## DJUPGRUPP 3. RÅHETSKLASS II.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$				
	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50
0.05	0.82	0.83	0.83	0.84	0.86
0.20	0.83	0.84	0.84	0.85	0.86
0.40	0.84	0.85	0.85	0.86	0.87
0.60	0.86	0.86	0.86	0.87	0.88
0.80	0.87	0.87	0.87	0.88	0.89
1.00	0.88	0.88	0.88	0.89	0.90
1.50	0.90	0.90	0.90	0.91	0.91
2.00	0.91	0.92	0.92	0.92	0.93

## DJUPGRUPP 3. RÅHETSKLASS III.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$				
	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50
0.05	0.80	0.80	0.81	0.82	0.84
0.20	0.81	0.81	0.82	0.83	0.85
0.40	0.82	0.83	0.83	0.85	0.86
0.60	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87
0.80	0.85	0.85	0.86	0.87	0.88
1.00	0.86	0.86	0.87	0.88	0.88
1.50	0.88	0.89	0.89	0.90	0.90
2.00	0.90	0.91	0.91	0.91	0.92

Tabell 20:IV-VI.

Den speciella reduktionsfaktorn,  $c_s$ , som funktion av beräkningsmätvärdet,  $v_m$ , och hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , vid beräkning av flöde enligt envertikalsmetoderna 4-8 och tillämpning av precisionsnivå 1.

## DJUPGRUPP 3. RÅHETSKLASS IV.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$									
	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.76	0.77	0.78	0.79	0.81
0.05	0.76	0.77	0.78	0.79	0.81	0.76	0.77	0.78	0.79	0.81
0.20	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82	0.77	0.78	0.79	0.81	0.82
0.40	0.79	0.80	0.80	0.82	0.83	0.79	0.80	0.80	0.82	0.83
0.60	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84
0.80	0.82	0.82	0.83	0.84	0.85	0.82	0.82	0.83	0.84	0.85
1.00	0.83	0.84	0.84	0.85	0.86	0.83	0.84	0.84	0.85	0.86
1.50	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89
2.00	0.88	0.88	0.89	0.90	0.90	0.88	0.88	0.89	0.90	0.90

## DJUPGRUPP 3. RÅHETSKLASS V.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$									
	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.72	0.74	0.75	0.76	0.78
0.05	0.72	0.74	0.75	0.76	0.78	0.72	0.74	0.75	0.76	0.78
0.20	0.74	0.75	0.76	0.78	0.79	0.74	0.75	0.76	0.78	0.79
0.40	0.76	0.77	0.77	0.79	0.81	0.76	0.77	0.77	0.79	0.81
0.60	0.77	0.78	0.79	0.80	0.82	0.77	0.78	0.79	0.80	0.82
0.80	0.79	0.80	0.80	0.82	0.83	0.79	0.80	0.80	0.82	0.83
1.00	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84
1.50	0.83	0.84	0.84	0.85	0.87	0.83	0.84	0.84	0.85	0.87
2.00	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89

## DJUPGRUPP 3. RÅHETSKLASS VI.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$									
	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	0.69	0.70	0.71	0.73	0.75
0.05	0.69	0.70	0.71	0.73	0.75	0.69	0.70	0.71	0.73	0.75
0.20	0.70	0.71	0.72	0.74	0.76	0.70	0.71	0.72	0.74	0.76
0.40	0.72	0.73	0.74	0.76	0.78	0.72	0.73	0.74	0.76	0.78
0.60	0.74	0.75	0.76	0.78	0.79	0.74	0.75	0.76	0.78	0.79
0.80	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80	0.75	0.76	0.77	0.79	0.80
1.00	0.77	0.78	0.79	0.80	0.82	0.77	0.78	0.79	0.80	0.82
1.50	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84
2.00	0.83	0.84	0.84	0.85	0.86	0.83	0.84	0.84	0.85	0.86

Tabell 21:I-III.

Den speciella reduktionsfaktorn,  $c_s$ , som funktion av beräkningsmätvärdet,  $v_m$ , och hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , vid beräkning av flöde enligt envertikalsmetoderna 4-8 och tillämpning av precisionsnivå 1.

## DJUPGRUPP 4. RÅHETSKLASS I.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$							
	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90		
0.05	0.86	0.87	0.88	0.88	0.89	0.90		
0.20	0.87	0.88	0.88	0.89	0.90	0.90		
0.40	0.88	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91		
0.60	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91		
0.80	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91	0.92		
1.00	0.90	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92		
1.50	0.91	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93		
2.00	0.93	0.93	0.93	0.94	0.94	0.94		

## DJUPGRUPP 4. RÅHETSKLASS II.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$							
	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90		
0.05	0.84	0.85	0.86	0.87	0.87	0.88		
0.20	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89		
0.40	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89		
0.60	0.87	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90		
0.80	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91		
1.00	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91		
1.50	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92	0.93		
2.00	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93	0.94		

## DJUPGRUPP 4. RÅHETSKLASS III.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$							
	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90		
0.05	0.81	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87		
0.20	0.82	0.83	0.85	0.86	0.87	0.87		
0.40	0.84	0.85	0.86	0.87	0.87	0.88		
0.60	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89		
0.80	0.86	0.87	0.87	0.88	0.89	0.90		
1.00	0.87	0.87	0.88	0.89	0.90	0.90		
1.50	0.89	0.89	0.90	0.91	0.91	0.92		
2.00	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92	0.93		



Tabell 21:IV-VI.

Den speciella reduktionsfaktorn  $c_s$ , som funktion av beräkningsmätvärdet,  $v_m$ , och hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , vid beräkning av flöde enligt envertikalsmetoderna 4-8 och tillämpning av precisionsnivå 1.

## DJUPGRUPP 4. RÅHETSKLASS IV.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$								
	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90			
0.05	0.78	0.80	0.81	0.82	0.83	0.85			
0.20	0.79	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85			
0.40	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86			
0.60	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87			
0.80	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88			
1.00	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88			
1.50	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90			
2.00	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91	0.92			

## DJUPGRUPP 4. RÅHETSKLASS V.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$								
	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90			
0.05	0.75	0.77	0.78	0.80	0.81	0.82			
0.20	0.76	0.78	0.79	0.81	0.82	0.83			
0.40	0.77	0.79	0.80	0.82	0.83	0.84			
0.60	0.79	0.80	0.82	0.83	0.84	0.85			
0.80	0.80	0.81	0.83	0.84	0.85	0.86			
1.00	0.81	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87			
1.50	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88			
2.00	0.86	0.87	0.88	0.88	0.89	0.90			

## DJUPGRUPP 4. RÅHETSKLASS VI.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$								
	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90			
0.05	0.71	0.73	0.75	0.77	0.78	0.80			
0.20	0.73	0.74	0.76	0.78	0.79	0.81			
0.40	0.74	0.76	0.78	0.79	0.80	0.82			
0.60	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.83			
0.80	0.77	0.79	0.80	0.81	0.82	0.84			
1.00	0.78	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84			
1.50	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86			
2.00	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88			

Tabell 22:I-III.

Den speciella reduktionsfaktorn,  $c_s$ , som funktion av beräkningsmätvärdet,  $v_m$ , och hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , vid beräkning av flöde enligt envertikalsmetoderna 4-8 och tillämpning av precisionsnivå 1.

## DJUPGRUPP 5. RÅHETSKLASS I.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$								
	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.25			
0.05	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91			
0.20	0.88	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91			
0.40	0.89	0.89	0.90	0.90	0.91	0.92			
0.60	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91	0.92			
0.80	0.90	0.90	0.91	0.91	0.92	0.93			
1.00	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92	0.93			
1.50	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	0.94			
2.00	0.93	0.93	0.94	0.94	0.94	0.95			

## DJUPGRUPP 5. RÅHETSKLASS II.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$								
	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.25			
0.05	0.85	0.86	0.87	0.88	0.88	0.90			
0.20	0.86	0.87	0.87	0.88	0.89	0.90			
0.40	0.87	0.87	0.88	0.89	0.89	0.91			
0.60	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91			
0.80	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91	0.92			
1.00	0.89	0.89	0.90	0.91	0.91	0.92			
1.50	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92	0.93			
2.00	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	0.94			

## DJUPGRUPP 5. RÅHETSKLASS III.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$								
	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.25			
0.05	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.89			
0.20	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87	0.89			
0.40	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.90			
0.60	0.86	0.86	0.87	0.88	0.89	0.90			
0.80	0.86	0.87	0.88	0.89	0.89	0.91			
1.00	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90	0.91			
1.50	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91	0.92			
2.00	0.90	0.91	0.91	0.92	0.92	0.93			

Tabell 22:IV-VI.

Den speciella reduktionsfaktorn,  $c_s$ , som funktion av beräkningsmätvärdet,  $v_m$ , och hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , vid beräkning av flöde enligt envertikalsmetoderna 4-8 och tillämpning av precisionsnivå 1.

DJUPGRUPP 5. RÅHETSKLASS IV.  
=====

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$								
	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.25			
0.05	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.87			
0.20	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.87			
0.40	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.88			
0.60	0.83	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88			
0.80	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87	0.89			
1.00	0.85	0.86	0.86	0.87	0.88	0.90			
1.50	0.87	0.87	0.88	0.89	0.89	0.91			
2.00	0.88	0.89	0.90	0.90	0.91	0.92			

DJUPGRUPP 5. RÅHETSKLASS V.  
=====

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$								
	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.25			
0.05	0.77	0.78	0.80	0.81	0.82	0.85			
0.20	0.78	0.79	0.80	0.82	0.83	0.85			
0.40	0.79	0.80	0.81	0.83	0.84	0.86			
0.60	0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.87			
0.80	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85	0.87			
1.00	0.82	0.83	0.84	0.85	0.86	0.88			
1.50	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.89			
2.00	0.86	0.87	0.88	0.88	0.89	0.91			

DJUPGRUPP 5. RÅHETSKLASS VI.  
=====

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$								
	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.25			
0.05	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79	0.82			
0.20	0.75	0.76	0.78	0.79	0.80	0.83			
0.40	0.76	0.77	0.79	0.80	0.81	0.84			
0.60	0.77	0.78	0.80	0.81	0.82	0.85			
0.80	0.78	0.80	0.81	0.82	0.83	0.85			
1.00	0.79	0.81	0.82	0.83	0.84	0.86			
1.50	0.82	0.83	0.84	0.85	0.85	0.87			
2.00	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87	0.89			

Tabell 23:I-III.

Den speciella reduktionsfaktorn,  $c_s$ , som funktion av beräkningsmätvärdet,  $v_m$ , och hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , vid beräkning av flöde enligt envertikalsmetoderna 4-8 och tillämpning av precisionsnivå 1.

## DJUPGRUPP 6. RÅHETSKLASS I.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$								
	0.90	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00			
0.05	0.89	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94			
0.20	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94			
0.40	0.90	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94			
0.60	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.94			
0.80	0.91	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95			
1.00	0.91	0.92	0.93	0.93	0.94	0.95			
1.50	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95			
2.00	0.93	0.94	0.94	0.95	0.95	0.96			

## DJUPGRUPP 6. RÅHETSKLASS II.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$								
	0.90	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00			
0.05	0.87	0.88	0.89	0.91	0.92	0.93			
0.20	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.93			
0.40	0.88	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93			
0.60	0.89	0.89	0.91	0.92	0.93	0.94			
0.80	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94			
1.00	0.90	0.90	0.92	0.93	0.93	0.94			
1.50	0.91	0.92	0.93	0.93	0.94	0.95			
2.00	0.92	0.93	0.93	0.94	0.95	0.95			

## DJUPGRUPP 6. RÅHETSKLASS III.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$								
	0.90	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00			
0.05	0.85	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92			
0.20	0.86	0.86	0.88	0.90	0.91	0.92			
0.40	0.86	0.87	0.89	0.90	0.91	0.93			
0.60	0.87	0.88	0.89	0.91	0.92	0.93			
0.80	0.88	0.88	0.90	0.91	0.92	0.93			
1.00	0.88	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94			
1.50	0.90	0.90	0.91	0.93	0.93	0.94			
2.00	0.91	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95			

Tabell 23:IV-VI.

Den speciella reduktionsfaktorn,  $c_s$ , som funktion av beräkningsmätvärdet,  $v_m$ , och hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , vid beräkning av flöde enligt envertikalsmetoderna 4-8 och tillämpning av precisionsnivå 1.

## DJUPGRUPP 6. RÅHETSKLASS IV.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$									
	0.90	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00				
0.05	0.82	0.83	0.86	0.87	0.89	0.91				
0.20	0.83	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91				
0.40	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91				
0.60	0.85	0.85	0.87	0.89	0.90	0.92				
0.80	0.85	0.86	0.88	0.90	0.91	0.92				
1.00	0.86	0.87	0.89	0.90	0.91	0.92				
1.50	0.88	0.88	0.90	0.91	0.92	0.93				
2.00	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94				

## DJUPGRUPP 6. RÅHETSKLASS V.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$									
	0.90	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00				
0.05	0.80	0.81	0.83	0.85	0.87	0.89				
0.20	0.80	0.81	0.84	0.86	0.88	0.89				
0.40	0.81	0.82	0.85	0.87	0.88	0.90				
0.60	0.82	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90				
0.80	0.83	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91				
1.00	0.84	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91				
1.50	0.86	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92				
2.00	0.87	0.88	0.89	0.91	0.92	0.93				

## DJUPGRUPP 6. RÅHETSKLASS VI.

$v_m$	Hydrauliskt medeldjup, $R_h$									
	0.90	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00				
0.05	0.77	0.78	0.81	0.83	0.85	0.87				
0.20	0.78	0.79	0.81	0.84	0.86	0.88				
0.40	0.79	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88				
0.60	0.80	0.81	0.83	0.85	0.87	0.89				
0.80	0.80	0.81	0.84	0.86	0.87	0.89				
1.00	0.81	0.82	0.84	0.86	0.88	0.89				
1.50	0.83	0.84	0.86	0.88	0.89	0.90				
2.00	0.85	0.86	0.87	0.89	0.90	0.91				

Tabell 24.

Den speciella reduktionsfaktorn,  $c_s$ , för beräkning av flöde enligt envertikalsmetoderna 4-8 vid tillämpning av precisionsnivå 2.

Råhetsklass, $\psi_i$	D j u p p g r u p p				
	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

A P P E N D I X I

METODER FÖR FLÖDESBESTÄMNING I ÖPPNA LEDNINGAR -- EN SCHEMATISK ÖVERSIKT

METODER FÖR FLÖDESBESTÄMNING I ÖPPNA LEDNINGAR -- EN SCHEMATISK ÖVERSIKT

Av Anders Bjerketorp

1. METODER FÖR DIREKTUPPMÄTNING (VOLYMETRISKA OCH GRAVIMETRISKA METODER).

1.1. Manuell mätning med behållare.

1.1.1. Mätning med enkel behållare.

1.1.2. Mätning med tvåfackslåda (försedd med ventiler).

1.2. Automatisk mätning med behållare.

1.2.1. Mätning med automatiskt manipulerad tvåfackslåda.

1.2.2. Mätning med vattenvippa ("vippkärl").

1.2.2.1. Enligt volymetrisk princip.

1.2.2.2. Enligt gravimetrisk princip.

2. 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 öppning.

2.1.1.1. Mätning med enstaka hål.

2.1.1.1.1. Ovariabla hål.

2.1.1.1.2. Variabla hål.

2.1.1.1.2.1. Irisbländade hål.

2.1.1.1.2.2. Ponceletsluta (Ponceletöppning).

2.1.1.1.2.3. Gruvsluta (gruvspalt, guldgräversluta, guldgräverspalt).

2.1.1.2. Mätning med flera hål.

2.1.1.2.1. Placerade på lodrät vägg.

2.1.1.2.1.1. 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 utströmning från ofullständigt begränsad öppning.

2.2.1.1. Mätning med bredkrönade, fria överfall.

2.2.1.2. Mätning med rundkrönade, fria överfall (Strålen frifotad).

2.2.1.3. Mätning med skarpkrönade ("skarpkantade"), fria överfall, t. ex.

2.2.1.3.1. Rektangulära.

2.2.1.3.1.1. Utan sidokontraktion.

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 (1887)/

2.2.1.3.3. Triangulära.

/Specialfall: 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).

2.2.1.3.6. Exponentiella.

2.2.1.3.7. Linearitetsöverfall (hyperboliska överfall, Stoutöverfall).

2.2.1.3.8. Poebingöverfall (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./

### 3. AREA-FALL METODER.

#### 3.1. Area-fallmätning med sektionsförträngning.

##### 3.1.1. Mätning med överfall med övervägande täckt utströmning.

/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)/

##### 3.1.3. Mätning med hjälp av brotrummar o. dyl.

#### 3.2. Area-fallmätning utan sektionsförträngning.

##### 3.2.1. Med användande av Brahms-de Chézys formel (1757, 1775).

$$/v = C \sqrt{R \cdot I}/$$

###### 3.2.1.1. Med C enligt Ganquillet-Kutter (1869).

/GK-formeln/

###### 3.2.1.2. Med C enligt Gauckler-Manning-Strickler (1868, 1891, 1923).

/GMS-formeln/

###### 3.2.1.3. Med något annat uttryck för C.

##### 3.2.2. Med användande av formler av Colebrook-typ.

4.1. Flytarmätningar.4.1.1. Mätning med vtflytare.4.1.1.1. Enligt medelvindhastighetsmetoden.4.1.1.2. Enligt maximalvindhastighetsmetoden.4.1.2. Mätning med da Vinci-flytare (djupflytare).4.1.3. Mätning med dubbelflytare (tvillingflytare).4.1.4. Mätning med flytare med stor utsträckning i vertikalled.4.1.4.1. Mätning med oböjlig stav (Cabesstav, 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 Wiebekingspendel (Början av 1600-talet).4.2.1.3. Med stavpendel (1900-talet).4.2.2. Mätning med dynamometrar och närbesläktade anordningar, t. ex.

Leupoldvåg (1724),

Michelottivåg (1771),

Lorgnaspel (1777),

Ximenes' vattenfana, "ventola idraulica" (1780)

Brüningstachometer (1801),

Czerwenkavåg (1876),

de Perrodils hydrodynamometer (1877),

Meineckevåg (1882),

Hele Shaw's strömningsmätare (1883),

Gillet's strömvåg (1884),

Franks självregistrerande strömningsmätare (1885),

von Schoens fluviograf (1890),

Theunes hydrodynamometer (1914),

Rengvists 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),  
 Pitot-Reichenbachrör (1845),  
 Darcy-rör (1857, 1858),  
 Darcy-Ritterrör (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 dubiösa mätanordningar.

4.3. Flygelmätning.4.3.1. "Fullständig" flygelmätning.4.3.2. Avkortade flygelmätningssmetoder. <sup>1)</sup>4.3.2.1. Avkortad bestämning av enbart 1:a integralen (vertikalledet).

## 4.3.2.1.1. Enpunktsmetoder.

## 4.3.2.1.1.1. Ythastighetsmetoden.

## 4.3.2.1.1.2. Indexmetoden enligt Steward och Shenehon (1900, 1902).

## 4.3.2.1.1.3. Halvdjupsmetoden (1861).

## 4.3.2.1.1.4. Cunninghams enpunktsmetod (1881).

4.3.2.1.1.5. USGS' enpunktsmetod (Slutet av 1800-talet).  
 /Kallas oftast 0,6-metoden/

## 4.3.2.1.1.6. Otts enpunktsmetod (1927).

## 4.3.2.1.1.7. Nya enpunktsmetoder (Bjerketorp 1973).

## 4.3.2.1.1.7.1. Enligt ellipsteorin.

## 4.3.2.1.1.7.2. Enligt teorin om parabler av godtyckligt gradtal.

<sup>1)</sup> Litteratur: Bjerketorp, A., 1973. Några metoder för avkortad mätning och beräkning av flöde i små vattendrag. I: Avkortade metoder vid flygelmätning: Vertikalhastighetsbestämning; historik, teori och förslag till nya metoder. Lantbrukshögskolan, Inst. för markvetenskap, avd. för lantbrukets hydroteknik. Uppsala. (Manuskript)

4.3.2.1.2. Tvåpunktsmetoder.

4.3.2.1.2.1. Cunninghams tvåpunktsmetoder (1881).

/Bygger på Boileaus parabelteori/

4.3.2.1.2.1.1. Med olikviktade mätstigheter.

4.3.2.1.2.1.2. Med likviktade mätstigheter.

4.3.2.1.2.1.2.1. "Exakt" variant.

4.3.2.1.2.1.2.2. Approximativ variant.

/i Europa vanligen kallad "amerikanska  
tvåpunktsmetoden"/

4.3.2.1.2.2. Moore's tvåpunktsmetod (1883).

4.3.2.1.2.3. Otts tvåpunktsmetod (1927).

4.3.2.1.2.4. Kolupailas tvåpunktsmetoder (1930).

4.3.2.1.2.4.1. Med olikviktade mätstigheter.

4.3.2.1.2.4.2. Med likviktade mätstigheter.

4.3.2.1.2.5. Kreps' tvåpunktsmetod (1954).

4.3.2.1.2.6. Nya tvåpunktsmetoder (Bjerketorp 1973).

/Varje underavdelning har flera (5-10) olika  
metodvarianter/

4.3.2.1.2.6.1. Enligt ellipsteorin.

4.3.2.1.2.6.2. Enligt Boileaus parabelteori.

4.3.2.1.2.6.3. Enligt Lavale-Rapps högregradsparabelteori.

4.3.2.1.2.6.4. Enligt teorin om logaritmisk hastighetsfördelning.

4.3.2.1.2.6.5. Med kombinerad av flera funktioner.

#### 4.3.2.1.3. Trepunktsmetoder.

4.3.2.1.3.1. Moore's trepunktsmetod (1876).

4.3.2.1.3.2. Cunninghams trepunktsmetoder (1881).

4.3.2.1.3.3. 0,2-0,5-0,8-metoden (1880-talet ?).

4.3.2.1.3.4. Österrikiska hyperbelmetoden (1896).

4.3.2.1.3.5. 0,2-0,6-0,8-metoder.

4.3.2.1.3.5.1. Olikviktad variant = 1-2-1-metoden = 2/1-metoden =  
= USGS' trepunktsmetod = "trepunktsmetoden".  
(Slutet av 1800-talet)

4.3.2.1.3.5.2. Likviktad variant = 1-1-1-metoden = "trepunktsmetoden".  
(Början av 1900-talet)

4.3.2.1.3.6. Pardoes trepunktsmetod (1916).

4.3.2.1.3.7. Nya trepunktsmetoder (Bjerketorp 1973).

/Flera tiotal varianter enligt ungefär samma teori-  
schema som under 4.3.2.1.2.6./

#### 4.3.2.1.4. Övriga fåpunktsmetoder.

/T. ex. fyr- och fempunktsmetoder/

#### 4.3.2.2. Avkortad bestämning av enbart 2:a integralen (transversalledet).

/Användes knappast i praktiken/

4.3.2.3. Avkortad bestämning av såväl 1:a som 2:a integralen.

4.3.2.3.1. Envertikalmetoden.

/Bestämning av endast en vertikals medelhastighet med hjälp av någon av de många fåpunktsmetoder som redovisats under 4.3.2.1./

/Specialfall: Högsta ythastighetsmetoden vid flygel-  
mätning, en metod som är analog med  
metoden angiven under 4.1.1.2./

4.3.2.3.2. Övriga fåvertikalmetoder.

4.4. Hastighetsmätning med spårningsförfaranden.

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

4.4.2. Hastighetsmätning med radioaktiva isotoper (Jfr. 5.4.).

4.5. Hastighetsmätning med moderna fysikaliska metoder.

4.5.1. Mätning enligt varmtrådsmetoden; varmtrådshydrometer (Början av 1930-talet),

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

4.5.3. 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: Saltförtunningförfarandet/

5.3.1. Mätning med titreringsmetoder (1863).

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

5.3.3. Mätning med kolorimetriska metoder (1947).

5.4. Dilutionsmätning med radioaktiva isotoper (Jfr. 4.4.2.).



A P P E N D I X I I

NÅGRA TEORETISKA RANDANMÄRKNINGAR TILL AREA-HASTIGHETSMETODERNA  
FÖR FLÖDESBESTÄMNING I ÖPPNA LEDNINGAR

NÅGRA TEORETISKA RANDANMÄRKNINGAR TILL AREA-HASTIGHETSMETODERNA  
 =====  
 FÖR FLÖDESBESTÄMNING I ÖPPNA LEDNINGAR  
 =====

Av Anders Bjerketorp

1. JÄMVIKTEN MELLAN DRIVANDE OCH BROMSANDE KRAFTER.

Vattnets rörelse i den öppna ledningen bestäms av drivande och bromsande krafter, vilka vid stationär, likformig strömning befinner sig i jämvikt utan hastighetsförändring.

Den drivande kraften är tyngdkraften. Storleken av den verk samma drivande kraften bestäms av tyngdkraftsaccelerationen ( $g$ ), vattnets aktuella täthet ( $\rho$ ) och ledningens fall ( $I$ ).

De bromsande krafterna är friktionen, såväl den yttre som den inre. Storleken av de bromsande krafterna bestäms av

- a) det hydrauliska medeldjupet,  $R_h$ , vilket definitionsmässigt är kvoten mellan ytan av ett tvärsnittsplan (en sektionssyta) och längden av denna ytas begränsningslinje mot botten och väggarna, men som egentligen är ett förenklat uttryck för det fysikaliskt mer relevanta förhållandet mellan en vattenmassa och dennas friktionsyta.
- b) friktionsytornas ojämnheter, dvs. av såväl deras mikrostruktur som makrostruktur (Specialfall: Vegetationsförekomst). Ojämnheten kan anges t. ex. genom att den aktuella friktionsytan inordnas i en råhetsklass,  $\Psi$ .
- c) vattnets hastighet (translationshastighet), vilken kan anges t. ex. med den gerella hastighetsvariabeln  $v$ , med medelhastigheten,  $\bar{v}$ , eller med en mät hastighet (eller beräkningsmät hastighet),  $v_m$ .
- d) vattnets kinematiska viskositetskoefficient,  $\nu$ .

## 2. HASTIGHETSFÖRDELNINGENS "DEFORMATION".

Den yttre friktionen orsakar i vattnet en skjuvspänning, som "deformerar" hastighetsfördelningen ungefär som fig. 1 visar. Skjuvspänningens fördelning och därmed hastighetens fördelning bestäms av den inre friktionen, dvs. av viskositeten och den av turbulensen orsakade "virvelviskositeten" (Boussinesq).

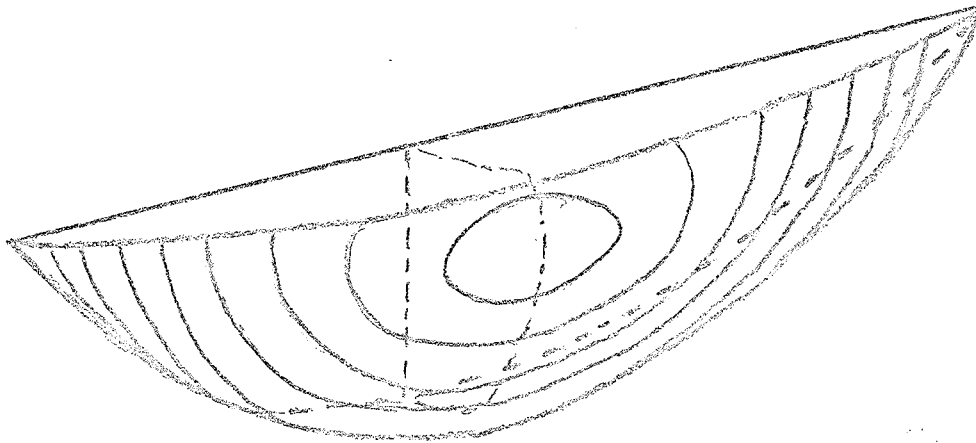


Fig. 1. Hastighetsfördelning i ett vattendrag jämte en inritad mätvertikal (Fritt efter Harlacher, A. R., 1881. Die Messungen in der Elbe und Donau und die hydrometrischen Apparate und Methoden des Verfassers. Leipzig).

Vid laminär strömning är hastighetsfördelningen parabolisk med hastighetsmaximum i själva ytan. Strömningen ute i diken, bäckar, åar osv. är emellertid alltid turbulent i hela eller praktiskt taget hela sektionen. Vid turbulent strömning kan hastighetsfördelningen vara på sin höjd approximativt parabolisk, dvs. följa en vanlig kvadratisk parabel. Oftast kan andra funktioner bättre beskriva hastighetsfördelningen i t. ex. vertikalled än vad den kvadratiske parabeln kan. Många funktioner har prövats genom tiderna. De tre kanske mest framgångsrika är parabeln med godtyckligt gradtal och stående axel, ellipsen och logaritmfunktionen (Se Bjerketorp, A., 1973. Några metoder för avkortad mätning av flöde i små vattendrag. I: Avkortade metoder vid flygelmätning: Vertikalhastighetsbestämning; historik, teori och förslag till nya metoder. Uppsala (Stencil)).

3. MEDELHASTIGHETEN.3.1. Allmänt.

Det allt överskuggande problemet vid flödesmätningar enligt area-hastighets metoderna är det att bestämma medelhastigheten,  $\bar{v}$ , i tvärsnittet, dvs. dels att finna ut hur translationshastigheten ("hastigheten i huvudströmriktningen"),  $v$ , varierar i tvärsnittet och med tiden,  $t$ , enligt likheten /1/, samt dels att ställa upp och lösa denna likhets trippelintegral, symboliskt angiven i /2/

$$v = f(x, z, t) \quad /1/$$

$$\bar{v} = \frac{1}{A \cdot \Delta t} \int_{S_v}^{S_h} \int_0^{z_m} \int_{t_1}^{t_2} v \cdot dx \cdot dz \cdot dt \quad /2/$$

där  $v$  = hastighetsvariabeln

$\bar{v}$  = medelhastigheten

$x$  = transversell lägesvariabel

$z$  = vertikal lägesvariabel

$t$  = tidsvariabel

$A$  = tvärsnittsytan

$\Delta t = t_2 - t_1$  = integreringsintervall för tidsvariabeln

$S_v$  = vänstra stranden

$S_h$  = högra stranden

$z_m$  = maximidjupet i sektionen

$t_1$  och  $t_2$  är start- resp. sluttidpunkter för det tidsintervall /2/ avser

Man kan i allmänhet inte komma fram till medelhastigheten,  $\bar{v}$ , på det helt generella sätt som uttrycken /1/ och /2/ förutsätter. En viss förenkling av dessa uttryck 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 i en godtycklig punkt i tvärsnittet bestäms 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 /1/ resp. /2/ övergår till

$$\bar{v}_p = f(x, z) \quad /1'/$$

$$\bar{v} = \frac{1}{A} \int_{S_v}^{S_h} \int_0^{z_m} \bar{v}_p \, dx \, dz \quad /2'/$$

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

### 3.2. Integraluppdelningar.

Den andra åtgärden är att uppdelas dubbelintegralen /2'/ i två enkla integraler. Uppdelningen kan utföras på två olika sätt.

#### 3.2.1. Med vertikalintegralen som första steg (Vanlig uppdelning).

$$\omega_v = \int_0^{z_m} \bar{v}_p \, dz \quad /3a/$$

$$\bar{v} = \frac{1}{A} \int_{S_v}^{S_h} \omega_v \, dx \quad /4a/$$

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

3.2.2. Med horisontalintegralen som första steg (Mycket ovanlig uppdelning).

$$\omega_h = \int_{S_v}^{S_h} \frac{\bar{v}}{\rho} dx \quad /3b/$$

$$\bar{v} = \frac{1}{A} \int_0^{z_m} \omega_h \cdot dz \quad /4b/$$

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

3.3. Metoder för lösning av hastighetsintegralerna.3.3.1. Då vertikalintegralen är 1:a steg (1:a integral).3.3.1.1. Lösning av första integralen, dvs. av /3a/.3.3.1.1.1. Direkt lösning.

3.3.1.1.1.1. Genom mätning med Cabeostav eller vertikalkedjeflytare (i båda fallen eventuellt med korrektion för otillräckligt djupgående) eller med djupgående ytflytare med korrektion för stort djupgående.

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

3.3.1.1.1.3. Med stavpendel.

3.3.1.1.2. Grafisk lösning.

efter fullständig (avkortad) mätning med t. ex. djupflytare, Wiebekingpendel, dynamometer, tryckrör, hydrometrisk flygel eller varmtrådshydrometer.

3.3.1.1.3. Analytisk lösning

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

3.3.1.1.3.2. Efter avkortad mätning med samma instrument som anges i avd. 3.3.1.1.2. Grafisk lösning.

### 3.3.1.2. Lösning av andra integralen, dvs. av /4a/.

#### 3.3.1.2.1. Analytisk lösning.

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

#### 3.3.1.2.2. Grafisk lösning

Grafisk lösning har varit och är fortfarande mycket använd.

#### 3.3.1.2.3. Numerisk lösning

Numerisk lösning är också en vanlig metod, vilken i datamaskinernas 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 är emellertid ännu (mars 1973) inte publicerad.

### 3.3.2. Då horisontalintegralen är 1:a steg (1:a integral).

#### 3.3.2.1. Lösning av första integralen, dvs. av /3b/.

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. Verkrautung und Abfluss. Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch, No. 2. Hannover.) är ett försök i samma riktning.

#### 3.3.2.2. Lösning av andra integralen, dvs. av /4b/.

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

### 3.3.3. Lösning på empirisk väg av den uppdelade dubbelintegralen /2/.

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 bedömmes vara) störst.

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

För att komma fram till en lösning under de givna förutsättningarna fordras:

- a) kännedom om det hydrauliska medeldjupets storlek samt någon typ av kvantifiering av den valda friktionsparametern.
- b) kännedom om medelhastighetens funktionella beroende av uppmätt hastighet (eller av någon beräkningsmätthastighet härledd ur den uppmätta hastigheten), hydrauliska medeldjupet och den valda friktionsparametern, dvs. kännedom om hur funktionen /5/ är beskaffad

$$\bar{v} = f(v_m, R_h, \psi) \quad /5/$$

där  $\bar{v}$  = sektionens medelhastighet

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

$R_h$  = hydraulisk medeldjup

$\psi$  = en friktionsparameter (råhetsparameter)



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 genomsläpligheten 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 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.
- Nr 58 Bjerketorp, A. 1973. Envertikalemetoder med flytar- eller flygelmätning för approximativ bestämning av flöde i små vattendrag. Preliminärt förslag. 86 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.