

Driftsundersøkelse av vannføringsmålere

Sivilingeniør Kim Wedum

Norsk institutt for vannforskning

NTNFs Utvalg for drift av rensesanlegg



HPC-40/80

Blindern, august 1981

Forord

Vannføringsmålere er en av de viktigste instrumenteringsutrustninger i renseanlegg. Anleggenes styring og drift er direkte avhengig av vannføringsmålinger idet disse styrer kjemikaliedosering, slampumping, overløp og prøvetakere. Pålitelige vannføringsmålinger er også nødvendig ved utarbeiding av planer for rehabilitering og sanering av ledningsnett, og for at forurensningsmyndighetene skal kunne få en oversikt over forurensningsutslipp til vannressursene.

Ved NIVAs landsomfattende driftsundersøkelse fra 1974-77 ble det funnet at vannføringsmålerne ved mer enn 2/3 av de undersøkte renseanlegg hadde betydelige målefeil. Årsakene til målefeilene ble imidlertid ikke fastlagt. Senere undersøkelser ved nyere renseanlegg har også vist at vannføringsmålerne er beheftet med store feil. Statens forurensningstilsyn og NTNFs Utvalg for drift av renseanlegg satte derfor igang prosjektet "Driftsundersøkelse av vannføringsmålere" hvor det skulle foretas en systematisk undersøkelse av vannføringsmålerne ved ca. 15 tilfeldig utvalgte renseanlegg.

Prosjektet er utført av Kim Wedum, Norsk institutt for vannforskning.

Ole Jakob Johansen (sign.)
NTNFs Utvalg for drift av renseanlegg

Blindern, august 1981

Innholdsfortegnelse

| | Side: |
|--|-------|
| FORORD | 2 |
| FIGURFORTEGNELSE | 5 |
| TABELLFORTEGNELSE | 7 |
| 1. INNLEDNING | 8 |
| 2. GENERELT OM VANNFØRINGSMÅLINGER OG MÅLEUTSTYR | 9 |
| 2.1 Myndighetenes behov for målinger | 9 |
| 2.2 Lokalt behov for målinger | 9 |
| 2.3 Myndighetenes krav til målenøyaktighet | 10 |
| 2.4 Måleutstyrets oppbygging | 10 |
| 3. OPPLÈGG FOR UNDERSØKELSEN | 12 |
| 3.1 Program | 12 |
| 3.2 Valg av renseanlegg | 12 |
| 4. RESULTATER | 16 |
| 4.1 Dimensjonering av måleutstyret | 16 |
| 4.2 Utforming av utstyrets måledel | 17 |
| 4.3 Nivåmåling | 29 |
| 4.4 Lineariserings-enhet og indikator-instrument | 35 |
| 4.5 Integrator og telleverk | 38 |
| 4.6 Vannføringsmåling | 40 |
| 4.7 Tilsyn og vedlikehold av måleutstyret | 46 |
| 5. SAMMENDRAG OG KONKLUSJONER | 50 |
| 6. FORSLAG TIL FRAMGANGSMÅTE VED KALIBRERING OG VEDLIKEHOLD AV MÅLEUTSTYR | 53 |
| 6.1 Fastsettelse av krav til målenøyaktighet | 53 |
| 6.2 Vurdering av måleutstyret | 53 |
| 6.3 Klargjøring av utstyrets måledel | 54 |
| 6.4 Kalibrering av måledelen | 54 |
| 6.5 Kalibrering av instrumenteringsdelen | 56 |
| 6.6 Kontrollmålinger av utstyret samlet | 61 |
| 6.7 Rutiner | 61 |
| 7. NOEN RÅD VED VALG AV MÅLEUTSTYR | 63 |
| 7.1 Generelt | 63 |
| 7.2 Valg av måleprofil | 63 |
| 7.3 Valg av nivåmåler | 64 |

| | Side: |
|--|-------|
| 7.4 Valg av lineariseringsenhet | 65 |
| 7.5 Valg av integrator/telleverk | 65 |
| 7.6 Valg av viserinstrument og skriver | 66 |
| 7.7 Noen andre råd | 67 |
| LITTERATUR | 67 |
| VEDLEGG 1 | 70 |
| VEDLEGG 2 | 72 |
| VEDLEGG 3 | 83 |

Figurfortegnelse

| Figur nr. | | Side: |
|-----------|---|-------|
| 1 | Eksempel på oppbygging av utstyr for måling av vannføring | 11 |
| 2 | Fordeling av undersøkte renseanlegg etter kapasitet | 14 |
| 3 | Fordeling av undersøkte renseanlegg etter måleprofil | 14 |
| 4 | Fordeling av undersøkte renseanlegg etter nivå-måleutstyr | 15 |
| 5 | Måleutstyrets største måleverdi $Q_{\max \text{ mål}}$ som funksjon av anleggskapasiteten | 16 |
| 6 | Prinsippskisse av måledel, V-overløp | 18 |
| 7 | Antall anlegg med V-overløp som tilfredsstillter krav til utforming av måledelen | 20 |
| 8 | Tilfredsstillelse av krav til utforming av måledelen på anlegg med V-overløp | 21 |
| 9 | Prinsippskisse av måledel, rektangulært overløp | 21 |
| 10 | Antall anlegg med rektangulært overløp som tilfredsstillter krav til utforming av måledelen | 22 |
| 11 | Tilfredsstillelse av krav til utforming av måledelen på anlegg med rektangulære overløp | 23 |
| 12 | Prinsippskisse av Parshallrenner | 23 |
| 13 | Antall anlegg med Parshallrenner som tilfredsstillter krav til utforming av måledelen | 25 |
| 14 | Anleggenes tilfredsstillelse av krav til utforming av måledel for Parshallrenner | 25 |
| 15 | Prinsippskisse av måledel for venturirenner | 26 |
| 16 | Antall anlegg med venturirenner som tilfredsstillter krav til utforming av måledelen | 27 |
| 17 | Tilfredsstillelse av krav til utforming av måledelen på anlegg med venturirenner | 27 |
| 18 | Prinsippskisse av hastighet \bar{v} areal-måler | 28 |
| 19 | Utnyttelse av måleområdet for nivåmålerne | 31 |

| Figur nr. | | Side: |
|----------------------|--|-------|
| 20 | Feil i nivåmåling ved null vannføring. | 33 |
| 21 | Feilområde i nivåmåling ved forskjellige nivåer. | 34 |
| 22 | Opplegg for kontrollmåling av lineariserings-enhet og indikator-instrument | 36 |
| 23 | Feil i lineariserings-enhet og indikator-instrument | 37 |
| 24 | Opplegg for kontrollmåling av integrator og telleverk | 39 |
| 25 | Feil i integrator og telleverk | 40 |
| 26 | Feil i vannføringsmålingene på forskjellige trinn i måleutstyret | 43 |
| 27 | Feilområder som funksjon av anleggsstørrelsen | 45 |
| 28 | Driftsinstruksens innhold | 47 |
| 29 | Driftsinstruksens innhold på de enkelte anlegg | 48 |
| 30 | Opplæring av driftsoperatørene | 49 |
| 31 | Framgangsmåte ved kalibrering av viserinstrument og skriver | 57 |
| 32 | Framgangsmåte ved kalibrering av lineariseringsenhet | 58 |
| 33 | Framgangsmåte ved kalibrering av integrator/telleverk | 59 |
| 34 | Framgangsmåte ved kalibrering av nivåmåler | 60 |
| <u>VEDLEGG 2</u> | | |
| 1 | Forslag til utforming av energidreper/ strømningsretter | 73 |
| <u>VEDLEGG 3</u> | | |
| 1-15 | Målefeil på renseanlegg | 85-99 |

Tabellfortegnelse

| | Side: |
|---|-------|
| Tabell 1. Oversikt over renseanlegg som inngikk i undersøkelsen | 13 |
| Tabell 2. Tolererbare vinkelavvik når overløpets målenøyaktighet skal være én prosent | 19 |
| Tabell 3. Krav til Parshallrenner | 24 |
| Tabell 4. Krav til rettstrekning for undersøkte Parshallrenner | 24 |
| Tabell 5. Anvendte metoder for kalibrering av vannføringer, og antall kontrollmålinger på hvert renseanlegg | 41 |

1. Innledning

Forurensningsmyndighetene krever at avløpsrenseanlegg dimensjonert for mer enn 500 personekvivalenter (PE) skal ha utstyr for kontinuerlig måling av den vannføring som til en hver tid passerer anlegget. Måleutstyret skal også inkludere et summerende telleverk. På anlegg mindre enn 500 PE kreves det bare at vannføringen skal kunne måles til en hver tid, uten at det her er stilt krav til måleutstyr eller målehyppighet. Myndighetenes pålegg innebærer at det på alle renseanlegg, uansett størrelse, skal finnes utstyr for måling av vannføringen gjennom anlegget.

Vannføringsmålingene er viktige. Målingene styrer sentrale operasjoner som kjemikaliedosering, prøvetaking, vann- og slampumping. Videre brukes måledata i stor utstrekning til å karakterisere både renseanleggets og avløpsnettets tilstand og virkemåte. Vannføringsmålinger er derfor blant de mest sentrale målinger som foretas på et renseanlegg.

Utstyr for måling av vannføring består av flere enheter og er relativt komplisert i sin oppbygging. Utstyret stiller forholdsvis omfattende krav til de hydrauliske forhold på målestedet, og til utforming, montering og vedlikehold av enhetene. Tidligere befaringer på norske avløpsrenseanlegg har dessverre avslørt at det ofte syndes mot ett eller flere av disse punktene.

Denne rapport bygger på en driftsundersøkelse av vannføringsmålere på 16 renseanlegg. En av undersøkelsens sentrale målsettinger var å se målinger og målefeil i en noe større sammenheng, og ikke bare i lys av hydrauliske teorier og måleprinsipper. Dimensjonering av måleutstyr og arbeidsforhold for driftsoperatører kan være stikkord i denne sammenheng.

2. Generelt om vannføringsmålinger og måleutstyr

2.1 Myndighetenes behov for målinger

Myndighetene har et utstrakt behov for vannføringsdata fra avløpsrenseanlegg. Dette går klart frem av en rekke krav og anbefalinger som er fremmet i retningslinjer og veiledninger (8), (15), (16), (17), (18) og (19). Myndighetenes behov berører både målinger og måleutstyr, og kan kort summeres i følgende punkter:

- Kartlegging av utslippsmengder av ulike stoffer fra renseanleggene til vannressursene.
- Innsamling av data for å kunne bedømme om kravene til utslipp fra renseanlegget blir overholdt.
- Innsamling av kunnskap og data for å kunne bedømme om pålagte tiltak fungerer, og for å treffe riktig valg av systemløsninger.
- Innsamling av data for å kunne bedømme om kravet til et sammenhengende og tett ledningsnett er oppfylt, og for å kunne vurdere tilknytningsgrad og tilføringsgrad.
- Innsamling av data for å kunne vurdere eventuelle krav om separering, rehabilitering og sanering av avløpsnettet.

Disse punktene utgjør en viktig del av myndighetenes grunnlag for å kunne prioritere mellom pålegg til renseanlegg kontra ledningsnett.

2.2 Lokalt behov for målinger

Vannføringsdata er av fundamental betydning for renseanleggets funksjon, styring og økonomi. De som har ansvaret for den daglige driften av anleggene, vil derfor naturlig ha behov for vannføringsdata. Dette lokale behov kan summeres i følgende punkter:

- Innsamling av data for å kartlegge den hydrauliske belastningen på renseanlegget.
- Innsamling av data for interne beregninger av utslippsmengder, spesifikk avrenning, spesifikk slamproduksjon osv.
- Løpende innsamling av måledata for styring av kjemikaliedosering, mengdeproporsjonale prøvetakere, pumper m.v.
- Innsamling av data for å kunne overvåke ledningsnettets tilstand og virkemåte.
- Innsamling av data for å kunne beregne økonomisk oppgjør mellom kommuner som har gått sammen om et renseanlegg.

Videre har kommuner, konsulenter og forskere i fellesskap behov for vannføringsdata for å kunne vurdere behovet for utvidelse og ombygging av eksisterende anlegg, og for å kunne dimensjonere og utvikle nye enheter og anlegg.

2.3 Myndighetenes krav til målenøyaktighet

Behovet for vannføringsmålinger er stort og mangedelt, og understreker den vitale betydning målingene har for driften av og kontrollen med renseanleggene. Tross dette og de mange pålegg om målinger, er det ikke fra sentralt hold fremmet krav til målingenes nøyaktighet.

2.4 Måleutstyrets oppbygging

Figur 1 viser et eksempel på vanlig utstyr for måling av vannføring på et renseanlegg.

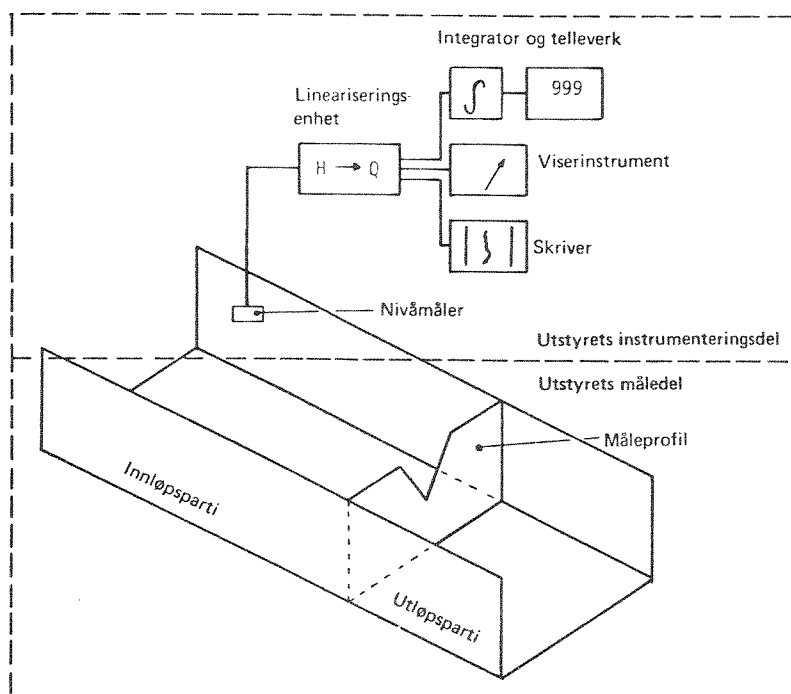


Fig. 1 Eksempel på oppbygging av utstyr for måling av vannføring.

Måleutstyret består av flere enheter som kan deles i to deler. Måledelen består vanligvis av et innløpsparti, et måleprofil, og et utløpsparti. Måleprofilen, som i figuren er et V-overløp, kan være en eller annen form for måleoverløp eller målerenne, eller også et klart avgrenset strømnings-tverrsnitt. I denne del av utstyret dannes grunnlaget for målingene ved at det etableres en entydig sammenheng mellom f.eks. nivå og vannføring, eller mellom vannhastighet og vannføring.

Måledelen dimensjoneres og utformes på grunnlag av empiri og etablerte hydrauliske prinsipper.

Instrumenteringsdelen består oftest av en nivå- eller hastighetsmåler - i tillegg til en lineariseringsenhet, en integrator, et telleverk, samt skriver og/eller viseinstrument. Lineariseringsenheten omformer et nivå- eller hastighetssignal til et vannføringssignal, mens integratoren summerer vannføringen over tid. Enhetene i instrumenteringsdelen bygger vanligvis på noe forskjellige, men likevel konvensjonelle måleteknikker.

3. Opplegg for undersøkelsen

3.1 Program

I samarbeid med Statens forurensningstilsyn, SFT, og NTNFs utvalg for drift av renseanlegg, ble det utarbeidet et program for undersøkelsen. Programmet omfattet følgende hovedpunkter:

- Intervju av driftsoperatør
- Gjennomgåelse av driftsinstruks og driftsjournal
- Oppmåling av måleprofil, med innløps- og utløpsparti
- Kontrollmåling av signaloverføring og telleverk
- Kontrollmåling av måleutstyret ved ulike vannføringer.

Det går fram av figur 1 at utstyr for måling av vannføring består av mange enheter. Det oppstår målefeil i alle disse enheter. Feil i en enhet vil forplante seg videre til neste, og vil her kunne forsterkes eller reduseres avhengig av feilen i denne enheten. Selv om avlest måleverdi avviker lite fra den riktige vannføring, kan det derfor ikke utelukkes at målingene er heftet med betydelige feil i noen av utstyrsenhetene.

Målefeil i en enhet vil så og si aldri være konstant, men vil variere med måleverdien. Feilene forandrer ofte både størrelse og fortegn fra den ene del av måleområdet til den andre.

Undersøkelsen tok sikte på å kartlegge begge disse forhold for sentrale enheter i måleutstyret.

3.2 Valg av renseanlegg

Opprinnelig skulle undersøkelsen dekke 15 renseanlegg. Underveis kom det et anlegg i tillegg. På dette anlegget omfattet undersøkelsen bare deler av programmet ovenfor.

Renseanleggene ble valgt ut slik at de skulle representere en størrelsesfordeling som for landsgjennomsnittet. Derneft skulle anleggene representere et variert utvalg av forskjellig måleutstyr.

Det understrekes at det ikke er tatt hensyn til eventuelle opplysninger om gode eller dårlige målinger ved valg av renseanlegg. Utvalget regnes derfor for å være tilfeldig og representativt for resten av avløpsrenseanleggene i Norge.

Grunnlagsdata for renseanleggene er sammenstilt i tabell 1 og figur 2-4.

Tabell 1. Oversikt over renseanlegg som inngikk i undersøkelsene.

| Renseanlegg | Type | Driftsstart | Kommune | Fylke |
|-------------|-----------|-------------|-----------|----------|
| Kirkebygda | Mek/kjem | 1979 | Enebakk | Akershus |
| Rotnes | Mek/kjem | 1977 | Nittedal | |
| Sørum | Mek/kjem | 1977 | Sørum | |
| Bjørkelia | Mek/kjem | 1974 | Drammen | Buskerud |
| GoI | Mek | 1978 | GoI | |
| Hallingen | Biol/kjem | 1978 | GoI | |
| Muusøya | Mek/kjem | 1978 | Drammen | |
| Pukerud | Biol | 1978 | Drammen | |
| Torpo | Biol/kjem | 1978 | AI | |
| Volla | Biol/kjem | 1977 | Lunner | Oppland |
| Berg | Biol/kjem | 1976 | Borge | Østfold |
| Bommen | Biol/kjem | 1976 | Marker | |
| Hestvold | Mek/kjem | 1976 | Råde | |
| Kirkeng | Biol/kjem | 1978 | Rakkestad | |
| Varteig | Biol/kjem | 1980 | Varteig | |
| Østerbo | Biol/kjem | 1975 | Halden | |

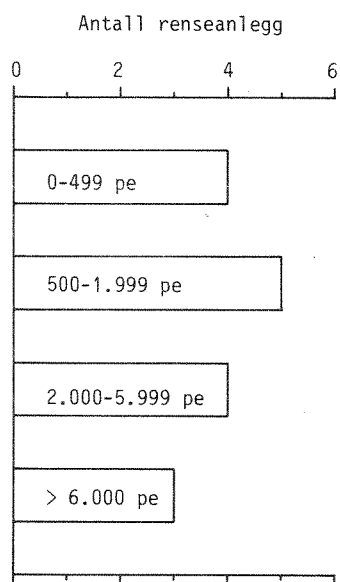


Fig. 2 Fordeling av undersøkte renseanlegg etter kapasitet.

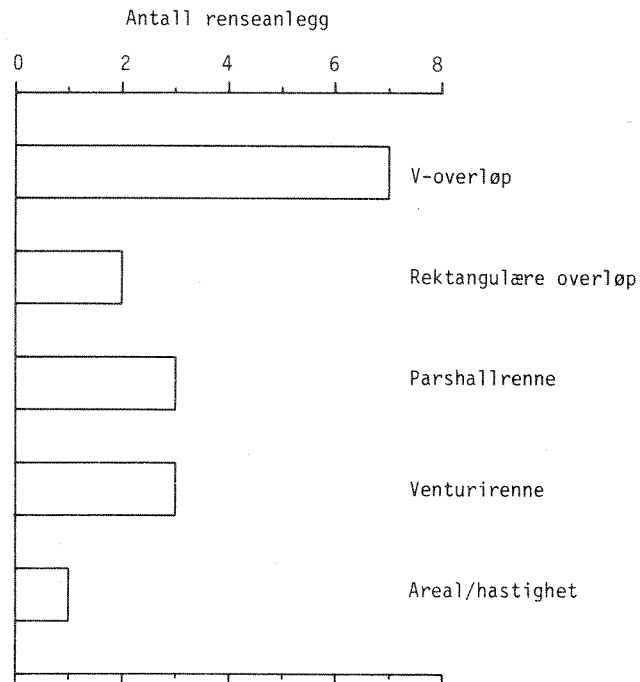


Fig. 3 Fordeling av undersøkte renseanlegg etter måleprofil.

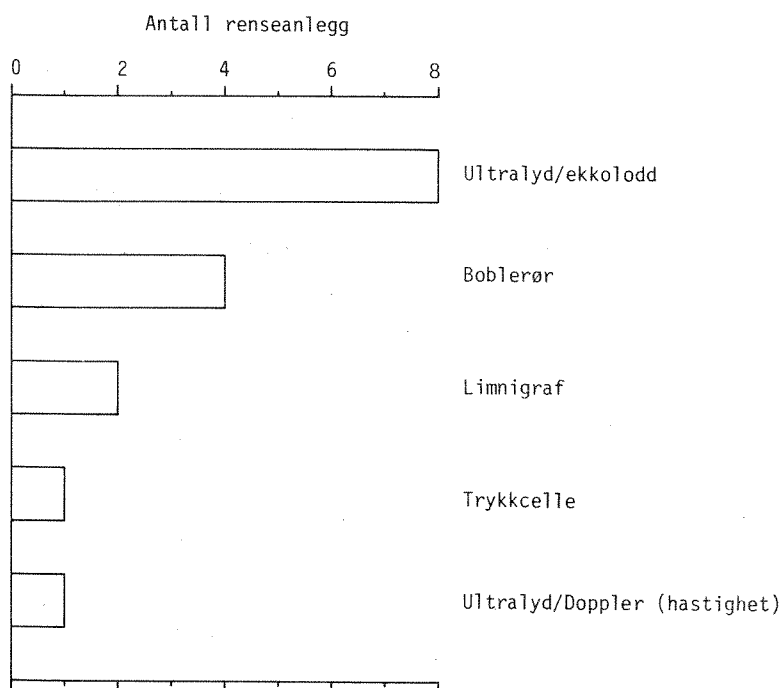


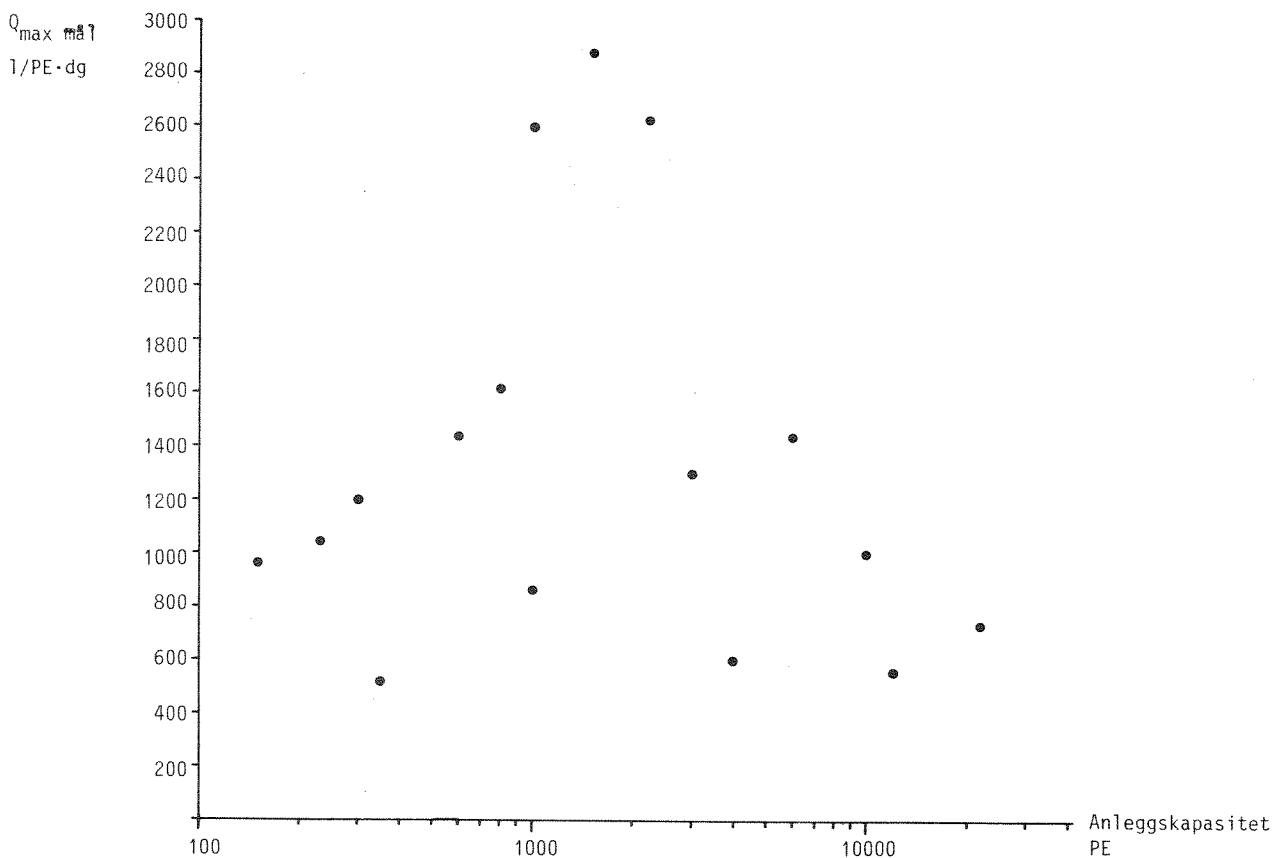
Fig. 4 Fordeling av undersøkte rensanlegg etter nivåmåleutstyr.

4. Resultater

I presentasjonen av resultatene er anleggenes navn erstattet med en bokstav. En bestemt bokstav er alltid kode forett og samme anlegg. Koden for renseanleggene er angitt i bilagsdelen.

4.1 Dimensjonering av måleutstyret

På figur 5 er den største vannføring som måleutstyret kan måle. $Q_{\max \text{ mål}}$ fremstilt som funksjon av anleggskapasiteten for de 16 anleggene som inngikk i undersøkelsen. På figuren er $Q_{\max \text{ mål}}$ uttrykt i l/PE·dgn, dvs. liter pr. personenheter og døgn.



Figur 5. Måleutstyrets største måleverdi $Q_{\max \text{ mål}}$, som funksjon av anleggskapasiteten.

Større avløpsnett reagerer tregere på vannføringsvariasjoner enn mindre nett. Dermed kan det forventes at vannføringen er relativt mer stabil på større enn på mindre avløpsrenseanlegg. Dersom måleutstyret var dimensjonert med dette utgangspunkt, burde største måleverdi i l/PE·dg avta med økende anleggskapasitet. Figur 5 gjengir ikke en slik sammenheng mellom største måleverdi og anleggskapasitet.

Lokale avrenningsforhold spiller en vesentlig rolle ved dimensjonering av renseanlegg og anleggets måleutstyr, og kan i noen grad forklare forholdet mellom største måleverdi og anleggskapasitet i figuren. Tross dette gir figuren et klart uttrykk for mangel på enhetlig dimensjonering av utstyr for måling av vannføring på renseanleggene.

4.2 Utforming av utstyrets måledel

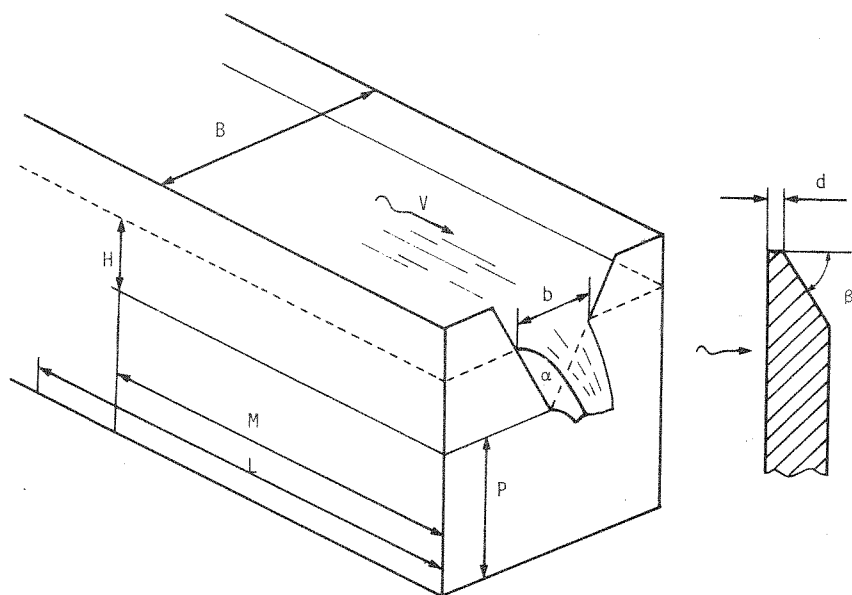
For flere typer måleprofiler, bl.a. for overløp og målerenner, er det utarbeidet standardiserte vannføringskurver basert på en spesiell utforming av utstyrets måledel, dvs. innløpsparti, måleprofil og utløpsparti. Disse standardkurver kan overføres til et hvilket som helst målested bare når utformingen av måledelen på stedet er i samsvar med den utforming som kurvene er basert på.

Standardiserte vannføringskurver ble benyttet på alle undersøkte renseanlegg. På anleggene ble det foretatt en nøyaktig oppmåling av måledelen ved hjelp av tommestokk, vater og en vinkelmåler av typen Terragon (T. Gregersen i Oslo). Utforming av måledelen ble så sammenlignet med vannføringskurvens krav til utforming, slik de er formulert i internasjonale standarder, eller i leverandørens spesifikasjoner.

Anlegg med V-overløp

Skarpkantet V-overløp var måleprofil på 7 renseanlegg. Figur 6 viser en prinsippskisse av måledelen.

I ISO-standard 1438-1975 (3) er det gitt en rekke krav til utforming av overløpet, innløps- og utløpsparti. I tillegg vil en her foreslå kriterier for vurdering av feil i overløpsvinkelen og for stor tilstrømningshastighet, som ikke berøres av standarden ovenfor.



Figur 6. Prinsippskisse av måledel, V-overløp.

- P = profilhøyde
- H = overløpshøyde
- b = overløpsbredde
- B = kanalbredde
- M = avstand til tverrsnitt for nivåmåling
- L = nettstrekning
- d = bredde på overløpsskjær
- β = avtrapping av overløpsskjær når $d > 2$ mm
- α = overløpsvinkel
- V = horisontal tilstrømningshastighet.

Det er selvsagt viktig at overløpsvinkelen α verken er større eller mindre enn den vinkel som vannføringskurven er basert på. Som kriterium for vurdering av hvor store vinkelavvik, $\Delta\alpha$, som kan tolereres, foreslås at overløpet ideelt sett skal kunne måle vannføringen med en nøyaktighet på en prosent. Ut fra dette kriterium blir de tolererbare vinkelavvik som angitt i tabell 2.

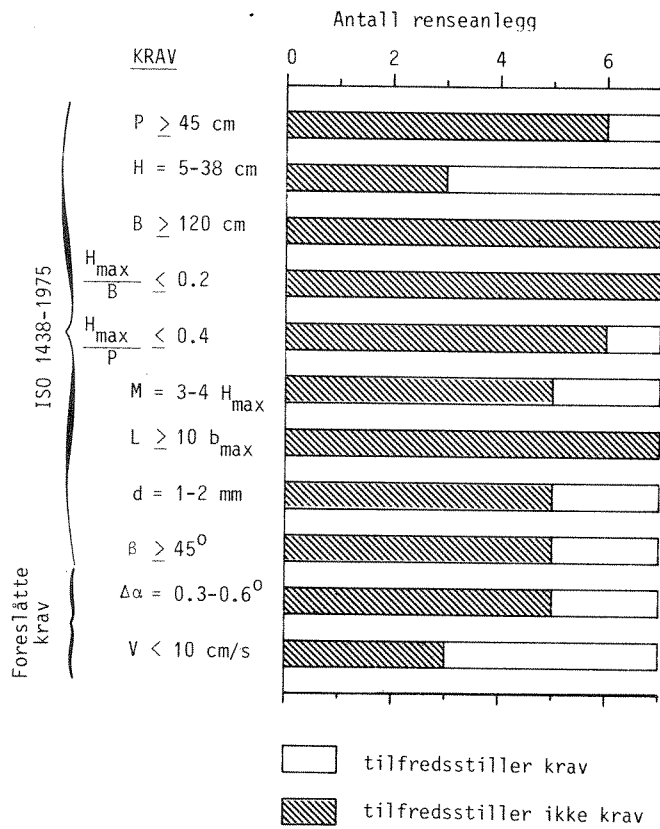
Tabell 2. Tolererbare vinkelavvik når overløpets målenøyaktighet skal være én prosent.

| Overløpsvinkel | Tolererbart vinkelavvik |
|-----------------|-------------------------|
| 30 ⁰ | ± 0,3 ⁰ |
| 45 ⁰ | ± 0,4 ⁰ |
| 60 ⁰ | ± 0,5 ⁰ |
| 90 ⁰ | ± 0,6 ⁰ |

Videre vil overløpshøyden ved én og samme vannføring reduseres når tilstrømningshastigheten øker. Store tilstrømningshastigheter kan redusere nivået (overløpshøyden) så mye at det oppstår betydelige målefeil. Det foreslås her at nivåreduksjonen ikke skal overstige 0,5 mm. Dette medfører at tilstrømningshastigheten må være mindre enn 10 cm/s, som er meget nær sammenfallende med anbefalinger i (11) og (13), der største hastighet er satt til 0,3 fot/s eller 9,1 cm/s.

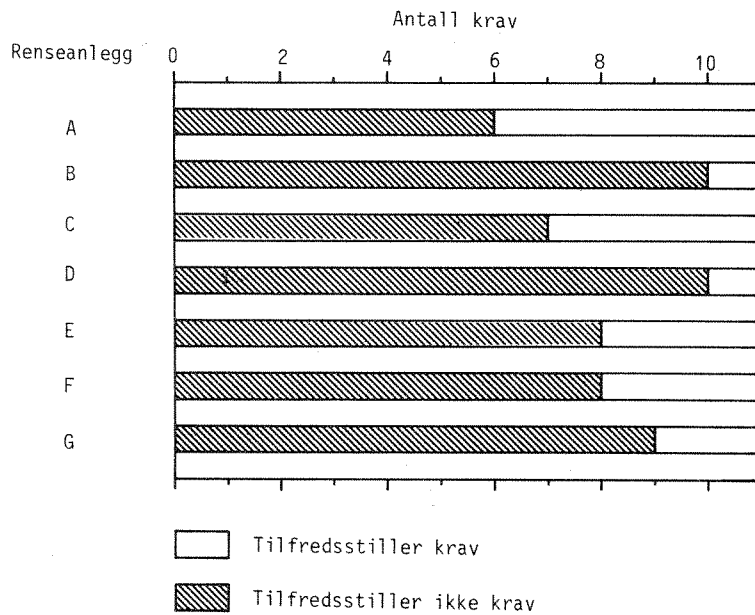
Krav til utforming etter ISO-standard 1438 er gjengitt i figur 7, sammen med de foreslåtte krav til vinkelavvik og tilstrømningshastighet. Det går klart fram av figuren at det er dårlig samsvar mellom disse krav og virkelig utforming av utstyrets måledele på anlegg med V-overløp.

Kravene i figur 7 er ikke de eneste som gjelder for utforming av måledele for V-overløp. I ISO-standard 1438 er det gjengitt vannføringskurver som bygger andre krav enn de ovenfor. De fleste krav vil likevel være felles, selv om det for noen kurver stilles ganske forskjellige krav til profilhøyde P og kanalbredde B.



Figur 7. Antall anlegg med V-overløp som tilfredsstillter krav til utforming av måledelen.

Figur 8 viser hvordan måledelen på de enkelte anlegg er utformet i forhold til kravene gjengitt i figur 7. Figuren viser at utformingen av måledelen er lite tilfredsstillende på samtlige anlegg med V-overløp. Ut fra figuren er det ikke mulig å si hvor mye og i hvilken retning den utilfredsstillende utforming vil påvirke måleresultatene på de enkelte anlegg.

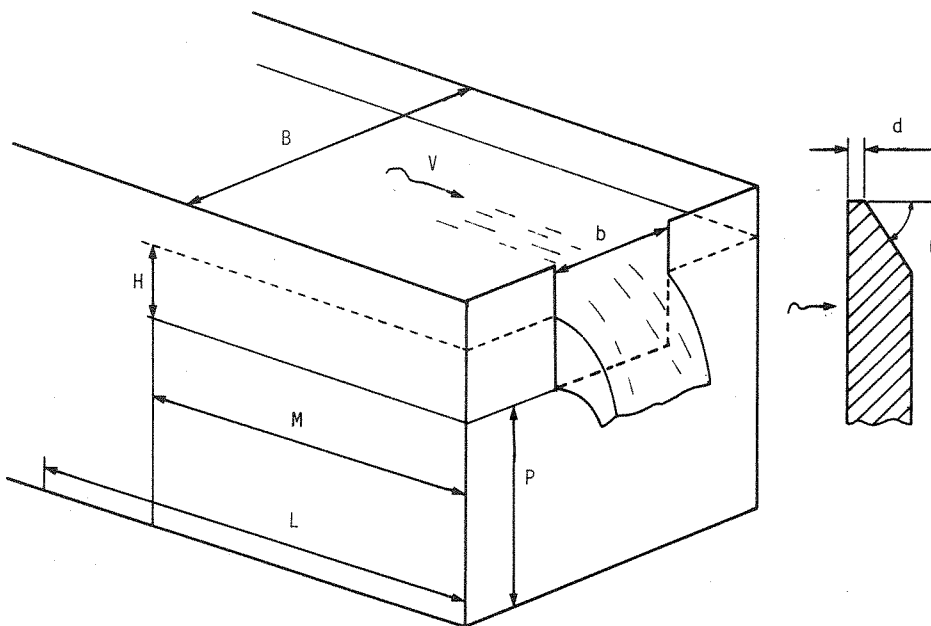


Figur 8. Tilfredsstillelse av krav til utforming av måledelen på anlegg med V-overløp.

Rektangulære overløp

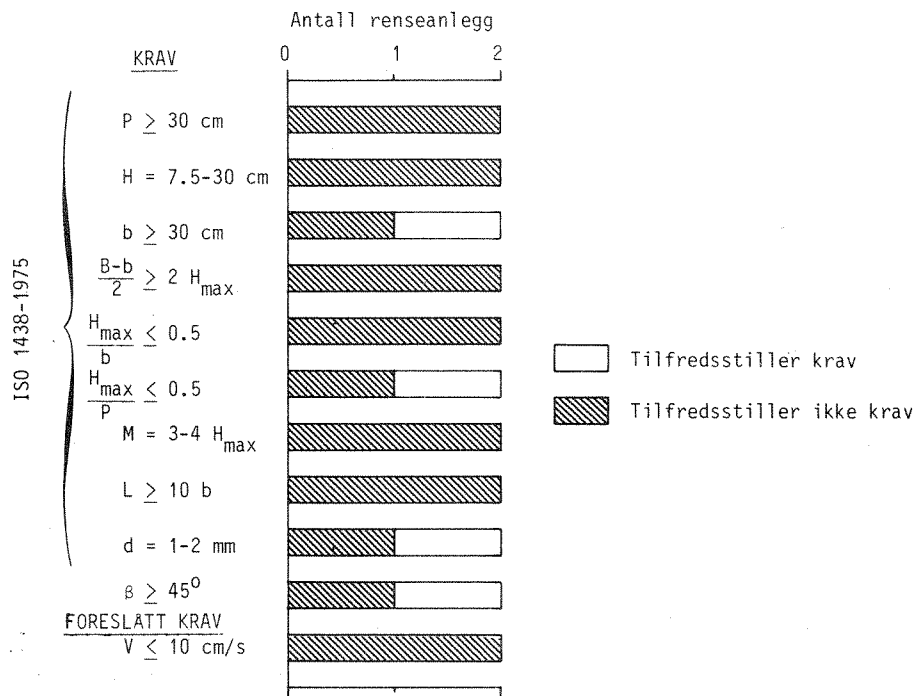
Skarpkantet rektangulært overløp var måleprofil på 2 rensesanlegg.

Figur 9 viser en prinsippskisse av måledelen, der bokstavene er referanser for de samme størrelser som angitt i figur 6.



Figur 9. Prinsippskisse av måledel, rektangulært overløp.

Figur 10 viser samsvar mellom krav til utforming og virkelig utforming av måledelen på renseanlegg med rektangulært overløp. Alle krav så nær som ett er hentet fra (3). Foreslått krav til tilstrømningshastighet er fremkommet på samme måte som angitt for V-overløp tidligere.

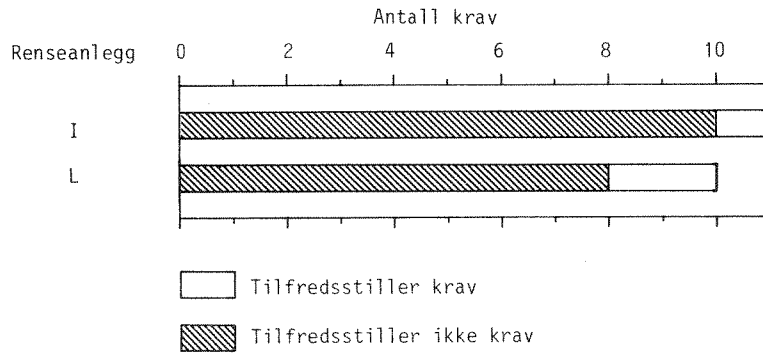


Figur 10. Antall anlegg med rektangulært overløp som tilfredsstiller krav til utforming av måledelen.

Figuren viser at det er manglende samsvar mellom krav til utforming og ønskelig utforming av måledel for rektangulære overløp.

Også for rektangulære overløp finnes det andre standardiserte vannføringskurver som er basert på utformingskrav som er noe forskjellige fra de i figur 10. Flere krav er felles for alle kurver, mens krav til profilhøyde og innløpsgeometri kan variere noe.

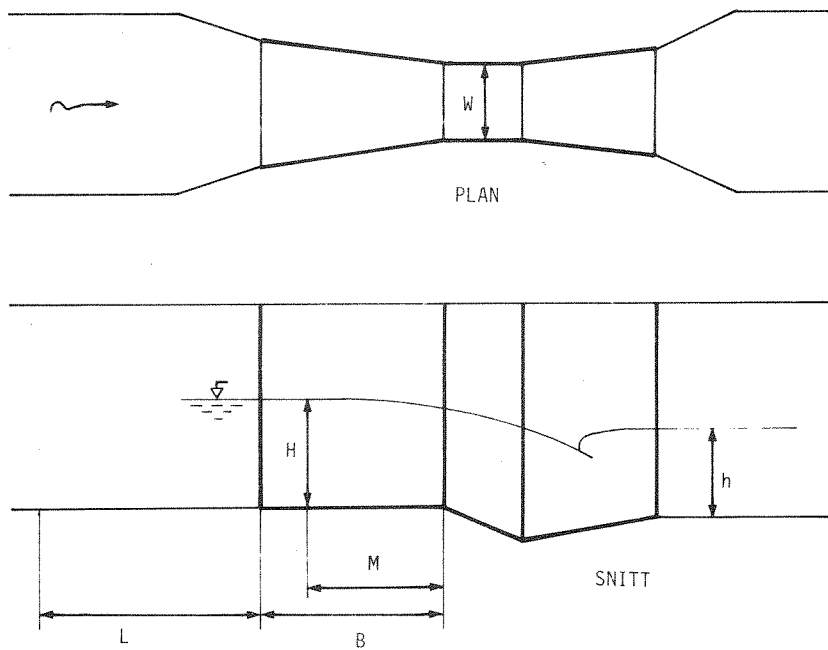
Figur 11 viser at måledelen var utilfredsstillende utformet på begge anlegg med rektangulært overløp. Figuren gir ingen opplysninger om hvilken betydning dette forhold vil ha for målingene på anleggene.



Figur 11. Tilfredsstillelse av krav til utforming av måledelen på anlegg med rektangulære overløp.

Parshallrenner

Parshallrenner var måleprofil på 3 rensesanlegg. En prinsippskisse er vist på figur 12.



Figur 12. Prinsippskisse av Parshallrenner.

- H = nivå i innløpsparti
- h = nivå i utløpsparti
- B = lengde av innsnevringsparti
- M = avstand fra bunnavtrapping til tverrsnitt for nivåmåling
- L = rettstrekning
- W = innsnevringsbredde.

Parshallrennen skiller seg noe ut fra de andre måleprofiler ved at vannføringskurvene er bestemt empirisk for forskjellige standard-dimensjoner av målerenna. I presentasjonen av sine forsøksresultater har R.L. Parshall angitt krav til M, H og forholdet h/H (11), (12), (13). For de undersøkte målerenner er kravene som følger:

Tabell 3. Krav til Parshallrenner.

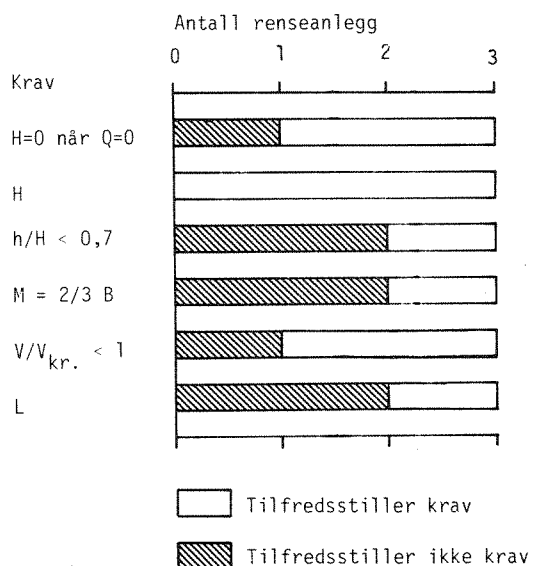
| Krav | Anlegg K | Anlegg M | Anlegg P |
|---------------|-----------|-----------|-----------|
| H når $Q = 0$ | 0 | 0 | 0 |
| H | 30-332 mm | 30-393 mm | 61-762 mm |
| h/H | < 0,7 | < 0,7 | < 0,7 |
| M | 2/3 B | 2/3 B | 2/3 B |
| V/V kritisk | < 1 | < 1 | < 1 |

Schmidt (10) gjennomførte i 60-åra grundige undersøkelser av Parshallrenner, hvor han bl.a. studerte nødvendig rettstrekning oppstrøms de forskjellige rennedimensjoner. Dette arbeidet er grunnlaget for leverandørenes anbefalinger, gjengitt i tabell 3.

Tabell 4. Krav til rettstrekning for undersøkte Parshallrenner.

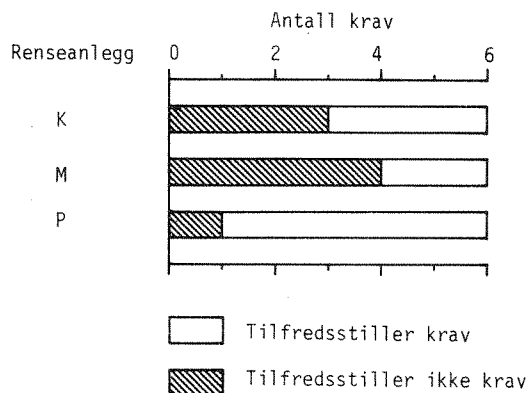
| Krav | Anlegg K | Anlegg M | Anlegg P |
|-------|----------|----------|----------|
| L (m) | 1,1 | 1,0 | 1,1 |

Det går fram av figur 13 at utformingen av måledelen for Parshallrenner er lite tilfredsstillende på flere punkter.



Figur 13. Antall anlegg med Parshallrenner som tilfredsstillende krav til utforming av måledelen.

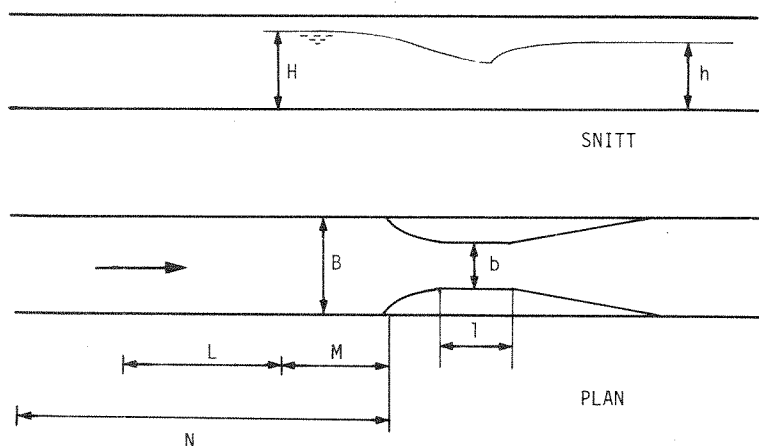
Figur 14 viser samsvaret mellom krav til utforming og virkelig utforming av måledelen for anlegg med Parshallrenne. Av figuren går det fram at måledelen på anlegg P tilfredsstillende 5 av 6 krav til utforming. Dette gir ikke grunnlag for å hevde at måledelen på dette anlegget har mindre innvirkning på målefeilen enn på de to andre anleggene.



Figur 14. Anleggenes tilfredsstillende av krav til utforming av måledel for Parshallrenner.

Venturirenner

Venturirenner var måleprofil på 3 renseanlegg. Figur 15 viser en skisse av måledelen.



Figur 15. Prinsippskisse av måledel for venturirenner.

H = nivå i innløpsparti

h = nivå i utløpsparti

B = kanalbredde

b = innsnevringbredde

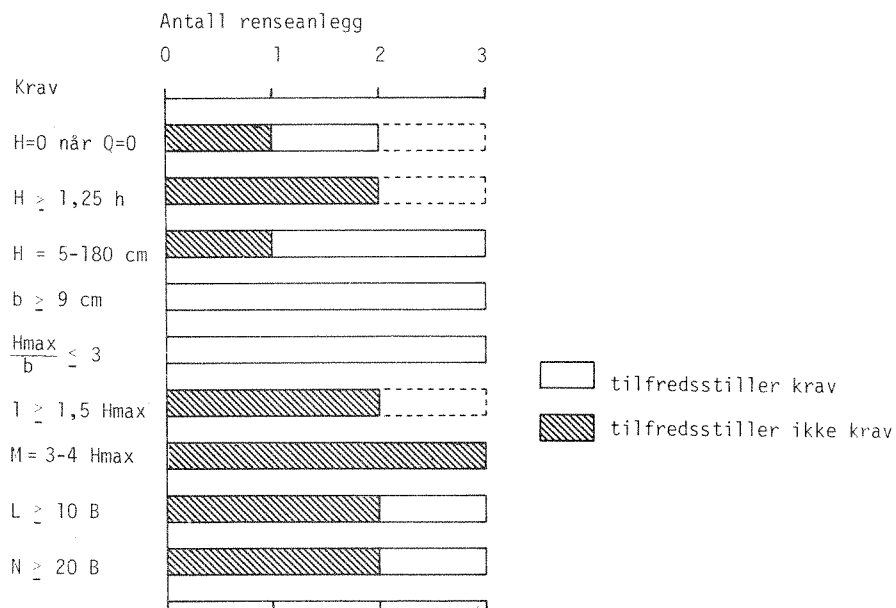
l = innsnevringlengde

M = avstand til tverrsnitt for nivåmåling

L = rettstrekning

N = strekning med underkritisk strømning.

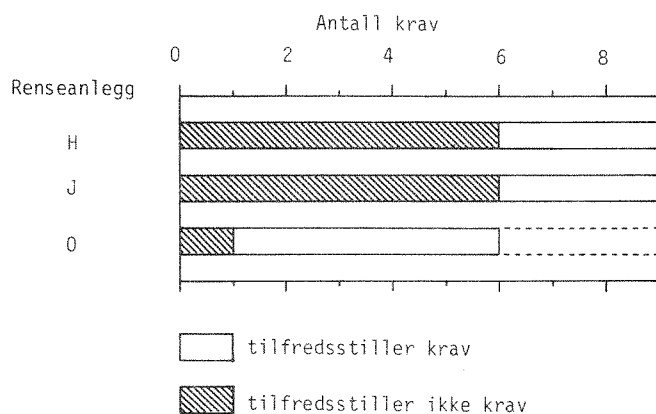
I (3) er det gitt en rekke krav til utforming av måledelen. Figur 16 viser samsvaret mellom disse krav og virkelig utforming på renseanleggene. Det går fram at for dette måleprofilet er også utformingen av måledelen mangelfull på flere punkter.



Figur 16. Antall anlegg med venturirenner som tilfredsstillter krav til utforming av måledelen.

De stiplede linjer i figur 16 og 17 skyldes at måledelen på ett anlegg ikke ble målt opp fullstendig.

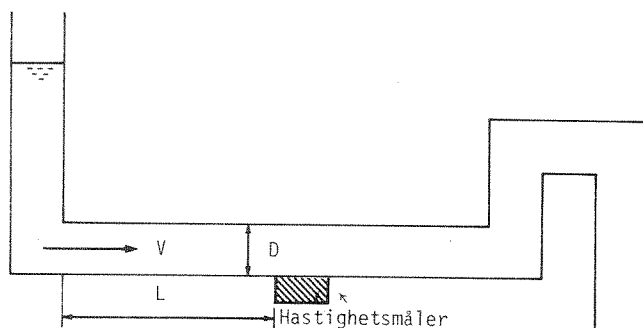
Figur 17 viser hvordan kravene til utforming blir tilfredsstilt på de enkelte renseanlegg. På anlegg H og J blir 3 av 9 krav tilfredsstilt, mens 8 av 9 blir tilfredsstilt på anlegg 0. Som før sagt, kan man ikke av dette slutte at måledelen på dette anlegget forårsaker mindre målefeil enn på de to andre anleggene.



Figur 17. Tilfredsstillelse av krav til utforming av måledelen på anlegg med venturirenner.

Hastighet - areal måler

På ett renseanlegg, N, var vannføringsmålingene basert på måling av strømningshastighet i et rør. Vannføringen blir her beregnet som produktet av hastigheten og indre tverrsnitt av røret. Figur 18 viser en prinsipp-skisse av måledelen.



Figur 18. Prinsippskisse av hastighet - areal-måler.

V = strømningshastighet

L = rettstrekning

D = rørdiameter.

I brosjyrer og instruksjer fra leverandøren er det gitt følgende krav til måledelen:

Minimumshastighet $V_{min} > 0,2 \text{ m/s}$

Maksimumshastighet $V_{max} = 1-5 \text{ m/s}$

Rettstrekning $L = 10 \cdot D$.

Måledelen på anlegg N oppfylte bare kravet til V_{max} , men ikke kravene til V_{min} og L.

Sammendrag

På ethvert målested vil det stilles krav til utforming av måledelen, dvs. innløpsparti, måleprofil og utløpsparti. For hvert anlegg er virkelig utforming av måledelen sammenlignet med krav som kan stilles til denne delen av måleutstyret. Manglende samsvar i en slik sammenligning betyr at den anvendte vannføringskurve er forskjellig fra den virkelige vannføringskurve for målestedet.

Sammenligningen viser utilfredsstillende utforming av måledelen på samtlige anlegg. De vanligste årsaker er underdimensjonert eller feil utformet innløpsparti, valg av feil tverrsnitt for nivåmåling, og unøyaktig utforming av selve måleprofilen. Resultatene tyder på en åpenbar mangel på forståelse for betydningen av en riktig utforming av måledelen.

På grunnlag av den sammenligning som er foretatt, er det ikke mulig å angi hvor den anvendte vannføringskurve ligger i forhold til den virkelige vannføringskurve for målestedet. Årsaken er at det er meget vanskelig, og ofte umulig å beregne virkningene av en mangelfull utforming av måledelen. Kalibreringsmålinger er i de aller fleste tilfeller nødvendig for å kartlegge den virkelige vannføringskurve.

Sammenligningen er basert på målbare krav til utforming av måledelen, og tar ikke i betraktning sider ved utformingen som vanskelig kan måles eller som må vurderes etter skjønn. Trekkes også de ikke-målbare forhold med i sammenligningen, blir resultatet mer nedslående. På samtlige anlegg ble det bl.a. observert kraftig beleggdannelse på overløp og målerenner, sedimentering i innløpsparti, og bulende bunn og vegger i målerenner.

4.3 Nivåmåling

Generelt

På alle anlegg så nær som ett var målingene basert på en entydig sammenheng mellom nivå og vannføring i et kritisk strømmingstverrsnitt. På disse anleggene måles nivået, mens vannføringen beregnes ut fra ligningen

$$Q = C \cdot H^n$$

der

Q = vannføring

C = konstant (forenklet)

H = nivået (forenklet)

n = eksponent, som regel i området 1,5-2,5.

En feil i nivåmålingen vil resultere i en feil i beregnet vannføring. Disse feilene vil ikke være like store fordi sammenhengen mellom nivå og vannføring ikke er lineær. Forholdet mellom en feil i nivåmålingen, $\frac{dH}{H}$, og en feil i beregnet vannføring, $\frac{dQ}{Q}$, kan skrives som

$$\frac{dQ}{Q} = n \frac{dH}{H}$$

Dette betyr at en nivåmålefeil på 4 mm på en 100 mm overløpshøyde i et V-overløp ($n = 2,5$) vil resultere i en feil i vannføringen lik

$$\frac{dQ}{Q} = 2,5 \cdot \frac{4}{100} \cdot 100\% = \underline{10\%}$$

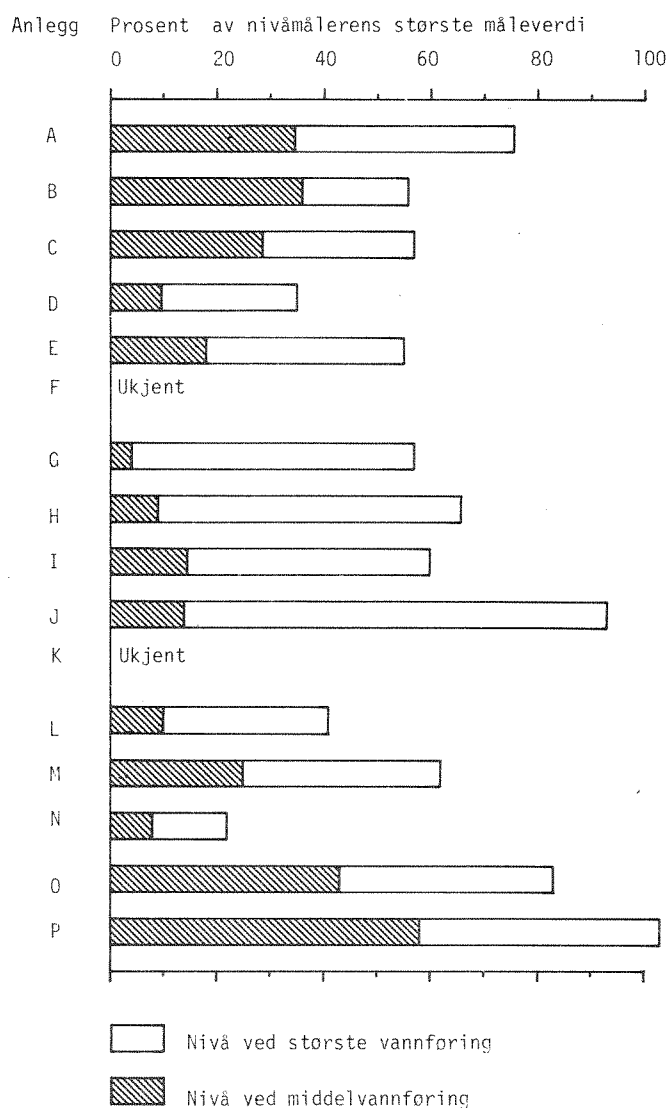
Etter ligningen ovenfor vil en feil i vannføringen alltid bli større enn nivåmålefeilen. Det er derfor meget viktig at nivåmålingen er heftet med minst mulig feil.

Dimensjonering - nivåmålerens måleområde

Det er vanlig at nivåmålerens nøyaktighet oppgis som en viss prosent av måleinstrumentets største måleverdi. Det understrekes her at for så å si alle instrumenter er nøyaktigheten en funksjon av det høyeste nivå instrumentet kan måle, og ikke det høyeste nivå som skal måles.

Et eksempel vil belyse hvor viktig det er å være klar over disse forhold. På et målestед med V-overløp er middelevelvået 10 cm, mens det høyeste nivået, tilsvarende største vannføring som skal måles, er 50 cm. Nivåmåleren har en nøyaktighet på 1% av 100 cm, som er instrumentets største måleverdi. Målefeilen på høyeste nivå blir dermed $1\% \cdot \frac{100}{50} = 2\%$, men hele $1\% \cdot \frac{100}{10} = 10\%$ på middelevelvået. Tilsvarende feil i vannføringen blir 5% og 25%!

Det er med andre ord helt avgjørende for målenøyaktigheten at nivåmålerens måleområde er best mulig tilpasset nivåvariasjonene på målestedet. Figur 19 viser samsvaret mellom nivåvariasjonene på renseanleggene og nivåmålerens måleområder. På figuren er midlere og høyeste nivå angitt i prosent av nivåmålerens største måleverdi.



Figur 19. Utnyttelse av måleområdet for nivåmålerne.

Av figur 19 går det fram at nivå tilsvarende midlere vannføring ligger lavt i nivåmålerens måleområde. Dette medfører at nivåmålingene må bli unøyaktig ved denne vannføring. Selv om nivå tilsvarende største vannføring ligger vesentlig høyere i måleområdet, er likevel nivåmålerne altfor romslig dimensjonert også for denne måleverdi.

På renseanlegg N var vannføringsmålingene basert på måling av strømningshastigheten i et rør. Det som er skrevet ovenfor om utnyttelse av måleområdet gjelder også utstyr for måling av strømningshastighet. For denne

målemetoden er imidlertid forholdet mellom målefeil i strømningshastighet, $\frac{dV}{V}$, og feil i vannføring, $\frac{dQ}{Q}$, gitt ved

$$\frac{dQ}{Q} = \frac{dV}{V}$$

dvs. at feil i vannføringen ikke blir forsterket, men er like stor som feil i hastighetsmålingen.

Feil i nivåmålingene

Det ble foretatt flere kontrollmålinger av nivået på hvert anlegg. Nivået ble målt med tommestokk på samme sted som nivåmålerne var plassert, og avlesningene sammenlignet med målesignalene fra målerne.

Ved tommestokkmålingene ble nivået alltid målt som en avstand fra et høyde-merke til vannflaten. Med 4-5 avlesninger for hvert nivå regnes feilen i de manuelle målingene å ligge innen ± 1 mm. Målesignalet fra målerne ble målt med et multimeter av typen Calibrator 02 (Siemens), som har en nøyaktighet på $\pm 0,1\%$.

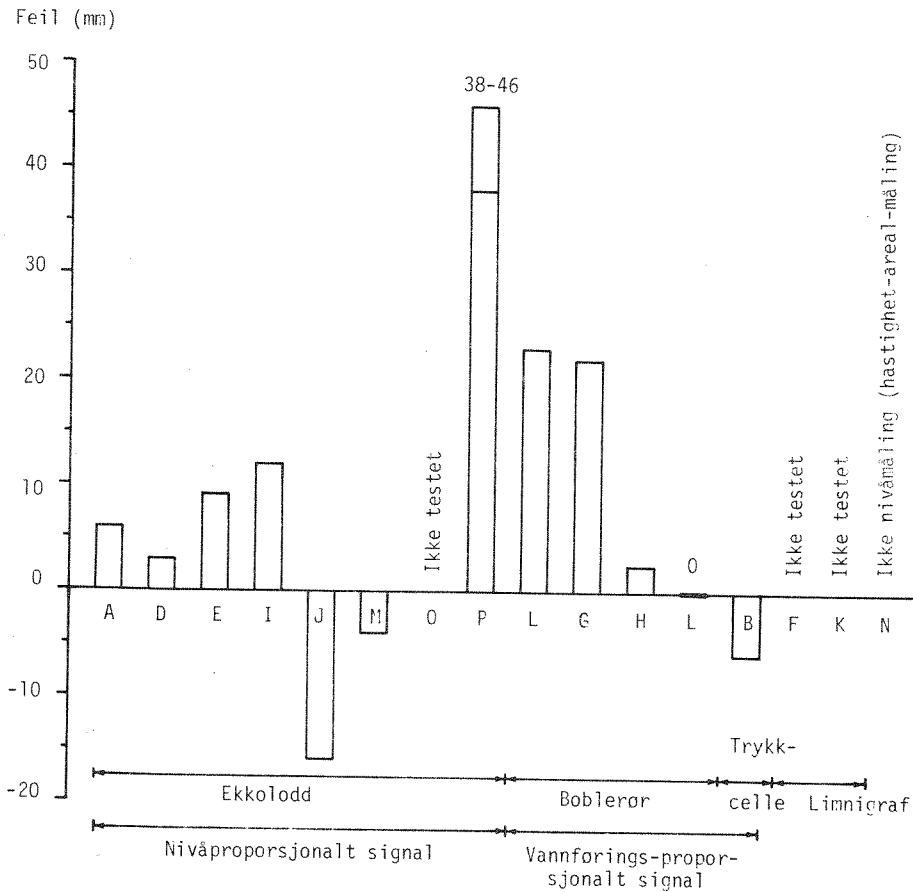
På noen anlegg var målesignalet nivåproporsjonalt, slik at omregning fra målesignal til nivå var enkelt. På andre anlegg var det imidlertid ikke mulig å måle signalet før etter linearisering, dvs. etter omforming til et vannførings-proporsjonalt signal. I disse tilfeller er målesteds vannføringsformel benyttet ved omregningen fra målesignal til nivå.

Ved omregning av et vannførings-proporsjonalt signal til et nivå innføres en systematisk feil, som skyldes at linearisering av nivåsignalet skjer etter rette linjer, mens vannføringskurven i virkeligheten er krum. Feilen medvirker til at nivået som beregnes, alltid er like stort som, eller større enn det nivåmåleren virkelig måler. Feilen vil være null i 8-10 punkter i måleområdet, og vil anta en maksimal verdi mellom disse punkter. I tillegg til denne omregningsfeil kommer feil i selve lineariserings-enheten.

Det ble gjennomført en del kontrollmålinger for å kartlegge størrelsen på omregningsfeilen og feilen i selve lineariseringsenheten. Resultatet av målingene tyder på at summen av feilene vanligvis ligger innenfor $\pm 2-3$ mm.

Dette anses ikke for å være mer enn at feilberegningene basert på henholdsvis nivå- og vannføringsproporsjonale signaler, kan sammenlignes direkte.

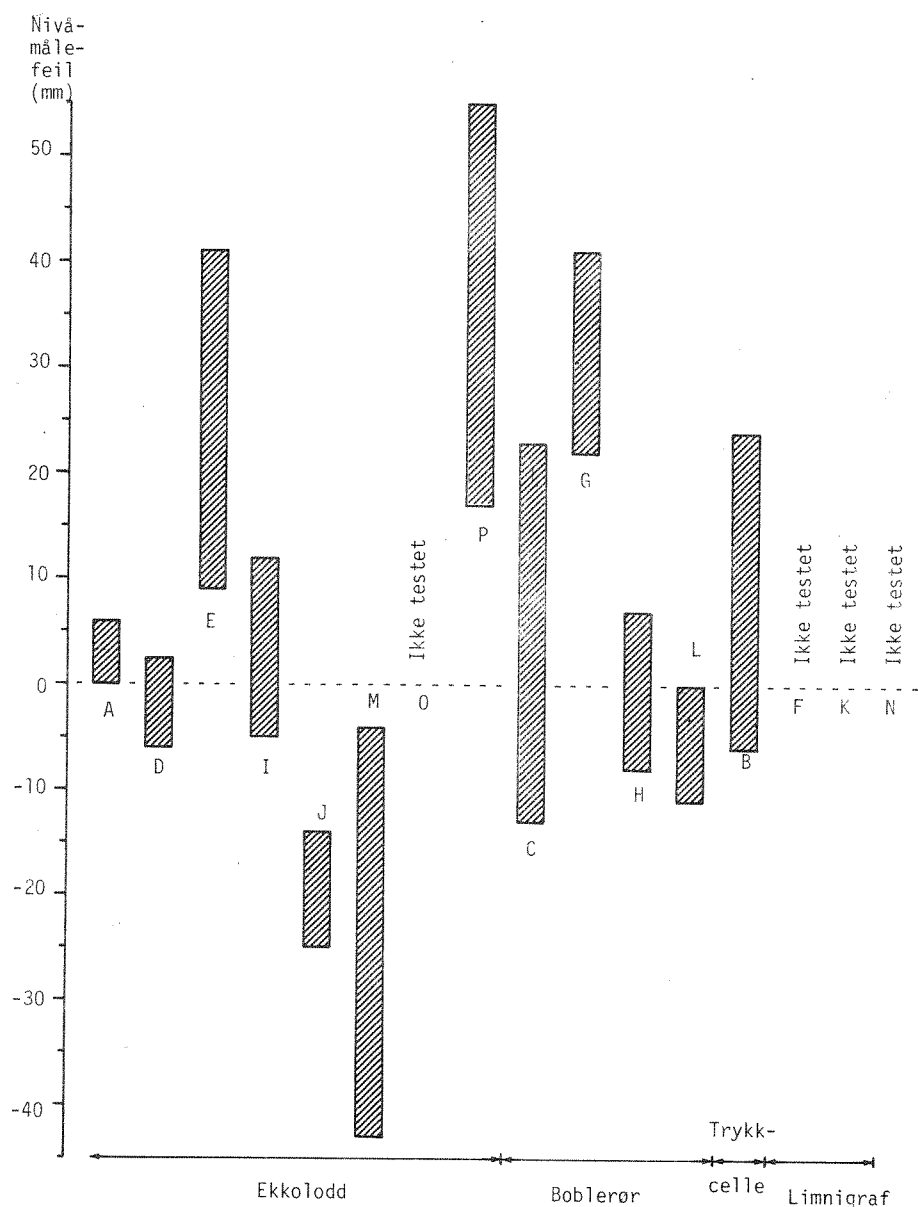
Figur 20 viser avvik mellom manuelt kontrollmålt nivå og nivåer beregnet ut fra målesignaler, med de første nivåer som referanse. Avvikene gjelder for null vannføring.



Figur 20. Feil i nivåmåling ved null vannføring. Bokstavene angir anleggskodene.

Figur 20 viser hvordan nivåmålerne er kalibrert for null vannføring, dvs. minste nivå eller måleverdi. Nivåmåleren var riktig kalibrert på anlegg L, men helhetsinnstrykket er at nivåmålerne er utilfredsstillende kalibrert. Kalibreringsfeilen var innen ± 5 mm på 4 av 12, og innenfor ± 10 mm på 7 av 12 anlegg. Største kalibreringsfeil ble funnet på anlegg P, hvor feilen svingte mellom 38 og 46 mm (svingningene skyldes urolig målesignal).

Figur 21 viser feil i nivåmålingene ved forskjellige nivåer (vannføringer), medregnet resultatene i figur 20. Hver stolpe angir området for nivåmålefeil som ble funnet på de enkelte anlegg.



Figur 21. Feilområde i nivåmåling ved forskjellige nivåer. Bokstavene angir anleggskodene.

Det går fram av figur 21 at det er funnet betydelige nivåmålefeil på samtlige anlegg. På noen anlegg er målefeilen lite avhengig av måleverdien, og dette illustreres med en kort stolpe i figuren. Motsatt betyr en lang stolpe at målefeilen varierer mye med måleverdien.

En sammenligning mellom figur 20 og 21 viser at det ikke alltid er sammenheng mellom kalibreringsfeil og nivåmålefeil, ei heller mellom kalibreringsfeil og variasjon i nivåmålefeil.

En mer inngående statistisk bearbeiding av måleresultatene viser at det ikke er entydige forskjeller mellom målefeil for ekkolodd, boblerørsmålere og trykkcelle. Det er heller ingen entydig sammenheng mellom nivåmålefeil og forholdet H/H_{\max} , der H er måleverdi og H_{\max} er nivået som tilsvarer den største vannføring som skal måles. Nivåmålefeilene i mm er med andre ord uavhengig av nivået. De positive nivåmålefeil (i mm) er i gjennomsnitt større enn de negative, slik at middelfeilen blir større enn null. Midlere nivåmålefeil er beregnet til + 7,34 mm med et standardavvik på 2,78 mm.

Sammendrag

Nivåmålerne er overdimensjonerte, og måleområdene er lite tilpasset nivåvariasjonene på renseanleggene. På 5 av 14 anlegg var middelnivået mindre enn 10% av nivåmålerens største måleverdi. Nivåene tilsvarende midlere og største vannføring utgjorde i gjennomsnitt 22% og 62% av nivåmålerens største måleverdi.

Nivåmålerne er dårlig kalibrert for minste måleverdi, dvs. nivå tilsvarende null vannføring. Kun 1 av 12 målere fra tilfredsstillende kalibrert. Kalibreringsfeilen var større enn ± 5 mm på 8 av 12 anlegg.

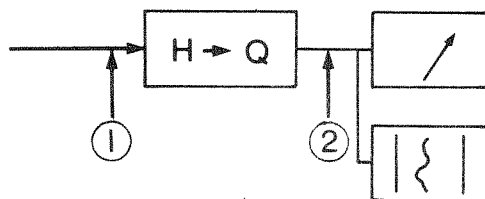
Ingen av 12 målere måler nivået med en nøyaktighet på ± 5 mm. 9 av 12 målere har målenøyaktighet dårligere enn ± 10 mm.

Nivåmålerne måler gjennomgående for høye nivåer. Absolutt målefeil er ikke avhengig av verken måleverdi eller målertype.

4.4 Lineariserings-enhet og indikator-instrument

Det ble gjennomført et opplegg som tok sikte på å kartlegge den målefeil som oppstår når målesignalet overføres fra nivåmåler via lineariserings-enhet til indikator-instrument, dvs. viserinstrument eller skriver. Denne feil illustrerer hvor nøyaktig vannføringsmålingene kan bli når målefeil fra måledelen og nivåmåleren kan utelukkes.

Målingene ble gjennomført ved at nivåmåleren ble koblet ut og nivåmålesignalene erstattet med kjente kontrollsignaler fra en giver. Kontrollsignalene ble omregnet og sammenlignet med avlesninger på viserinstrument og skriver. Figur 22 viser en enkel skisse av opplegget.



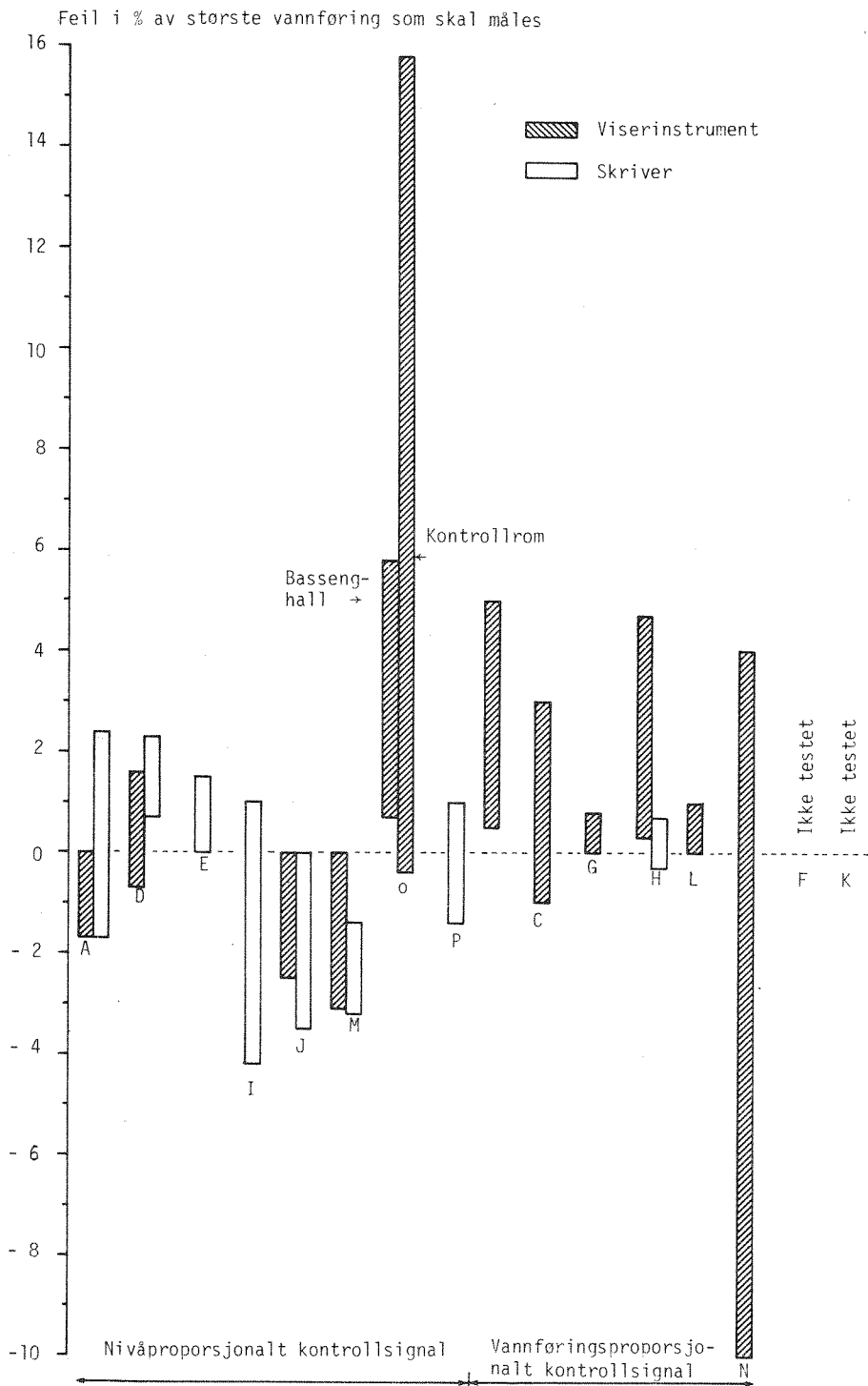
Figur 22. Opplegg for kontrollmåling av lineariserings-enhet og indikator-instrument.

Kontrollsignalene ble så vidt mulig sendt gjennom måleutstyret fra posisjon 1, dvs. før linearisering. Signalene er i disse tilfeller nivå-proporsjonale. På noen anlegg var det ikke mulig å sende inn signaler fra posisjon 1, men bare fra posisjon 2, dvs. etter linearisering. Signalene er da vannførings-proporsjonale.

Etter dette opplegget vil målte feil være sammensatt av feil i indikator-instrument og feil i signaloverføring når kontrollsignalene sendes fra posisjon 2. Lineariseringsfeilen kommer i tillegg når kontrollsignalene sendes fra posisjon 1.

I alt 11 kjente kontrollsignaler ble sendt gjennom måleutstyret på hvert anlegg. Signalene tilsvarte hver 10.prosent av måleområdet, inkludert minste og største måleverdi. Et multimeter med nøyaktighet $\pm 0,1\%$ ble benyttet. Instrumentet hadde sifferangivelse av giversignalet, som kunne varieres trinnløst i mA- og mV-områdene.

Avvik mellom avlesingen av viserinstrument og skriver, og kontrollsignal fra multimeteret er beregnet med kontrollsignalene som referanse. Det er tatt hensyn til usikkerhet i avlesningene. Resultatene er gjengitt i figur 23. På figuren er avvikene eller feilene gitt i prosent av største måleverdi, dvs. den største vannføring som skal måles, fordi dette er en vanlig referanse ved angivelse av instrumentenes målenøyaktighet.



Figur 23. Feil i lineariserings-enhet og indikator-instrument. Bokstavene angir anleggskodene.

Stolpene i figuren angir feilområdet som er funnet når kontrollsignalet varieres mellom minste og største måleverdi. En lang stolpe betyr at feilen varierer mye med kontrollsignalet, dvs. vannføring mens en kort stolpe betyr det motsatte.

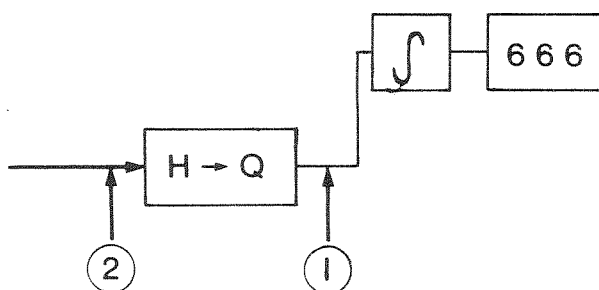
Figur 23 viser at feil i lineariserings-enhet og indikator-instrument varierer mye fra det ene anlegg til det andre. Resultatene tyder på at feilbidragene fra lineariserings-enheten og overføring av målesignal fra denne enhet til indikator-instrumentene bidrar lite til den totale feil. Feilene som er angitt i figuren, domineres med andre ord av feil som oppstår i viserinstrumenter og skrivere. Årsaken kan være at indikator-instrumentene er valgt fra en lavere kvalitetsklasse enn resten av instrumenteringsenhetene.

Feilen er betydelig på flere anlegg. Bare på 2 av 14 anlegg var feilen tilsvarende vanlig målenøyaktighet for lineariserings-enheter og indikatorinstrument: rundt 1% av største måleverdi. På 10 av 14 anlegg var feilen større enn $\pm 2\%$. Det er funnet feil fra -10% til +15,8% av største måleverdi.

I gjennomsnitt øker den absolutte feil forholdsvis jevnt med måleverdien. Denne tendensen er klar både for de nivåproporsjonale og de vannføringsproporsjonale kontrollsignaler. Dette medfører at de relative feil er noenlunde konstante og uavhengig av måleverdien eller vannføringen. De relative feil er i samme størrelsesorden som feilene i figur 23.

4.5 Integrator og telleverk

Integrator-enheten summerer eller integrerer vannføringen over tid, og er koblet sammen med et telleverk som angir vannmengdene. I denne omforming og overføring av målesignal ligger det kilder til feil. Figur 24 viser opplegget for kontrollmåling av disse feil.



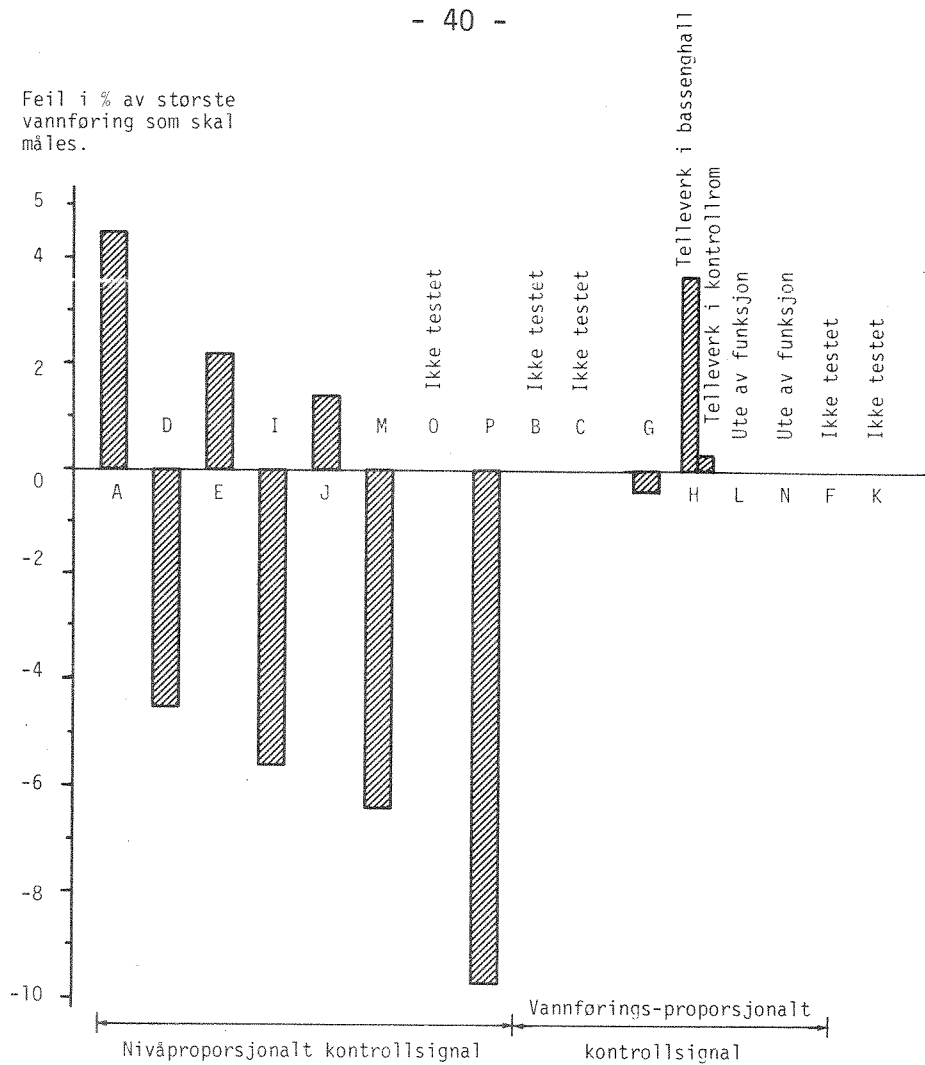
Figur 24. Opplegg for kontrollmåling av integrator og telleverk.

Målingene ble gjennomført ved at kjente kontrollsignaler ble sendt gjennom integratoren og telleverket etter lineariserings-enheten, dvs. posisjon 1 på figuren. Kontrollsignalene er da vannførings-proporsjonale. På noen anlegg kunne ikke kontrollsignalene sendes fra posisjon 1, men måtte i stedet sendes fra posisjon 2, dvs. før linearisering. Signalene er i dette tilfellet nivåproporsjonale.

Kontrollsignaler tilsvarende største måleverdi ble sendt gjennom enhetene i perioder varierende fra 20 til 90 minutter. Tiden ble tatt med stoppeklokke, og telleverket avlest i begynnelsen og slutten av hver periode. Avlesningen av telleverket ble sammenlignet med vannmengder beregnet ut fra kontrollsignal og periodens lengde, med beregnet vannmengde som referanse. Resultatene er sammenstilt i figur 25.

Feil i integrator og telleverk varierer mye fra anlegg til anlegg. Bare på 1 av 9 anlegg var feilen mindre enn $\pm 1\%$ av største måleverdi, mens den var større enn $\pm 2\%$ på 7 av 9 anlegg. Det er funnet feil fra $-9,7\%$ til $+4,5\%$ av største måleverdi. Det er ikke gjennomført kontrollmålinger med sikte på å kartlegge de relative feil.

Datagrunnlaget er for svakt til å kunne fastslå om feilbidraget fra lineariserings-enheten er vesentlig eller ikke. Det er ingen klar sammenheng mellom feil i figur 23 og 25 for anlegg der målingene er basert på måleproporsjonale kontrollsignal. Dette kan tyde på at feilbidraget fra lineariserings-enheten neppe dominerer den totale feil.



Figur 25. Feil i integrator og telleverk.
Bokstavene angir anleggskodene.

4.6 Vannføringsmåling

Måleutstyret under ett ble kontrollmålt ved 4-5 forskjellige vannføringer på hvert anlegg. En kontrollmåling ble foretatt ved null vannføring, og minste én ble foretatt omkring middelvannføringen på anlegget.

Kontrollmålingene ble gjennomført ved at kjente, kalibrerte, vannføringer ble sendt gjennom måledelen, mens nivået ble kontrollmålt manuelt med tommestokk. Samtidig ble signalene fra nivåmåleren målt med et multimeter, og viserinstrument og skriver lest av. Opplegget gir mulighet for kartlegging av feilbidraget fra de forskjellige enheter og feilforplantningen gjennom måleutstyret.

Kontrollmåling av nivå med tommestokk, og av signal fra nivåmåler med multi-meter ble gjennomført som beskrevet under pkt. 4.3. Kalibrering av kjente vannføringer er beskrevet nedenfor.

Kalibrering av vannføringer

Vannføringene ble kalibrert etter forskjellige metoder. Tabell 5 viser hvilke metoder som er benyttet, og hvor mange kontrollmålinger som er gjennomført på hvert anlegg. (Kontrollmålingene ved null vannføring er ikke med i tabellen.)

Tabell 5. Anvendte metoder for kalibrering av vannføringer, og antall kontrollmålinger på hvert renseanlegg.

| Metoder for kalibrering av vannføring | Renseanlegg | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------|---|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Tot. | |
| Kalibrering av pumper med bølge og stoppeklokke | 3 | 3 | 3 | 3 | | 2 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 | 1 | 2 | - | - | 36 | |
| Kalibrering av vannslanger med bølge og stoppeklokke | | | | | 3 | 1 | 2 | | | | | | 1 | 1 | - | | 8 | |
| Kalibrering av pumpe med basseng | | | | | | | | | | | | | 1 | | - | | 1 | |
| Kalibrering med sporstoffmålinger (litium) | | | | | | | | | | | | | | | | - | 2 | 2 |

Til kalibrering av pumper og vannslanger med bølge og stoppeklokke ble det benyttet en kalibrert plastbølge på 100 l. For hver vannføring ble det tatt minst 3 målinger, og så mange at målingenes standardavvik ble mindre enn 1 prosent. Antall målinger pr. vannføring varierte mellom 3 og 7, med et middel på 3,4. Standardavvikene varierte fra 0 til 1,0% med et middel på 0,5%.

I ett tilfelle var pumpekapasitetem så stor at det ikke var praktisk mulig å kalibrere pumpen med bølge og stoppeklokke. Pumpen ble i dette tilfellet kalibrert ved at den pumpet vann til et basseng med kjent overflate. Pumpekapasiteten ble beregnet ut fra pumpetid (tatt med stoppeklokke) og bassengets overflate og nivåendring.

Etter kalibrering av pumper og slanger ble den kalibrerte vannføringen ledet gjennom måledelen. Det ble her lagt stor vekt på at pumpe- løfte- høyde, og vann- og pumpe- slangen- føring skulle være de samme som under bøtte- og stoppeklokke- målingene, likeså at tilstrømningen til måleprofilen skulle være som under normale strømningsforhold.

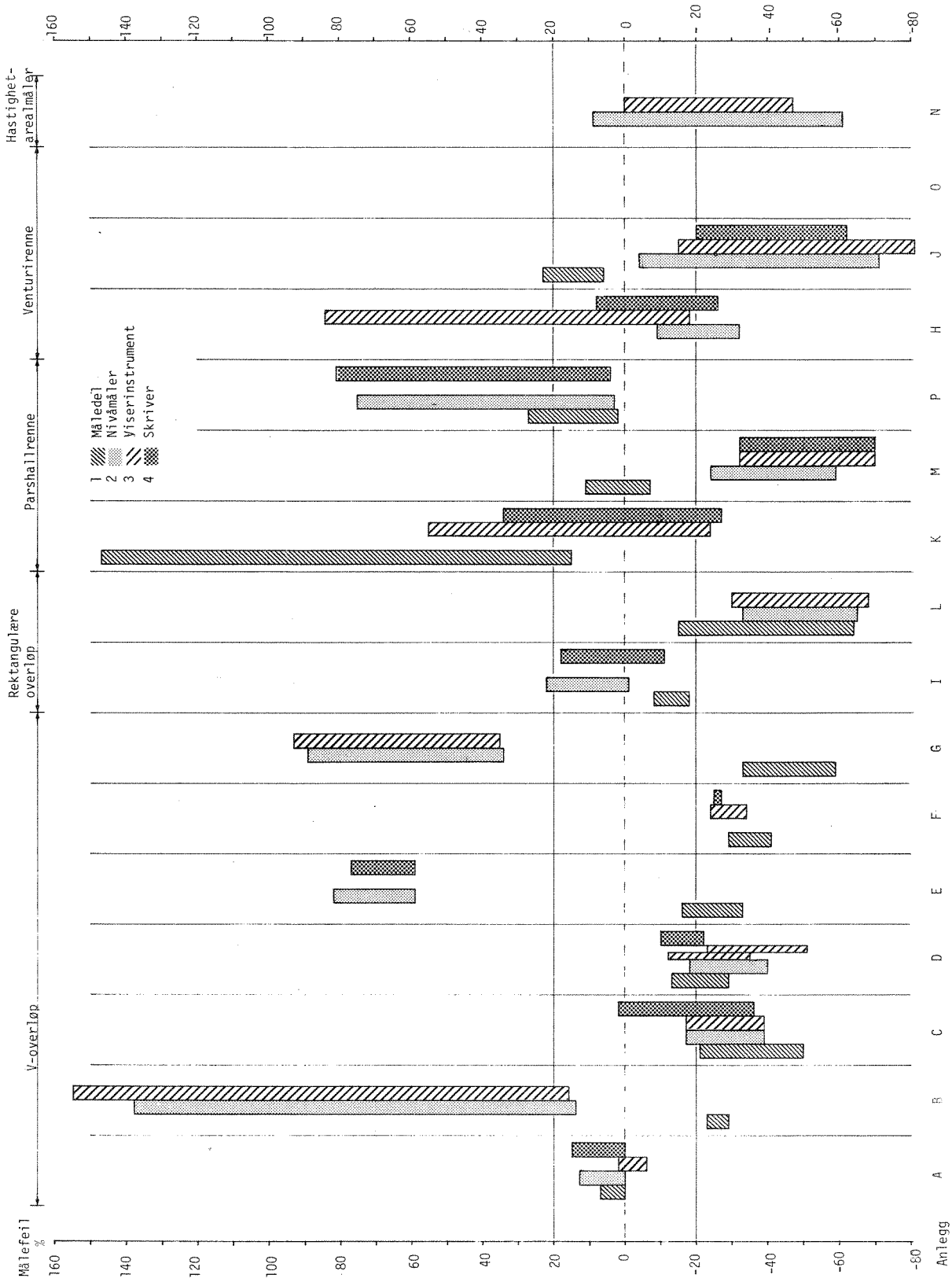
På ett anlegg ble vannføringene kalibrert med sporstoffmålinger. Litium ble brukt som sporstoff. Vannføringen gjennom måleprofilen ble holdt konstant ved overløpsregulering, mens en kjent mengde litium ble tilsatt. Vannføringen ble beregnet ut fra fortynningen av sporstoffet. Det henvises ellers til (19) og (20) for detaljert beskrivelse av metoden.

Ved hjelp av de metoder som er beskrevet, kan vannføringene kalibreres med stor nøyaktighet. Nøyaktigheten vil riktignok variere noe fra metode til metode, men kontroller tyder på at feilen ligger godt innenfor $\pm 5\%$ for alle metoder.

Resultatet av kontrollmålingene er gjengitt i figur 26. Figuren viser registrerte målefeil på forskjellige trinn i måleutstyret. Resultatene er fremstilt ved hjelp av søyler som skal illustrere feilområdet for de ulike grupper målefeil. En kort søyle betyr at målefeilen er lite avhengig av vannføringen, en lang søyle det motsatte.

Søylene med nummer 1 angir avvik mellom kalibrert vannføring og vannføring beregnet ut fra manuelt kontrollmålt nivå og anvendt vannføringskurve for målesteden. Feil i søyle 1 skriver seg derfor fra utstyrets måledel. Søylene med nummer 2 angir avvik mellom kalibrert vannføring og vannføring beregnet ut fra kontrollmålte signaler fra nivåmåleren. Denne feil er derfor lik summen av feil i måledel og i nivåmåler. Søyle 3 og 4 angir avvik mellom kalibrert vannføring og avlest vannføring på henholdsvis viserinstrument og skriver. Disse feil er dermed lik summen av feil i måledel, nivåmåler og viserinstrument, respektive skriver.

Ved å sammenligne søylene for et anlegg får en et inntrykk av hvordan målefeilen varierer med vannføringen, og hvordan feilen forplanter seg gjennom måleutstyret.



Figur 26. Feil i vannføringsmålingene på forskjellige trinn i måleutstyret. Søylen angir feilområdene for 4-5 målinger.

Søyler med nr. 1 viser at det oppstår betydelige feil i måledelen av utstyret på så å si alle anlegg. Feilens størrelse har ingen direkte sammenheng med utforming av selve måleprofilen. Dette betyr at et ideelt utformet måleprofil ikke alene gir garanti for nøyaktige målinger, og understreker betydningen av innløps- og utløpspartiets utforming. Som eksempel kan nevnes anlegg A, hvor det er lagt en betongterskel inn til og nedstrøms måleskjæret, slik at overløpskanten blir 25 cm mens kravet er 1-2 mm. Likevel er feilen i måledelen forholdsvis liten (0-6%).

Det er funnet flere eksempler på at målefeilen øker med vannføringen i en del av måleområdet, avtar i en annen del, for så å øke igjen i en tredje del. Slike kompliserte sammenhenger mellom målefeil og vannføring understreker også betydningen av måledelens utforming, og viser at det er forskjellige feilkilder som dominerer ulike deler av måleområdet.

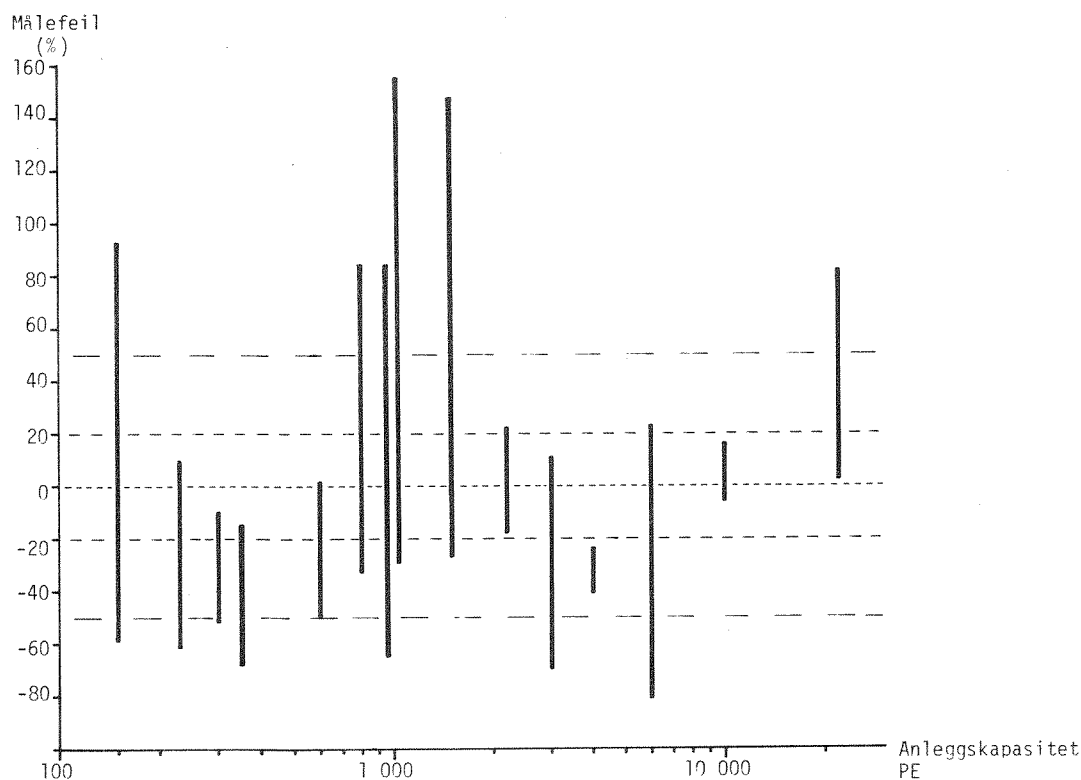
Statistisk bearbeiding av resultatene viser at det ikke er klar sammenheng mellom målefeil i måledelen og type måleprofil. Resultatene tyder imidlertid på at feilen er noe større (i positiv retning) ved små vannføringer for Parshall-renner enn for de andre profiltyper. I nedre del av måleområdet er den absolutte målefeil liten og øker så i negativ retning med vannføringen. Denne tendensen er klar for alle profiltyper, om enn noe svakere for venturi-renner enn for de andre.

Søyler med nr. 2 spanner over betydelig større feilområder enn søyle med nr. 1, og indikerer et vesentlig feilbidrag fra nivåmålerne. Søylenes lengde viser at feil i nivåmåler varierer med vannføringen i større grad enn feil fra måledelen. Feil i nivåmålingene er for øvrig diskutert inngående under pkt. 4.3.

Nivåmålerne forårsaker en absolutt feil i vannføringsmålingene som er positiv og uavhengig av måleverdien. Figur 26 viser flere eksempler på at en negativ feil i måledelen er snudd til en positiv feil etter nivåmåling, som f.eks. på anlegg B, E, G og I, men også eksempler på det motsatte, som på anlegg J. Disse resultater viser at målefeilens størrelse og fortegn kan forandres fra en del av utstyret til neste, og understreker hvor viktig det er å kontrollere hver enkelt enhet.

Søylene 3 og 4 ligger forholdsvis nær opp til søyle 2 for de fleste anlegg. Dette viser at de relativt store feil som ble funnet i indikatorinstrumenter under pkt. 4.4, betyr lite for den totale feil. En statistisk analyse av resultatene bekrefter dette. Absolutt midlere feil fra viserinstrumenter er ikke entydig forskjellig fra null, og er i tillegg uavhengig av vannføringen. Absolutt feil fra skrivere ser i gjennomsnitt ut til å være negativ og entydig forskjellig fra null, og feilen synes å øke i negativ retning med vannføringen. Disse sammenhenger kan imidlertid ikke fastslås med sikkerhet, og feilene er i alle tilfeller små i forhold til feil fra måledel og nivåmåler.

Figur 27 viser det totale feilområdet for hvert anlegg, definert som området begrenset av største og minste feil i måleutstyret. For anlegg A vil største positive feil i skriver utgjøre øvre grense, og største negative feil i viserinstrument nedre grense.



Figur 27. Feilområder som funksjon av anleggsstørrelsen. Søylene markerer området for målefeil som er funnet ved 4-5 kontrollmålinger av måleutstyret.

Figur 27 viser store totale feilområder på samtlige renseanlegg. Minste feilområde er på 17% (anlegg F), og største på 186% (anlegg B), med et middel på 89%. Feilområdet lå innenfor $\pm 20\%$ av sann vannføring på 1 av 15, og innenfor $\pm 50\%$ på 4 av 15 anlegg. Feilområdene spenner fra - 81% til + 157%.

Figuren viser ingen klar sammenheng mellom totalt feilområde og anleggsstørrelse. Det er derfor ingen grunn til å hevde at vannføringsmålingene på store renseanlegg er mer nøyaktige enn på små.

4.7 Tilsyn og vedlikehold av måleutstyret

Tilsyn og vedlikehold av måleutstyret inngår som en viktig arbeidsoppgave for driftsoperatøren. Regelmessig og grundig tilsyn og vedlikehold kan være vel så avgjørende for målenøyaktigheten som de rent måletekniske forhold. Det er derfor viktig at driftsoperatøren gis de nødvendige forutsetninger for å utføre denne arbeidsoppgaven på en tilfredsstillende måte.

En del av undersøkelsen tok sikte på å kartlegge deler av driftsoperatørens arbeidsforhold som påvirker hans muligheter for å utføre tilsyn og vedlikehold av måleutstyret.

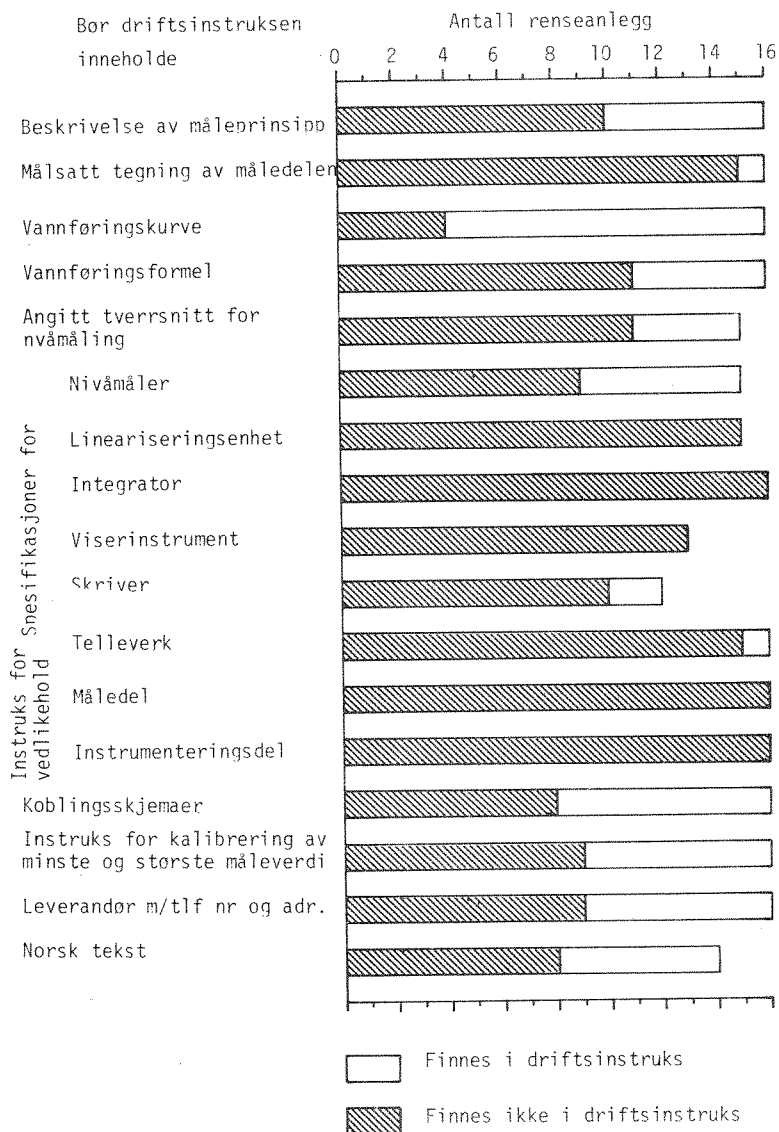
Driftsinstruks

Ifølge "Normgivende driftsinstruks for avløpsrenseanlegg. Del 1" (16) bør instruksene inneholde

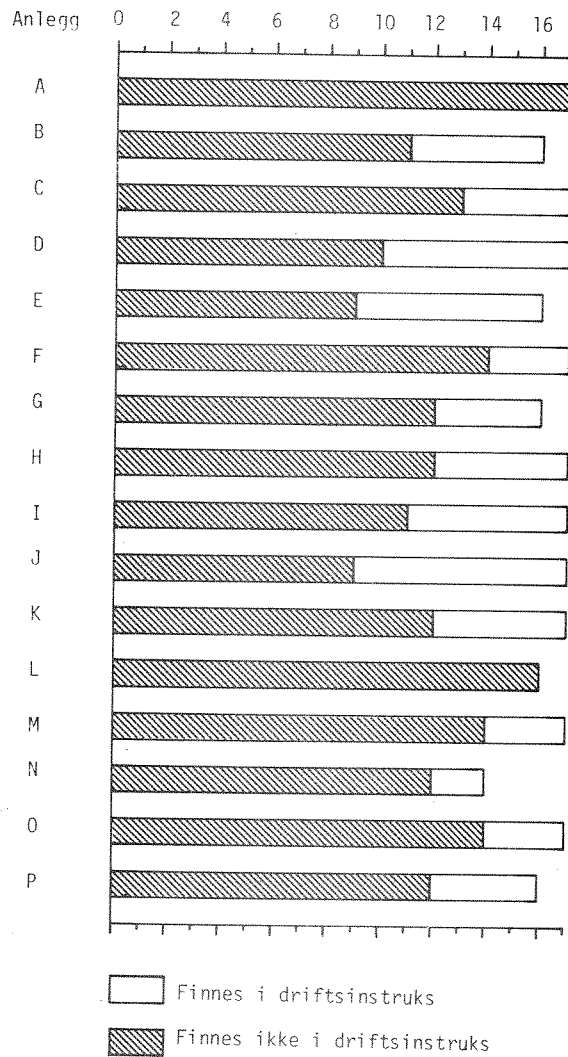
- Drifts- og vedlikeholdsinstruks, samt brosjyrer for den enkelte utrustning skal leveres på norsk
- Vedlikeholdskort skal opprettes for de viktigste enhetene i det tekniske utstyret på renseanlegget. Kortene skal gi informasjon om maskintype, merke, garantier, leverandør med navn, telefonnummer, adresse, rutinevedlikehold, smøring, oljeskift og rengjøring m.m.
- I driftsinstruksens vedlegg skal bl.a. være tekniske spesifikasjoner, inklusive koblingsskjemaer for bl.a. målere, instrumentering og automatikkutstyr.

På denne bakgrunn er det i figur 28 listet opp en del punkter som en driftsinstruks bør inneholde.

Det går fram av denne figuren og figur 29 at driftsinstruksene gjennomgående mangler vesentlige opplysninger om måleutstyret. Ingen av 16 renseanlegg hadde tilfredsstillende driftsinstruks.



Figur 28. Driftsinstruksens innhold.

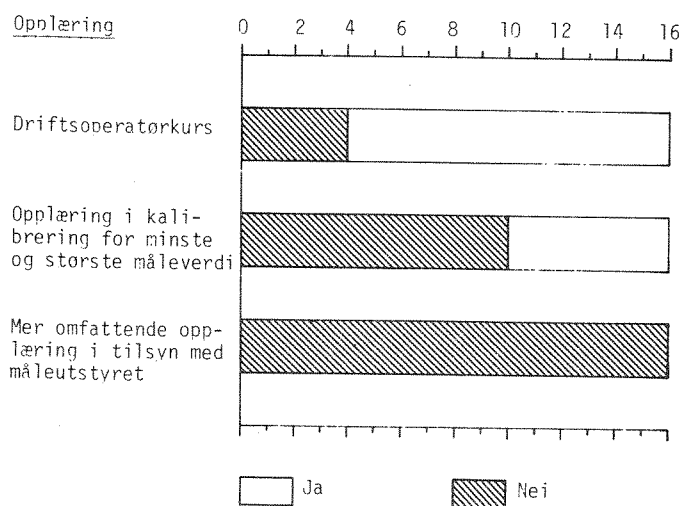


Figur 29. Driftsinstruksens innhold på de enkelte anlegg.

Opplæring

Opplæring er en viktig forutsetning for at driftsoperatørene skal kunne utføre tilfredsstillende tilsyn og vedlikehold. Driftsoperatørene ble spurt om hvilken opplæring de hadde fått i så måte. Svarene er gjengitt i figur 30.

Figuren viser at de fleste driftsoperatørene mangler selv elementær opplæring i håndtering av måleutstyret. Kun 6 av 16 driftsoperatører hadde fått tilstrekkelig opplæring til å utføre et minimum av nødvendig tilsyn og vedlikehold av måleutstyret.



Figur 30. Opplæring av driftsoperatørene.

Verktøy og utstyr

Ingen av driftsoperatørene hadde fått eller hadde tilgang til eget verktøy eller utstyr til bruk ved tilsyn og vedlikehold av måleutstyret. På ett renseanlegg hadde driftsoperatøren selv utarbeidet utstyr som ble benyttet til nivåsimulering ved kalibrering av nivåmåler.

Atkomst til måleutstyret

På 8 av 16 renseanlegg kunne man komme til måleutstyret uten bruk av hjelpemidler. På 6 anlegg var man avhengig av stige, og på 2 anlegg måtte det bygges et eget stillas for å komme til utstyrets måledel. Manuell kontrollmåling av nivået måtte på alle anlegg foretas liggende over gitterrister eller delvis ut over bassengkanten.

Sammendrag

På alle anlegg er det funnet mangelfulle driftsinstrukser, som gjennomgående inneholder svært få opplysninger om hvordan måleutstyret fungerer og hvordan det skal vedlikeholdes. Samtlige driftsoperatører har mangelfull opplæring i håndtering av måleutstyret, og har lite eller intet utstyr tilgjengelig for bruk ved tilsyn og vedlikehold. På alle anlegg var måleutstyret montert slik at driftsoperatøren måtte innta ubehagelige eller vanskelige arbeidsstillinger for å komme til utstyret.

Forholdene ovenfor viser at det ikke er tatt tilstrekkelig hensyn til driftsoperatørens arbeidsforhold ved planleggingen av anlegget, og ved montering av måleutstyret. Forholdene virker sannsynligvis negativt inn på målenøyaktigheten, da det ut fra driftsoperatørens forutsetninger ikke er rimelig å forvente tilfredsstillende tilsyn og vedlikehold av måleutstyret.

5. Sammendrag og konklusjoner

Sammendrag

Utstyr for måling av vannføring er undersøkt på 16 avløpsrenseanlegg med kapasiteter fra 150 til 22 000 pe. Måleutstyret på anleggene dekker de vanligste typer måleprofil, nivåmålere og instrumenteringsenheter.

Generelt vil det være rimelig å forvente en relativt romsligere dimensjonering av måleutstyr på mindre anlegg enn på større. Undersøkelsen viser ikke en slik sammenheng mellom utstyrdimensjonering og anleggsstørrelse. Måleutstyret er med andre ord ikke dimensjonert ut fra enhetlige kriterier. Videre er utstyret overdimensjonert og lite tilpasset tilrenningen til anlegget. Anleggene mangler dermed grunnleggende forutsetninger for nøyaktige målinger.

Utforming av måledelen, dvs. innløpsparti, måleprofil og utløpsparti røper manglende innsikt i elementær hydraulikk, og mangel på forståelse for forhold som er kritiske for målenøyaktigheten. Utformingen er utilfredsstillende på samtlige anlegg. På 5 anlegg må målestedet bygges om totalt, og på de resterende 11 anlegg må det større eller mindre utbedringer til, dersom måleforholdene skal kunne bli tilfredsstillende. Samtlige målesteder må kalibreres.

Nivåmålerne har for stort måleområde i forhold til nivåvariasjonene på renseanleggene. Nivå tilsvarende midlere og maksimal vannføring utgjør i gjennomsnitt 22% og 62% av nivåmålerens største måleverdi. Målenøyaktigheten blir dermed dårlig. Av 12 målere var bare 1 tilfredsstillende kalibrert. Ingen av 12 målere målte nivået med en nøyaktighet på ± 5 mm, mens 4 av 12 målere hadde en nøyaktighet på ± 10 mm. Det ble funnet nivåmålefeil fra - 43 mm til + 55 mm. Ingen måler typer peker seg ut i positiv eller negativ retning. Nivåmålerne sett under ett måler jevnt over for høye nivåer. Midlere nivåmålefeil er på 7,4 mm og lite avhengig av måleverdien.

Det oppstår relativt store feil i måleutstyret fra lineariseringsenhet til indikatorinstrument, dvs. ivisere og skrivere. Det er funnet feil fra - 10% til + 15,8% av største måleverdi. På 1 av 14 anlegg var feilen innenfor

± 1%, og på 4 av 14 anlegg innenfor ± 2% av største måleverdi.

Det oppstår også forholdsvis store feil i måleutstyret fra lineariseringsenhet til integrator og telleverk. Feilene varierte fra - 9,7% til + 4,5% av største måleverdi. På 1 av 9 anlegg var feilen innenfor ± 1%, og på 2 av 9 anlegg innenfor ± 2% av største måleverdi.

Det er funnet betydelige feil i vannføringsmålingene på samtlige anlegg. Målefeilen på hvert anlegg dekker i gjennomsnitt et feilområde på 89%, med 17% og 186% som henholdsvis beste og dårligste resultat. Feilområdet lå innen ± 20% av sann vannføring på 1 av 15 anlegg, og innenfor ± 50% på 4 av 15 anlegg.

Målefeilen er sterkt avhengig av vannføringen, og forandres i tillegg vesentlig fra en del av måleutstyret til neste. I de laveste deler av måleområdet dominerer feil fra nivåmåleren. Feilen er positiv, dvs. at det måles for høye vannføringer. I de midtre og øvre deler av måleområdet dominerer feil fra måledelen, og i disse områder måles det for lave vannføringer. Feil fra de andre enhetene i måleutstyret er ikke vesentlige sammenlignet med feil fra måledel og nivåmåler.

Arbeidsforholdene er dårlige for driftsoperatørene. Operatørene mangler både opplæring og utstyr for å kunne utføre tilfredsstillende tilsyn og vedlikehold av måleutstyret. Driftsinstruksene inneholder svært få opplysninger om måleutstyret. Utstyrets måledel er ofte plassert slik at atkomsten blir besværlig og arbeidsstillingen utrivelig.

Konklusjoner

- Ingen renseanlegg måler vannføringen med tilfredsstillende nøyaktighet.
- Målefeilene er så store at de medvirker til en mindre effektiv styring og drift av renseanleggene.
- Målefeilene er så store at de lokale og sentrale myndigheter har dårlig eller ingen kontroll med drift av og utslipp fra renseanleggene.

- Målefeilene er så store at måledata ikke kan brukes direkte til beregning av hydraulisk belastning, tilføringsgrad, inn- og utlekking, eller andre materialstrømmer for ledningsnett og renseanlegg, uten betydelig risiko for feilaktige slutninger.
- De store målefeil er et resultat av mange uheldige omstendigheter. Skal målingene bli bedre i framtiden, må feltet vannføringsmålinger oppprioriteres ved at det utarbeides krav til målenøyaktighet, samt retninglinjer for dimensjonering, valg, plassering og vedlikehold av måleutstyr. I tillegg må driftsoperatører gis et langt bedre tilbud med hensyn til opplæring, og tilgang på vedlikeholdsutstyr.

6. Forslag til framgangsmåte ved kalibrering og vedlikehold av måleutstyr

Dette forslag til framgangsmåte ved kalibrering og vedlikehold av måleutstyr er utarbeidet dels på grunnlag av erfaringer fra undersøkelsen av utstyr på 16 renseanlegg, dels på grunnlag av anbefalte rutiner i internasjonale standarder. Forslaget er utformet som en kokebok for kalibrering og vedlikehold av utstyrstyper som inngikk i undersøkelsen.

6.1 Fastsettelse av krav til målenøyaktighet

Hensikten med kalibrering og vedlikehold av måleutstyr er å sikre at målingene til en hver tid har den nøyaktighet vi ønsker de skal ha. Det første som må gjøres er derfor å fastsette et krav til målenøyaktighet, som vil være grunnlaget for vurdering av behovet for og omfanget av kalibrerings- og vedlikeholdsarbeidet.

Ideelt sett bør kravet til nøyaktighet fastsettes ene og alene på grunnlag av behovet for nøyaktige målinger. Dette er ikke mulig i praksis, fordi man er tvunget til også å ta hensyn til måleutstyr og måleforhold. Imidlertid bør behovet for nøyaktige målinger uten sammenlikning veie tyngst. Det må alltid være behovet for nøyaktige målinger og ikke utstyret i seg selv som avgjør hvor store målefeil vi kan akseptere.

6.2 Vurdering av måleutstyret

Etter at kravet til nøyaktighet er fastsatt følger naturlig en vurdering av enhetene i måleutstyret, enkeltvis og samlet. Vurderingen vil berøre faktorer som dimensjonering av måleutstyret og valg av måleområde, valg av enheter, enhetenes målenøyaktighet, strømningsforhold på målestedet, måleutstyrets plassering, arbeidsforhold for driftsoperatøren og andre forhold som har betydning for målingene, eller for kalibrering og vedlikehold av måleutstyret.

Etter denne vurderingen vil det gjerne være aktuelt å flytte eller bytte ut deler av måleutstyret. Dette gjøres før utstyret kalibreres. Før kalibrering bør det også gjennomføres en oppmåling av utstyrets måledel for å

kartlegge om måleprofil, innløps- og utløpsparti holder de mål og dimensjoner som er angitt i brosjyrer og spesifikasjoner.

6.3 Klargjøring av utstyrets måledel

Måledelen er kontinuerlig utsatt for sedimentering, begroing og rustdannelse som i vesentlig grad påvirker strømningsforholdene, og dermed også målenøyaktigheten. Sedimenter og belegg må fjernes før utstyret kan kalibreres.

Måledelen tørrlegges og uønsket belegg fjernes med en børste, skrubb e.l. som ikke må være så stiv at den riper i utstyret. Måledelen spyles deretter rent for løsnet belegg og sedimenter. Delen av utstyret som ikke er i rustfritt materiale, smøres deretter inn med silikon, voks eller olje.

For overløp og målerenner er det helt vesentlig at både måleprofil og innløpsparti rengjøres. Utløpspartiet kan også med fordel rengjøres, men rengjøringen her er ikke så kritisk for målingene. Det er spesielt viktig at overløpsplatene rengjøres godt på vannsiden, og at belegg og partikler fjernes fra selve måleskjæret. Det er også viktig at innløpspartiet rengjøres på en strekning lik overløpets eller målerennas krav til rettstrekning. Hele innløpspartiet rengjøres dersom partiet er kortere enn det kravet angir.

6.4 Kalibrering av måledelen

Kalibrering av overløp og målerenne gjennomføres ved at kjente vannføringer ledes gjennom måleprofilen, mens nivået kontrollmåles der nivåmåleutstyret er plassert. På grunnlag av målingene utarbeides det en vannføringskurve for målestedet.

Vannføringskurven blir mer nøyaktig jo flere målinger den bygger på. Antall nødvendige målinger vil dermed variere med kravet til nøyaktighet. Antall målinger bør ikke være mindre enn ti. Målingene fordeles noenlunde jevnt over hele måleområdet, men de bør ligge noe tettere i området omkring middelvannføringen.

Nivået kontrollmåles når vannføringen er stabil. For hver kjent vannføring foretas minst tre kontrollmålinger av nivået. Målingene foretas med tomme-

stokk, eller bedre med en fastmontert gradert peilestav. Nivået måles mest nøyaktig ved å måle avstanden fra et høydefastmerke ned til vannflaten.

Det er selvsagt viktig at de kjente vannføringer kan bestemmes med stor nøyaktighet. Nedenfor er det gitt to eksempler på hvordan dette kan gjøres.

Kalibrering med pumper

Pumper har vist seg å være meget godt egnet til kalibrering av måledelen på mindre og mellomstore anlegg. Framgangsmåten er kort at målestedet først tørrlegges. Deretter pumpes vann gjennom måleprofilen fra et basseng, helst sedimenteringsbassenget. Når pumpekapasiteten er kjent, vil også vannføringen gjennom måleprofilen være kjent.

Det er fullt mulig å gjøre bruk av flere pumper samtidig. Pumpeslangene må være stive, men fleksible, og de bør ha påmontert en strupeventil nær pumpen slik at kapasiteten kan reguleres. Kapasiteten bestemmes etter bølge/stoppeklokke-metoden. Kalibrerte, graderte og høye beholdere med volum på 100-150 l er meget vel egnet til dette formål, og kan brukes til måling av vannføringer opp mot 20 l/s.

Det foretas minst 3 bølge/stoppeklokke-målinger av pumpekapasiteten. Er målingenes standardavvik større enn 1 prosent, økes antall målinger til denne grense er underskredet. Dersom beholderens volum utnyttes fullt ut, og man er påpasselig med tidtakingen (stoppeklokke nødvendig), vil det som regel være tilstrekkelig med 3-4 målinger for å underskride grensen på 1 prosent. Pumpene bør ikke stanses mellom målingene.

Når pumpekapasiteten er bestemt, pumpes vann gjennom måleprofilen mens nivået kontrollmåles.

Pumpekapasiteten påvirkes av pumpeslangens leie og av pumpas løftehøyde. Siden kapasiteten forutsettes å være den samme når vann pumpes gjennom måleprofilen som ved bølge/stoppeklokke-målingene, er det viktig at slangeleiet og løftehøyden hele tida holdes uforandret. Dette må det tas hensyn til ved valg av sted for bølge/stoppeklokke-målingene. Under målingene vil nivået forandres i bassenget hvor pumpa er plassert. Dette kan motvirkes

ved at vann pumpes inn fra et annet basseng, eller ved at bassengnivåene i anlegget styres på andre måter.

Følges den skisserte framgangsmåte, vil pumpekapasiteten eller vannføringen kunne bestemmes med en nøyaktighet bedre enn 5 prosent.

I noen tilfelle er pumpekapasiteten så stor at det ikke er praktisk mulig å måle den etter bølge/stoppeklokke-metoden som beskrevet ovenfor. Kapasiteten kan i så fall bestemmes ved at pumpa i et kjent tidsintervall (målt med stoppeklokke) pumper vann til eller fra et basseng. Kapasiteten beregnes ut fra bassengets overflate og nivåendring, samt tida. Dersom målingene gjentas flere ganger, vil pumpekapasiteten sannsynligvis bli bestemt med tilsvarende eller noe dårligere nøyaktighet enn ved metoden beskrevet ovenfor.

Sporstoffmålinger med litium som sporstoff

Metoden går ut på at en kjent mengde litium doseres jevnt til en konstant vannstrøm. Vannføringen beregnes ut fra fortynningen av det doserte litium. Selv om teorien er enkel er metoden ganske komplisert. Det henvises til (16) og (22) for detaljerte beskrivelser.

Metoden krever at vannføringen er konstant mens litium-doseringen pågår. Dette kan være et vanskelig krav å imøtekomme på noen renseanlegg. Metoden krever i tillegg kvalifisert personell og avansert utstyr, og er derfor best egnet der pumper ikke kan brukes, eller der vannføringen er så stor at pumper av praktiske hensyn ikke er et alternativ.

Med gode arbeidsrutiner, godt måleutstyr og gode måleforhold, vil måle-nøyaktigheten være omtrent som for bølge/stoppeklokke-kalibrering av pumper, muligens noe bedre.

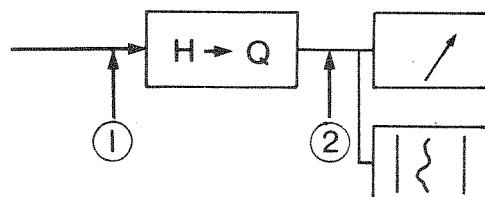
6.5 Kalibrering av instrumenteringsdelen

Kalibrering av instrumenteringsdelen bør skje trinnvis for hver sentral enhet. Man bør begynne med kalibrering av viserinstrument og skriver.

Målesignalene i instrumenteringsdelen kan være utsatt for forstyrrelser fra elektriske maskiner og installasjoner på anlegget. Kalibrering bør derfor foretas under normale driftsforhold, dvs. med start og stopp av pumper, skraper etc. På denne måten kan man også kartlegge i hvilken grad målesignalene påvirkes av elektrisk støy, og dermed også behovet for skjerming av utstyr og signalkabler.

Viserinstrument og skriver

Viserinstrument og skriver kalibreres ved at kjente signaler sendes gjennom enhetene og sammenliknes med avleste verdier. De kjente kontrollsignalene sendes gjennom enhetene, fortrinnsvis fra posisjon 2. Der dette ikke er mulig sendes signalene fra posisjon 1. Se figur 31.



Figur 31. Framgangsmåte ved kalibrering av viserinstrument og skriver.

I alt 11 giversignaler sendes gjennom enhetene. Det første bør alltid tilsvare minste måleverdi, dvs. null vannføring. Deretter økes signalene trinnvis slik at målinger foretas for hver 10. prosent av måleområdet, opp til 100 prosent eller største måleverdi. Rutinen gjentas dersom det er foretatt en eller flere justeringer i instrumentene underveis. Instrumentene justeres om nødvendig slik at avleste verdier samsvarer med giversignalene.

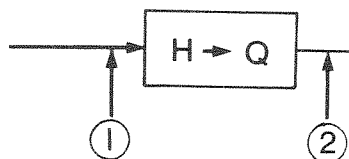
Til kalibrering av viserinstrument og skriver trenger man et multimeter med nøyaktighet på rundt 0.1 prosent. Multimeteret må kunne gi og måle et hvert signal innenfor de vanlige standardiserte målesignalområdene. Det er en stor fordel om multimeteret har sifferangivelse av både giver- og målesignal.

På mange viserinstrument og skrivere kan det foretas justeringer kun for minste og største måleverdi. Viser målingene at det også er behov for justeringer mellom disse verdier, må dette overlates til leverandøren.

Lineariseringsenhet

En kalibrert vannføringskurve utarbeides på grunnlag av målingene under pkt. 6.4. Denne kurven må programmeres eller plottes inn i lineariseringsenheten før kalibrering av enheten kan foretas. Dette må gjøres av leverandøren i de aller fleste tilfeller.

Kalibrering av lineariseringsenheten foretas ved at kjente giversignaler sendes inn gjennom enheten og sammenliknes med utsignalene, som må måles. Se figur 32. Kalibreringen skjer forøvrig etter samme framgangsmåte som beskrevet for viserinstrument og skriver.



Figur 32. Framgangsmåte ved kalibrering av lineariseringsenhet. Kjente giversignal sendes inn ved posisjon 1 og utsignalene måles ved posisjon 2.

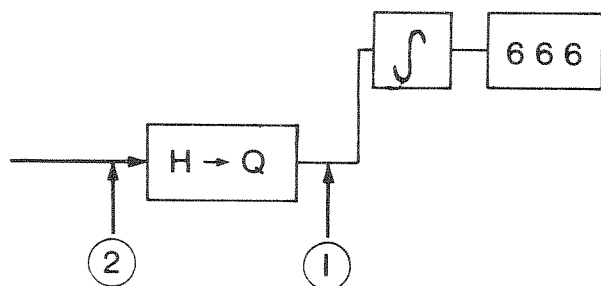
Noen typer lineariseringsenheter har enten viser- eller sifferangivelse av utsignalet. For disse enhetene kan giversignalene sammenliknes med avleste utsignal. Kalibreringsresultatet vil kunne bli tilfredsstillende bare når signalet angis med stor nøyaktighet (bedre enn 1 prosent). Kun i nødstilfeller må kalibrering av lineariseringsenheten baseres på en sammenlikning av giversignal og avleste signal på viserinstrument og skriver.

Få typer lineariseringsenheter kan kalibreres for andre måleverdier enn minste og største målesignal, og ganske mange kan ikke kalibreres på stedet i det hele tatt. Det er grunntil å tro det vil bli mer vanlig at lineariseringsenheter i framtida vil kunne kalibreres over hele måleområdet, og det er med denne bakgrunn rutinene ovenfor foreslås.

Til kalibrering av lineariseringsenheten kan man benytte samme multimeter som ved kalibrering av viserinstrument og skriver. I tilfeller der utsignalet fra enheten skal måles, vil det i tillegg være behov for et instrument som måler dette signalet.

Integrator/telleverk

Kjente giversignal sendes gjennom integratorenheten i tidsintervall med kjent lengde. Telleverket leses av i begynnelsen og slutten av intervallet, og avlesningene sammenliknes med vannmengden beregnet ut fra giversignalet og intervallets lengde.



Figur 33. Frømgangsmåte ved kalibrering av integrator/telleverk. Kontrollsignal sendes fortrinnsvis fra posisjon 1, eller fra posisjon 2 der dette ikke er mulig.

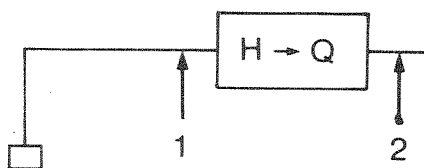
Integrator/telleverk justeres for differansen mellom beregnet og avlest vannmengde. Eksempelvis vil et signal tilsvarende 5 l/s som sendes gjennom

integratorenheten i 100 minutter tilsvare en vannmengde på 30.0 m^3 . Avlesningen av telleverket viser kanskje 27.9 m^3 , og instrumentene må derfor justeres for avviket på 2.1 m^3 .

Målingen som ovenfor bør gjennomføres i forskjellige deler av måleområdet, f.eks. for 0, 25, 50, 75 og 100 prosent av største måleverdi. Selve justeringen av instrumentene overlates til leverandøren.

Nivåmåler

Signalet fra nivåmåleren måles med et multimeter av samme type som nevnt tidligere, samtidig som nivået kontrollmåles med tommestokk, peilestav e.l. Måleren justeres for avvik mellom kontrollmålt nivå og målesignal.



Figur 34. Framgangsmåte ved kalibrering av nivåmåler. Signalet fra nivåmåleren måles fortrinnsvis ved posisjon 1, eller ved posisjon 2 der dette ikke er mulig.

Det bør foretas flere målinger fordelt over hele måleområdet. Man bør begynne med nivået som tilsvare null vannføring, og så øke med 10 prosent av største målehøyde opp til 100 prosent av høyeste nivå. Rutinen gjentas hvis det foretas justeringer underveis.

Nivåmåleren bør fortrinnsvis kalibreres på stedet, dvs. i sin normale stilling. Flytting av måleren under kalibrering må unngås så langt det er mulig.

Kalibrering av to vanlige nivåmålere, ekkolodd og boblerør-måler, kan foretas på følgende måter. Ekkolodd kan kalibreres ved at nivået simuleres med en plate som plasseres under giverkrystallet. Platen må være så stor at den dekker hele lydkeglen, og må kunne fikseres vannrett i et hvert ønsket nivå

med en nøyaktighet på ± 1 mm eller bedre. Boblerørsmåleren kan kalibreres ved at boblerøret fikseres i forskjellige nivåer i en vannfylt beholder, rør eller med diameter rundt 20 cm. Boblerøret må kunne innstilles med en nøyaktighet på ± 1 mm eller bedre.

Langt de fleste nivåmålere kan bare justeres for avvik ved minste og største måleverdi. Målerne må overlates leverandørene for justeringer i de mellomliggende deler av måleområdet.

6.6 Kontrollmålinger av utstyret samlet

Etter at enhetene i måleutstyret er kalibrert enkeltvis foretas kontrollmålinger av utstyret samlet. Dette gjøres ved at minst 4 kjente vannføringer ledes gjennom måledelen, mens nivået og signalene fra nivåmåler og lineariseringsenheten kontrollmåles, og viserinstrument og skriver leses av. De kjente vannføringer bør fordeles over hele måleområdet.

Kontrollmålingene vil avduke målefeil i de enkelte enheter og for utstyret samlet. De fastsatte krav til målenøyaktighet vil avgjøre om det etter kontrollmålingene vil være nødvendig med omkalibrering av utstyret.

6.7 Rutiner

Det er verken behov for eller praktisk mulig å kalibrere alle enheter av måleutstyret like ofte. Nedenfor er det satt fram forslag til rutiner for kalibrering av utstyrsenhetene.

- | | |
|------------|--|
| Hver uke | <ul style="list-style-type: none">- fjerne belegg, sedimenter og rust fra måleprofil, innløpsparti og utløpsparti- smøre deler av utstyret som ruster inn med silikon, voks eller olje etter rengjøring- kalibrere nivåmåler |
| Hver måned | <ul style="list-style-type: none">- kalibrere integrator/telleverk, viserinstrument og skriver |

- Hvert halvår - kalibrere lineariseringsenhet
- Hvert år - kalibrere måleprofil
- kontrollmålinger av utstyret samlet.

Tilsynelatende er det ikke nødvendig å kalibrere måleprofilen mer enn en gang. Imidlertid viser det seg ofte at vannføringskurven for et målested forandrer seg med tida bl.a. fordi måleprofil, innløpsparti og utløpsparti "setter seg". Det bør derfor gjennomføres en fullstendig omkalibrering året etter at utstyret er kalibrert første gang. Deretter kontrolleres vannføringskurven årlig ved 4 vannføringer i ulike deler av måleområdet. Registreres større avvik, må måleprofilen kalibreres på nytt.

Behovet for kalibrering vil variere med avløpsvannets sammensetning, strømningsforhold, måleutstyr m.v. Det understrekes at forslaget ovenfor kun er en veiledning, og at rutiner for kalibrering av måleutstyret alltid bør fastsettes ut fra de faktiske forhold på renseanleggene.

7. Noen råd ved valg av måleutstyr

Nedenfor er det i stikkordsform gitt en del generelle råd ved valg av måleutstyr.

7.1 Generelt

- Valg av utstyr må trekkes inn og vurderes tidlig i renseanleggets planleggingsfase.
- Valg av utstyr bør baseres på et krav til målenøyaktighet. Fastsett først krav til nøyaktighet og velg utstyr deretter, ikke omvendt.
- Ta hensyn til driftsoperatørens arbeidsforhold ved valg og plassering av utstyr.
- Legg stor vekt på leverandørens service-tilbud ved valg av utstyr.
- Et måleutstyr består av flere enheter. Velg enheter som er tilpasset hverandres nøyaktighet og måleområde.
- Velg enheter som er basert på standardiserte målesignal-områder (f.eks. 0-20/4-20 mA).
- Velg enheter fra færrest mulige produsenter/leverandører.
- Velg utstyr som er fleksibelt og som enkelt kan flyttes fra et målested til et annet.

7.2 Valg av måleprofil

De ulike måleprofiler har forskjellig målenøyaktighet. Under ideelle forhold er forskjellene imidlertid så små at de sjelden bør være avgjørende. Måleprofilen bør i stedet velges ut fra forholdene på målestedet.

- Velg utstyr som er tilpasset strømningsforhold, vannføringer og vannføringsvariasjonene. Skarpkantet V-overløp er f.eks. bedre egnet til måling av varierende vannføringer enn skarpkantet rektangulært overløp, mens skarpkantete overløp er vesentlig mer følsomme overfor tilstrømningshastighet enn f.eks. målerenner.
- I mange måleprofiler er målingene basert på et kritisk strømnings-tverrsnitt, hvor det er en entydig sammenheng mellom nivå og vannføring. Velg alltid den type eller dimensjon på måleprofilet som gir det høyeste nivå (største oppstuvning) ved middelvannføringen på anlegget, hvis måleprofilene ellers har de samme egenskaper.
- Skarpkantete overløp og målinger basert på hastighetsmålinger i rør anbefales ikke på innløpssiden av renseanlegget, fordi målenøyaktigheten i disse profiler påvirkes lett av filler, større partikler og beleggdannelse.
- Anvendelse, utforming, montering og vedlikehold av måleprofilet bør følge de internasjonale standarder så langt det er mulig. Dersom standardene ikke kan følges, må utstyret kalibreres etter montering.

7.3 Valg av nivåmåler

- Nivåmåleren er en kritisk del av måleutstyret. Velg nivåmålere med god driftsstabilitet og nøyaktighet på ± 1 prosent eller bedre.
- Velg nivåmålere hvor måleområdet er best tilpasset nivåvariasjonene på målestedet. Nivåmålere med valgbart måleområde er klart å foretrekke.
- Velg nivåmålere hvor målesignalet kan tas ut og kontrollmåles.
- Velg nivåmålere som enkelt kan kalibreres på stedet over hele måleområdet, ikke bare for minste og største måleverdi.

- Velg nivåmålere som påvirkes lite av vannkvalitet, skumdannelse, urolig vannspeil, samt miljøfaktorer som temperatur, relativ fuktighet, lokale spenningsfelt og elektriske utladninger.
- Velg de nivåmålere som krever lite tilsyn, og målere hvor målenøyaktigheten er lite følsom overfor manglende vedlikehold.

7.4 Valg av lineariseringsenhet

I lineariseringsenheten omformes et nivåsignal til et vannføringsignal etter en modifisert vannføringskurve for målestedet. Mens den virkelige vannføringskurven for målestedet som regel er en krum linje, er den modifiserte kurve sammensatt av rette linjer mellom en serie punkter, brytningspunkter. Jo flere punkter, desto mindre forskjell mellom den virkelige og den modifiserte vannføringskurve.

- Velg lineariseringsenheter med flest brytningspunkter.
- Velg lineariseringsenheter som enkelt kan kalibreres på stedet for hvert brytningspunkt.
- Vannføringskurven i lineariseringsenheten bør kunne forandres enkelt, slik at enheten kan flyttes fra et målested til et annet. Måleområdet bør også kunne forandres.
- Velg lineariseringsenheter hvor det er mulig å kontrollmåle signalene inn og ut av enheten.

7.5 Valg av integrator/telleverk

- Velg utstyr som enkelt kan kalibreres på stedet.
- Velg utstyr hvor måleområdet (pulsfrekvensen) kan varieres.
- Velg utstyr hvor det er mulig å kontrollmåle målesignalene.

7.6 Valg av viserinstrument og skriver

- Velg utstyr som enkelt kan kalibreres på stedet over hele måleområdet, ikke bare for minste og største måleverdi.
- Velg utstyr hvor det er mulig å variere måleområdene.
- Velg utstyr hvor det er mulig å kontrollmåle målesignalene.

7.7 Noen andre råd

- I anbudsinnbydelsen bør det spesifiseres hvilke krav til nøyaktighet som stilles til enhetene i utstyret, både enkeltvis og samlet. I leveringsbetingelsene bør det framgå at etter installering skal utstyret kontrollmåles av leverandørene, for å bekrefte at kravene til nøyaktighet imøtekommes.
- Utforming av utstyrets måledel bør være i samsvar med anbefalinger gitt i internasjonale standarder.
- På målestedet, nær måleprofilen, bør det være instrumenter for momentan-avlesning av både nivå og vannføring.
- Instrumentene i måleutstyret vil i noen grad være utsatt for elektriske utladninger i atmosfæren. Hvis instrumentene ikke beskyttes kan utladningene føre til store skader. En overspenningsbeskytter eller skilletransformator er en effektiv og billig løsning i så måte, og bør inngå som en del av måleutstyret.
- Både i anleggets planleggingsfase og ved installering er det viktig å legge forholdene til rette for vedlikehold og kalibrering av måleutstyret. Viktige punkter her er bl.a. at det føres fram vann og elektrisitet (både to- og trefase) til målestedet.

Litteratur

1. Cronstrøm, A. og Vopatek (1978):
"Mätning av obehandlat spillvatten."
Statsbyggnad nr. 10, pp. 221-224.
2. Herschy, R.W. (1978):
"Hydrometry. Principles and Practices."
John Wiley and Sons.
ISBN-0-471-99649-1.
3. International Organization for Standardization (1975):
"Liquid flow measurement in open channels using thin-plate weirs and venturi-flumes."
ISO 1438-1975 (E).
4. International Organization for Standardization (1980):
"Liquid flow measurement in open channels using flumes."
Draft for International Standard ISO/DIS 4359.
5. International Organization for Standardization (1978):
"Measurement of liquid flow - Estimation of uncertainty of a flow-rate measurement."
ISO 5168-1978 (E).
6. International Organization for Standardization (1980):
"Water flow measurement in open channels using weirs and venturi flumes." Part 1: Thin-plate weirs.
ISO 1438/1-1980 (E).
7. Kalleberg, K. (1981):
Vassdrags- og havnelaboratoriet, Trondheim.
Personlige samtaler.

8. Lindholm, Oddvar (1979):
"Myndighetenes nytte og syn på måledata fra kommunale avløpsanlegg."
NIF-kurs, Praktisk vannmengdemåling i kommunalteknisk sammenheng.
Geilo, april 1979.
9. Miljøverndepartementet (1974):
Rundskriv T-24/94.
Overføring til fylkesmannen av myndighet etter lov om vern mot
vannforurensning og vassdragslover.
10. Munkeberg, T. (1981):
Thorolf Gregersen A/S.
Personlige samtaler.
11. Parshall, R.L. (1932):
"Measuring water in irrigation channels."
Farmer's bulletin No 1683.
U.S. Department of Agriculture.
12. Parshall, R.L. (1928):
"The improved venturi flume."
Bulletin No. 336, March 1928.
The Colorado Agricultural College.
Fort Collins, Colorado.
13. Parshall, R.L. (1936):
"The Parshall measuring flume."
Bulletin No. 423, March 1936.
Colorado State College, Colorado Experiment Station.
Fort Collins, Colorado.
14. Skogerboe, G.V. et al. (1967):
"Design and Calibration of Submerged Open Channel Flow Measurement
Structures."
Flow Measurement Structures.
Part 2: Parshall flumes.
Report WG 31-3.
Utah Water Research Laboratory, Utah State University.

15. Statens forurensningstilsyn (1979):
"Kvalitets-normer for avløpsrenseanlegg."
16. Statens forurensningstilsyn (1977):
"Normgivende driftsinstruks for avløpsrenseanlegg. Del 1."
TA 521
17. Statens forurensningstilsyn (1977):
"Retningslinjer og veiledning ved valg av avløpssystemer."
TA 518 ISBN 82-549-0228-3
18. Statens forurensningstilsyn (1978):
"Retningslinjer for dimensjonering av avløpsrenseanlegg."
TA 525
19. Statens forurensningstilsyn (1976):
"Veiledning for prøvetaking ved avløpsrenseanlegg."
TA 516 ISBN-82-549-0168-6
20. Vråle, L. (1979):
"Kommunaltekniske områder med behov for vannmengdemålinger."
NIF-kurs: Praktisk vannmengdemåling i kommunalteknisk sammenheng.
Geilo, april 1979.
21. Vråle, L. (1976):
"Vannføringsmåling med litium som sporstoff."
Forprosjekt XT-17, mars 1976.
Norsk institutt for vannforskning.
22. Wedum, K. (1979):
"Bruk av sporstoff."
NIF-kurs: Praktisk vannmengdemåling i kommunalteknisk sammenheng.
Geilo, april 1979.

Vedlegg 1

KODE FOR RENSEANLEGGENE

| <u>Kode</u> | <u>Anlegg</u> |
|-------------|---------------|
| A | Rotnes |
| B | Berg |
| C | Østerbo |
| D | Varteig |
| E | Torpo |
| F | Bjørkelia |
| G | Pukerud |
| H | Kirkebygda |
| I | Volla |
| J | Sørumsand |
| K | Bommen |
| L | Kirkeng |
| M | Hestvold |
| N | Hallingen |
| O | Gol |
| P | Muusøya |

Vedlegg 2

Anbefalte utbedringer på de undersøkte renseanlegg

Det er her fremmet konkrete forslag til utbedring av måleforholdene på de undersøkte renseanleggene. I størst mulig grad er de anbefalte utbedringer forsøkt begrenset til forandringer i eksisterende måleutstyr. På noen anlegg er det likevel nødvendig å bygge om målestedet helt eller bytte ut deler av utstyret dersom måleforholdene skal kunne bli tilfredsstillende.

De anbefalte utbedringer bør ses i sammenheng med punkt 6 om kalibrering og vedlikehold av måleutstyr, og punkt 7 om valg av nytt utstyr.

Forslag til utforming av energidreper/strømningsretter

På mange anlegg er det behov for en energidreper/strømningsretter som roer ned og bedrer strømningsforholdene inn til måleprofilen. En aktuell utforming er vist på figur 1:

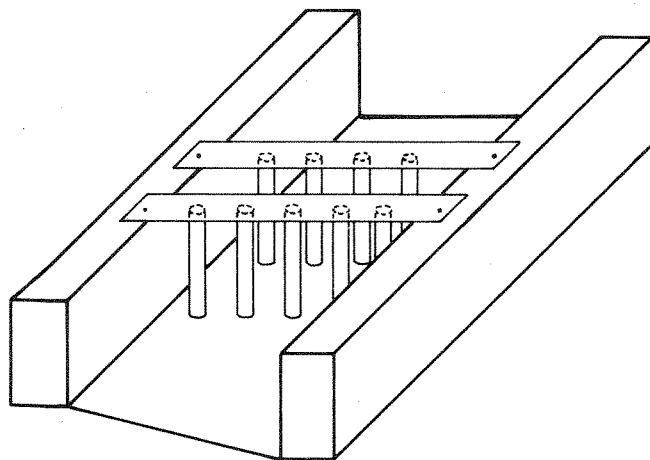


Fig. 1. Forslag til utforming av energidreper/strømningsretter.

Energidreperen/strømningsretteren består av to deler. Delene er helt like bortsett fra at delen nærmest måleprofilen har en strømningsbryter mindre. Avstanden mellom strømningsbryterne bør være noe større enn bredden på

bryterne. De to delene plasseres slik at strømningsbryterne danner hjørner i likesidede trekkanter. Det bør være noen cm klaring mellom strømningsbryterne og bunnen.

Hvis det er mye filler o.l. i vannet kan strømningsbryterne lages av plast-rør fylt med betong. Rørene bør ha en vekt på 15-30 kg avhengig av strømningshastigheten, og festes til et flattjern eller bjelke ved hjelp av en lenke eller metallstreng. Rørenes tyngde vil sørge for at vannets energi drepes, mens opphenget tillater at rørene svinger unna for filler og større partikler.

Anlegg A

Måleforholdene på anlegget er tilfredsstillende på mange punkter. Med de anbefalte utbedringer skulle forholdene ligge vel til rette for nøyaktige målinger.

Utbedringer som anbefales:

- Betongterskel umiddelbart nedstrøms V-overløp senkes minst 0.5 m. V-overløpet monteres i samme høyde som før, og slik at overløpets og betongterskelens vannside ligger i samme vertikalplan.
- Innløpene til målekanalen påmonteres bend som munner ut 5-10 cm under laveste punkt i overløpet. Bendene skal styre vannet mot bunnen og vekk fra overløpet.
- Ekkoloddet er sannsynligvis montert noe for nær vannflaten. Etter leverandørens monteringsinstruks må ekkoloddet heves ca. 5 cm.
- V-overløpet kalibreres, og korrigert vannføringskurve plottes inn i lineariseringsenheten.
- Nivåmåler og spesielt viserinstrument, skriver og telleverk kalibreres.

Anlegg B

Måleforholdene på anlegget er så elendige at det har liten hensikt å utbedre nåværende utstyr. Et helt nytt målested må anlegges for at måleforholdene skal kunne bli tilfredsstillende.

Anbefalinger:

- Målestedet ombygges
- 30° V-overløp anbefales som måleprofil
- Eksisterende nivåmåler er upålitelig. Måleren må kontrolleres, kalibreres, eventuelt byttes ut
- Viserinstrument og telleverk kalibreres.

Anlegg C

Måleforholdene vil aldri kunne bli helt gode med nåværende utforming av målekum. De anbefalte utbedringer vil bedre måleforholdene, men anses ikke å være fullgode løsninger.

Anbefalinger:

- Kløring av utløpsvannet bør skje nedstrøms målekummen, slik at det er mulig å komme ned i kummen uten kunstig oksygentilførsel.
- Overløpet flyttes til motsatt side av overløpskassa, lengst fra innløpsrøret.
- Overløpsvinkelen reduseres fra 60° til 30°.
- Innløpet til målekummen påmonteres energidreper/strømningsretter.
- Boblerøret flyttes 180° til motsatt side i målekummen og monteres noen cm ut fra veggen.
- V-overløpet kalibreres, og korrigeret vannføringskurve plottes inn i lineariseringsenheten.
- Nivåmåler, viserinstrument, skriver og telleverk kalibreres.

Anlegg D

Måleforholdene skulle kunne bli tilfredsstillende dersom de anbefalte utbedringer iverksettes.

Anbefalinger:

- Målekassas bredde utvides med 30 cm og målekassas bunn senkes med 30 cm.
- Overløpsvinkelen reduseres fra 45° til 30° . Overløpets plassering og laveste punkt forandres ikke.
- Innløpet til målekassa påmonteres energidreper/strømningsretter.
- Ekkoloddet flyttes lenger fra overløpet, helst 30 cm. Etter utbedringene må ekkoloddet monteres slik at plasseringen er i samsvar med monteringsinstruksen.
- V-overløpet kalibreres, og korrigerert vannføringskurve plottes inn i lineariseringsenheten.
- Nivåmåler, viserinstrument, skriver og telleverk kalibreres.

Anlegg E

Målekassa er klart underdimensjonert. Tilfredsstillende måleforhold oppnås trolig ikke uten vesentlige utvidelser av målekassas lengde, bredde og dybde.

Anbefalte utbedringer:

- Målekassa utvides i lengde, bredde og dybde, helst med 50 cm.
- Overløpsvinkelen reduseres fra 45° til 30° og overløpet heves ytterligere 20 cm over bunn av målekassa.
- Innløpet til målekassa påmonteres energidreper/strømningsretter.
- Ekkoloddet flyttes 20 cm lenger fra overløpet. Etter utbedringen må ekkoloddet monteres slik at plasseringen er i samsvar med monteringsinstruksen.

- V-overløpet kalibreres, og korrigeret vannføringskurve plottes inn i lineariseringsenheten.
- Viserinstrument, telleverk og spesielt nivåmåler kalibreres.

Anlegg F

Med de anbefalte utbedringer skulle forholdene ligge vel til rette for gode målinger.

Anbefalinger:

- V-overløpet heves med 35 cm.
- Innløpet til målekanalen påmonteres et bend som munner ut 5-10 cm under laveste punkt i overløpet.
- V-overløpet kalibreres, og korrigeret vannføringskurve plottes inn i lineariseringsenheten.
- Nivåmåler, viserinstrument, skriver og telleverk kalibreres.

Anlegg G

Måleforholdene på renseanlegget er meget dårlige, og kan ikke bli tilfredsstillende uten en total ombygging av målestedet. Vannføringen inn på renseanlegget er så liten at alternative målemetoder bør vurderes, eksempelvis måling av strømningshastighet i rør (hastighet-areal-metoden).

Anbefalinger:

- Pumpene på innløpet til renseanlegget er kraftig overdimensjonerte. Reduksjon av pumpekapasiteten vil virke positivt inn på driften av renseanlegget og på måleforholdene.
- Vurdering av nye målemetoder, evt. ombygging av målestedet.
- Eksisterende nivåmåler er upålitelig. Måleren må kontrolleres, kalibreres, eventuelt byttes ut.
- Viserinstrument og telleverk kalibreres.

Anlegg H

Målerenna er for stor i forhold til vannføringen inn på renseanlegget. Måleforholdene vil neppe bli tilfredsstillende før det blir bedre samsvar mellom måleprofilets dimensjon og aktuell vannføring.

Anbefalinger:

- Målerenna kan med fordel byttes ut med et 45⁰ V-overløp på utløpet fra renseanlegget.
- Hvis målerenna beholdes bør tverrfallet rettes opp og utløpskapasiteten nedstøms renna økes slik at tilbakestuvning i måleprofilet unngås.
- Luftslangene til boblerøret ligger med motfall. Montering av slangene må forandres slik at den blir i samsvar med instruksjonen i instrumentspesifikasjonen.
- Hvis målerenna beholdes må den kalibreres, og korrigert vannføringskurve må plottes inn i lineariseringsenheten.
- Nivåmåler, viserinstrument, skriver og telleverk kalibreres.

Anlegg I

Etter de anbefalte utbedringer skulle forholdene ligge godt til rette for gode målinger.

Anbefalte utbedringer:

- Overløpsterskelen heves med 35 cm. Ekkoloddet må i så fall heves slik at plasseringen er i samsvar med monteringsinstruksjonen.
- Innløpet til målekanalen påmonteres et bend som munner ut 5-10 cm under overløpsterskelen, og som styrer vannet mot bunnet og vekk fra overløpet.
- Overløpet kalibreres, og korrigert vannføringskurve plottes inn i lineariseringsenheten.
- Nivåmåler, skriver og telleverk kalibreres.

Anlegg J

Målerenna er på ingen måte heldig plassert. Renne burde ikke vært plassert rett nedstrøms innløpsrista, fordi hver gang denne renses skapes en liten flodbølge som raser gjennom måleprofilen. Nivået i sandfanget nedstrøms er i tillegg så høyt at renne ikke tørrlegges ved null vannføring.

Det er mulig at hyppig rens av rista kunne redusere flodbølgen så mye at betydningen kan neglisjeres. Det er imidlertid lite trolig at tilfredsstillende måleforhold kan etableres uten at nivået i målerenna gjøres uavhengig av nivået i sandfanget.

Anbefalinger:

- Maskinrenset rist renses så ofte som praktisk mulig.
- Målerenna heves eller vannstanden i sandfanget senkes slik at nivået nedstrøms renne alltid er mindre enn 80% av nivået oppstrøms. Målerenna må i tillegg renne tørr ved null vannføring.
- Det installeres energidreper/strømningsretter i målekanalen rett nedstrøms terskelen.
- Ekkoloddet kan med fordel flyttes 75 cm nærmere målerenna.
- Målerenna kalibreres, og korrigert vannføringskurve plottes inn i lineariseringsenheten.
- Nivåmåler, viserinstrument, skriver og telleverk kalibreres.

Anlegg K

Måleforholdene på anlegget er langt fra tilfredsstillende. Valg av måleprofil er uheldig, likeså valg av målested. Målerenna tørrlegges ikke ved null vannføring, og adkomsten til måleprofilen er meget besværlig. Det er lite trolig at måleforholdene kan bli tilfredsstillende uten en fullstendig ombygging av målestedet.

Anbefalinger:

- Målestedet ombygges.
- Så lenge pumper bestemmer vannføringen inn på renseanlegget, bør valg og dimensjonering av måleutstyr baseres på pumpekapasiteten.
- 45⁰ V-overløp anbefales som måleprofil.
- Eksisterende nivåmåler, skriver og telleverk kalibreres.

Anlegg L

Måleforholdene er så håpløse at en total ombygging av målestedet er nødvendig for å kunne oppnå gode målinger. Adkomst til nåværende målested er meget utilfredsstillende, og må bedres vesentlig hvis nytt målested bygges.

Anbefalinger:

- Målestedet ombygges, og alternative målemetoder vurderes.
- Luftslangene til boblerøret ligger med motfall. Montering av slangene forandres slik at den blir i samsvar med instruksen i instrumentspesifikasjonen.
- Nivåmåler, viserinstrument og telleverk kalibreres.

Anlegg M

Måleforholdene er meget dårlige, med blant annet overkritisk (strykende) strømning gjennom måleprofilen i store deler av måleområdet. Fullstendig ombygging eller flytting av målestedet er nødvendig hvis måleforholdene skal kunne bli tilfredsstillende.

Anbefalinger:

- Målestedet flyttes til utløpssiden.
- 60° V-overløp anbefales som måleprofil.
- Nivåmåler, viserinstrument, skriver og telleverk kalibreres.

Anlegg N

Nivåstyrt pumpe pumper vann inn på renseanlegget. Pumpekapasiteten og nivåbryternes plassering kan trolig forandres slik at belastningen på anlegget blir jevnere og måleforholdene bedre. Nåværende utstyr er overdimensjonert, men kan bedre tilpasses vannføringen ved de anbefalte utbedringer.

Anbefalinger:

- Bedre utjevning av belastningen på anlegget.
- Indre diameter på rør der målingene foretas reduseres til ca. 30 mm. (Vil kreve en netto trykkhøyde på rundt 1.2 m ved maksimal vannføring.)
- Hastighetsmåler, viserinstrument og telleverk kalibreres.

Anlegg O

Måleutstyret på dette anlegget er ikke undersøkt så inngående som utstyret på andre anlegg. I dette tilfellet blir derfor grunnlaget for foreslåtte utbedringer noe spinkelt.

Måleforholdene er langt på vei tilfredsstillende. Med de anbefalte utbedringer skulle forholdene ligge vel til rette for gode målinger.

Anbefalinger:

- Måleprofilen synes å være overdimensjonert, og kan med fordel erstattes med et 90° V-overløp.

- Ekkoloddet plasseres ca. 1 m oppstrøms måleprofilen.
- Det eksisterende måleprofil kalibreres hvis det skal beholdes, og korrigert vannføringskurve plottes inn i lineariseringsenheten.
- Nivåmåler, viserinstrument, skriver og telleverk kalibreres.

Anlegg P

Forholdene ligger forsåvidt vel til rette for gode målinger, men en del utbedringer er likevel nødvendige for at målegrunnlaget skal bli tilfredsstillende.

Anbefalinger:

- Enkel energidreper/strømningsretter monteres i innløpskanalen ca. 5 m oppstrøms målerenna.
- Ekkoloddet er trolig montert noe for nær bunnen i målekanalen. Etter monteringsinstruksen fra leverandøren må ekkoloddet heves med 7 cm.
- Ekkoloddet flyttes ca. 1.5 m oppstrøms innløpet til målerenna.
- Rør for tilførsel av kalk forlenges slik at tilførselen skjer nedstrøms måleprofilen.
- Måleprofilen kalibreres, og korrigert vannføringskurve plottet inn i lineariseringsenheten.
- Nivåmåler, skriver og telleverk kalibreres.

Vedlegg 3

FIGURFORKLARING

Figurene viser målefeil på forskjellige trinn i måleutstyret ved ulike vannføringer.

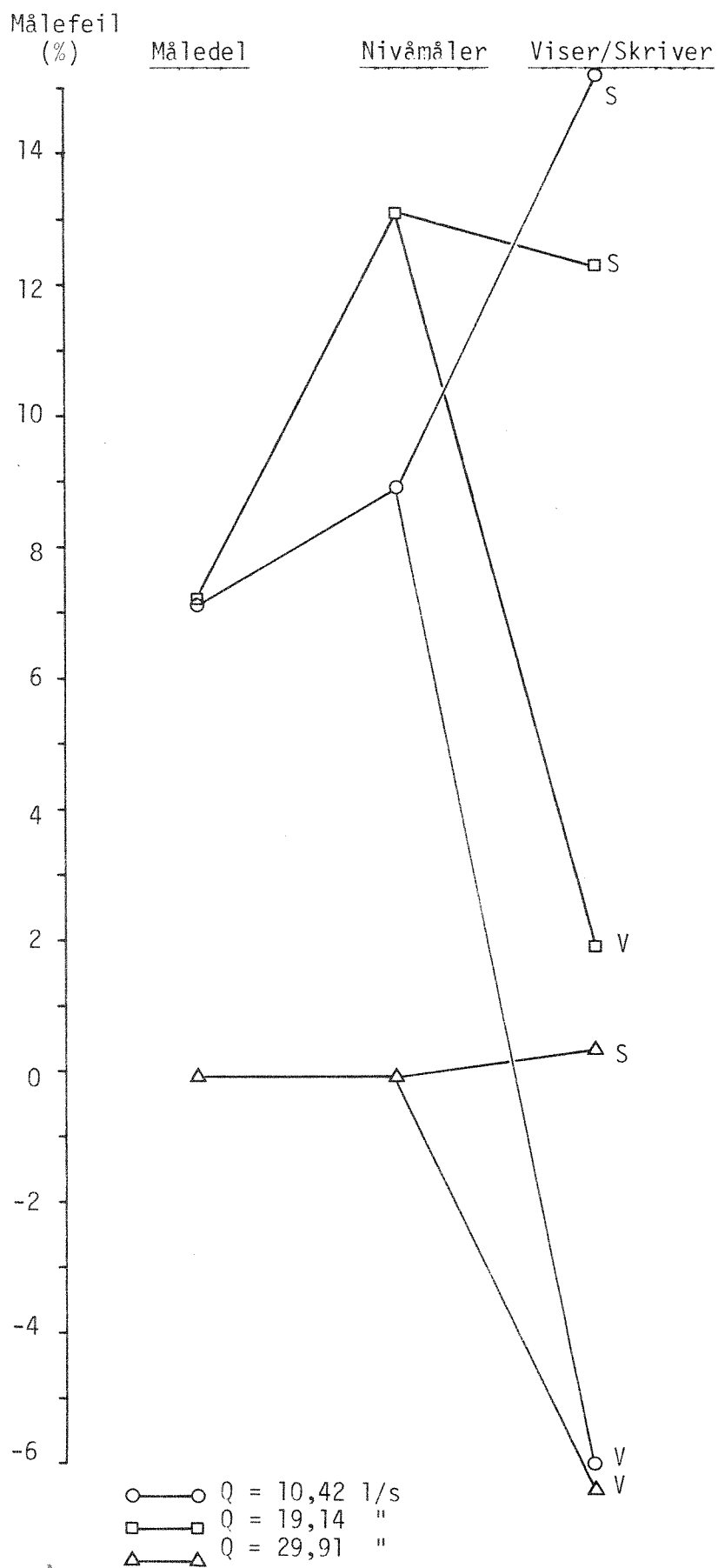
Målefeil under Måledel angir feil som oppstår i måledelen av utstyret.

Feil under Nivåmåler angir avvik mellom virkelig og målt vannføring etter at målesignalet har passert nivåmåleren.

Feil under Viser/Skriver angir avvik mellom virkelig og avlest vannføring på henholdsvis viserinstrument (V) og skriver (S).

Rotnes

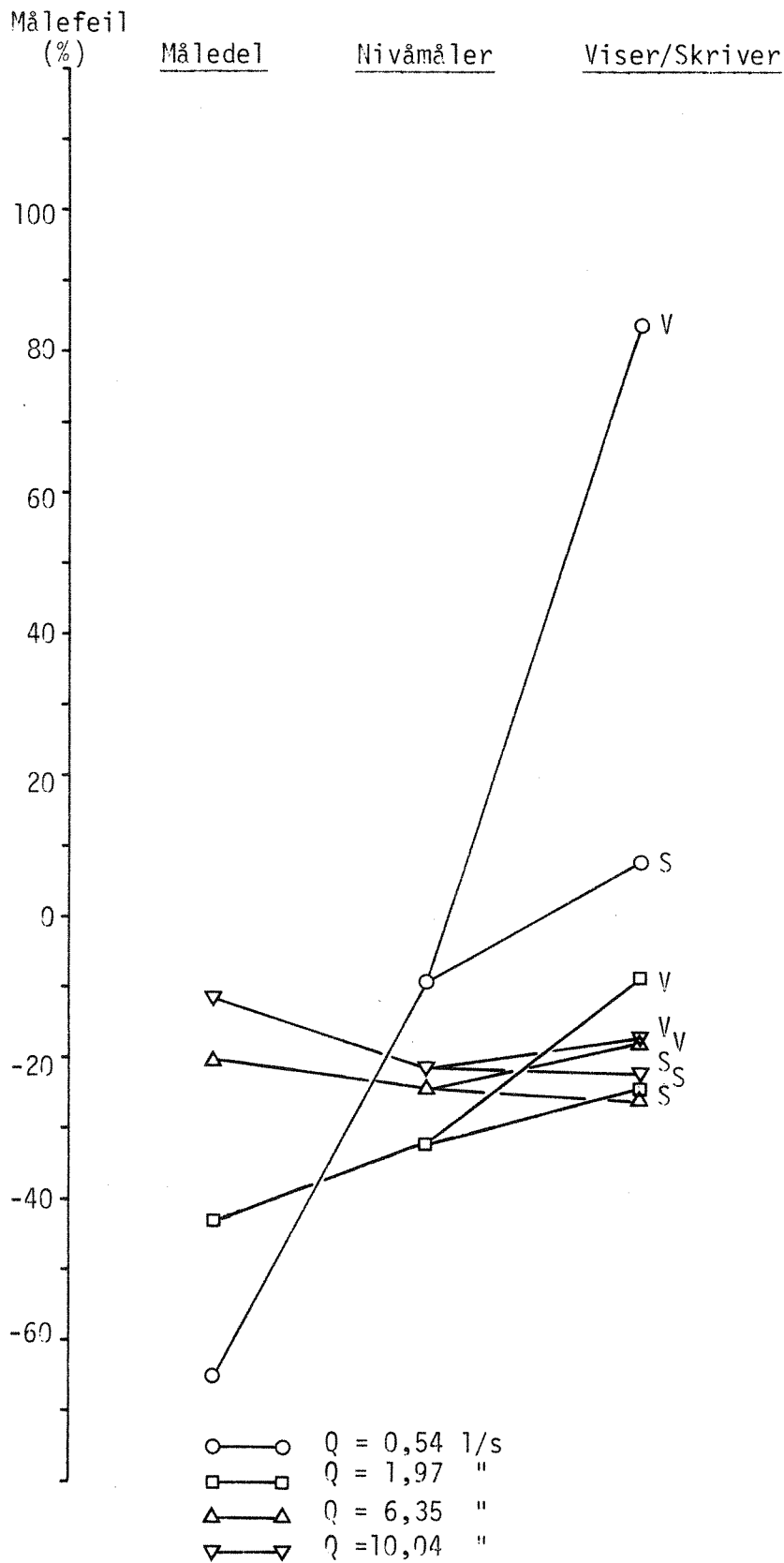
Midlere vannføring 16,5 l/s



Figur 1. Målefeil Rotnes renseanlegg.

Kirkebygda

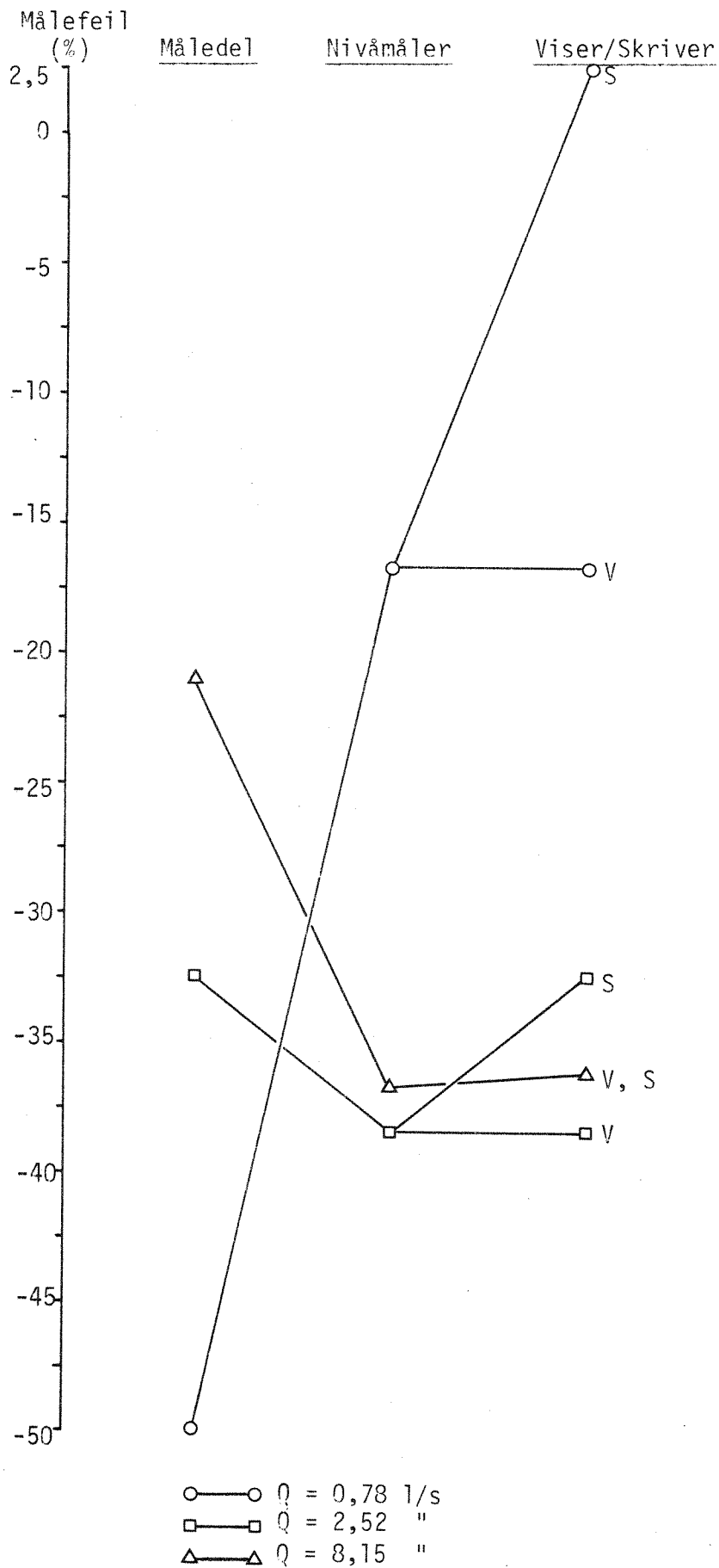
Midlere vannføring 2,5 l/s



Figur 2. Målefeil Kirkebygda renseanlegg.

Østerbo

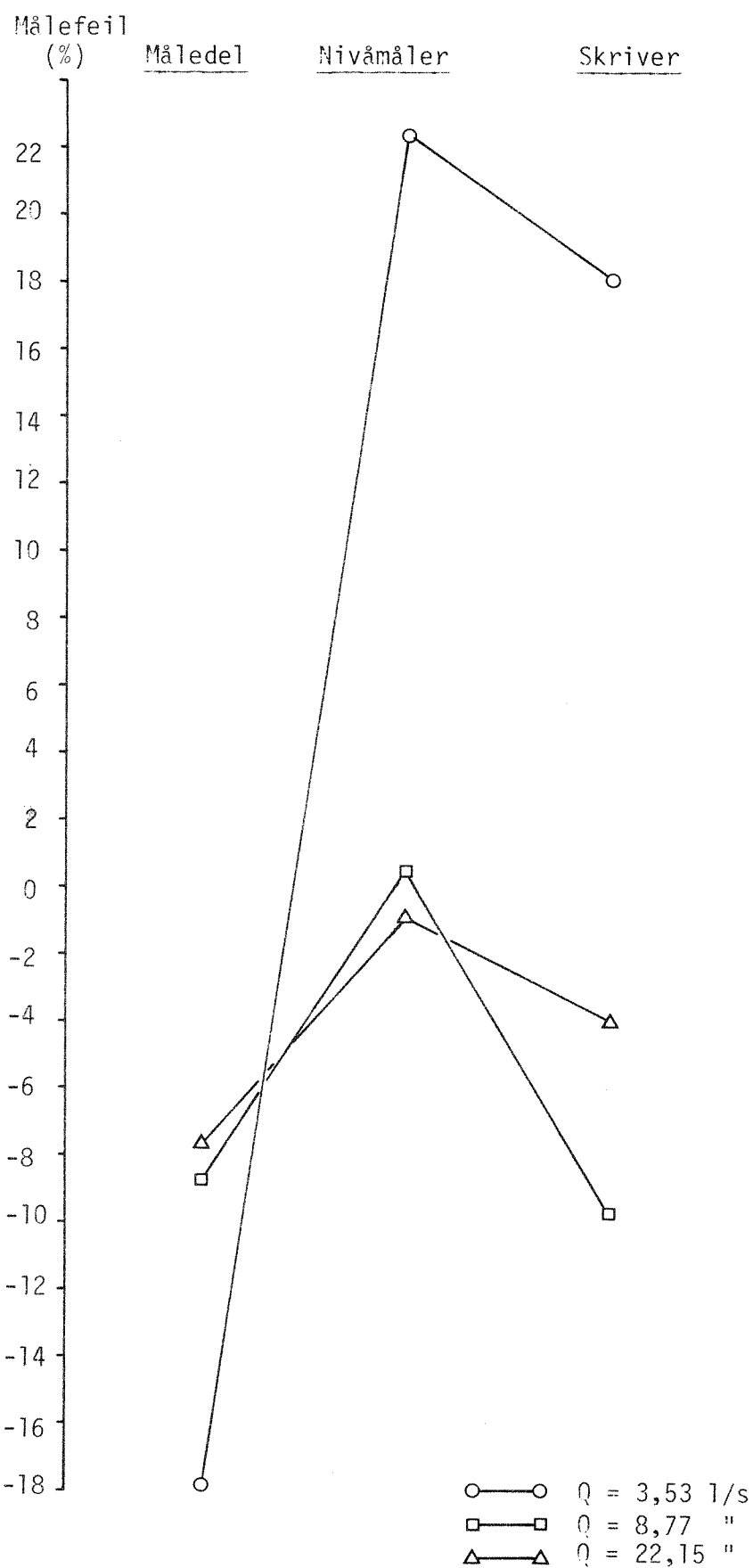
Midlere vannføring 1,7 l/s



Figur 3. Målefeil Østerbo renseanlegg.

Volla

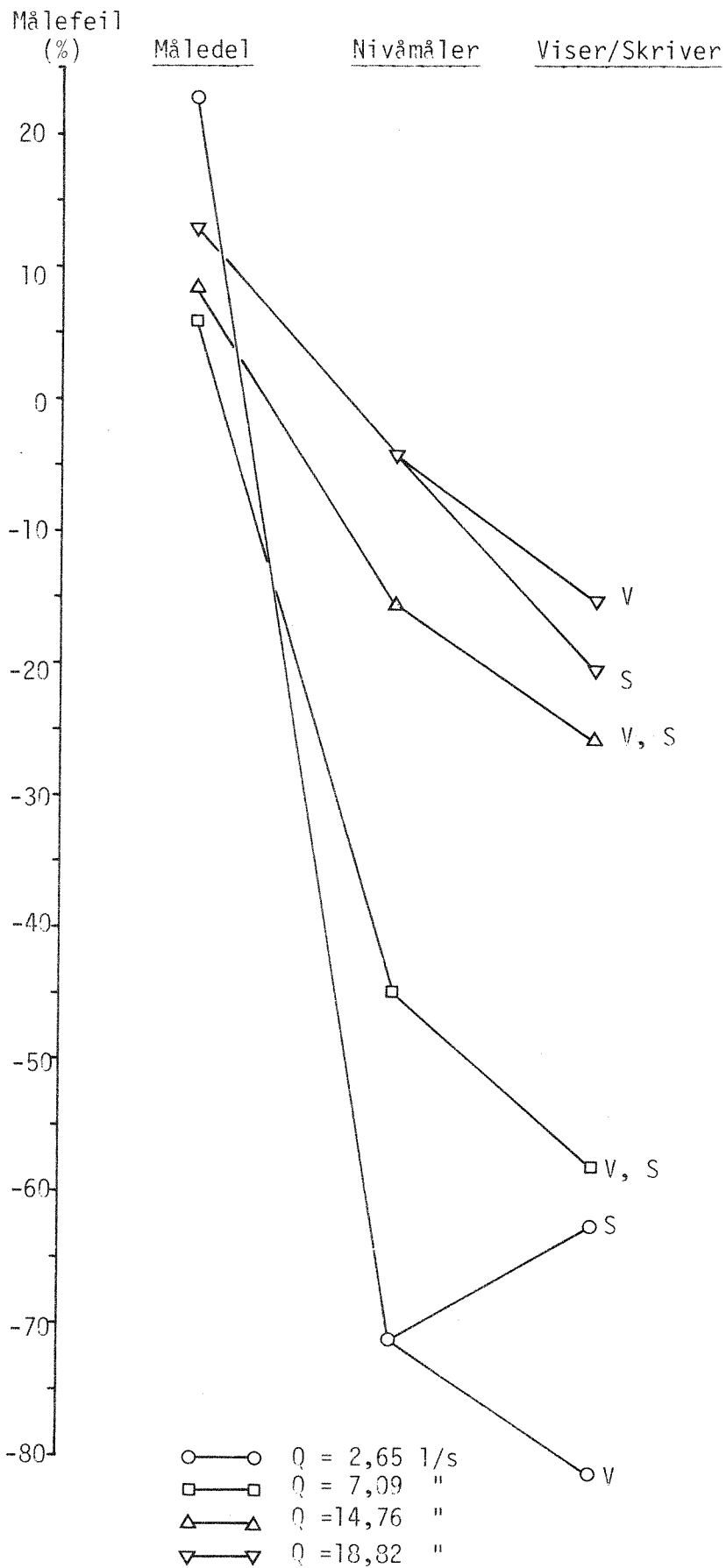
Midlere vannføring 8,3 l/s



Figur 4. Målefeil Volla renseanlegg.

Sørumsand

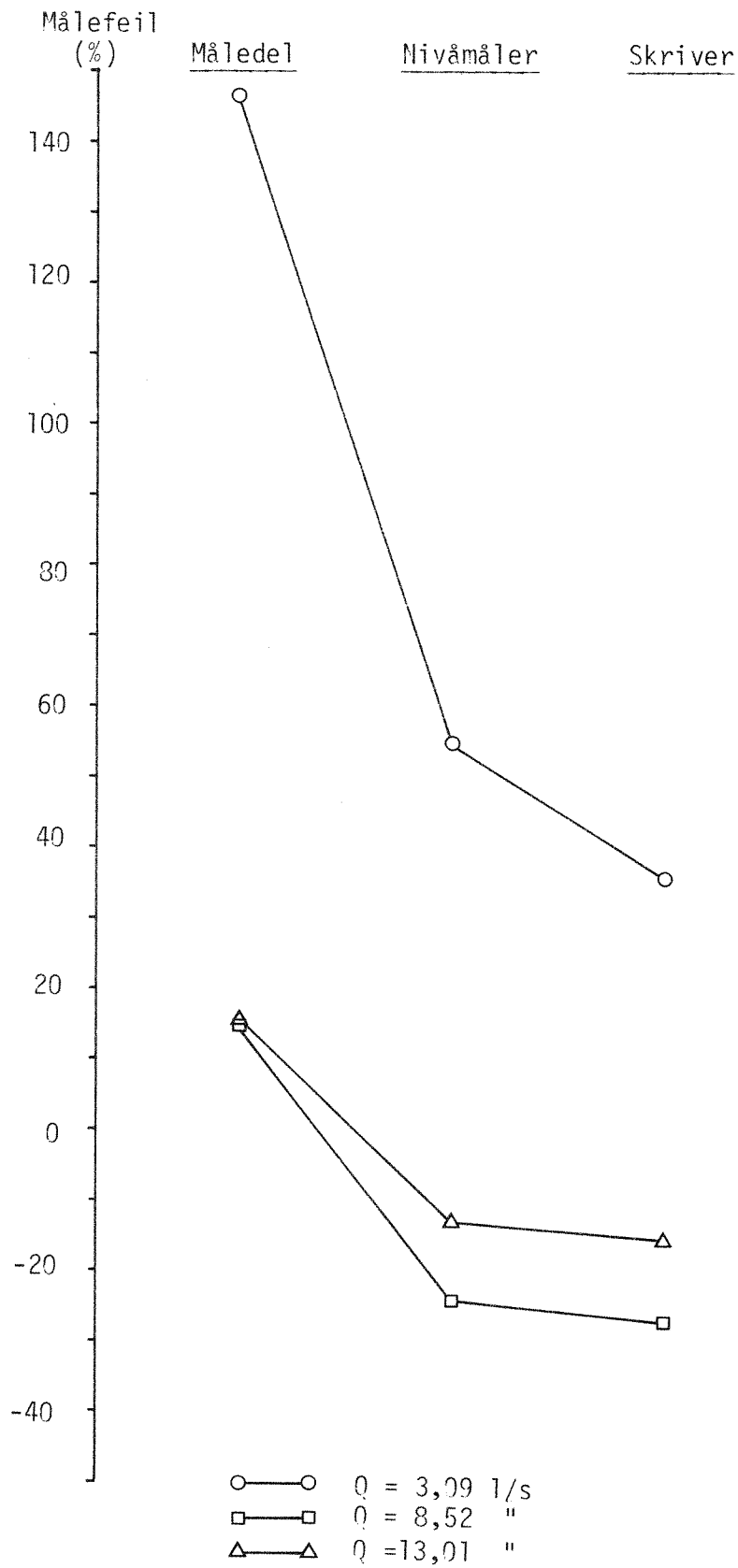
Midlere vannføring 5,7 l/s



Figur 5. Målefeil Sørumsand rensesanlegg.

Bommen

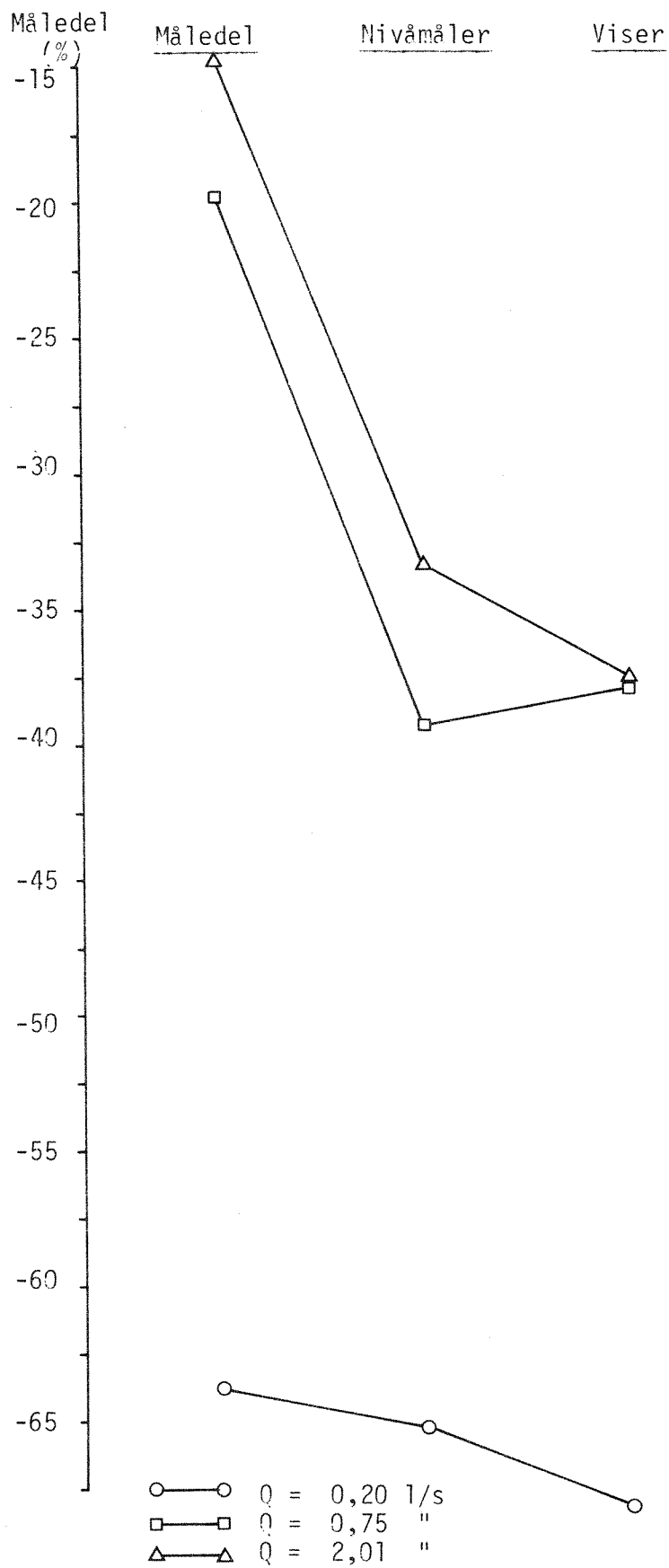
Midlere vannføring 8,1 l/s



Figur 6. Målefeil Bommen renseanlegg.

Kirkeng

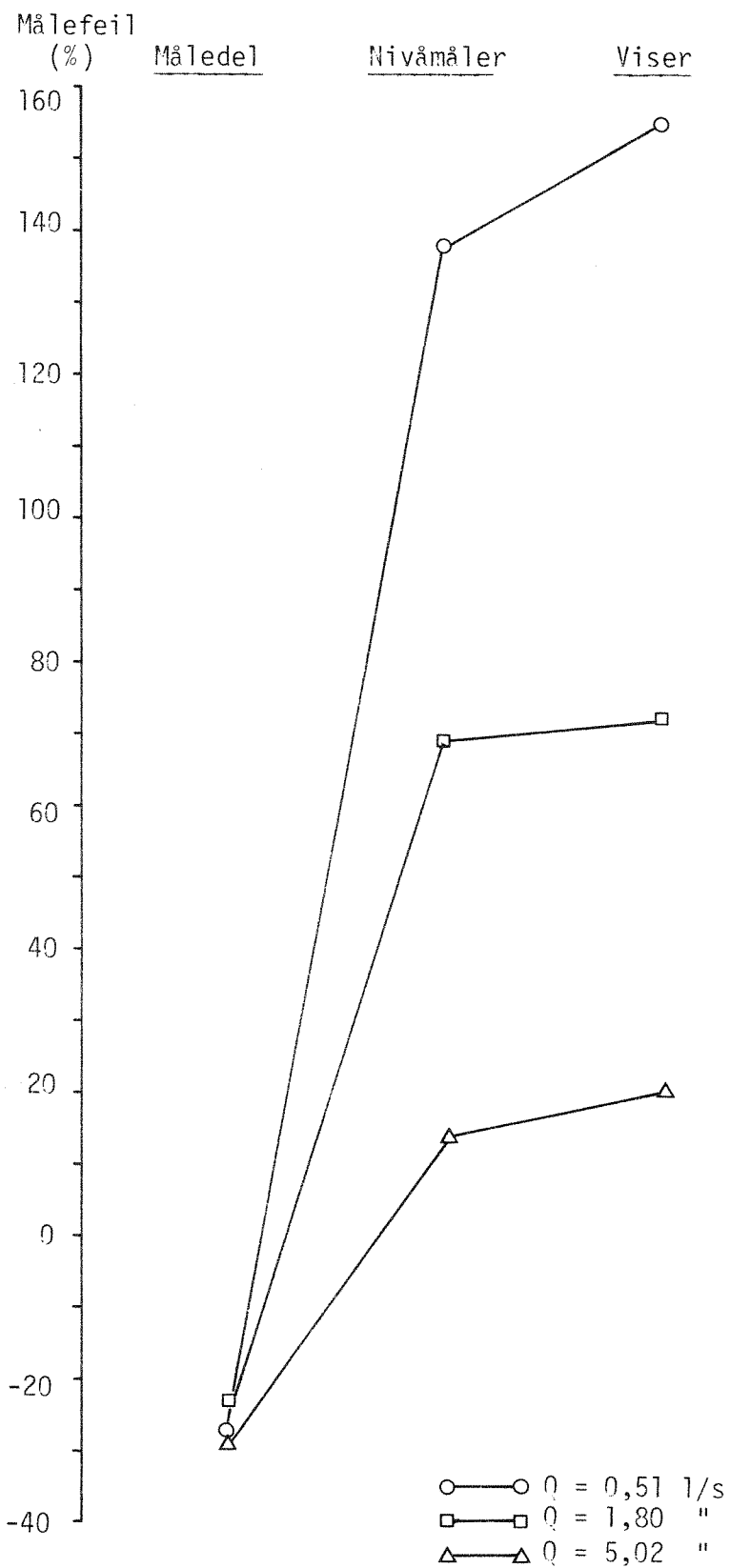
Midlere vannføring 0,23 l/s



Figur 7. Målefeil Kirkeng renseanlegg.

Berg

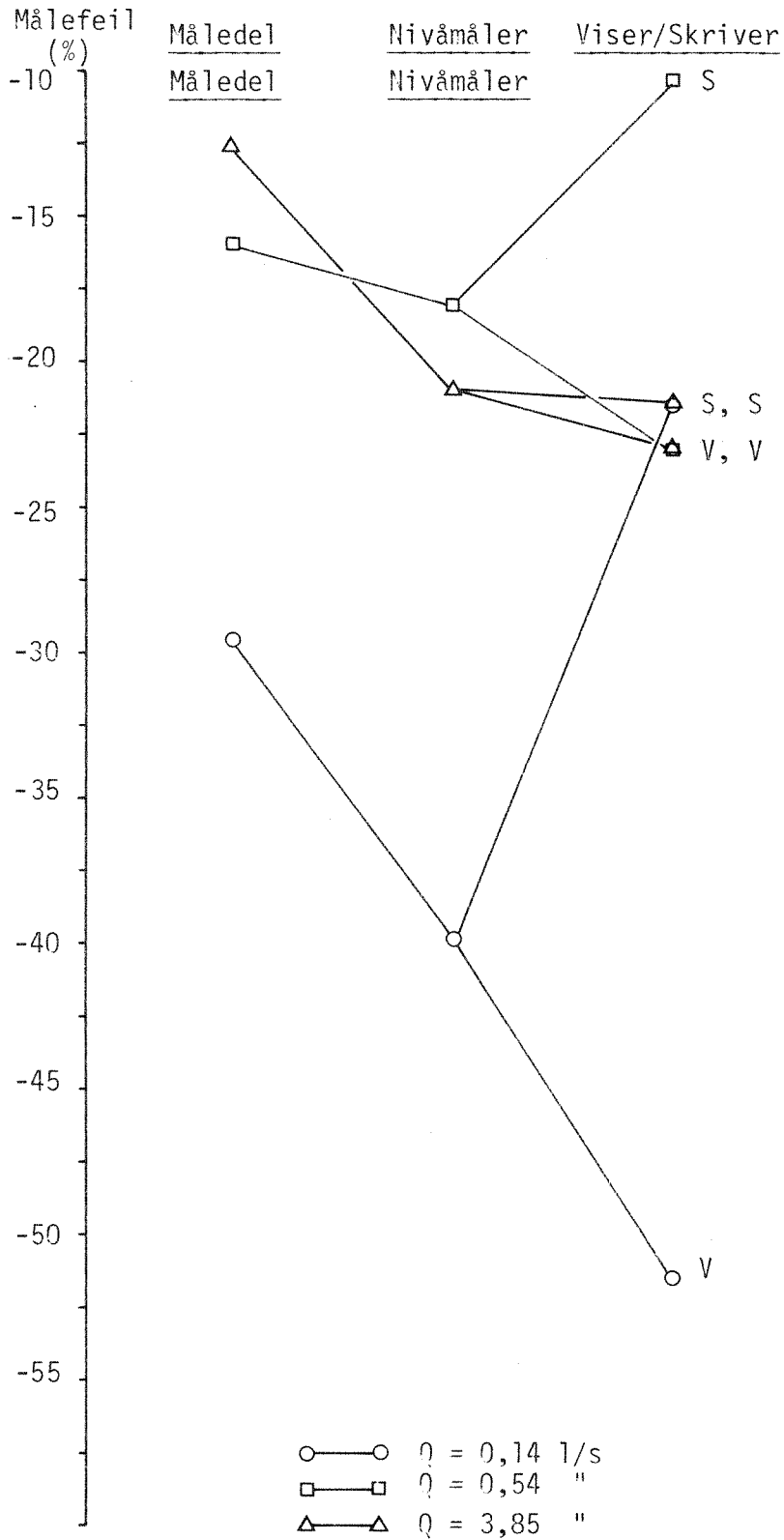
Midlere vannføring 3,0 l/s



Figur 8. Målefeil Berg renseanlegg.

Varteig

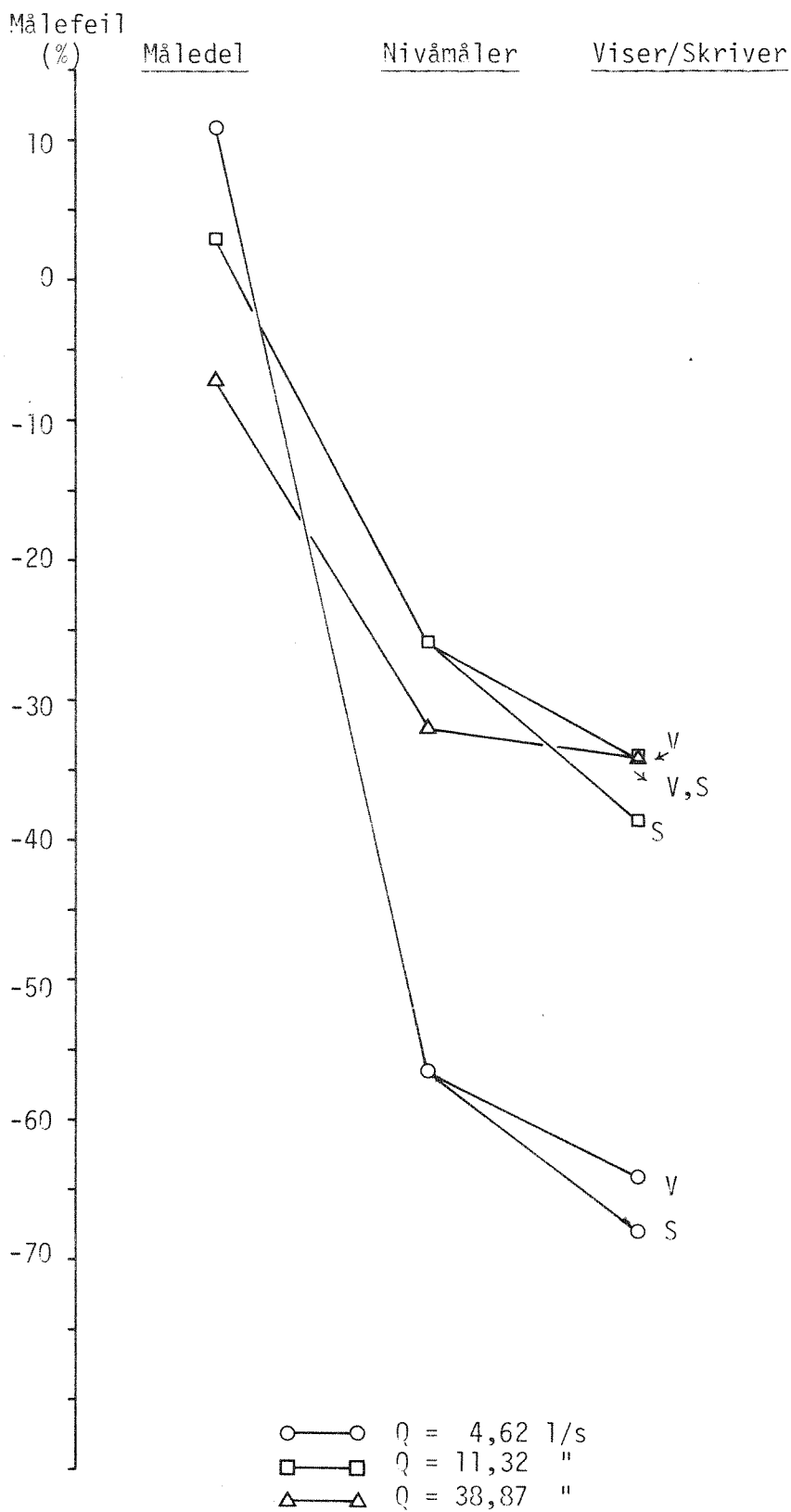
Midlere vannføring 0,7 l/s



Figur 9. Målefeil Varteig renseanlegg.

Hestvold

Midlere vannføring 11,1 l/s

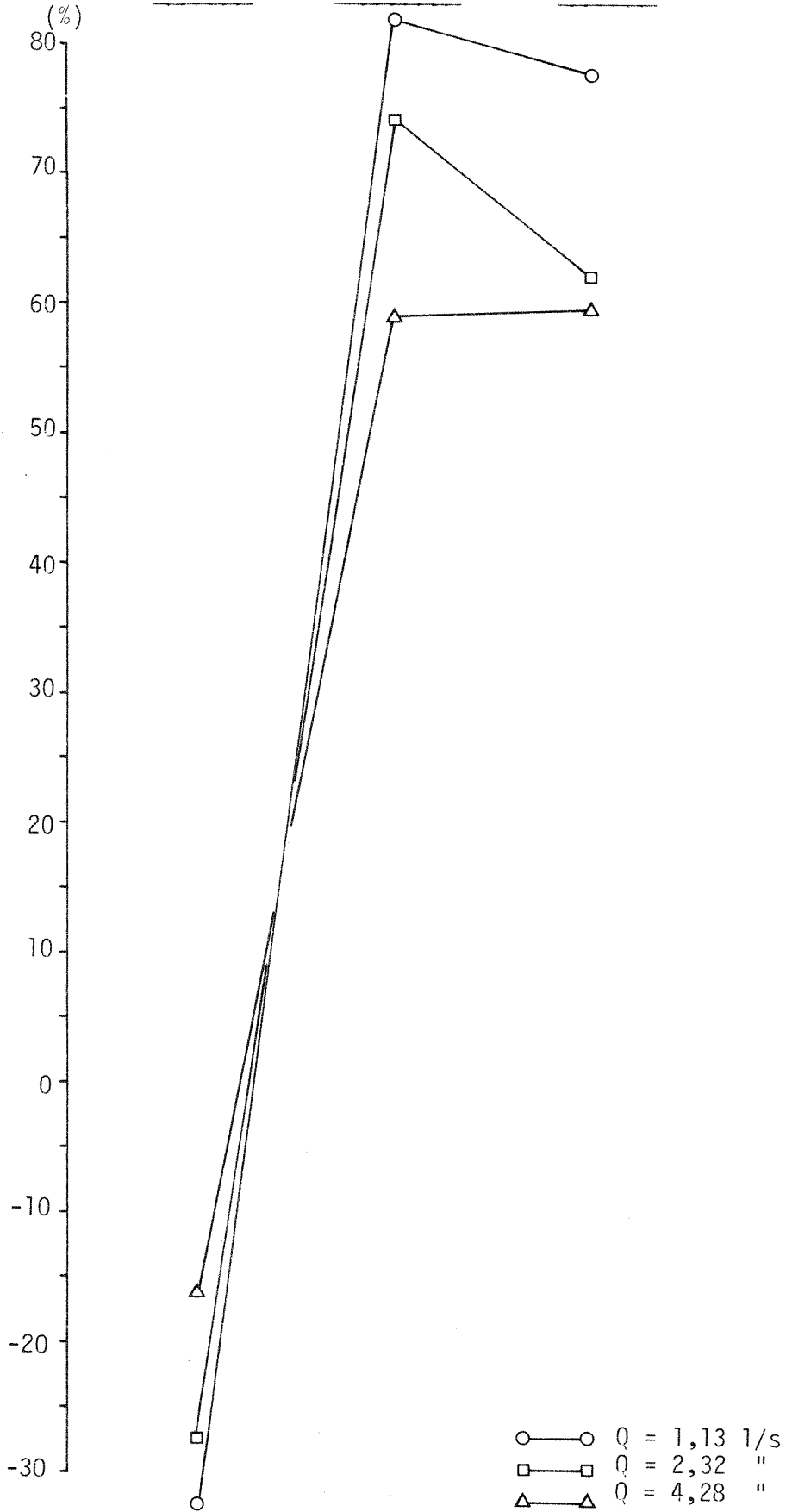


Figur 10. Målefeil Hestvold renseanlegg.

Torpo

Midlere vannføring 0,9 l/s

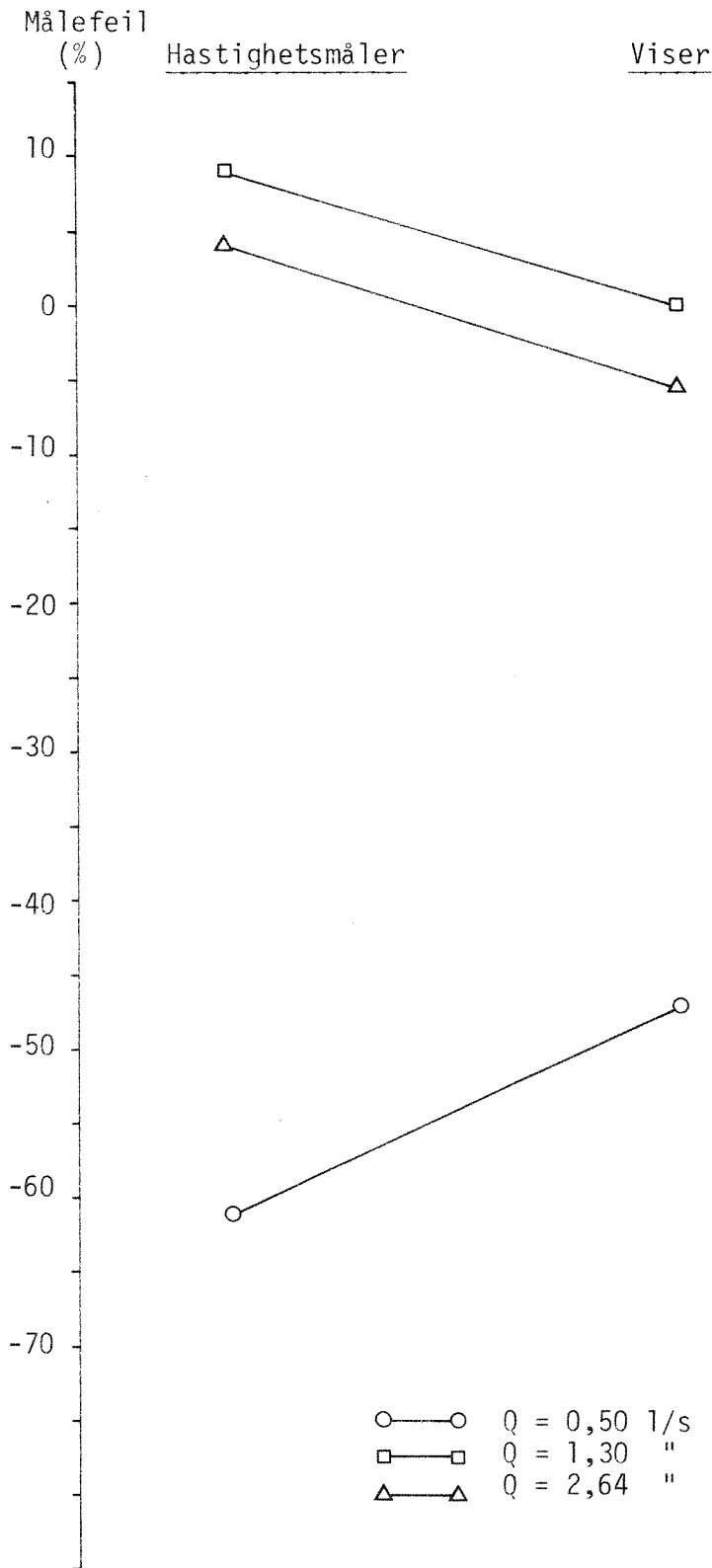
Målefeil Måledel Nivåmåler Skriver



Figur 11. Målefeil Torpo renseanlegg.

Hallingen

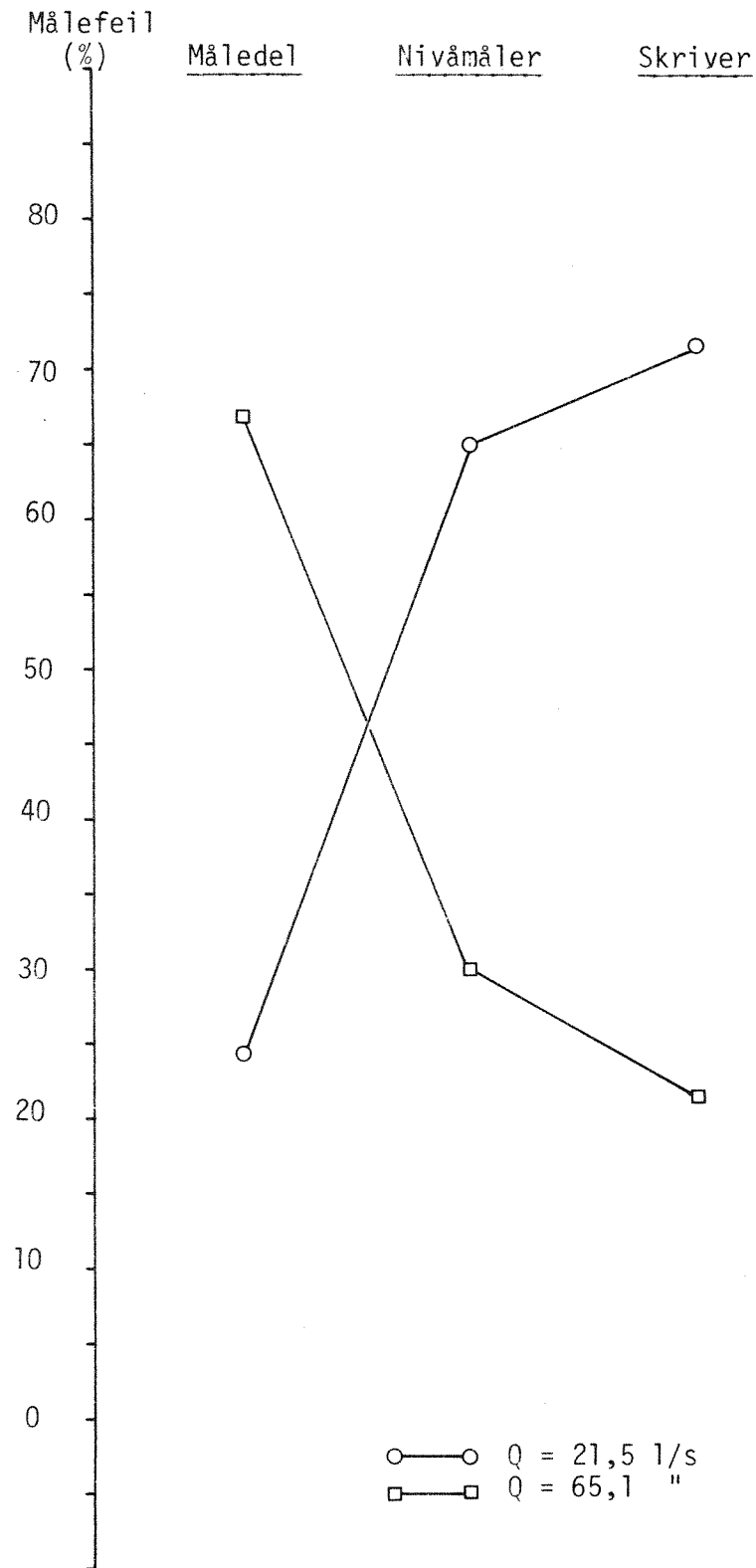
Midlere vannføring 0,4 l/s



Figur 12. Målefeil Hallingen renseanlegg.

Muusøya

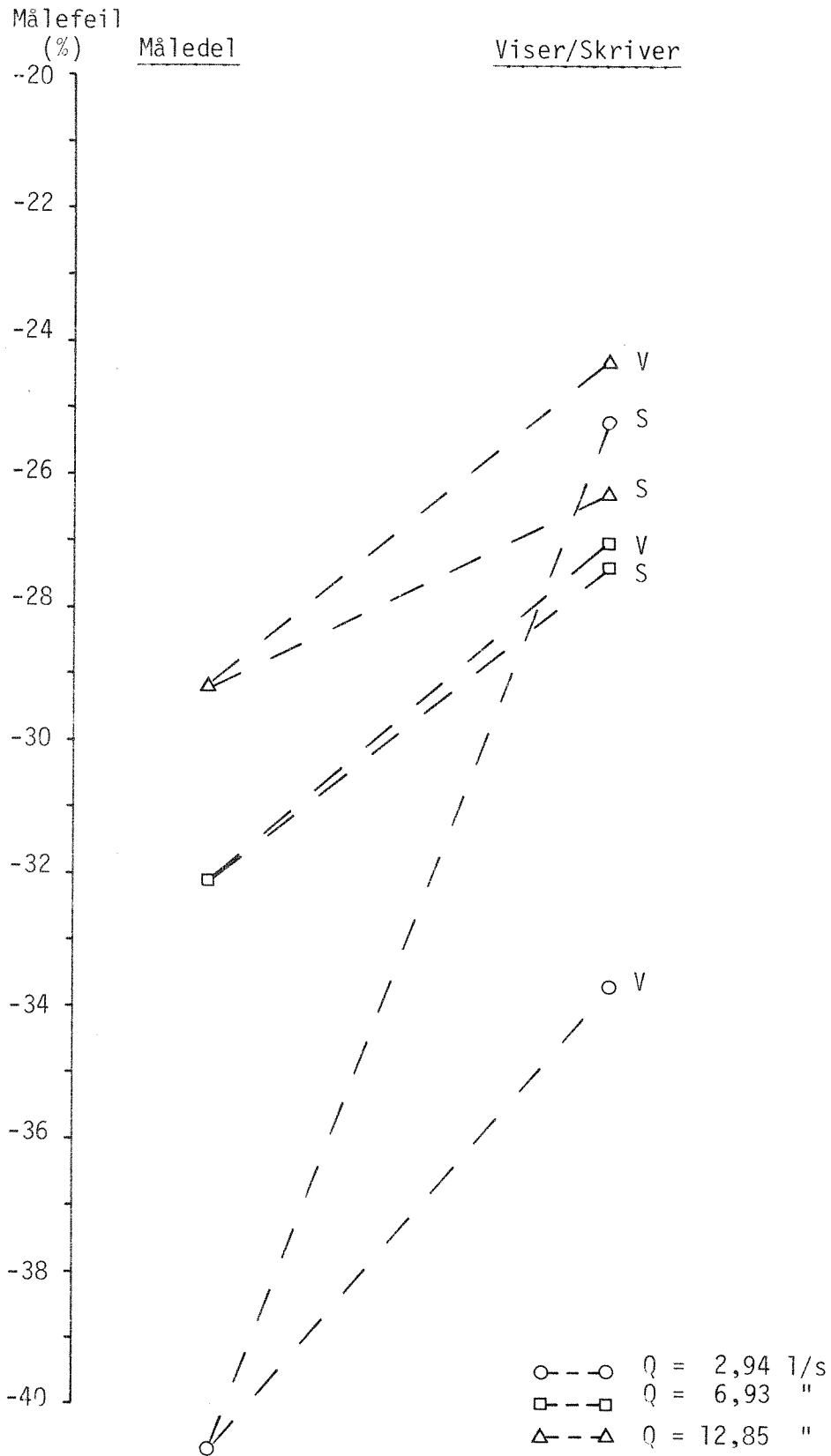
Midlere vannføring 80,1 l/s



Figur 13. Målefeil Muusøya renseanlegg.

Bjørkelia

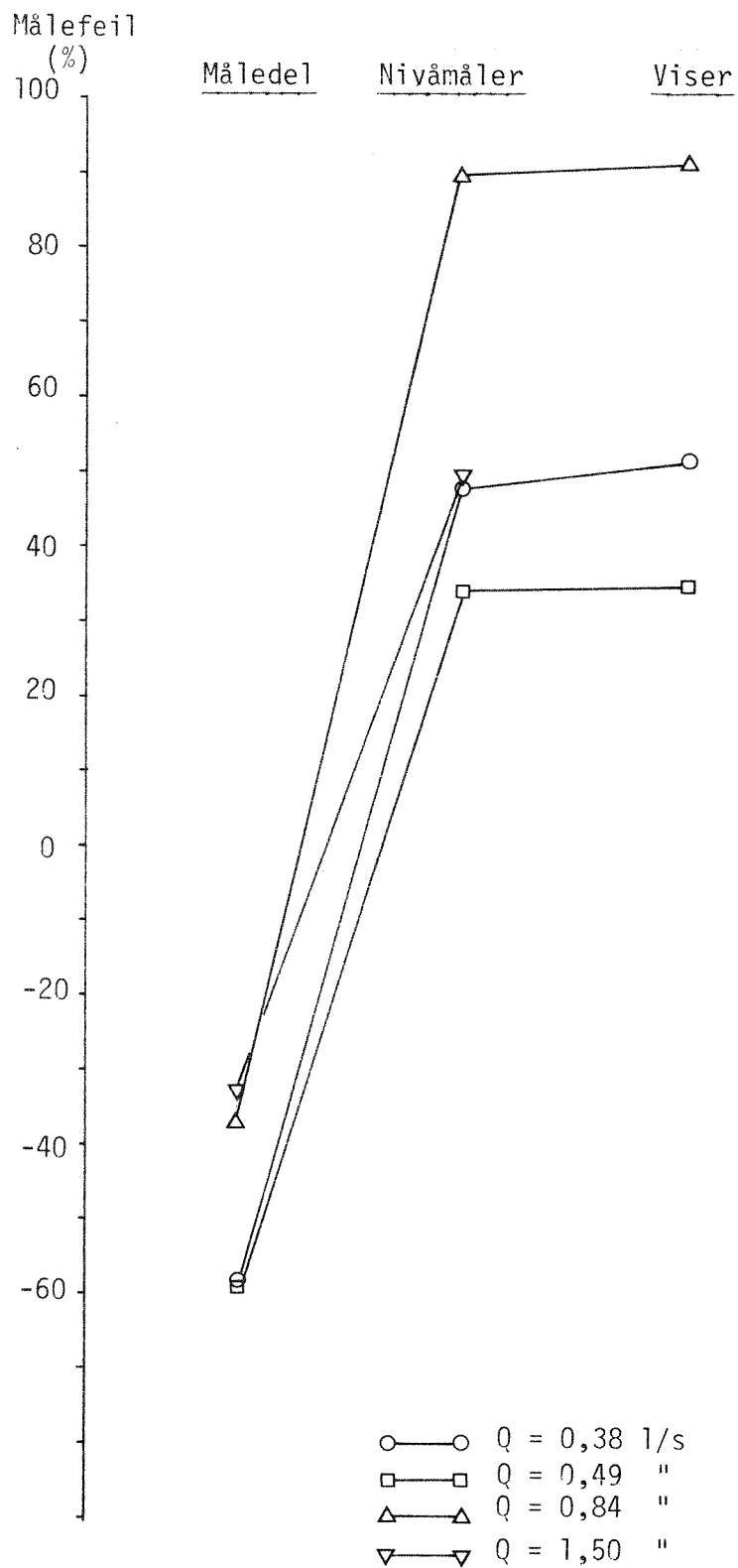
Midlere vannføring 6,1 l/s



Figur 14. Målefeil Bjørkelia renseanlegg.

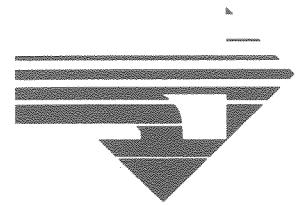
Pukerud

Midlere vannføring 0,7 l/s



Figur 15. Målefeil Pukerud renseanlegg.

NTNF's UTVALG FOR DRIFT AV RENSEANLEGG



Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

| | | | |
|---|--|--------------------------|---|
| B-nr. 1521.5969 | Forsk.inst. navn Utvalg for drift av renseanlegg P.b. 333 Blindern, Oslo 3 | NTNF-gruppe 15 | Åpen/Foreløpig konfidensiell/Konfidensiell Åpen |
| Tittel DRIFTSUNDERSØKELSE AV VANNFØRINGSMALERE | | | |
| Internt rapp.nr. HPC-40/80 | | | |
| Forfatter(e) Sivilingeniør Kim Wedum | | | Antall sider 99 |
| | | | Dato August 1981 |
| Oppdragsgiver NTNFs Utvalg for drift av renseanlegg | | | |

Referat, maks. 40 ord

Vannføringsmålere er undersøkt på 15 avløpsrenseanlegg. På 14 av disse er det funnet målefeil større enn $\pm 20\%$, og på 11 av anleggene målefeil større enn $\pm 50\%$. Målefeilene er så store at de fører til mindre effektiv styring og drift av renseanleggene.

4 Emneord a maks. 23 karakterer

Vannføringsmålinger

Renseanlegg

Målefeil