



NVE
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIVERK

**Ø
C
B
E
K
A
S
J
O
N

NR
V 12**

**INSTRUKS FOR
VANNFØRINGSMÅLING
MED FLYGEL**

NORGES
VASSDRAGS- OG ENERGIVERK
BIBLIOTEK

VASSDRAGSDIREKTORATET



NVE
NORGES VASSDRAGS-
OG ENERGIVERK

TITTEL	NR
INSTRUKS FOR VANNFØRINGSMALING MED FLYGEL	12
FORFATTER(E) /SAKSBEHANDLER(E)	DATO
Østen A. Tilrem og Harald A. Viken	Juli 1988
	ISBN
	82-410-00550-2

SAMMENDRAG

Denne instruks for vannføringsmåling med flygel gir retningslinjer for bruk av flygelet til nøyaktig måling av vannføringen i naturlige elveløp.

ABSTRACT

This manual on discharge measurement by current meter gives directions for use of the current meter in natural streams to obtain good quality stream-flow data.

EMNEORD

Flygel
Vannføringsmåling
Feilkilder
Måleusikkerhet

SUBJECT TERMS

Current meter
Discharge measurement
Error sources
Uncertainty in measurement

NORGES
VASSDRAGS- OG ENERGIVERK
BIBLIOTEK

ANSVARLIG UNDERSKRIFT

Pål Mellquist
Vassdragsdirektør

88/746

556(05)
N98

ex 2

FORORD

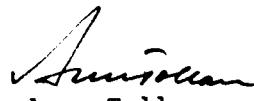
Kjennskap til avløpet i vassdragene er en grunnleggende forutsetning for enhver utnyttelse og overvåking av våre vassdrag. Ingen tilfredsstillende vannhusholdning lar seg derfor gjennomføre uten tilgang på gode og pålitelige vannføringsdata.

Det er forøvrig verdt å merke seg at avrenningen er den eneste del av det hydrologiske kretsløp hvor vannet fra et areal er samlet i veldefinerte kanaler som tillater nøyaktige målinger av de vannmengder som er involvert. De andre faktorer (nedbør og fordunstning) måles kun i enkelte punkter som så omregnes til mer eller mindre nøyaktige arealverdier.

Denne instruks er et ledd i arbeidet med å frembringe vannføringsdata av god og konsistent kvalitet under de meget forskjellige og vekslende naturgitte forhold en felthydrolog ofte er prisgitt. Likeså har det vært et mål å øke mest mulig å standardisere vannføringsmålinger utført med flygel.

Vegledningen er skrevet for bruk ved Hydrologisk avdeling. Det er imidlertid å håpe at den også vil bli til nytte for andre som arbeider med operativ hydrologi.

Oslo, juli 1988



Arne Tollan
Avdelingsdirektør

INNHOLD

	Side
1 GENERELT	7
2 VANNFØRINGSMÅLING MED FLYGEL	11
2.1 Instrumenter og måleutstyr	12
2.2 Valg av målesteds	13
2.3 Målemetodikk - Praktisk utførelse av vannføringsmålingen	15
2.3.1 Metoder for måling av middelhastigheten i vertikalene	16
2.3.1.1 Vertikal hastighetskurve metoden	16
2.3.1.2 To-punkt metoden (0.2/0.8 metoden)	17
2.3.1.3 Ett-punkt metoden (0.6 metoden)	17
2.3.1.4 Alternativ ett-punkt metode	17
2.3.1.5 Tre-punkt metoden	18
2.3.1.6 5-punkt metoden	18
2.3.1.7 6-punkt metoden	18
2.3.1.8 0.2-dybde metoden	18
2.3.2 Antall vertikaler i måleprofilet	19
2.3.3 Norsk praksis ved måling av vannføring med flygel	20
2.3.4 Vannføringsmålingen	20
2.3.4.1 Måling ved vading	24
2.3.4.2 Måling fra båt	25
2.3.4.3 Måling fra kabelbane	30
2.3.4.4 Måling fra bru	33
2.3.4.5 Måling fra isdekke	35
2.3.5 Beregning av vannføringsmålinger	36
2.3.5.1 Grafisk beregning av vannføringen	36
2.3.5.2 Aritmetisk beregning av vannføringen	37
2.3.6 Vannstandsforholdene under målingen	37

3	FEILKILDER UNDER MÅLING MED FLYGEL	38
3.1	Utstyr og instrumenter	39
3.2	Målested	39
3.3	Plassering av vertikalene	39
3.4	Måling av dybde og bredde	39
3.5	Skråstrøm	39
3.6	Turbulens og pulserende strøm	40
3.7	Lav temperatur	40
3.8	Opphengt flygel	41
3.9	Vind	41
3.10	Vibrasjon av målestang	41
3.11	Flytende gjenstander	41
3.12	Bunnvekst	42
3.13	Bunntransport av sediment og sand	42
3.14	Bakevjer, peler, etc.	42
4	MALEFEIL OG MÅLEUSIKKERHET	42
4.1	Den menneskelige faktor	43
4.2	Instrumentelle feil	44
4.3	Feil forbundet med målemetoden	44
5	REFERANSER	46
APPENDIKS - Korreksjon for avdrift ved måling med opphengt flygel		48

GENEREKT

Måling av vannføring i elver og kanaler skjer tradisjonelt ved å bestemme vannets tverrsnittsareal og dets hastighet vinkelrett på dette arealet. Produktet av disse to faktorene utgjør vannføringen. Dette er den såkalte areal-hastighet metoden.

Vannets hastighet måles i et tilstrekkelig antall punkter i tverrsnittet slik at man er sikret en tilnærmet korrekt middelhastighet. Vannhastigheten måles som regel med en hydrometrisk strømmåler, et såkalt flygel.

Flygelet har vært i bruk i de siste 90 år og er fremdeles det mest brukte instrumentet for bestemmelse av vannføringen i naturlige elveløp. Instrumentet har en rotor som roterer med en hastighet som er proporsjonal med vannets hastighet. Ved å holde flygelet i et punkt i vannstrømmen og telle antall omdreininger over et kjent tidsinterval, kan vannets hastighet i vedkommende punkt beregnes ut fra flygelets kalibreringsformel.

Det finnes to hovedtyper av flygler i generelt bruk: propelltypen med propell på horisontal aksel (figur 1), og skåltypen med skåler rundt en vertikal aksel (figur 2). Begge typene blir også laget i miniatyrutgaver, såkalte miniflygler for måling av små grunne vannløp. [1].

Sammenhengen mellom antall omdreininger pr sekund av propell og vannets hastighet i meter pr sekund kan settes opp i den generelle formel:

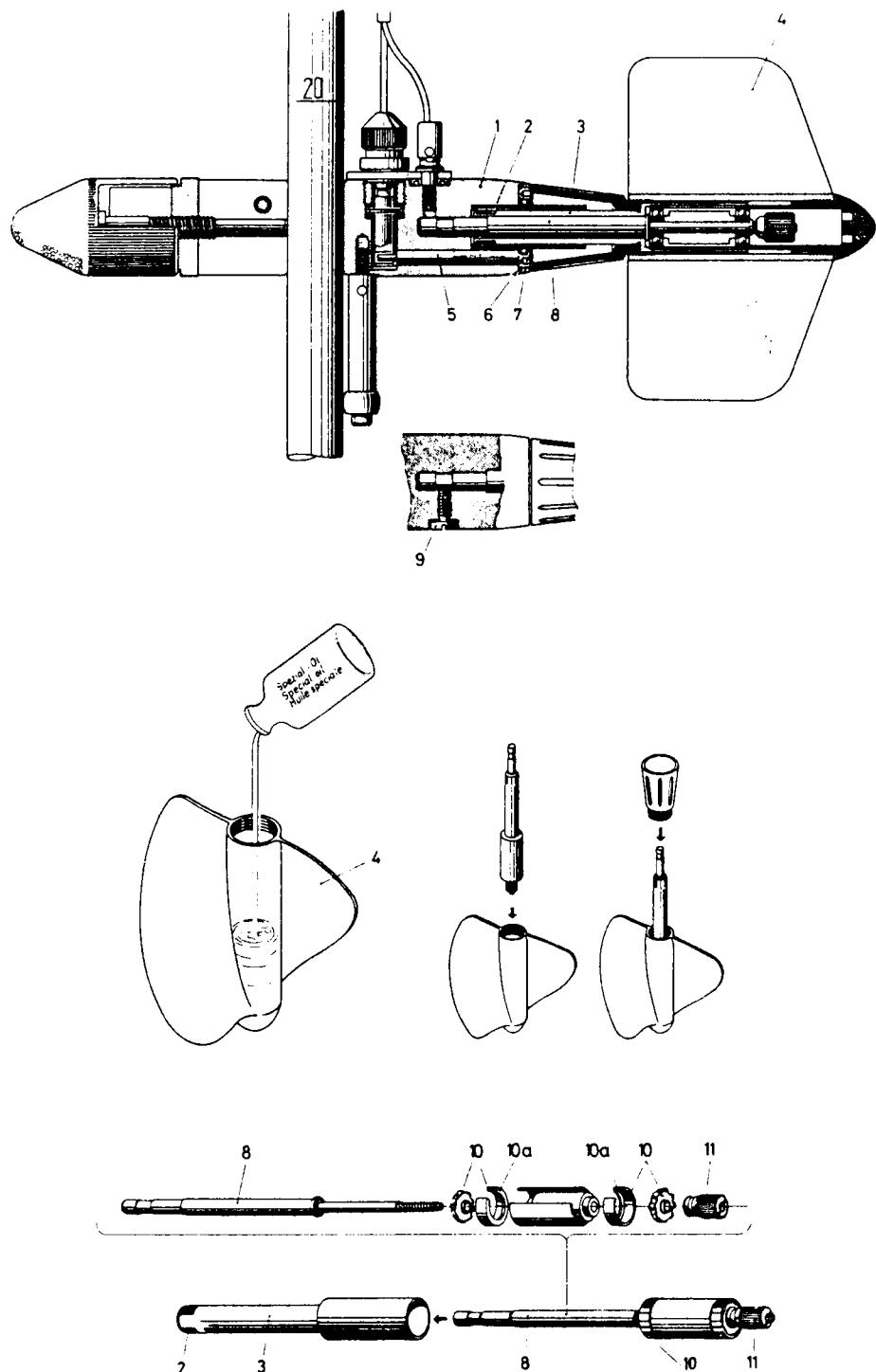
$$v = an + b$$

der v = vannets hastighet i m/s,

n = antall omdreininger pr sekund,

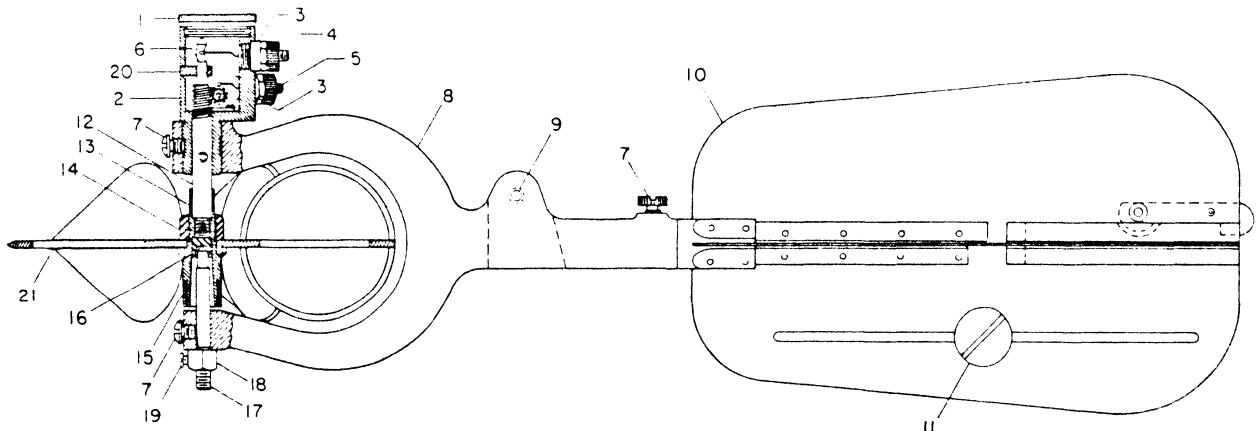
a = en konstant som viser propellens stigning,

b = en konstant som viser den vannhastighet som må til
for å overvinne den statiske friksjon i lagrene.



- | | |
|----------------|------------------------------|
| 1. Flygelkropp | 7. Skrueforbindelse |
| 2. Magnet | 8. Propellaksel |
| 3. Akselhylse | 9. Låsskrue for propellaksel |
| 4. Propell | 10. Kulelager |
| 5. Impulsgiver | 10a. Kulelagerring |
| 6. O-ring | 11. Festemutter |

Fig. 1. Propellflygel. A. OTT type C31. [8].



EXPLANATION

- | | |
|--|--|
| 1. Cap for contact chamber | 11. Balance weight |
| 2. Contact chamber | 12. Shaft |
| 3. Insulating bushing for contact binding post | 13. Bucket-wheel hub |
| 4. Single-contact binding post | 14. Bucket-wheel hub nut |
| 5. Penta-contact binding post | 15. Raising nut |
| 6. Penta gear | 16. Pivot bearing |
| 7. Set screw | 17. Pivot |
| 8. Yoke | 18. Pivot-adjusting nut |
| 9. Hole for hanger screw | 19. Keeper screw for pivot-adjusting nut |
| 10. Tailpiece | 20. Bearing lug |
| | 21. Bucket wheel |

Fig. 2. Skålflygel. PRICE type AA. [9].

Hvert enkelt flygel har sin egen formel med særegne konstanter a og b som bestemmes (kalibreres) i spesielle kalibreringstanker der flygelet blir kjørt med kjente hastigheter gjennom stillesstående vann. Flyglene kalibreres med regelmessige mellomrom, ca hvert annet år. Er det imidlertid mistanke om at noe er galt med et flygel, tas det ut av bruk og rekalibreres ved første anledning.

Skålflygelet har en rotor som vanligvis består av seks skåler som sitter i en krans rundt en vertikal aksel. Akselens nedre ende er opplagret med et pivotlager (punktLAGER) og den øvre ende med et glidelager. Begge lagre sitter i luftfylte kamre og er lette å komme til for kontroll og rengjøring. I og med at lagrene opererer i luft, er de heller ikke utsatt for å bli forurenset av slamførende vann. Skålflygelet er tradisjonelt lite brukt i Norge.

Propellflygelet hadde til å begynne med åpne kulelagre gjennomstrømmet av vann. I dag har de lukkede kulelagre som går i oljebad. Propellene varierer både i størrelse, vekt og stigning tilpasset

ulike hastighetsområder. Det lages også såkalte komponentpropeller som registrerer hastighetskomponenten parallelt instrumentets lengdeakse selv om strømretningen går på skrå av aksen. Noen modeller gir korrekt hastighet for skråstrøm på opptil 45°. Registreringen av antall omdreininger skjer ved at en bryter slutter en elektrisk strømkrets etter et visst antall omdreininger. I strømkretsen er innskutt en strømkilde samt telleverk som registrerer hver kontaktslutning som en summing eller digitalt på et panel. Tidligere var det en mekanisk bryter med signal for hver 10. eller 20. omdreining. De nyere modeller er forsynt med magnetisk bryter som gir en impuls for hver halve eller hele omdreining. Registreringen av antall omdreininger skjer her med spesielle registreringsinstrumenter. I Norge har man tradisjonelt brukt propellflygler laget av A.OTT, Tyskland.

Vannføringsmålinger utført med flygel klassifiseres i fem typer etter den måte hvorpå hydrologen krysser elveleiet under målingen. De fem måletypene er som følger:

- vademåling,
- måling fra båt,
- måling fra kabelbane,
- måling fra bru,
- måling fra isdekke.

Under målingen er flygelet montert på en inndelt målestang, eller hengt opp i en kabel som manøvreres ved hjelp av en målevinsj med innebygd dybdeindikator. [2].

Flygel, målestang med fotplate og retningsviser, teller med signalgiver, stoppur, målebånd, samt 2 mm merket målewire rullet opp i seilduksfutteral (wiremålebånd) er utstyr som er felles for de fleste måletyper. Teller og tidtaker er ofte sammenbygd i ett instrument.

Annet utstyr brukt under måling med flygel avhenger av hvilken type måling som skal utføres og omfatter:

- redningsvest,
- vadestøvler,
- arbeidshansker,
- båt, årer og øsekar,
- påhengsmotor,
- inndelt og merket wire på trommel med sveiv,
- vinsj med telleverk, wire og lodd for opphengt flygel,
- bom for vinsj,
- vinkelskive av klar plast for måling av avdriftsvinkel,
- kikkert,
- endestykke for festing/hengsling av flygel til målestang for måling fra isdekke,
- isbor, hånd- eller motordrevet,
- isbile,
- snøspade,
- sikkerhetsline,
- avbitertang,
- øks.

2

VANNFØRINGSMÅLING MED FLYGEL

Kvaliteten av en vannføringsmåling vil være avhengig av flere faktorer, så som:

- instrumenter og måleutstyr,
- valg av målesteds,
- måletype og målemetode,
- målingens utførelse
- vannstandsforholdene under målingen,
- vind- og værforhold,
- målepunktsopplærings-, erfarings- og ambisjonsnivå.

2.1

Instrumenter og måleutstyr

Før man reiser ut på måleoppdrag må det undersøkes om alt utstyr er i orden. Spesielt gjelder dette flygelet som i første rekke er bestemmende for et godt resultat.

Propellen undersøkes for ytre tegn på skader så som slagmerker og grader. Det foretas også en spinn-test for å bringe på det rene om aksel og kulelagre er i orden. Denne må utføres et sted hvor propellen er beskyttet mot luftstrømmer og skjer på følgende måte: Flygelet holdes i vannrett stilling. Propellen bringes i hurtig spinn. Når rotasjonen avtar og nærmer seg stoppegrensen, følges bevegelsen nøyne for å se om den opphører brått eller avtar langsomt mot null. Dersom rotasjonen stopper brått, er det grunn til å kontrollere instrumentet nøyne. Avtar rotasjonen jevnt og langsomt er flygelet sannsynligvis i orden. Normal spinntid med tung propell (ca 300 g) er 50-60 sekunder. Med lett propell (under 100 g) er spinntiden 25-30 sekunder.

Istedentfor å følge propellen visuelt kan man vel så effektivt trykke enden av instrumentet mot øret. Dersom det er urenheter i lagrene (slam, sand o.l.) eller andre hindringer mot rotasjonen, merker man dette lett som ulyder, gnissing og gnuring.

Skulle flygelet på en eller annen måte under bruk bli utsatt for skader som kan virke inn på kalibreringen, må det ikke nyttes til ytterligere målinger. Man bør derfor såvidt mulig være forsynt med to instrumenter, eller i det minste med to propeller samt reserveaksel og kulelagre. Propell nummer to må selvsagt også være kalibrert på forhånd.

Fabrikantens forskrifter for bruk og vedlikehold av flygelet må alltid følges. Som allerede antydet er det for eksempel viktig å bruke smøreolje av anbefalt type. Oljens viskositet øker med synkende temperatur, noe som kan influere betydelig på måleresultatet når det måles i kaldt vann ved lave hastigheter.

Tellere og registreringsinstrumenter prøves også før utreise. Ved utlevering av nye instrumenter skal man alltid kontrollere antall

propellomdreininger pr impuls. Dette gjøres ved å dreie propellen sakte rundt mens en selv teller omdreiningene og sammenligner med registreringene.

Målewirens avstandsmarker må jevnlig kontrolleres. Under måling fra båt er wiren ofte utsatt for store belastninger, noe som kan forstrekke og skade den.

2.2

Valg av målesteds

Målestedets karakter har en avgjørende innflytelse på kvaliteten av vannføringsmålingen. Det understrekkes derfor at det må legges stor vekt på å finne et godt målesteds. Et et slikt funnet, vil til gjengjeld målinger i fremtiden som regel kreve både mindre tid og arbeid.

De krav som stilles til et godt målesteds er som følger:

- Vannføringen i en elv bestemmes som regel i forhold til vannstanden ved et fast vannmerke (målestasjon). Man må derfor påse at målingene blir utført på et sted hvor vannføringen er entydig bestemt ved vannstanden på vannmerket. Det må måles i rimelig nærhet av vannmerket og ikke på et sted hvor det kommer inn bekke-tilløp mellom vannmerket og måleprofilet, uten at man kan korrigere for dette.

Man må videre være oppmerksom på at selvreguleringen i elveleiet mellom vannmerket og målestedet kan påvirke vannføringen ved målestedet. Dette vil kunne forekomme der elva utvider seg til større høler eller mindre sjøer. Stiger eller synker vannstanden, kan selvreguleringen i slike tilfeller bli så stor at det må innføres korrekSJONER. Dette skjer ved at man under målingen leser av en provisorisk vannmerkeskala i vedkommende sjø eller høl. Kjenner man så arealet av vannbassenget noenlunde nøyaktig, kan man enkelt beregne selvreguleringen.

- Målestedet må være så rent som mulig, fritt for større steiner, blokker eller vegetasjon. Dybdene må ikke være for små, og de må

stå i et rimmelig forhold til bredden. Tverrprofilet bør ikke ha skarpe knekkpunkter, men ha jevne overganger. Er målestedet ellers bra, men forstyrret av løse steiner eller vegetasjon, renskes dette med fordel bort ved lavvann. Spesielt bør målesteder for bruk om vinteren forberedes og tilrettelegges godt.

- c) Målestedet skal såvidt mulig ligge i en rettl pende del av elva så strømretningen blir mest mulig rettlinjet og parallel over hele profilet. Vannets hastighet bør ikke overstige 2,5 m/s når det måles med flygel på stang, eller 2,0 m/s når det måles med opphengt flygel fra båt. Hastigheten bør bare unntakvis ligge under 0,15 m/s.
- d) Har man etter nøye undersøkelser bestemt seg for et målested og de etterfølgende målinger viser at det er godt, bør m lestedets beliggenhet angis nøyaktig slik at det lett kan finnes igjen. Dette gjøres ved at man tegner en skisse over stedet og at avstanden til karakteristiske punkter i terrenget måles inn og avmerkes på skissen. Det kan også være tilrådelig å markere målestedet, for eksempel ved merker på trær, fjell og lignende eller ved hj lp av peler, jernbolter, etc. M lesteder for bruk under snø og isforhold om vinteren avmerkes spesielt godt.

Der målingene må foretas fra båt med opphengt flygel, kan man med fordel ta ut et par målesteder og vekselvis benytte disse med tanke på kontroll av hvorvidt der finnes skråstrøm i profilets dypere deler.

Valg av målested foretas ved lavvann om sommeren når man har god oversikt over elveleiets karakter. Endelig valg av målestedet gjøres etter at forholdene under fl m er vurdert. M lesteder for bruk om vinteren må vurderes nøye om de er brukbare under snø og isforhold.

2.3

Målemetodikk - Praktisk utførelse av vannføringsmålingen

I dette avsnittet diskuteres først den generelle metodikk for vannføringsmålinger med flygel. Deretter følger spesielle detaljer som er særegne for vademåling, måling fra båt, måling fra kabelbane, måling fra bru og måling fra isdekke.

En vannføringsmåling med flygel er illustrert i fig. 3. Figuren viser et måleprofil av elva lagt vinkelrett på strømretningen. Et visst antall såkalte målevertikaler (eller bare vertikaler) er plassert i profilet. For hver vertikal utføres følgende målinger: (a) avstanden fra bredden til vertikalen, (b) dybden av vertikalen, (c) dybden til hvert målepunkt i vertikalen og (d) strømmens hastighet i hvert målepunkt.

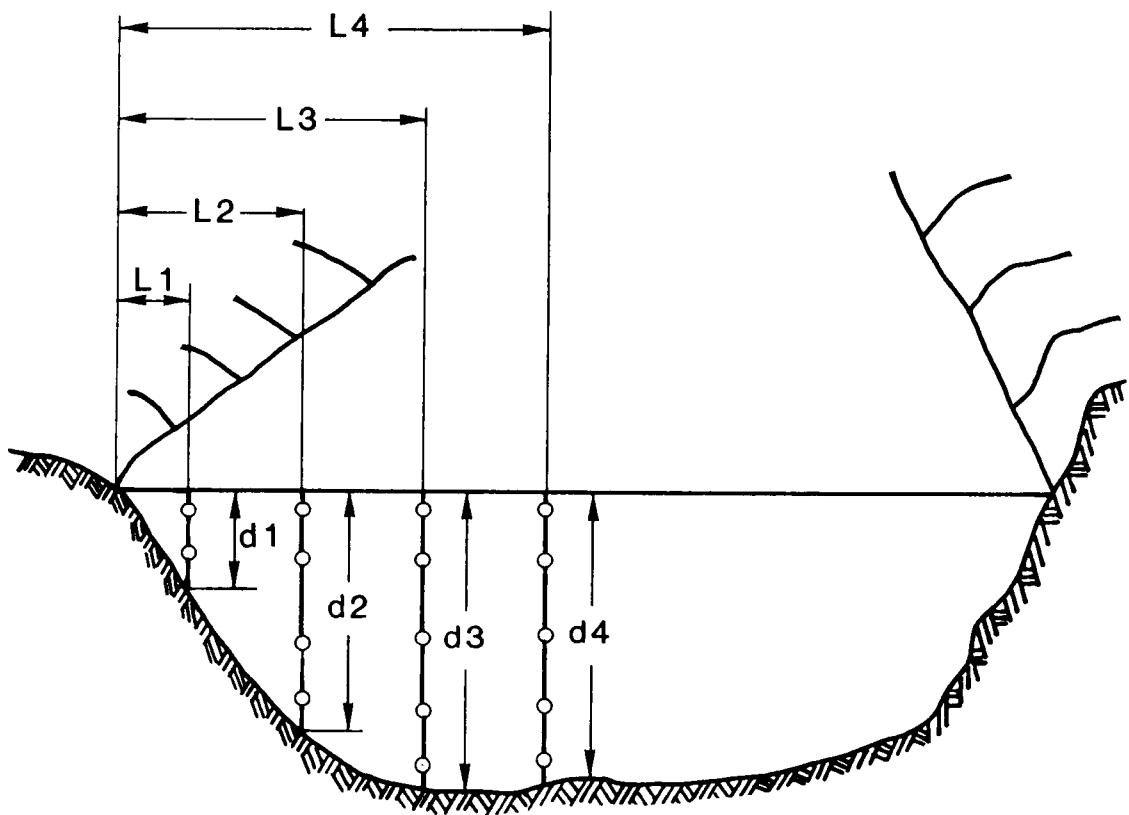


Fig. 3. Måleprofil for vannføringsmåling med flygel.

2.3.1 Metoder for måling av middelhastigheten i vertikalene

Metoder i bruk for måling av vannføring med flygel er beskrevet i ISO Standard 748 [3] og i WMO's manual for vannføringsmålinger [5]. De vanlige metodene er:

- Vertikal hastighetskurve metoden,
- To-punkt metoden (0.2/0.8 metoden),
- Ett-punkt metoden (0.6 metoden),
- Tre-punkt metoden,
- 0.2-dybde metoden,
- 5-punkt metoden,
- 6-punkt metoden.

2.3.1.1 Vertikal hastighetskurve metoden

I denne metoden tas 10 hastighetsobservasjoner regelmessig fordelt mellom overflaten og bunnen i hver vertikal. Ifølge ISO Standard 1088 [4] måles det i punktene:

- like under vannoverflaten,
- ved 0,2 ganger dybden,
- ved 0,3 ganger dybden,
- ved 0,4 ganger dybden,
- ved 0,5 ganger dybden,
- ved 0,6 ganger dybden,
- ved 0,7 ganger dybden,
- ved 0,8 ganger dybden,
- ved 0,9 ganger dybden,
- like over bunnen.

Denne metoden med 10 målepunkter i hver vertikal er for tidkrevende til vanlig bruk. Den nytes hovedsakelig til kontroll av andre måle-metoder som har færre observasjonspunkter, samt til nøyaktig kartlegging av hastighetsfordelingen i en målevertikal eller i et måleprofil.

2.3.1.2 To-punkt metoden (0.2/0.8 metoden)

I to-punkt metoden måles hastigheten i dybdene 0,2 og 0,8 av totaldybden under overflaten. Midlet av disse to hastighetene vil tilnærmet utgjøre middelhastigheten i vertikalen.

Denne metoden er basert på mange undersøkelser i naturlige elveløp og på hydrodynamisk teori. Metoden forutsetter uforstyrret vannstrøm med normal (logaritmisk) hastighetsfordeling i vertikalen. Er vannløpet så grunt at propellen kommer for nær bunnen eller overflaten, brukes ett-punkt metoden.

2.3.1.3 Ett-punkt metoden (0.6 metoden)

Hastigheten måles i dybden 0,6 av totaldybden under overflaten. Ifølge både teori og forsøk skal hastigheten i dette punktet være tilnærmet lik middelhastigheten i vertikalen. For et rimelig godt resultat er denne metoden, i enda høyere grad enn to-punkt metoden, avhengig av uforstyrret vannstrøm med normal hastighetsfordeling i vertikalen. Ett-punkt metoden brukes vanligvis under følgende forhold:

- når dybden er for liten til at andre metoder kan brukes,
- når vannstanden forandres raskt,
- når vannføringsmålingen av en eller annen grunn må utføres hurtig.

2.3.1.4 Alternativ ett-punkt metode

Hastigheten måles i dybden 0,5 av totaldybden i vertikalen. Den målte hastighet multiplisert med 0,95 vil gi en tilnærmet middelhastighet i vertikalen. Denne metode nyttes gjerne ved små dybder, dvs. under 25 cm hvor den regulære ett-punkt metode (0.6-metoden) ikke passer.

Den alternative ett-punkt metode kan brukes ved måling under isdekke for dybder opptil 1 m. Korreksjonsfaktoren ved måling under isdekke når vannet går helt opp til isens underside er 0,88.

2.3.1.5 Tre-punkt metoden

Denne metoden kombinerer ett-punkt og to-punkt metoden ved at det måles i dybdene 0,2, 0,6 og 0,8 av totaldybden under overflaten. Middelhastigheten beregnes ved å midle hastigheten i 0,2 og 0,8 punktene, deretter midles denne verdien og hastigheten i 0,6 punktet, resultatet utgjør da middelhastigheten i vertikalen.

Tre-punkt metoden brukes når hastighetsfordelingen i vertikalen er noe forstyrret. Ved større forstyrrelser med betydelig turbulens brukes fortrinnsvis 5-punkt metoden eller 6-punkt metoden.

2.3.1.6 5-punkt metoden

I denne metoden måles hastigheten i dybdene 0,2, 0,6 og 0,8 av totaldybden under overflaten, samt like under overflaten og like over bunnen, dvs. inntil 1 propelldiameter fra disse avgrensningene.

2.3.1.7 6-punkt metoden

Dersom man har en særlig uregelmessig hastighetsfordeling i vertikalen, bør denne metoden brukes. Hastigheten måles da i dybdene 0,2, 0,6 og 0,8 av totaldybden under overflaten, samt like under overflaten og like over bunnen (1 propelldiameter).

2.3.1.8 0.2-dybde metoden

I denne metoden måles hastigheten i dybden 0,2 av totaldybden under overflaten. Sluttresultatet multipliseres med 0,87 for å få en tilnærmet korrekt vannføring.

Metoden blir stort sett bare brukt under flomforhold når det på grunn av sterk strøm og avdrift ikke er mulig å få målt hastigheten i de dypere deler av profilet. Den egner seg ved måling fra kabelbane og fra bru. Ved måling fra bru kan flygelet med fordel festes under en passende liten flåte som forankres med en line og flyttes langs brua under målingen.

Forøvrig er ikke måledybden kritisk da hastigheten i dype vertikaler gjerne varierer svært lite rundt 0,2 av dybden under overflaten. Metoden kan derfor varieres og tillempes ved å bruke andre dybder hvis det skulle være behov for dette.

Koeffisienten som resultatet korrigeres med kan bestemmes og ekstrapoleres opp til flomforhold ved hjelp av de fullstendige vannføringsmålinger som blir tatt ved lavere vannstander.

2.3.2 Antall vertikaler i måleprofilet

Generelt gjelder at vertikalene der strømhastigheten skal måles plasseres i måleprofilet under hensyntagen til elvebunnens form og strømmens forløp. Det skal alltid komme en vertikal over hvert av bunnprofilets eventuelle knekkpunkter. Likeså bør det komme en vertikal i elveløpets strømstrek der hastigheten er størst. På de steder hvor strømhastigheten eller dybden varierer meget på kort avstand, bør vertikalene legges tettere enn ellers. En passende avstand mellom vertikalene vil i et godt og jevnt tverrprofil og med jevn strøm være 1/10 av elvas bredde, ved små elver større, ved store elver mindre. Likeså må antall vertikaler økes i et måleprofil med ujevn strøm og uregelmessig bunnprofil. Antall vertikaler avhenger forøvrig av forholdet mellom bredde og dybde. I en bred og grunn elv må det således måles i flere vertikaler enn i en bred og dyp elv.

Likesom det vil være feilaktig å bruke for få vertikaler i et måleprofil, vil det ofte være bortkastet arbeid å bruke for mange og til og med uheldig, hvis antallet av vertikaler og dermed målepunkter økes på bekostning av de enkelte punktmålingers nøyaktighet. Her som overalt ellers gjelder det å finne den gylne middelvegen. Ved å sløyfe overflødige vertikaler kan man kanskje til gjengjeld få anledning til å ta flere vannføringsmålinger.

Det ideelle er at ingen vertikal skal representere mer enn 5% av den totale vannføring. Dette medfører at det sjeldent lar seg gjøre å bruke mindre enn 20-25 vertikaler. En god måte å praktisere dette på er at avstanden mellom vertikalene aldri gjøres større enn 1/10 av

totalbredden og at det utføres dobbelmålinger. Det vil si at det måles både fram og tilbake. Vertikalene i målingen tilbake plasseres mellom vertikalene i den første målingen. Tilsammen får da som regel de to målingene mellom 25 og 30 vertikaler. Med denne fremgangsmåten oppnår man, på grunn av den kortere måletid, mindre vannstandsvariasjon under målingen og man får videre to måleresultater til sammenligning og oppnår derved en kontroll på de utførte målinger.

2.3.3 Norsk praksis ved måling av vannføring med flygel

I Norge har vi i mange år brukt en egen vertikal hastighetskurve metode [6]. Man har målt like over bunnen og like under overflaten og dessuten i 4-5 mellompunkter avhengig av dybde, bunnforhold, turbulens og eventuelle andre forstyrrelser. Metoden krever minst 10 vertikaler under gode forhold med jevnt bunnprofil og jevn strøm. Ved større knekk i bunnprofilet plasseres ekstra vertikaler i knekkpunktene. Ved turbulenshvirvler og ellers uregulær strøm kreves også ekstra vertikaler som plasseres etter skjønn.

Det har også vært i bruk en variant av 5-punkt metoden: hastigheten måles i punktene 0,2, 0,5 og 0,8 av dybden, samt like under overflaten og like over bunnen. Det anbefales at metoden bibeholdes med den forandring at 0,5 punktet byttes ut med 0,6 punktet. Det vil si at man går over til den ordinære 5-punkt metoden til vanlig bruk, men fortsatt bruker vår vertikal hastighetskurve metode som omtalt ovenfor under ugunstige forhold.

2.3.4 Vannføringsmålingen

I middels store og større elver utføres vannføringsmålingene ofte fra båt. I mindre elver er vademålinger å foretrekke. Er elva istrakt måles det fra isdekket. Vannføringsmålinger kan også foretas ved hjelp av spesielt konstruerte kabelbaner, eller fra en høyelig bru. Generelt gjelder følgende retningslinjer:

1. På det valgte målestedet fastlegges måleprofilet ved hjelp av en utspent wire med avstandsinndeling.

2. Måling ved bruk av vadestøvler vil ofte være praktisk der det dreier seg om mindre elver med dybder opptil 70-80 cm. Man må passe på at flygelet holdes godt ut fra bena slik at disse ikke virker forstyrrende på strømretningen og strømhastigheten ved målepunktene.
3. I større elver er man som regel henvist til å nytte båt. I meget smale og grunne elver bør bruk av båt unngås fordi båten under slike forhold vil virke oppstuvende. Man får for store hastigheter langs båtsiden hvor flygelet i alminnelighet holdes og resultatet blir da lett feilaktig.
4. Ved store vannføringer under flomforhold samt ovenfor fosser og stryk er måling fra kabelbane å foretrekke. Man er da i stand til å måle større vannføringer og ikke minst er denne måletypen mindre slitsom og risikabel for utøveren enn måling fra båt.
5. Ved måling fra bru får man i alminnelighet gode resultater forutsatt at brubanen ligger i rimelig høyde over vannflaten og at strømhastigheten ikke er for stor. Ved denne type måling forstyrres ikke strømmen slik tilfellet er ved vademåling og måling fra båt. Det kan derfor iblant, der det skal måles i lengre tid og spennet ikke er for langt, til og med bli tale om å bygge en enkel målebru.
6. Ved måling fra isdekket om vinteren bores det hull i isen for vertikalene der strømhastigheten skal bestemmes. En åpen sammenhengende råk tvers over elva i måleprofilet er mindre heldig da det i dette tilfellet lett oppstår skråstrømmer i overflaten. Skulle man støte på større opphopninger av sarr eller issørpe under isen, må nytt målested finnes.
7. Ved måling over terskler, for eksempel i flomløp, må man være særskilt nøye med å få alle målepunktene i absolutt samme vertikalplan. Hastigheten øker så raskt i strømretningen at et ubetydelig avvik fra vertikalplanet vil medføre feil.

8. Når det gjelder oppmåling av vannføringskurver, skal arbeidet legges slik an at det utføres to til tre vannføringsmålinger på samme vannstand, eller hvis vannstanden varierer hurtig ved vannstander så nær hverandre som mulig. Dette gjelder spesielt hvis man ikke får anledning til å regne ut målingene på stedet. Man får på denne måten fastlagt grupper på to-tre målinger som gir gode støttepunkter for kurvens trasering. I motsetning til dette vil ofte en enkel isolert måling på kurvens øvre del ha en begrenset verdi. Til gjengjeld kan slike klynger av målinger gjerne legges med større mellomrom enn hva gjelder for enkeltmålinger.

9. Det måles i punktene 0,2, 0,6 og 0,8 av dybden, samt like under overflaten og like over bunnen. Er vannstrømmen forstyrret på grunn av urent og dårlig måleprofil, bør antall målepunkter økes utover disse fem slik at hastighetskurven for vertikalen blir best mulig definert.

For de to målepunktene like under overflaten og like over bunnen gjelder at flygelet skal plasseres slik at propellakselen får en avstand på ikke mindre enn en propelldiameter fra disse avgrensningene.

Hva angår målepunktet like over bunnen, avhenger avstanden her mye av om bunnen er jevn eller ikke. Det turbulente sjikt ved elvebunnen øker med bunnens ruhet/ujevnhet. Selvsagt bør ikke flygelet holdes for nær bunnen slik at det blir for mye berørt av dette sjiktet. Med hensyn til målepunktet like under overflaten må det påses at propellen alltid holdes dykket.

10. Observasjonstiden i hvert punkt bør i alminnelighet ikke være under 45 sekunder. Viser registreringsinstrumentet ujevn telle-takt, bør observasjonstiden økes. Er telletakten så ujevn at det kan tenkes å skyldes feil ved instrumentet, bør dette undersøkes og observasjonene gjentas. Man bør forøvrig som før nevnt, alltid bringe med to instrumenter og fra tid til annen ved kontroll-målinger forsikre seg om at instrumentene er i orden. Det foretas

alltid en spinn-test både før og etter at vannføringsmålingen er utført.

11. Man kan undertiden bli nødt til å foreta målinger på et sted der strømlinjene ikke er parallelle over hele måleprofilet, noe som ofte er tilfellet ved utløpet av sjøer og under bruer. På slike steder bør man såvidt mulig måle med flygelet montert på stang og holde instrumentets lengdeakse vinkelrett på profilet med mindre strømmens skjevhets overstiger 10° . Er dette tilfellet, bør flygelet holdes i strømretningen under målingen. Senere må da strømmens komponent vinkelrett på måleprofilet bestemmes. Dette gjøres ved å multiplisere den målte hastighet med cosinus til vinkelen mellom strømretningen og normalen på måleprofilet.

Denne siste fremgangsmåten nytes også ved opphengt flygel fordi dette jo uten videre stiller seg inn i strømretningen.

Det kan nevnes at ved en vinkel på 10° er hastigheten i strømretningen 1,2% større enn hastighetens komponent vinkelrett på profilet. Tilsvarende for 18° er 5%.

Skulle av en eller annen grunn måleprofilet måtte legges på skrå over en ellers parallelt strømmende elv, måler man hastigheten i strømretningen, regner ut vannføringen på vanlig måte og reduserer sluttresultatet med cosinus til skråvinkelen.

Ved bruk av komponentpropell og flygelet montert på stang måles det alltid med flygelets lengdeakse vinkelrett på måleprofilet. Skulle imidlertid skråstrømmens avvik være større enn propellens angitte gradtall, måles det i strømretningen og resultatet korrigeres med cosinus til avviket som forklart ovenfor.

12. Har man valget mellom å utføre en vannføringsmåling med flygelet montert på stang eller med opphengt flygel, bør måling med stang foretrekkes. Ved større dybder vil man imidlertid være nødt til å nytte opphengt flygel. Flygelet vil da ved høye strømhastigheter få en avdrift og man vil registrere for store dybder. For å finne

de korrekte dybder må man måle avdriften og redusere de målte dybder.

Den generelt beste metoden, som anvendes for alle typer målinger, er å lodde opp og nivellere inn elvas tverrprofil ved målestedet helt opp til høyeste flomvannstand. Profilet refereres så til en permanent vannstandsskala eller fastmerke satt opp i samme profil. Målevertikalenes virkelige dybde kan da bestemmes nøyaktig ved enhver vannstand og målepunktenes dybde korrigeres tilnærmet. Korrekjonen skjer ved å multiplisere målepunktenes målte dybde med forholdet mellom korrekt dybde i vertikalen og målt dybde i vertikalen.

Forøvrig kan de virkelige dybder bestemmes ved hjelp av tabeller. For bruk av tabellene må man kjenne flygelets avdriftsvinkel, avstanden fra opphengningspunktet ned til vannflaten og den målte dybde inkludert avdriften. Se Appendiks side 44.

2.3.4.1 Måling ved vading

Måling av vannføringen i grunne elver foregår ved vading. Det brukes da vadestøvler, eventuelt vadebukse, og flygelet monteres på en inn-delt målestang med fotplate og retningsviser. Ved vademålinger har man i det hele god kontroll med målingen og er istrand til å nøyaktig bestemme både elvas bredde og dybdene i måleprofilet, samt å holde flygelet rolig og i korrekt posisjon.

Stanga holdes vertikalt med fotplaten støttet mot bunnen og med flygelets lengdeakse vinkelrett på måleprofilet. Dette kontrolleres ved hjelp av retningsviseren som stilles inn og festes øverst på målestanga. Måleprofilets retning og vertikalenes avstand fra elvebredden fastlegges ved hjelp av et wiremålebånd som strekkes over elva slik at det danner en rett vinkel med hovedstrømmens retning.

Under målingen må hydrologen plassere seg slik at han ikke forstyrrer strømmen. Som en alminnelig regel skal han stå ut til siden og noe bak flygelet, minst 50 cm hver veg.

Der elvebunnen er løs, bør hydrologen trå med forsiktighet da det lett kan oppstå fordypninger med resulterende utgravninger, noe som i sin tur virker forstyrrende på målingen.

For nøyaktig og stødig plassering av flygelet i vertikalen skal stanga som nevnt stå på bunnen og flygelet flyttes oppover for hvert målepunkt. Første målepunkt er alltid ved bunnen. Å holde stanga fritt uten støtte anbefales ikke. Dette er trettende og umuliggjør en korrekt plassering av flygelet i betryggende avstand fra utøveren.

Etter at målingen er ferdig, tas umiddelbart en ny måling på veg tilbake over elva. Vertikalene legges da tilnærmet midt mellom vertikalene i den første målingen. Man tar alltid en kontrollavlesning på vannstandsskalaen før man begynner på denne siste målingen.

En enkel regel sier at man skal kunne foreta en vademåling så lenge produktet av hastighet og dybde i den maksimale vertikal har en tallverdi mindre enn 1. Dette gjelder for dybder begrenset til omlag 1 m, ved godt fotfeste og for en middels høy person (175-180 cm). Forøvrig må det under vademålinger utvises forsiktighet og Hydrologisk avdelings sikkerhetsinstruks [7] skal overholdes.

Ved små vannføringer og brede grunne vannløp, noe som ofte forekommer i lavvannsperioden, kan man med fordel avgrense stillestående partier og samle vannet i trangere løp. Målingen foretas så etter at vannføringen har hatt tid til å stabilisere seg.

For å måle vannføringer mindre enn $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$, anbefales det å bruke en liten transportabel måledam av Hydrologisk avdelings type. Forutsetningene for bruk av disse måledammer må følges, bl.a. skal tilløps-hastigheten være tilnærmet lik null.

2.3.4.2 Måling fra båt

I større elver hvor vademåling ikke er mulig har måling fra båt vært det vanlige i Norge. Det måles enten med flygelet montert på stang eller med opphengt flygel avhengig av dybde og strømforhold.

Som ved vademåling strekkes en inndelt og merket wire (galvanisert ståltau) over elva vinkelrett på strømretningen. Da wiren også brukes til forankring av båten, må den være betydelig kraftigere enn den som brukes ved vademåling. Vanligvis brukes såkalt silkewire (type 6 x 12 + 7 kjerner) med diameter 3-5 mm og bruddlast 300-1200 kg. Denne type wire er mykere og derfor lettere å håndtere enn vanlig stålwire. På den annen side har den imidlertid lavere bruddstyrke og beskadiges følgelig lettere enn vanlig wire av tilsvarende diameter. Den er også mindre strekkbestandig og kan derfor forstrekkes betydelig ved hard bruk. Wirens lengdeinndeling bør av den grunn kontrolleres fra tid til annen.

I større elver med høy strømhastighet er arbeidet med å få dradd over wiren ofte vanskelig og ikke helt ufarlig. Man kan ro båten over elva eller bruke påhengsmotor. Det er flere måter å dra wiren over på:

- a) Wire-trommelen står fortøyet på land og wiren dras ut etterhvert som båten krysser over til motsatt elvebredd. Det er nødvendig at en mann på land passer wiretrommelen. Denne metoden passer best for mindre elver og der strømhastigheten er lav.
- b) I brede elver med betydelig strømhastighet skal wiren festes på den ene elvebredden og trommelen følge med i båten. Båten manøvreres rett over elva helst ved bruk av påhengsmotor. En mann sitter akter i båten og hjelper til med å la wiren løpe passende raskt ut slik at den straks synker til bunns, fortrinnsvis i måleprofilet eller litt nedstrøms dette. Hvis wiren tar bunnen oppstrøms av måleprofilet, hekter den seg lett fast og vil være umulig å løsne på annen måte enn å hale den inn igjen. På grunn av sikkerhetsmessige hensyn må løse wirekveiler aldri forekomme i båten.

Etter at wiren er dradd over elva, strekkes den ved hjelp av talje og froskekjeft. Wirejekk som vandrer på wiren er også enkel i bruk, men må brukes med forsiktighet for å unngå skader på wiren.

Wiren skal spennes helt opp slik at den henger godt fritt av vannet. Hvis ikke, kan den bli liggende og piske i vannflaten og forårsake

sterke rykk i båten, noe som både er risikabelt og som forringer målingens nøyaktighet og godhet.

Wiren bør være være tilstrekkelig stram slik at den gir et lite løft i båten under målingen. Båten ligger da stødigere og sikrere. Man unngår da også den pendlende bevegelse av båten oppover og nedover i elva som gjerne oppstår ved slak wire og som gir feil i hastighetsmålingene (overregistrering). Under vind og bølgegang kan dessuten båtens vertikale bevegelse bli betydelig ved slak wire, dette forårsaker også feil i målingene (underregistrering).

Spesielt under flom kan det være problematisk og tildels farefullt å få dradd over wiren. Under slike vanskelige forhold kan det være en fordel først å dra over en tynn og lett line som deretter brukes til å trekke over wiren med. Det kan også være aktuelt å skyte linen over med linekaster.

På vanskelige målesteder er det ofte best å sette opp wiren på forhånd ved lav vannføring. Dette gjøres gjerne om vinteren når elva er islagt.

Wirestrekk som kan være til fare eller ulempe må merkes, meldes til politimyndighetene og offentligjøres gjennom lokalmedia. Merkingen kan gjøres med tøystrimler som knyttes på wiren i omlag 5 m avstand fra hverandre samt ved elvebreddene. Når wiren ikke er i bruk, må den heves høyt nok til å gi fri passasje under, også under flomforhold.

Båten som nyttes må selvsagt være stor nok til å kunne bære måleutstyr og mannskap på en sikker og trygg måte, og den må egne seg til bruk i strømmende elv. Det vil si at båten må være passende stor, stødig og lett å manøvrere.

Båten bør ha flat avrundet bunn, stevn, lav kjøl og være tverr akter. En båt med dyp kjøl har lett for å "skjære seg" når strømmen er stri. På den annen side må båten ha en viss manøvrerbarhet når wiren skal bringes over elva, dette fordrer at den ikke bør være helt uten kjøl.

For å være godt manøvrerbar ved høy strømhastighet må båten ha en passende lengde. En hensiktsmessig båtlengde for måling i elv ved strømhastigheter rundt 2 m/s vil være 3,5-4 m. Man kan forøvrig merke seg at en relativ lang og smal båt gir god styring selv uten kjøl.

Dersom wiren er strukket på forhånd og båt bare er nødvendig under selve flygelmålingen, kan en flatbunnet pram lignende farkost egne seg godt som målebåt.

Under moderate strømforhold med hastigheter opptil 1,5 m/s festes wiren gjerne til båten ca 1/4 båtlengde bak stevnen. Den festes til begge ripene med bajonettkrok. På denne måten vil båten ligge stødigere og man unngår pendling sideveis. Dessuten vil båten lett kunne løses i en håndvending i en eventuell krisesituasjon. Som før nevnt skal wiren være såpass høyt og stramt strukket at den løfter i båten.

I urolig og stri strøm med hastigheter på 2 m/s og over, er det tilrådelig å feste båten i stevnen. Under slike forhold er det spesielt viktig at det er god strekk i wiren over elva.

Båten skal trimmes før bruk slik at den ligger korrekt i vannet. Man trimmer ved å plassere mannskap og utstyr på en avbalansert måte og om nødvendig ved bruk av høvelig ballast. Man skal ha øye at båten aldri må være fram tung. Tvertimot, og særlig i stri strøm er det viktig at den har en viss baktyngde.

Måling av strømmens hastighet fra båt kan foretas med flygelet montert på stang og med fotplate og retningsviser. Dette gir nøyaktigere målinger enn med opphengt flygel og kan nytties opptil dybder på omlag 3-4 m, avhengig av strømhastigheten.

Det skal alltid være to sammen i båten. Den ene sitter foran og holder stanga med flygel. Den andre tar observasjonene, noterer disse og beordrer flygelet flyttet opp på stanga til neste målepunkt når ett er ferdig målt. Han sitter bakerst i båten, og har eventuelt en styreåre under armen for holde båten i ro hvis den skulle være utsatt for avdrift på grunn av vind. Stangholderen holder stanga an mot

wiren som støtte, og han flytter båten etterhvert som vertikalene er ferdig målt. Båten må ikke løses fra wiren, men dras sideveis langs wiren i jevnt tempo. Bråe og rykkvise forflyttninger kan være risikabelt.

Første målepunkt er som regel 10 cm oppe på stanga. Når stanga settes ned på bunnen, bør dette skje på skrå mot strømmen for å hindre at propellen skades av stein eller andre ujevnheter. Når stanga har tatt bunnen, flyttes den forsiktig bakover til den står i lodd.

Båten forstyrrer strømmen i sin nærmeste omgivelse. For å unngå påvirkningen fra båten flyttes denne så langt til siden som praktisk mulig før hastigheten måles i det øverste eller de to øverste punktene i vertikalen.

Som for vademåling tas en ny måling på veg tilbake over elva. Vertikalene plasseres også her tilnærmet midt mellom vertikalene i den første vannføringsmålingen.

Ved større dybder og når strømhastigheten er stor, måles med opphengt flygel. Flygelet er da påmontert styrehale og lodd og er opphengt i en kabel med elektriske ledere i kjernen. Opphengningskabelen manøvreres ved hjelp av en liten målevinsj med innebygd dybdeindikator. En uttrekkbar bom med trinse på enden er tilpasset målevinsjen. Den plasseres vanligvis utover stevnen foran i båten. Loddets vekt og vinsjens utveksling er tilpasset hverandre slik at operatøren kjenner når loddet tar bunnen. Ved å sikte over trinsen på enden av bommen mot et bestemt punkt på elvebredden kan man også tydelig se når loddet berører bunnen. Man bør sveive opp en halvmeter eller så og kontrollere et par ganger før endelig dybde noteres.

For å bestemme flygelets avdrift ved måling fra båt med opphengt flygel kan en tynn snor, hvis egen avdrift er uvesentlig, festes i flygelet. Snoren holdes loddrett og strammes, men dog ikke så meget at flygelet heves, og snorens avstand fra opphengningspunktet måles. Er snoren inndelt, kan dybden avleses direkte. Metoden er tilnærmet.

Et opphengt flygel vil automatisk stille seg inn i strømretningen og man må derfor alltid korrigere de målte hastigheter med cosinus til skråvinkelen såfremt denne er større enn omlag 10^0 .

Hvis det ofte må måles med opphengt flygel, bør man unngå målesteder med skråstrøm såsant dette er mulig. Skulle det likevel være nødvendig å foreta viktige målinger på steder med utpreget skråstrøm, finnes det spesielt flygelutstyr med innebygd retningskompass som vil vise strømmens nøyaktige avvik fra normalen på måleprofilet.

Under måling fra båt, spesielt ved høyvann og flom, må man holde godt utkikk etter drivende trær og andre gjenstander slik at man har tid til å flytte båten hvis dette skulle bli nødvendig.

Vannføringsmåling fra båt under flom og ellers vanskelige forhold skal aldri utføres av uøvd og ukyndig personell. I første rekke er det her tale om båtvanthet, samt forståelse for hvordan en forankret båt oppfører seg i sterkt strømmende vann. Bruk alltid flytevest under arbeid i elv. Se forøvrig Hydrologisk avdelings sikkerhetsinstruks [7].

Etter at en måling er utført, må målewiren enten tas ned eller heves så høyt at den ikke er til fare eller ulykke for andre som før nevnt.

2.3.4.3 Måling fra kabelbane

I Norge har vi tradisjonelt foretatt vannføringsmålinger under flom-forhold ved bruk av båt. Dette kan til sine tider både være slitsomt og ikke minst farefullt for utøverne, og man har av den grunn i stor utstrekning vært avskåret fra å måle de høye flommene. Dette har medført at man som regel har vært nødt til å ekstrapolere den øvre del av vannføringskurven tiltross for den usikkerhet denne praksis fører til i de resulterende vannføringsdata. Her har måling fra kabelbane sitt store fortrinn idet både risiko og slit nærmest er eliminert, og fordi man er i stand til å måle alle flommer helt til topps.

Større kabelbaner har en kraftig bærewire spent permanent over elva

hvor man har lokalisert et godt måleprofil. Flygelet er påmontert styrehale og lodd og henger i en kabel fra en løpekatt som triller på bærewiren og dirigeres fra bredden ved hjelp av en dobbel målevinsj med trekkwire og opphengningskabel. Opphengningskabelen for flygelet har innebygd elektriske ledere hvor man får inn signalene fra flygelet.

Målevinsjen for kabelbanen har egne telleverk både for avlesning av avstanden fra elvebredden til målevertikalene og av elvas dybde. Er spennet kort, mindre enn omlag 60 m, klarer man seg imidlertid ofte med en enkel vinsj med telleverk for avlesning av bare dybdene. Avstanden fra elvebredden ut til flygelet måles da med et vanlig wiremålebånd som festes til løpekatten og som strekkes inn til elvebredden for hånd hvor det avleses mot et referansemerke.

Ved høy strømhastighet vil flygelet få en avdrift og de målte dybder vil bli for store. For å begrense avdriften bør man bruke tunge lodd, opptil 80-100 kg. Hver målestasjon bør da ha sitt eget lodd oppbevart på stedet. Loddet må ha bunnkontakt som gir signal når elvebunnen nåes. Under flomforhold kan imidlertid avdriften bli for stor selv ved bruk av tunge lodd. Man er da nødt til å korrigere de målte dybder.

Under vannføringsmålingen bør utøverene være utrustet med kikkert slik at de kan følge med flygelets posisjon og funksjon. Man må også holde øye med elva oppstrøms av målestedet slik at flygelet kan heves hvis større gjenstander som kan skade det kommer drivende.

Måleprosedyren ved måling fra stor kabelbane er som følger:

1. Flygelet med lodd kjøres ut til elvas nærmeste bredd og senkes slik at det henger like over vannkanten, telleverket for avstanden nullstilles.
2. Flygelet kjøres så videre ut til første målevertikal hvor det senkes inntil propellakselen ligger vannflaten, telleverket for dybden nullstilles. Flygelet senkes inntil loddet berører elve-

bunnen og telleverket avleses. Avlesningen tillagt avstanden mellom propell og underkant lodd gir målt dybde.

3. Målepunktene hvor strømhastigheten skal bestemmes fastlegges og målingene utføres.
4. Man fortsetter på samme måte som under pkt. 2 og 3 inntil alle vertikalene er oppmålt.
5. Er strømhastigheten så stor at flygelet får en betydelig avdrift, dvs. er avdriftsvinkelen mellom vertikalen og opphengningskabelen større enn 4° , må målepunktenes dybde korrigeres før vannføringen regnes ut. Det gjøres isåfall en notat om dette i måleboka.

Vil man korrigere den målte dybde på grunn av avdriften, gjøres dette best som tidligere beskrevet ved å referere de virkelige dybder i måleprofilet til en vannstandsskala eller fastmerke satt opp i selve profilet og så redusere dybdene i hver vertikal med vertikalens korrekte dybde over den målte dybde, se avsnitt 2.3.4, pkt. 12.

Er det ikke installert vannstandsskala eller fastmerke i måleprofilet, regnes avdriften ut ved hjelp av ferdiglagede tabeller. Avdriftsvinkelen måles da mellom en tenkt vertikal linje trukket gjennom løpekatten og flygelets opphengningskabel. Et tilnærmet mål oppnås ved å sikte gjennom en vinkelkive av klar plast holdt på strak arm. For større nøyaktighet kan man i tillegg bruke lodd-snør eller en liten water. Man må videre måle inn opphengningspunktets høyde over vannflaten og dybden inkludert avdriften, se Appendiks side 44.

6. Hvis man foretar vannføringsmålinger nær en flomtopp, vil det ofte forekomme drivende gjenstander som busker, bordbiter, etc. Under slike forhold bør flygelet av og til heves fritt over vannet for kontroll om noe har hengt seg fast. Dette gjøres alltid hvis det skulle inntreffe en plutselig endring i registreringsapparatets telletakt.

For store permanente kabelbaner er det spesielt viktig at man følger kriteriene for valg av målested og såvidt mulig rensker opp måleprofilen for forstyrrende objekter som f.eks. steinblokker, vegetasjon, etc. Før endelig valg av måleprofil gjøres, bør flere mulige målesteder undersøkes både ved lav og høy vannføring. De steder som har varierende grad av turbulens, hvirvler, skråstrøm, etc. kan da vurderes og man finner på denne måten fram til det beste målestedet i området.

Lette transportable kabelbaner har en spennvidde begrenset oppad til omlag 60-70 m. Prinsipielt gjelder for lette kabelbaner de samme regler for lokalisering av målested og bruk som for de store, selv om en kan være noe mer tolerant når det gjelder valg av målestedet. De lette flyttbare kabelbaner er tross alt enklere å flytte enn de store om målestedet skulle vise seg å være mindre velegnet.

Hydrologisk avdeling har konstruert en type lett kabelbane hvor det brukes to små vinsjer. Den ene har telleverk for å bestemme avstanden ut til måleverikalen og den andre telleverk for å måle dybden i vertikalen. Telleverkene har en trinse som ligger løst og triller på wiren. Det må påses at trinsen ikke slurer under målingen.

Loddet bør også for lette kabelbaner ha bunnkontakt, men man kan som regel klare seg uten ettersom det lett merkes på sveiva når loddet tar bunnen, forutsatt at loddet er tilstrekkelig tungt (15-20 kg).

2.3.4.4 Måling fra bru

En vegbru kan enkelte ganger være et godt alternativ til bruk av båt eller kabelbane, forutsatt at bruha ligger i rimelig nærhet av målestasjonen og at forholdene ellers er gunstige. Som regel gir imidlertid måling fra bru dårligere resultater enn andre måter å måle på.

Har bruа pillarer i elveleiet, må hver seksjon mellom brupillarene betraktes som et eget elveløp og antall vertikaler fastsettes ut fra dette.

Måling fra bru foretas enten med flygelet montert på stang eller med opphengt flygel. Er summen av største dybde og bruas høyde over vannflaten mindre enn 4-5 m, gir som regel måling med flygel på stang best resultat. Ved større høyder brukes opphengt flygel med bom og målevinsj. Er imidlertid strømhastigheten stor, vil stanga lett settes i hurtig sidevegs vibrasjon. Under slike forhold må man bruke støttebardun på stanga eller måle med opphengt flygel.

Det kan ikke settes opp noen fast regel om det skal måles fra oppstrøms eller nedstrøms side av en bru. Dette vurderes på stedet og er avhengig av bunn og strømforhold. Valg av side avhenger også av trafikkforholdene, eventuelt om det finnes fortau og på hvilken side dette er, samt detaljer i brukonstruksjonen forøvrig.

Er strømhastigheten stor, anbefales det å måle på nedstrøms side enten man måler med flygel på stang eller med opphengt flygel. Man kan da relativt enkelt benytte bardun fra oppstrøms side for å støtte stanga eller det opphengte flygel slik at avdrift unngås.

Ved bruk av stang er det som regel vanskelig å oppnå korrekte dybdeavlesninger, dels fordi vannet stuves opp mot stanga dels på grunn av at avstanden fra brubanen til vannflaten ofte er for stor for tydelig avlesing. Det er da vanlig å referere avlesningene på stanga til et merke på brubanen. Med stanga i bunnen leser man av verdien rett ut for merket, det samme gjøres med stangas fotplate i vannflaten differansen utgjør måleverikalens dybde.

For å minske avdriften av opphengt flygel brukes så tungt lodd som praktisk mulig. Nuttes bruа som fast målesteds, bør bunnprofilet loddet opp ved lavvann og refereres til en permanent vannstandsskala i profilet som tidligere omtalt. Se avsnitt 2.3.4, pkt 12.

Ved måling av vannføring i små elver og bekker kan det ofte være en

fordel å bygge en enkel målebru, gjerne av planker eller tømmerstokker. Fra slike provisoriske bruer måles det med flygelet montert på stang.

2.3.4.5 Måling fra isdekke

Målestedet for vannføringsmåling fra isdekke bør lokaliseres når elva er isfri og ved lav vannstand. Målestedet avmerkes tydelig på begge elvebreddene slik at det kan finnes igjen under vinterforhold. Endelig avgjørelse om stedet er brukbart tas om vinteren når is, sarr, strømforhold og snøforholdene kan bedømmes.

Måling av vannføringen i islagte elver krever en del spesialutstyr, varme klær og fottøy, samt forsiktighet.

Elvas bredde og avstanden mellom vertikalene måles inn med vanlig wiremålebånd. Boring av hull i isen for måleverticalene gjøres lettest ved hjelp av motordrevet isbor når istykkelsen er stor. Vanlig hånddrevet isbor kan være å foretrekke når isen er tynnere enn omlag 30 cm på grunn av borets lettere transportvekt. Først bores hullene i isen over de dypere partier av elveleiet. Hullene inn mot breddene tas til slutt. Man finner da enklere ut hvor elva er bunnfrosset og unødvendig boring i elvebunnen unngås, derved spares borskjærets egg for skader.

Er temperaturen særlig lav (under -15°C), skal man ikke bore opp alle hullene først før deretter å måle strømhastigheten. Hullene vil nemlig fort fryse til og arbeidet med oppboringen vil være bortkastet. Under slike forhold er man nødt til å bore opp ett og ett hull som det måles i umiddelbart.

Flygelet føres gjennom hullet i isen ved bruk av et spesielt konstruert hengslingsstykke som forbinder flygel og stang. Flygelet henger da med propellen ned. Vel under isen dreies så flygelet opp i horizontal stilling. Under målingen holdes stanga an mot iskanten og heves eller senkes for å plassere flygelet i ønsket posisjon.

Strømhastigheten under isen øker fra bunnen oppover som for isfri elv, men avtar så opp mot isflaten. Det øverste målepunktet legges derfor så høyt som mulig opp mot isen, eller oppunder en eventuell sarransamling.

Ved mye sarr i måleprofilet vil som regel målingen gi for lite vann. Man bør derfor unngå å ta vannføringsmålinger i profil med mye sarr.

Ved lave temperaturer må flygelet transporteres inne i bilen, og det må tas inn i hus utenom arbeidstiden. Under målingen må det på beste måte vernes mot kulden. Dette gjøres enklest ved å holde det mest mulig neddykket i vannet. Forflytningen fra hull til hull bør skje så raskt som mulig. For å skille sammenfrosne målestenger etter bruk brukes gassbrenner.

Hvis mulig kan man måle et stykke unna målestasjonen hvis elva der skulle være isfri. Man må da korrigere resultatet med forholdet mellom nedslagsfeltene.

2.3.5 Beregning av vannføringsmålinger

Vannføringsmålingene utregnes enten grafisk manuelt eller aritmetrisk maskinelt med EDB. Den grafiske utregning gir best resultat og dessuten et verdifullt innblikk i vannstrømmens hastighetsfordeling i måleprofilet.

2.3.5.1 Grafisk beregning av vannføringen

I denne metoden beregnes vannføringen manuelt ved grafisk integrasjon. Hastighetsdiagrammet tegnes opp for hver vertikal og arealet (m^2/s) bestemmes ved bruk av planimeter eller ved rutetelling med stikkpasser. Deretter tegnes det opp et diagram hvor abscissene angir de horisontale avstander i måleprofilet og ordinatene de ovennevnte arealer. Arealet av dette diagrammet gir vannføringen (m^3/s).

Hydrologisk avdelings EDB-program for beregning av flygelmålinger er basert på de samme prinsipper som den grafiske beregning.

2.3.5.2 Aritmetisk beregning av vannføringen

Ved aritmetisk beregning av vannføringen gir den såkalte midt-seksjon metoden det beste resultatet. Metoden består vesentlig i å: (a) dele måleprofilet inn i partielle seksjoner og bestemme areal og strømmens middelhastighet i hver seksjon for seg, (b) beregne vannføringen i hver seksjon som produktet av middelhastigheten og arealet, og (c) summere sammen alle de partielle vannføringene som så gir den totale vannføringen.

Midt-seksjon metoden er illustrert i figur 3. Som eksempel er tatt partiell seksjon 3 som rekker fra midtveis mellom vertikal 2 og vertikal 3 og til midtveis mellom vertikal 3 og vertikal 4. Vannføringen i seksjon 3 er da:

$$q_3 = v_3 \frac{(L_3 - L_2) + (L_4 - L_3)}{2} d_3 = v_3 \frac{L_4 - L_2}{2} d_3$$

der q_3 = vannføring i seksjon 3,
 v_3 = midlere hastighet i vertikal 3,
 L_2, L_3, L_4 = avstand fra elvebredden til vertikal 2, 3 og 4,
 d_3 = vannets dybde ved vertikal 3.

2.3.6 Vannstandsforholdene under målingen

Som tidligere nevnt utføres vannføringsmålingene som regel i tilknytning til en hydrometrisk stasjon. Vannstanden ved målestasjonen avleses på vannstandsskalaen såvel før som etter vannføringsmålingen. Ved varierende vannstand, enten stigende eller synkende, må man sørge for at vannstanden avleses fra tid til annen mens målingen pågår, f.eks. hvert 20. minutt. Hvis vannstanden er tilnærmet konstant under målingen, er saken grei. Likeså ved jevn vannstandsendring på mindre enn 4 cm fra målingens begynnelse til slutt, kan middelvannstanden i de aller fleste tilfeller brukes uten videre. Har vannstanden derimot endret seg mer enn dette under målingen, må den korrigeres. Man søker da å finne en midlere vannstandsverdi som er representativ for den målte vannføringen.

Ved grafisk utregning av vannføringsmålingen tegnes vannstandens forløp over vannføringsdiagrammet idet tidsmålestokken avpasses etter diagrammets bredde. Skjæringspunktet mellom vannstandskurven og vannføringsdiagrammets tyngdepunktsakse gir målingens representative vannstand.

Beregnes vannføringen analytisk, finner man den representative vannstand ved å vektfordеле vannstanden i jevne tidsintervall med hensyn til de tilsvarende partielle vannføringer, som følgende formel viser:

$$H = \frac{h_1 \cdot q_1 + h_2 \cdot q_2 + h_3 \cdot q_3 + \dots + h_n \cdot q_n}{Q}$$

der H = representativ vannstand,
 h_1, h_2, \dots, h_n = middelvannstand i intervall 1, 2, ..., n,
 q_1, q_2, \dots, q_n = midlere partiell vannføring i intervall
 1, 2, ..., n,
 Q = den totale vannføring.

Forøvrig må man kontrollere om vannstanden ved målestasjonen kan være oppstuvet av is, tømmer eller vegetasjon eller om målestasjonens bestemmende profil kan ha undergått forandringer av noe slag.

3

FEILKILDER UNDER MÅLING MED FLYGEL

Den vide variasjonen i vassdragenes karakter hva angår klimatiske og fysiske forhold både med hensyn til årstid og til beliggenhet, samt måleutstyrets respons under de varierende forhold, kan ofte volde vanskeligheter. For å oppnå gode og nøyaktige målinger med flygel kreves derfor kjennskap til de mange faktorer som kan gripe forstyrrende inn, samt omtanke for å unngå eller begrense virkningen av dem. Dette kommer i tillegg til den nødvendige viten om de spesifikke prosedyrer som følges i utførelsen av målingene.

3.1 Utstyr og instrumenter

Et godt resultat kan bare forventes når måleutstyret er korrekt montert, kalibrert og vedlikeholdt. Dette gjelder i første rekke flygelet og registreringsinstrumentene.

3.2 Målested

Uavhengig av måletypen vil målingens godhet være sterkt avhengig av målestedets karakter. Hvis målestedet er ideelt, kan selv uøvd personell utføre en god eller tilfredsstillende måling uten større vansker. Hvis forholdene derimot er ugunstige, vil selv en erfaren hydrolog kunne bli satt på en hard prøve under forsøk på å oppnå et tilfredsstillende resultat.

3.3 Plassering av vertikalene

Der målestedet er ujevnt, vil også strømmen være ujevn og uregelmessig og flere vertikaler vil være nødvendig for å redusere usikkerheten i målingen. Vertikalene må alltid plasseres slik at de avdekker tverrsnittets virkelige form og kontur og dermed kan gi vannstrømmens middelhastighet best mulig.

3.4 Måling av dybde og bredde

Vannføringen beregnes som produktet av det våte tverrsnittsareal og vannstrømmens middelhastighet. En feilaktig bestemmelse av vanndybden i vertikalene eller av elvas bredde, vil derfor gi en tilsvarende feil i den målte vannføring.

3.5 Skråstrøm

En feil i målingen vil resultere hvis strømmen ikke står normalt på måleprofilet. Skråstrøm opptrer gjerne hvor elveløpet utvider seg eller snevres inn slik som ved innløpet og utløpet av høler. Man har her skråstrøm både i horisontalplanet og vertikalplanet.

3.6

Turbulens og pulserende strøm

Flygelet blir kalibrert ved å kjøres gjennom stillestående vann. Dette tilsvarer rolige strømningsforhold med parallelle strømlinjer. Det er imidlertid ikke uten videre klart at en kalibrering foretatt under slike forhold også gjelder for naturlige elveløp med turbulente og pulserende strømningsforhold. Forsøk bekrefter at så ikke er tilfellet. Det viser seg nemlig at i turbulent strøm vil hastighetskomponenten i flygelets retning få et propellflygel til å overregistrere, mens hastighetskomponenten på tvers av flygelet vil få det til å underregistrere. Siden begge komponentene opptrer i turbulent strøm, kan feilen bli enten positiv eller negativ (eller null), avhengig av hvilken av komponentene er den dominerende. Pulserende strøm, som hovedsakelig virker i flygelets lengderetning, vil på sin side alltid gi en ensidig positiv feil (overregistrering).

Feilen forårsaket av strømmens pulsering i flygelets lengderetning kan reduseres betraktelig ved bruk av propell med liten treghet og dermed rask respons. Det vil si en liten og tynn propell og/eller en propell laget av lett materiale. Virkningen av den tverrgående pulsering er liten ved bruk av propell med liten treghet.

I alminnelighet vil disse feil være små og uvesentlige under moderate forhold. Hvis derimot turbulens og pulsering er høy, er målestedet ikke brukbart.

3.7

Lav temperatur

Propellflygelet har lagre som går i oljebad. Ved lav temperatur minsker oljens viskositet slik at den blir mer tyktflytende. Dette kan forårsake betydelige målefeil, spesielt ved lave strømhastigheter og pulserende strøm.

Når det måles ved lufttemperatur under null grader, må en passe på at flygelet mest mulig holdes neddykket i vannet og ikke eksponeres unødig i luften, noe som kan medføre dannelse av is på overflaten og fastfrysing av propellen.

3.8 Opphengt flygel

Et opphengt flygel fra kabelbane vil lett komme i både vertikale og horisontale svingninger og dessuten være utsatt for avdrift under målingen. Et for lett lodd, vind og et dårlig målested vil forverre slike forstyrrende bevegelser. Man må alltid forsøke å dempe forstyrrelsene og holde dem innenfor akseptable grenser.

3.9 Vind

Vind og bølgegang vil påvirke resultatet ved måling fra båt med opphengt flygel. De vertikale bevegelser virker på samme måte som sidevegs pulsering og man får underregistrering. Feilene kan bli meget store ved liten strømhastighet. Vinden vil også omrøre vannet i overflaten slik at hastigheten i de øverste målepunktene blir påvirket, dette skjer ved alle typer av flygelmålinger.

Vindens oppstuvende virkning kan forøvrig forårsake store feil i målingens tilhørende vannstandsavlesning dersom vannstandsskalaen (målestasjonen) er plassert i en sjø fjernt fra utløpet, hvor vannføringen jo alltid måles.

3.10 Vibrasjon av målestang

Under måling med flygelet montert på stang der avstanden mellom vannets overflate og stangens øvre forankningspunkt er stor (f.eks. ved måling fra bru), vil stanga lett komme i sidevegs vibrasjon. Vibrasjonene kan motvirkes ved å feste et støttetau til målestanga like over vannflaten. Ved å holde støttetauet ut til siden og passende stramt vil vibrasjonene opphøre.

3.11 Flytende gjenstander

Større flytende gjenstander slik som tømmer og trær forekommer ofte under flom og høye vannføringer. Mye drivgods virker forstyrrende på målingen og fører gjerne til at man setter opp tempoet for å bli ferdig fortest mulig. Dette fører så i sin tur lett til feilobservasjoner både av hastighet og dybde.

3.12 Bunnvekst

Bunnvekst i måleprofilet kan virke inn på både flygelets funksjon og den vertikale hastighetsfordeling i vertikalene. Under slike forhold må flygelet ofte inspiseres om gress el.l. har viklet seg rundt propellakselen og om propellens spinn er tilfredsstillende.

3.13 Bunntransport av sediment og sand

Under disse forhold kan sandkorn lett komme inn mellom hylse og propellaksel og forstyrre eller endog stoppe propellens løp. For de nederste punkter i vertikalene må derfor flygelets funksjon ofte kontrolleres ved hjelp av spinn-prøven.

3.14 Bakevjer, peler, etc.

Disse forhold må unngås. De forekommer ikke i alminnelighet og utøveren må derfor vurdere forholdene på stedet hver gang målinger tenkes utføret under slike forhold.

4

MÅLEFEIL OG MÅLEUSIKKERHET

Målefeilen er differansen mellom målt verdi og den sanne verdi, målefeilen er som regel ukjent. En målings nøyaktighet er graden av overensstemmelse mellom målt og sann verdi, den uttrykkes ved begrepet usikkerheten.

Generelt er det ikke mulig å forutsi usikkerheten ved observasjoner eller målinger av fysiske størrelser. Man kan imidlertid gjenta en måling flere ganger og ved en statistisk analyse beregne målingenes spredning omkring sin middelverdi uttrykt ved det såkalte standardavvik (s). Måleusikkerheten angis så ved hjelp av dette standardavviket.

Statistisk defineres måleusikkerheten som et visst intervall omkring

den målte verdi. Den virkelige verdi forventes, med en viss sannsynlighet, å ligge innenfor dette intervallet. Et intervall på ett standardavvik til hver side av den målte verdi vil ha et forventningsnivå på 68%. Dette innebærer at et intervall på pluss/minus ett standardavvik vil omfatte den sanne verdi ved 68 ut av 100 målinger. For et intervall på to standardavvik til hver side vil forventningsnivået være 95%, og er intervallet tre standardavvik er forventningsnivået 99%.

I hydrometriken har man valgt å bruke et intervall på to standardavvik med tilhørende 95% forventningsnivå som et standardisert mål for usikkerheten i målinger og observasjoner.

Når det gjelder en samvariasjon mellom to variable (regresjon), som for eksempel mellom vannstand og vannføring, beregnes måleusikkerheten i flyggemålingene ut fra de målte vannføringers spredning omkring regresjonslinjen (dvs. vannføringskurven). Man bruker da den såkalte standardfeilen av estimatet (Se) istedenfor standardavviket som brukt ovenfor, se referanse [10] side 499-504. Man forutsetter at de målte vannføringers tilhørende vannstand er avlest uten feil.

Som tidligere omtalt er de viktigste årsakene til måleusikkerheten i flyggemålinger den menneskelige faktor, måleutstyret og målemetoden. I de følgende avsnitt vil disse tre faktorene bli nærmere belyst.

4.1 Den menneskelige faktor

De feil som gjøres av utøveren under opplegget og utførelsen av målingen og ved avlesningen av instrumentene kalles ofte den menneskelige faktor. Denne kan spille en stor rolle for målingens godhet. Årsaken til slike feil kan ha sammenheng med værforholdene under målingen, den enkeltes holdning og selvdisiplin, samt mangelfull opplæring og erfaring. Disse feil kan ikke elimineres, men de kan begrenses ved trening og ved å inngi faglig stolthet. Det kan av mange grunner være fristende av og til å foreta for raske og av den grunn usikre målinger, men alle bør ved utførelsen av ethvert arbeid kunne undertegne med at "dette arbeidet kan jeg vedkjenne meg". Den menneskelige

faktor er vanskelig å evaluere. I alminnelighet anses disse feil å være relativt små for rutinerte og bevisste operatører.

4.2

Instrumentelle feil

En målings godhet beror i avgjørende grad på måleutstyrets tilstand og på kalibreringen av instrumentene. Instrumentene som brukes er flygelet, registreringsinstrumentene, dybdeindikator og breddeindikator.

Feilen forårsaket av flygelet skyldes defekter i dette, og at det kalibreres i stillestående vann, men brukes til å måle turbulent strøm. Sistnevnte feilkilde er vanskelig å evaluere. Forsøk tyder imidlertid på at effekten av turbulens innen rimelige grenser er relativt liten.

Feilen forårsaket av det øvrige utstyr og instrumenter anses å være enda mindre enn den feil som skyldes selve flygelet. Den samlede instrumentfeil settes normalt til mindre enn 1%. Dette er en ensidig virkende (systematisk) feil.

4.3

Feil forbundet med målemetoden

Denne feilen har i det hele sammenheng med elvas karakter ved målestedet. Her medvirker vannløpets gradient, tverrsnittsareal, bredde, dybde og måleprofilets form. Videre innvirker både den vertikale og horisontale hastighetsfordeling i måleprofilet, samt graden av pulsering og turbulens. Alle disse forhold er mer eller mindre gjensidig avhengige og er i høy grad bestemmende for valget av måleprosedyren på stedet. Både med hensyn til måletype (vademåling, etc.) og målemetode (to-punkt metoden, etc.). Den metodiske feil kan spaltes i tre komponenter:

- feilen betinget av observasjonstidens lengde i hvert målepunkt,
- feilen betinget av antall målepunkter i den enkelte vertikal,
- feilen betinget av antall vertikaler i måleprofilet.

Observasjonstidens lengde i hvert målepunkt. Denne feil har sammenheng med vannstrømmens karakter, dvs. i hvilken grad der er turbulens og pulsering tilstede. En vil nærme seg hastighetens virkelige middelverdi bedre desto lengre observasjonstiden er. Undersøkelser viser at man kan sette den nedre grense for observasjonsintervallet til 30 sekunder, under gode forhold, og den øvre grense til 60 sekunder, under mindre gode forhold, som tilstrekkelig for de fleste elvetyper.

Antall målepunkter i den enkelte vertikal. Denne feil beror på antall målepunkter i vertikalen. Man vil nærme seg middelhastigheten i vertikalen bedre desto flere punkter det måles i. Ved jevn og uforstyrret vannstrøm med normal (logaritmisk) hastighetsfordeling i vertikalen er imidlertid antall punkter i vertikalen av mindre betydning enn antall vertikaler i måleprofilet.

Antall vertikaler i måleprofilet. Antall vertikaler i måleprofilet har stor innvirkning på den endelige usikkerhet i målingen. Antallet henger nøye sammen med forholdet mellom elvas bredde og dybde, måleprofilets form og størrelse, samt den horisontale hastighetsfordeling i måleprofilet. Antall vertikaler bestemmes under hensyntagen til alle disse faktorer.

REFERANSER

- [1] International Organization for Standardization (ISO),
1987:
Liquid flow measurement in open channels - Rotating
element current-meters. Ref. No. ISO 2537-1987 (E),
Geneva.
- [2] International organization for Standardization (ISO)
1975:
Liquid flow measurement in open channels - Sounding
and suspension equipment. Ref. No. ISO 3454-1983 (E),
Geneva.
- [3] International Organization for Standardization (ISO),
1979:
Liquid flow measurement in open channels - Velocity-
area methods. Ref. No. ISO 748-1979 (E), Geneva.
- [4] International Organization for Standardization (ISO),
1985:
Liquid flow measurement in open channels - Velocity-
area methods - Collection and processing of data for
determination of errors in measurement. Ref. No. ISO
1088-1985 (E), Geneva.
- [5] World Meteorological Organization (WMO), 1980:
Manual on stream gauging. Vol. I-II. Operational
Hydrology Report No. 13, WMO-No. 519, Geneva.
- [6] Aastad, J., 1935:
Instruks for oppsetning av vannmerker og utførelse av
vannføringsmålinger. Norges Vassdrags- og Elektrisi-
tetsvesen, Hydrografisk avdeling, Grøndahl og Søns
Boktrykkeri, Oslo

- [7] Aars, Ø., m.fl., 1979:
Vern og sikkerhet ved hydrologisk feltarbeid.
Rapport nr 1/79, Norges vassdrags- og elektrisitets-
vesen, Vassdragsdirektoratet, Hydrologisk avdeling,
Oslo.
- [8] A. Ott, 1976:
Operating instructions for C31 Ott Universal Current
Meter. HBe 10.002.02, 5825 RO, Kemten.
- [9] Smoot, G. F. and Novak, C. E., 1968:
Calibration and maintenance of vertical-axis type
current meters. - Techniques of Water Resources Inve-
stigations of the United States Geological Survey,
Book 8/B2, Washington D.C.
- [10] Herschy, Reginald W., 1985:
Streamflow measurement. Elsevier Applied Science
Publishers LTD., London, 553 p.

APPENDIKS

KORREKSJON FOR AVDRIFT VED MÅLING MED OPPHENGT FLYGEL

Dybdekorreksjon for avdriften utføres som følger, se figur 4 [2]:

1. Senk loddet ned til vannflaten og mål den vertikale avstand ab fra løpekatt til vannflate. Denne avstanden brukes i tabell 1 for å finne "luft-line korrekjonen".
2. Senk loddet videre til bunns og noter målt dybde df.
3. Mål avdriftsvinkelen P.
4. Ved hjelp av tabellene 1 og 2 beregn så:
 - luftline korrekjonen de som en prosentdel av ab (tabell 1),
 - våtline dybden, ef = df-de,
 - våtline korrekjonen som en prosentdel av ef (tabell 2),
 - legg sammen de to korrekjonene og trekk summen fra den målte dybde df, dette gir den korrekte dybde bc.

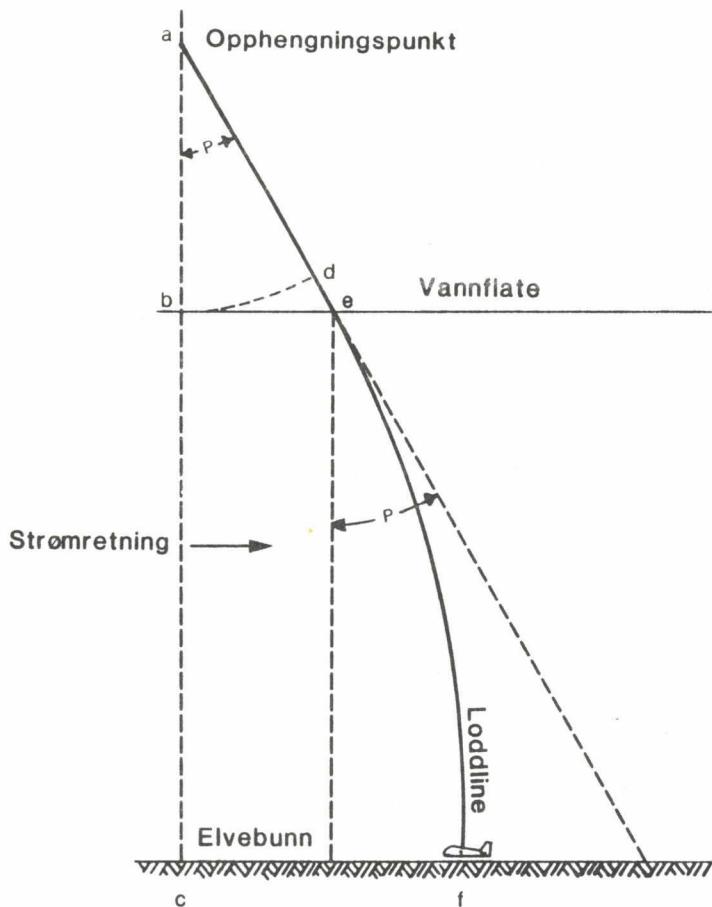


Fig. 4. Flygelets avdrift i sterk strøm.

Tabell 1. Luft-line korreksjon [2]

Avdrifts- vinkel P^0	Korreksjon %	Avdrifts- vinkel P^0	Korreksjon %
4	0,24	18	5,15
6	0,55	20	6,42
8	0,98	22	7,85
10	1,54	24	9,46
12	2,23	26	11,26
14	3,06	28	13,26
16	4,03	30	15,47

Tabell 2. Våt-line korreksjon [2]

Avdrifts- vinkel P^0	Korreksjon %	Avdrifts- vinkel P^0	Korreksjon %
4	0,06	18	1,64
6	0,16	20	2,04
8	0,32	22	2,48
10	0,50	24	2,96
12	0,72	26	3,50
14	0,98	28	4,08
16	1,28	30	4,72

Denne serien utgis av Vassdragsdirektoratet ved Norges Vassdrags- og Energiverk.

Adresse: Postboks 5091 Majorstua 0301 Oslo 3.

I V-PULIKASJONSSERIE ER UΤGITT:

- Nr. 1. D. Lundquist, L.-E. Petterson, E. Skofteland, N.R. Sælthun:
Beregning av dimensjonerende og påregnelig maksimal flom.
Retningslinjer. (32 s.) 1986
- " 2. J.A. Eie, O. Fossheim, Å. Hjelm-Hansen: "Nytt rundskriv 36".
Vassdragsreguleringsloven - krav til søknader. (39 s.) 1986
- " 3. T. Jensen: Hydroelectric Power in Lesotho. (35 s.) 1987
- " 4. B. Aspen, T. Jensen, H. Stensby: Nyttbar vannkraft pr.
01.01.87. Vannkrafttilgang fram til år 2000. (75 s.) 1987
- " 5. Bård Andersen: Biological and technical efforts to protect
against nature damages and to improve conditions of living in
Norway. (6 s.) 1987
- " 6. Per Einar Faugli (red): FoU i Jostedøla - seminarrapport
(249 s.) 1987.
- " 7. Ola Kjeldsen (red.): Glasialogiske undersøkelser i Norge 1984
(70 s.) 1987
- " 8. Tron Laumann: En dynamisk modell for isbreers bevegelse.
(37 s.) 1987
- " 9. Jon Arne Eie, Bjørn-Thore Amundsen: Biotopjusterings-
prosjektet. Status 1987. (21 s.) 1988
- " 10. J. A. Eie, O. Fossheim, Å. Hjelm-Hansen: Nytt rundskriv 36.
Retningslinjer: Konsesjonssøknader vedr. vassdragsreguleringer
(20 s.) 1986-88
- " 11. K. Wold (red.): Lomenprosjektet. Råkdannelse ved utslip i
innsjøer (98 s.) 1988

