

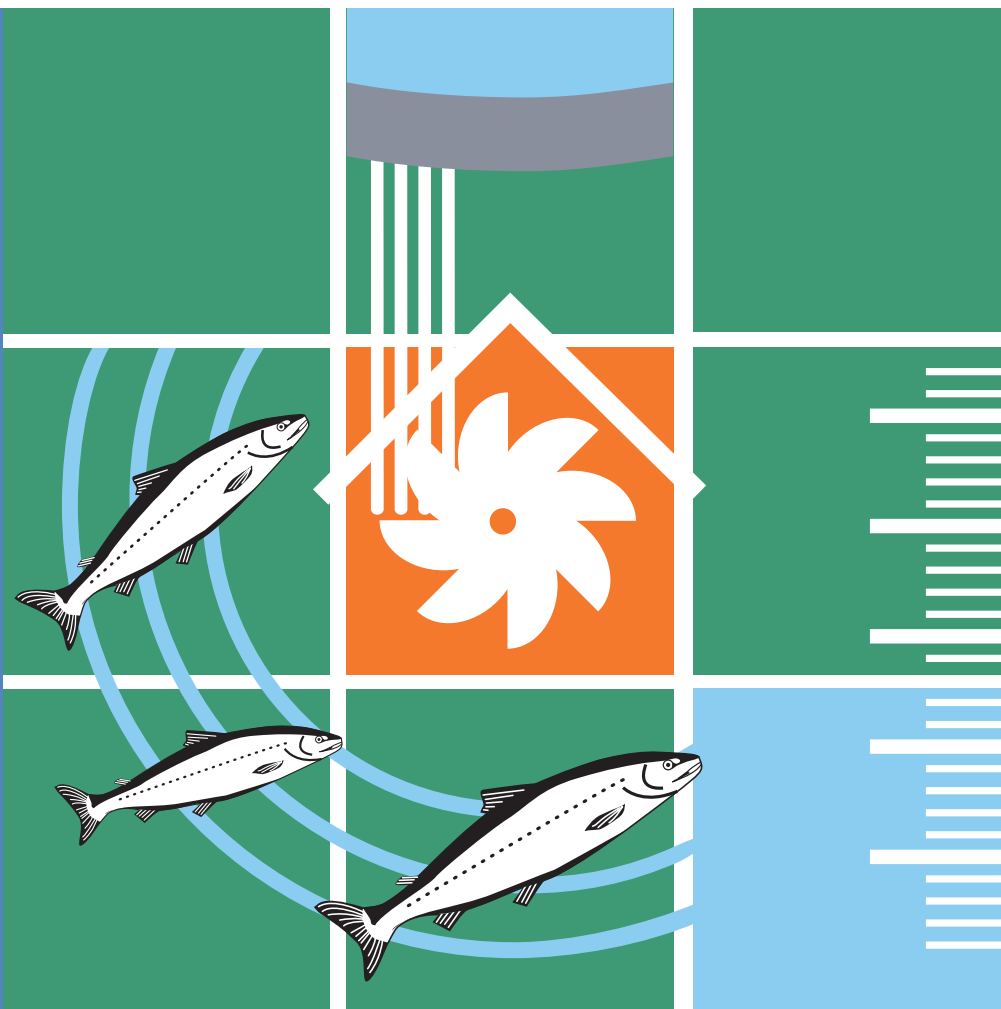


Minstevannføring ved små vannkraftverk

Ivar K. Elstad, Norconsult
Knut E. Norén, Norconsult

6
2008

R
A
P
P
O
R
T



Minstevannføring ved små vannkraftverk

Rapport nr 6/2008

Minstevannføring ved små vannkraftverk

Oppdragsgiver: NVE
Kontaktperson: Jan Slapgård, NVE
Forfattere: Ivar K. Elstad og Knut E. Norén, Norconsult
Trykk: NVEs hustrykkeri
Opplag:
Forsidefoto:
ISBN 978-82-410-0662-3

Sammendrag:

Rapporten gir en oversikt over de ulike mulighetene en har for å for å oppfylle NVE's krav om minstevannføring ved småkraftverk.

Foruten generelle vurderinger, behandler rapporten krav til nøyaktighet, kontrollmuligheter, forholdet til allmennheten, praktisk utførelse og en typisk kostnad for vanlig utstyr for vannmengdemåling i rør.

Emneord: Minstevannføringskrav, tekniske løsninger, kontroll

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Februar 2008

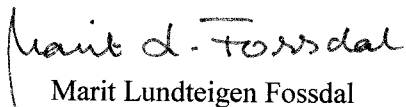
Forord

NVE er de siste årene tilført midler for å støtte FoU-prosjekter med formål å utvikle teknologi og kunnskap for en mer effektiv utnyttelse av små vannkraftressurser. Midlene kan også benyttes til FoU-prosjekter innen opprustning og utvidelse av eksisterende større vannkraftverk eller til øvrige prosjekter for bevaring og videreutvikling av norsk vannkraftkompetanse.


De fleste prosjektene som er støttet er utført av konsulenter eller utdanningsinstitusjon (NTNU) på oppdrag fra NVE.

Denne rapporten er en av mange som er et resultat av disse bevilgningene.

Oslo, februar 2008



Marit Lundteigen Fossdal
avdelingsdirektør



Torodd Jensen
seksjonssjef

INNHold

1.	Innledning	5
1.1	Generelt.....	5
1.2	Definisjoner og forventet nøyaktighet I minstevannføringen.....	5
2.	Ulike løsninger ved fast minstevannføring.....	6
2.1	Overflate-utløp.....	6
2.1.1	Hovedtyper, fordeler og ulemper.....	6
2.1.2	Standard overløp i en utsparing i dammen.....	6
2.1.3	Tynnplateoverløp i en utsparing i dammen	7
2.1.4	Overløp med etterfølgende målerenne	9
2.2	Lukket rørsystem	9
2.2.1	Enkelt system	9
2.2.2	System med vannføringskontroll med blende eller tilsvarende utstyr	10
3.	Ulike løsninger ved regulerbar minstevannføring	11
3.1	Ventiler	11
3.2	Luker.....	11
3.2.1	Mindre luker	11
3.2.2	Større luker	12
4.	Kontroll av vannføringen.....	12
4.1	Overflate-utløp.....	12
4.1.1	Utsparing I damkronen.....	12
4.1.2	Målekanaler med tynnplateoverløp.....	12
4.1.3	Målerenner.....	14
4.2	Lukket rørsystem	16
4.2.1	Tapperør med blende eller tilsvarende standardisert utstyr.....	16
4.2.2	Tapperør generelt.....	16
4.3	Store vannføringer.....	17
5.	Vannføringvariasjoner ved turbin start/stopp.....	18
6.	Allmennhetens mulighet for kontroll.....	19
6.1	Generelt.....	19
6.2	Kontroll	19
7.	Praktisk utførelse	20
7.1	Generelt.....	20
7.2	Anlegg med inntaksventil.....	21
7.3	Anlegg med inntaksluke.....	21
7.4	Anlegg hvor minstevannføringen ikke tas fra inntakskonstruksjonen.	22

1. INNLEDNING

1.1 Generelt

Kraftanlegg hvor vannet helt eller delvis tas vekk fra vassdraget på en strekning mellom inntak og kraftstasjonens utløp har vanligvis krav om minstevannføring nedstrøms inntaket.

Det enkleste er anlegg med et krav om en bestemt minstevannføring, mer komplisert blir det hvis en har to ulike krav, eksempelvis ett for sommersesongen og ett for vintersesongen.

Spesielt komplisert blir det hvis minstevannføringskravet er bundet opp mot et vannmerke lenger ned i vassdraget, hvor en også kan ta hensyn til varierende tilsig mellom kraftstasjonens inntak og målepunktet. Det kan også være at minstevannføringen gjøres avhengig av tilsiget til kraftverksinntaket i spesielle perioder.

For små kraftverk er problemstillingen vanligvis forenklet til følgende:

- Inntaksmagasinet er lite og med et fast overløp
- Kraftverket kjører etter tilsiget og en forsøker hele tiden å holde overvannet så nært HRV som mulig
- Minstevannføringskravet gjelder rett nedstrøms inntaksmagasinet.
- Minstevannføringskravet er enten fast hele året, eller en har en verdi for sommerperioden, en for vinterperioden.

1.2 Definisjoner og forventet nøyaktighet i minstevannføringen

Kravet til minstevannføring skal, hvis NVE ikke bestemmer noe annet, til enhver tid oppfylles på det stedet hvor kravet er definert. Dette gjør at en ikke kan tillate seg å ”pendle” om kravet, eksempelvis pga at turbinens vannstandsregulator gjør at overvannet, som kan være bestemmende for vannføringen, pendler noe opp og ned. Disse pendlingene vil selvfølgelig utjevnes videre nedover vassdraget, men skal en benytte seg av dette må det avtales. For tappeutstyr hvor kapasiteten er avhengig av overvannstanden, skal vannføringen følgelig kontrolleres for laveste normale driftsnivå. Ved en godt justert vannstandsregulator kan dette eksempelvis være ca 5 cm under HRV, noe avhengig av størrelse på inntaksmagasinet og hvor raske tilsigsvariasjoner en har.

Utstyr for slipping av en fast minstevannføring kan prosjekteres og utføres på grunnlag av beregninger av nominell kapasitet alene. Det skal da benyttes anerkjente teorier og så langt som mulig standardisert utstyr med tilhørende standardiserte beregningsmodeller slik at den totale usikkerheten i beregnet vannføring er mindre enn $\pm 5\%$.¹ Usikkerheten beregnes fra et konfidensintervall på 95 %, eller 2 ganger standardavviket.

Eventuelt kontinuerlig registrering av vannføringen skal også ha en nøyaktighet ved de forholdene en har på anlegget bedre enn $\pm 5\%$. Ved kontroll av kapasiteten må forholdene være slik at måleusikkerheten ved de aktuelle vannføringene blir mindre enn $\pm 5\%$ forutsatt hensiktsmessig valg av måleutstyr.

Grunnlaget for beregningene skal kunne etterprøves ved inspeksjon og geometrisk kontroll, og NVE kan både bestemme at forholdene skal være lagt til rette for eventuell kontrollmåling av kapasiteten og for eventuell kontinuerlig registrering og/eller visning av minstevannføringen. Allmennheten skal også så langt praktisk mulig kunne kontrollere at kravet til minstevannføring overholdes.

¹ Denne nøyaktigheten tilsvarer den nøyaktigheten NVE regner for ”gode” vannmerker.

2. ULIKE LØSNINGER VED FAST MINSTEVANNFØRING

2.1 Overflate-utløp

Overflateutløp er best egnet for anlegg hvor det er en fast minstevannføring.

2.1.1 Hovedtyper, fordeler og ulemper

Det er to hovedtyper:

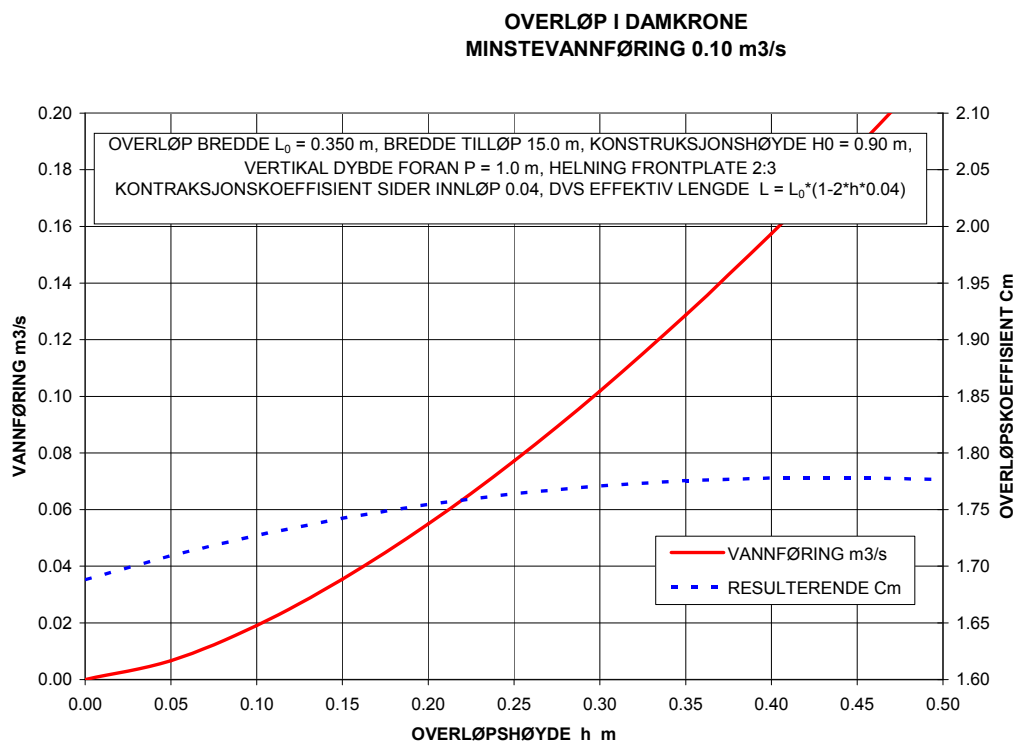
- Standard overløp i en utsparing i dammen
- Standard tynnplateoverløp i en utsparing i dammen

Felles for begge typene er at kapasiteten varierer sterkt med overvannstanden, noe som er en ulempe.

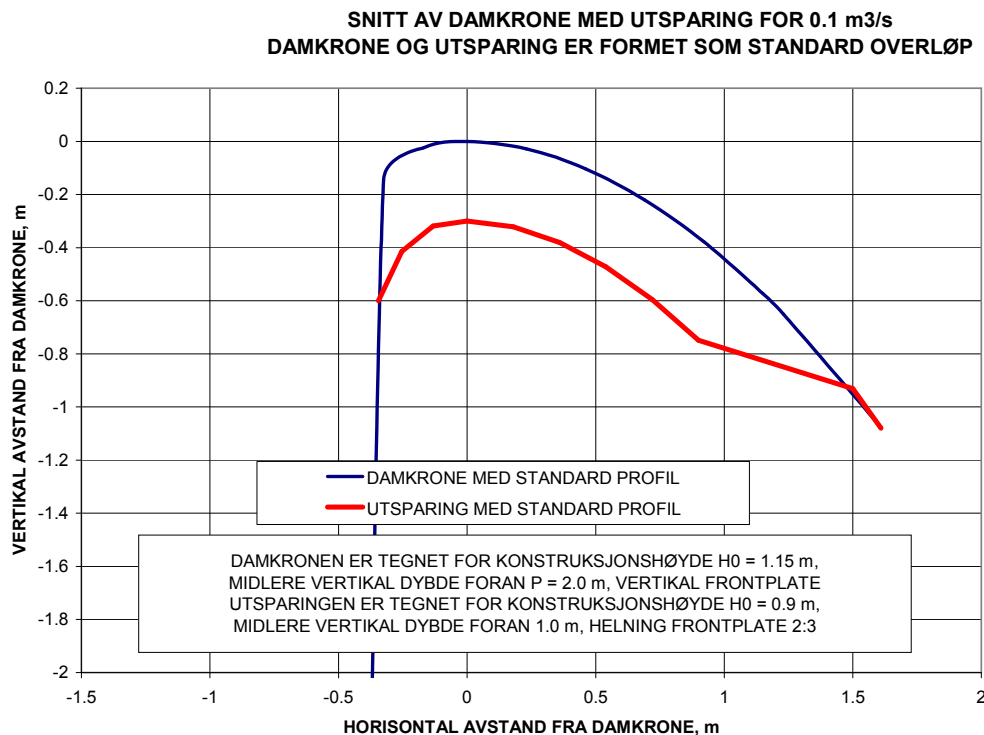
For anlegg med stor minstevannføring kan en også benytte damkronen i seg selv, men skal en ha en viss beregningsmessig nøyaktighet ved en slik løsning må en benytte standard overløpsprofil. Forholdene oppstrøms må være slik at en ikke får skjev eller ujevn tilstrømming og overløpet må være så vidt stort at en kan neglisjere innflytelsen av bygningsmessige unøyaktigheter, betongens overflateruhet etc. Vinterstid må en også ta hensyn til faren for ising.

2.1.2 Standard overløp i en utsparing i dammen

Dette er en enkel metode for å sikre en viss minstevannføring. Utførelsen er oversiktlig og eventuell tilstopping pga. kvist eller lignende er både enkel å kontrollere og enkel å fjerne. Ising vinterstid kan være et problem, men det avhenger mye av forholdene i vassdraget. Hvis en eksempelvis får islegging i bassenget oppstrøms nesten helt fram til utsparingen, er det mindre fare for blokkering pga sarr eller isdannelse på selve overløpsterskelen. Det kan også legges en varmekabel i det utsatte området under overløpsterskelen og i sidene. Overhøyde pga. flom gir sjelden noe problem.



Figur 1a Vannføring og overløpskoeffisient for utsparing i damkrone



Figur 1b. Profil av damkrone og utsparing med vannføring iht. figur 1a

Figur 1a og 1b viser som et eksempel typisk karakteristik for et overløp med standard overløpsprofil dimensjonert for $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ etter NVE's retningslinjer². Ved dimensjoneringen må en ta hensyn til alle faktorer slik at nøyaktigheten blir tilfredsstillende. Pga. små dimensjoner bør overløpsterskelen med tilhørende sideparti lages i rustfritt stål eller annet ikke korroderende materiale som sette i støpen slik at en får en god formnøyaktighet og slik at innflytelsen av overflateruheten kan neglisjeres. For rimelig nøyaktighet bør dimensjonerende overløpshøyde ikke være større enn bredden, noe avhengig av utformingen av oppstrøms kanalsider og eventuell sideinnsnevring. Dybden og den totale bredden av dammen oppstrøms må også være tilstrekkelig til å få jevn tilstrømning. For å unngå skadelig undertrykk på nedstrøms flate er konstruksjonshøyden H_0 i dette tilfellet valgt til ca 80 % av dimensjonerende flomvannstand, men dette er en risikovurdering som også avhenger av materialvalget.

Hvis anleggets vannstandsregulator gir en vannstandspendling på 5 cm avhengig av tilsiget, så tilsier dette med de gitte dataene at overløpsterskelen skal være ca 0.35 m under HRV, og minstevannføringen vil da variere mellom ca $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$ ved LRV og ca $0.13 \text{ m}^3/\text{s}$ ved HRV.

En eventuell kontroll vil bestå av geometrisk kontroll av utførelsen samt kontroll av overvannsnivået. Ved en utførelse med standard NVE-overløp³ kan en anta et usikkerheten i selve overløpskoeffisienten ikke overstiger ± 4 %. Usikkerheten pga geometrisk avvik, sideinnsnevring samt avvik i vannstands måling etc skal ikke være større enn at samlet usikkerhet ikke overstiger NVEs nøyaktighetskrav.

2.1.3 Tynnplateoverløp i en utsparing i dammen

Tynnplateoverløp er en annen enkel metode for å sikre en viss minstevannføring og kan ved små dimensjoner være rimeligere enn standard overløp. Overløpsplaten har fortrinnsvis en rektangulær, alternativt en V-formet utsparing. Den bør utføres i rustfritt stål og kan eksempelvis festes slik at platen er i plan med dammens vannside. Utsparingen i betongen på luftsiden må være romslig slik at en får god lufttilgang på alle sider og slik at overløpet ikke hindres av oppstuvning fra nedstrøms side.

² NVE "Retningslinjer for flomløp" 1. utgave 2003. Kurvene finnes i større målestokk med flere ulike korreksjonsfaktorer eksempelvis i US Bureau of Reclamation, "Design of Small dams" eller i de opprinnelige publikasjonene fra US Bureau of Reclamation.

³ Antatt verdi. Jeg har ikke hatt anledning til å kontrollere dette.

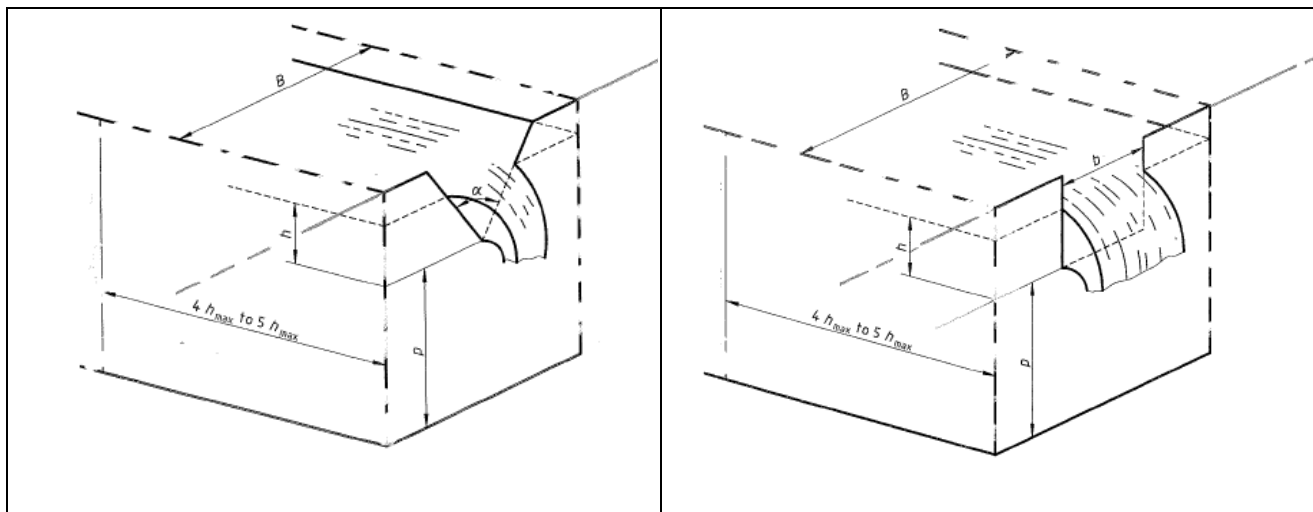
Beregningene har en god nøyaktighet hvis platen har en standardisert utforming⁴. Tynnplateoverløp er imidlertid på samme måte som en standard overløpskrone svært avhengig av overvannstanden.

For slipping av minstevannføring anbefales rektangulære overløp, da vannføringen i prinsippet endres med overløpshøyden opphøyet i 1.5 som ved en standard overløpskrone. Ved V-formede overløp endres vannføringen i prinsippet med overløpshøyden opphøyd i 2.5, og de er mer egnet for vannføringsmåling over et større vannføringsområde.

Tynnplateoverløp kan være mer utsatt for skader under isgang eller flom enn standard overløp og er avhengig av nedstrøms lufting av strålen, noe som kan gi problemer vintertid. Delvis innbygging, alternativt montering av varmekabler i tillegg på nedstrøms side av plata er tiltak som kan overveies.

Et annet alternativ er å lage en ”kanal” gjennom damkronen og å benytte et rektangulært overløp med samme bredde som utsparingen. Dette er behandlet i kapittel 4.4.2.

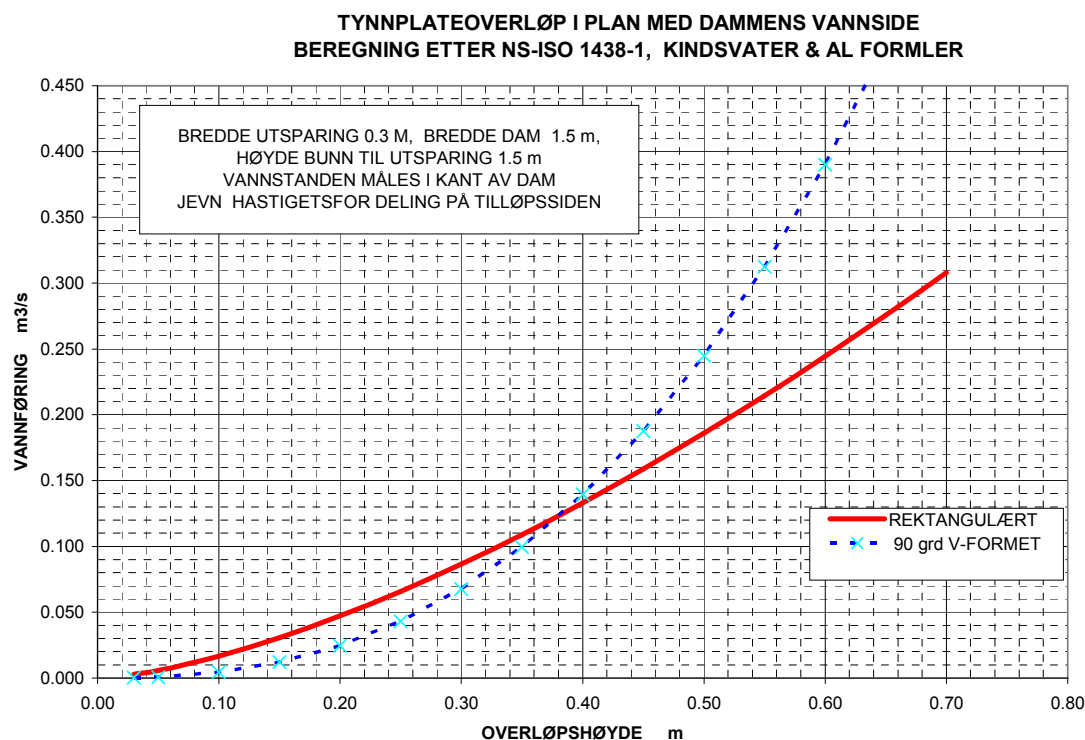
En eventuell kontroll vil bestå av geometrisk kontroll av utførelsen, som er enklere å kontrollere enn et standard overløp, samt kontroll av overvannsnivået. Ved en utførelse iht. standarden kan en regne med en usikkerhet i selve overløpskoeffisienten på $\pm 1.0\%$ til 3% , økende med redusert høyde foran overløpet, og usikkerheten pga geometrisk avvik, avvik i vannstandsmåling etc skal ikke være større enn at samlet usikkerhet ikke overstiger NVEs nøyaktighetskrav.



Hvis $B > 5 \cdot b$ for rektangulære overløp, $> 5 \cdot h$ for V-overløp, er overløpskoeffisienten uavhengig av bredden B .

Figur 2. Tynnplateoverløp, V-formet og rektangulært.

⁴ NS-ISO 1438-1: 2005. "Vannføringsmålinger i åpne kanaler ved bruk av overløp---: Del 1, Tynnplateoverløp med endringsblad". Decker også kanaler hvor tilløpsbredden er mye større enn overløpsbredden, noe en ofte vil ha ved installasjon i en utsparing i en dam.



Figur 3 Kapasitet av V-formet og rektangulært tynnplateoverløp i dam.

2.1.4 Overløp med etterfølgende målerenne

Hvis utsparingen i damkronen etterfølges av en rektangulær kanal muliggjør dette både en direkte kontrollmåling så vel som en kontinuerlig registrering av vannføringen. Det vises for øvrig til kapitlet om måling av vannføringen.

2.2 Lukket rørsystem

2.2.1 Enkelt system

I den enkleste utgaven består dette av rør fra oppstrøms til nedstrøms side av dammen, hvor kapasiteten kan beregnes fra innløpstep, rørfriksjon, sekundærtap av ulike typer og utløpstep.

Nøyaktigheten i disse beregningene er ikke spesielt god.

En beregning av rørtap kan ha en usikkerhet på $\pm 5\%$ forutsatt at rørdiameteren har en nøyaktighet på $\pm 0.5\%$ og ruheten er slik at friksjonstapene ikke er mer enn ca 20% større enn tapene for glatte rør. Hvis tapene er ca 50% større enn tapene for glatte rør er usikkerheten i rørtapene ca $\pm 10\%$ ⁵.

Tapskoeffisienten ζ for singulærtap, eksempelvis innløpstep eller ventiltap har ved vanlig utførelse en usikkerhet på $\pm 10\%$ til 30% på vanlige katalogdata eller data i ulike oppslagsverk.

Tapskoeffisienten ζ ved utløp av rør er teoretisk 1.0 forutsatt en rektangulær hastighetsfordeling, men er i praksis ofte litt større, eksempelvis 1.05 hvis hastighetsfordelingen i røret følger en $1/8$ - potenslov.

Hvis en da har et gitt overvannsnivå og et gitt undervannsnivå ved utstrømning under vann, alternativt senterlinje utløp ved utstrømning i fri luft og de virkelige tapene er underestimert med 20% , så reduseres vannføringen med ca 9.5% i forhold til beregnet vannføring.

⁵ D.S. Miller: "Internal Flow systems", 2. utgave BHRA. En annen referanse med en svært omfattende sammenstilling av tapskoeffisienter etc er I. E. Idelchik "Handbook of Hydraulic resistance" 3. utgave 1964 CRC-press.

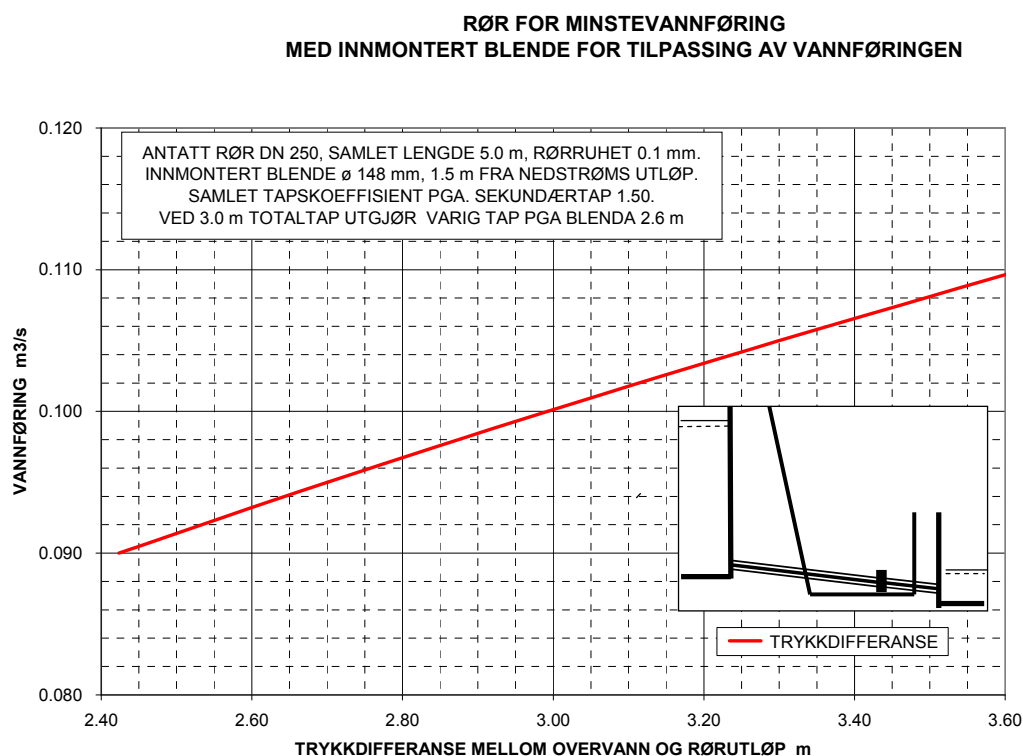
Minst usikkerhet er det i selve utløpstapet, og systemet bør konstrueres slik at utløpstapet dominerer i forhold til rørfriksjonstap, innløpstap og tilsvarende sekundærtap.

2.2.2 System med vannføringskontroll med blende eller tilsvarende utstyr

Skal en oppnå en god nøyaktighet, må det dominerende tapselementet være veldefinert, eksempelvis en blende eller en venturidyse, hvor det finnes standardiserte beregningsmetoder med vel dokumentert usikkerhet. Ved tapping av minstevannføring betyr muligheten for å gjenvinne noe av hastighetshøyden etter kontroll-elementet lite, og en vil som regel bare benytte en blende.

Blendene, eksempelvis, kan enten installeres inne i en rørstreng, og standardene ⁶ gir da retningslinjer for rettstrekninger, avstand til andre tapselementer etc. både opp- og nedstrøms. Hvis blenden monteres slik at avløpet går ut i fri luft, eller slik at utløpet går ut under vann nedstrøms må en ha god tilgang til luft respektive vann på alle sider av strålen. Det må også, spesielt ved utløp under vann, være en romslig avstand til hindringer nedstrøms. Nøyaktigheten kan likevel reduseres litt i forhold til en innbygging hvor en har et rør nedstrøms med samme diameter som oppstrøms, men en kan også her finne holdepunkter i standardene.⁷

Figur 4 viser en løsning hvor forutsatt kapasitet, $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$, i det alt vesentlige er bestemt av selve blenden. Falltaper i blenden utgjør ca 87 % av den totale trykkdifferansen mellom innløp og utløp. Dette gjør at usikkerheten i beregning av tapene i eksempelvis innløp, ca 0.11 m, utløp ca 0.22 m og ren rørfriksjon, ca 0.07 m, har liten betydning.



Figur 4 Tapperør med blende i røret

Hvis eksempelvis tapskoeffisienten i innløpet som var antatt 0.5 i stedet skulle være 1.0, slik at innløpstapene ble fordoblet, reduseres kapasiteten ved 3 m trykkdifferanse fra 100 l/s til bare ca 98.4 l/s eller med ca 1.6 %.

⁶ NS-EN ISO 5167-1, 2 og 3: 2003. Måling av fluidstrøm i fylte rør med sirkulært tverrsnitt ved hjelp av differansetrykkutstyr. Del 1; Generelle prinsipper og krav. Del 2; Blendeplater. Del 3; Dyser og venturidyser.

⁷ ISO/TR 12767: 1998 "Guidelines to the effect of departure from the specifications and operating conditions given in ISO 5167-1" Videre ISO/TR 15377-2007: "Guidelines for the specification of orifice plates, nozzles and Venturi tubes beyond the scope of ISO 5167"

Til sammenligning er selve grunnusikkerheten i denne blenden ca $\pm 0.6\%$ forutsatt ideell utførelse og innbygging, men øker eksempelvis til ca $\pm 1.1\%$ hvis det er en fullt åpen sluseventil ca 1.8 m oppstrøms.

3. ULIKE LØSNINGER VED REGULERBAR MINSTEVANNFØRING

3.1 Ventiler

Ventiler benyttes for små og midlere vannføringer. Spesielt det som betegnes som kontrollventiler har en utførelse som gjør dem egnet til regulering og de leveres gjerne med kurver eller tabeller som viser tapskoeffisienten ζ eller ventilkoeffisienten K_v som funksjon av ventilåpningen. For øvrig benyttes vanlige sluseventiler eller skyvespjeldventiler, mens spjeldventiler er mindre egnet, blant annet pga. en sterk ulineær karakteristikk og dårligere kavitasjonsegenskaper. Ved høyere trykk er ringventiler, som også kan leveres med en hull- eller slissesylinder som en del av stengeorganet for å bedre kavitasjonsegenskapene meget godt egnet.

Systemet bør dimensjoneres slik at ventilen står for en stor del av trykkfallet mellom overvann og undervann/utløp. Ventilene kan også leveres komplett med utstyr for automatisk styring, fjernoverføring etc.

Trykktapet over ventilen er definert som $h_v \text{ (m)} = \zeta \cdot c^2 / (2 \cdot g)$. Her er c midlere vannhastighet i m/s regnet på nominelt ventiltverrsnitt og $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$. Ved nominell ventildiameter $D \text{ (m)}$ blir vannføringen $Q \text{ (m}^3\text{/s)} = (\pi \cdot D^2 / 4) \cdot (h_v \cdot 2 \cdot g / \zeta)^{0.5}$.

Med definisjonen i NS-EN 1074-2⁸ er vannføring gjennom ventilen $Q \text{ (m}^3\text{/s)} = K_v / 3600 \cdot (h_v \cdot g / 100)^{0.5}$.

Det finnes også ulike andre definisjoner av taps- eller ventilkoeffisienter⁹, slik at en ved beregninger må kontrollere grunnlaget.

Iht NS-EN 1074-5 skal oppgavene over ventilkoeffisienten ha en nøyaktighet bedre enn $\pm 10\%$, slik at nøyaktigheten i vannføringen ved en gitt trykkdifferanse over ventilen er tilsvarende. Ved beregning av den totale nøyaktigheten kommer usikkerheten i målingen av trykkdifferansen i tillegg.

Taps- eller ventilkoeffisienten gjelder vanligvis for innbygging i et lengre rør både opp- og nedstrøms og med tilstrekkelig avstand til ventiler; bend eller annet som forstyrrer strømmingen. Røret skal renne fullt og en skal ikke ha kavitasjon bak ventilen da det øker tapskoeffisienten/reducerer ventilkoeffisienten. Det siste er imidlertid lite aktuelt med de trykkene en normalt har ved forbitapping i småkraftverk. Hvis ventilen benyttes ved utløpet av et rør endres også taps- eller ventilkoeffisienter i forhold til leverandørens vanlige oppgaver, spesielt med ventilen i delåpen stilling.

Med de kravene til nøyaktighet som NVE stiller må tappesystemer som baserer seg på ventilregulering for innjustering av vannføringen kunne kalibreres på stedet, da en neppe vil få tilstrekkelig nøyaktige ventilkarakteristikker, selv ved det som betegnes som kontrollventiler.

3.2 Luker

3.2.1 Mindre luker

Med mindre luker menes i denne sammenheng vertikale luker, oftest uten totpetting, hvor en enten har dykket eller fritt utløp nedstrøms, og som i utførelse og arrangement tilfredsstillende kravene iht. ISO-13550¹⁰.

⁸ NS-EN 1074-2 og NS-EN 1074-5: 2000. "Ventiler for vannforsyning. Funksjonelle krav og kontrollprøvinger. Del 2; Isolerende ventiler. Del 5; Kontrollventiler.

⁹ Eksempelvis benytter BHRA "Internal Flow Systems", se fotnote 5, betegnelsen K_v med samme definisjon som ζ .

¹⁰ ISO 13550 : 2002 "Flow measurements in open channels using structures - Use of vertical underflow gates."

Slike luker benyttes eksempelvis mye både til kontroll og regulering av vannføringen i mindre kanaler for irrigasjon, vannforsyning eller avløpsanlegg. For slike luker er både hydraulisk utførelse og beregningsmetodikk for kapasitet med tilhørende toleranser standardisert.

For luker uten sidekontraksjon og med fritt avløp i rektangulære kanaler og med et nøyaktig vannstandsmålesystem kan usikkerheten i beregnet vannføring bli så vidt under $\pm 5\%$. Ved sideinnsnevring slik at en får et 3-dimensjonalt strømningsbilde, eller ved dykket utløp vil usikkerheten i beregnet vannføring være $\pm 10\%$ til 20% , og skal NVE's nøyaktighetskrav overholdes må utstyret da kalibreres på anlegget.

Hvis lukene benyttes vintertid må arrangement i tillegg være sikret mot isdannelse som kan endre kapasitetskurvene.

3.2.2 Større luker

Med større luker menes i denne sammenheng mer tradisjonelle luker for vannkraftanlegg, vanligvis glideluker, segment- eller klappeluker, som også kan benyttes for slipping av mistevannføring.

Kapasiteten ved ulike lukeåpninger bestemmes gjerne ved beregninger iht. tilgjengelig litteratur¹¹ og sammenstillingen av ulike forsøksdata viser at nøyaktigheten i beregnet vannføring kan være fra $\pm 10\%$ til 20% hvis en ikke kan sammenligne mer direkte med luker med nøyaktig samme geometriske utforming, tilstrømningsforhold og eventuelt avløpsforhold.

Nøyaktigheten ved oppskalering av modellforsøk av damanlegg med luker, som i Norge finnes for en rekke av lukedammene i de store vassdragene er ikke så mye bedre.

Med de kravene til nøyaktighet som NVE har må tappesystemer som baserer seg på lukeregulering for innjustering av vannføringen kunne kalibreres på stedet. Det er her i hovedsak snakk om store kraftanlegg, og NVE's nøyaktighetskrav til minstevannføring ved småkraftverk kan ikke alltid overholdes. Ved store vannføringen hvor en måler i et vanlig elveleie og ikke har et spesielt godt tilrettelagt måletverrsnitt kan måleusikkerheten lett bli større enn $+5\%$, ofte i området $+10\%$ ved middels gode måleforhold.

4. KONTROLL AV VANNFØRINGEN

4.1 Overflate-utløp

4.1.1 Utsparing i damkronen

Vannføringen ved en utsparing i damkronen kan vanskelig kontrolleres direkte, og en er som regel avhengig at et kontrolltverrsnitt med målemuligheter nedstrøms.

4.1.2 Målekanaler med tynnplateoverløp

Målerenner, enten for kontinuerlige målinger eller for kontrollmålinger kan installeres nedstrøms for alle typer minstevannføringsutstyr.

For små kraftverk er minstevannføringen som regel fra godt under 100 l/s til noen hundre l/s . For god nøyaktighet skal overløpet ikke ha for små dimensjoner, og figur 5 viser kapasiteten for et typisk

¹¹ Eksempelvis "G. Wickert og G. Schmausser "Stahlwasserbau" Springer Verlag 1971

NHL "Avløpsdata i elver og vassdrag" Veiledende retningslinjer for avløpsberegninger basert på en rekke modellforsøk 1981. I tillegg finnes det publikasjonene fra "Lukekomiteen" og en lang rekke enkeltstående rapporter utarbeidet av NHL/VHL

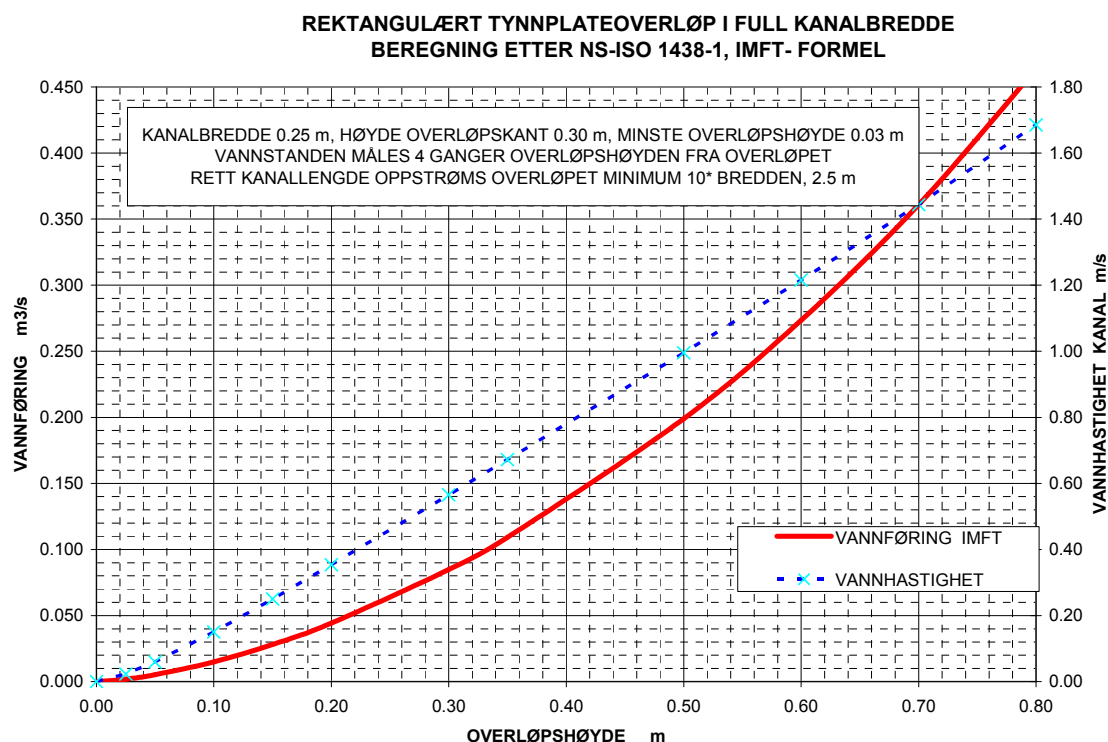
rektangulært overløp¹² hvor kanalbredden tilsvarer overløpsbredden. Vannføringen ved denne løsningen er ca 16 % høyere ved samme overløpshøyde enn ved overløp direkte i damplaten, figur 3.

Figuren viser også følsomheten ved overvannsvariasjoner. Hvis minstevannføringen eksempelvis er 100 l/s tilsvarer dette ved det valgte eksempelet en vannstand på 33.1 cm over terskelhøyden. Måles eksempelvis 30.0 cm betyr dette en vannføring på 85 l/s og måles 35.0 cm er vannføringen 109 l/s.

Ved tynnplateoverløp nedstrøms dammen er målekanalen spesielt utsatt for akkumulering av rusk og rask og kan være utsatt for ødeleggelse under flom eller pga. is. Hvis den bare skal benyttes til kontrollmåling, kan den enkelt utføres slik at selve overløpsplata tas vekk når det ikke er behov for kontroll av vannføringen.

Hvis kanalen også skal benyttes til kontinuerlig måling kan det i tillegg til en nøyaktig måleskala monteres en elektronisk vannstandsmåler. I det siste tilfelle kan eksempelvis en ultralydmåler som gjerne leveres med nødvendig programvare i tillegg monteres over kanalen. En vil da få vannføringen direkte for logging eller fjernvisning, forutsatt at en ikke har problemer med akkumulering av rask, sedimenter eller problemer med is.

I kanalen kan det også installeres utstyr, eksempelvis elektromagnetisk- eller doppler-utstyr som måler vannhastigheten direkte. Sammen med vannstandsregistreringen kan da vannføringen beregnes og en er mindre utsatt for feilmåling pga akkumulering av rask eller is ved måleblenda.



Figur 5 Rektangulært tynnplate-overløp

Sammen med en geometrisk kontroll er det vanligvis ingen problemer med å oppnå en tilfredsstillende målenøyaktighet. Forutsatt at standardenes retningslinjer overholdes, kan resulterende nøyaktighet i vannføringsmålingen ofte være bedre enn $\pm 2\%$.

Figur 5 viser også midlere vannhastighet i kanalen oppstrøms. Vintertid bør vannhastigheten være i området 0.6 m/s til 0.8 m/s skal en redusere faren for islegging hvis kanalen ikke er overbygget¹³. Ved noe høyere

¹² Beregningene er gjort etter NS- ISO 1438-1. Standarden har ulike beregningsformler med ulike begrensninger, og formel må velges med omhu. IEC 60041-3. utgave, har også en beregningsmodell basert på en middelværdi av de ulike formlene angitt i NS-ISO 14381-1.

¹³ Otnes og Ræstad "Hydrologi i praksis" 2. utgave 1978, kap. 2.12.

hastigheter kan det underkjølte vannet i overflatesjiktet i større grad virvles inn i strømmen, med fare for oppbygging av bunnis hvor det er endringer i strømningsbildet.

Oppstrøms målekanalen er det ingen ulempe med lave vannhastigheter, da en da kan få en naturlig islegging som reduserer problemene nedstrøms.

4.1.3 Målerenner

Målerenner kan utformes slik at de er nær selvrensende sommertid og generelle prinsipper er omhandlet i NS-ISO 4359¹⁴. De baseres seg vanligvis på en overgang fra en underkritisk til kritisk eller overkritisk strømningstilstand. Nedstrøms kan en eventuelt komme tilbake til underkritisk strømning vha. et vannstandssprang, men dette er sjelden av interesse i denne sammenheng. Forutsatt at en har kritisk, eller overkritisk strømning nedstrøms måletverrsnittet, så influeres karakteristikken ikke av forholdene nedstrøms. Det er følgelig i teorien tilstrekkelig med bare vannstandsmåling oppstrøms i tillegg til geometrisk kontroll for å bestemme vannføringen. Likevel har en, spesielt ved Parshall-renner, oftest en måling nedstrøms slik at en kan forvise seg om at beregningsforutsetningene er oppfylt.

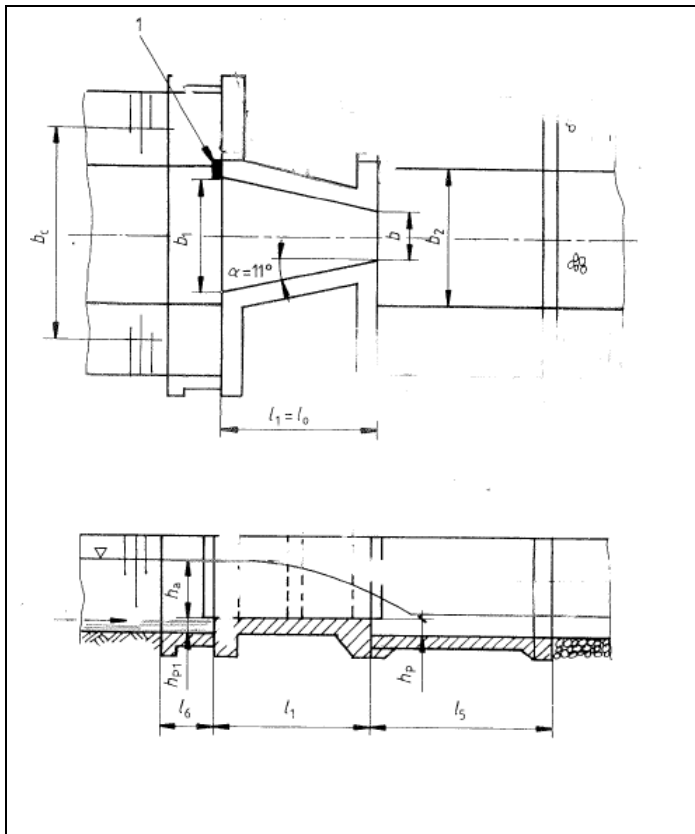
Målerennene må ha en tilstrekkelig lang kanal oppstrøms for å få jevn tilstrømning, og dette gjør at det i tillegg til det primære målesystemet som baserer seg på dybdemåling også kan installeres elektronisk utstyr som måler vannhastigheten direkte som nevnt ovenfor.

De mest brukte, standardiserte utgavene av målerenner er Saniiri eller Parshall¹⁵ renner. Den første typen er den enkleste. Usikkerheten i selve koeffisientene er for Saniiri-renner $\pm 3 \%$ og for Parshall-renner mellom $\pm 2 \%$ og 3% . Sammen med en vanlig usikkerhet i vannstandsmålingen og andre mindre usikkerheter vil likevel enkelt få en total måleusikkerhet bedre enn $\pm 5 \%$.

Overbygging av utsatte partier på selve renna kan redusere faren for isproblemer, se for øvrig ovenfor.

¹⁴ NS-ISO 4359: 2005. "Vannføringsmåling i åpne kanaler. Rektangulære, trapesoide og U-formede målerenner."

¹⁵ NS-ISO 9826: 2005. "Vannføringsmåling i åpne kanaler, Parshall og SANIIRI-renner." En rekke andre rennetyper er eksempelvis beskrevet i NS-ISO 4359, "Vannføringsmålinger i åpne kanaler. Rektangulære, trapesoide og U-formede målerenner." Disse kan også ha en nøyaktighet innen for NVE's krav, i motsetning til en renne iht ISO 3847, som er den enkleste utførelsen, en horisontal renne med parallelle, vertikale vegger og med fritt utløp over en kant på enden.

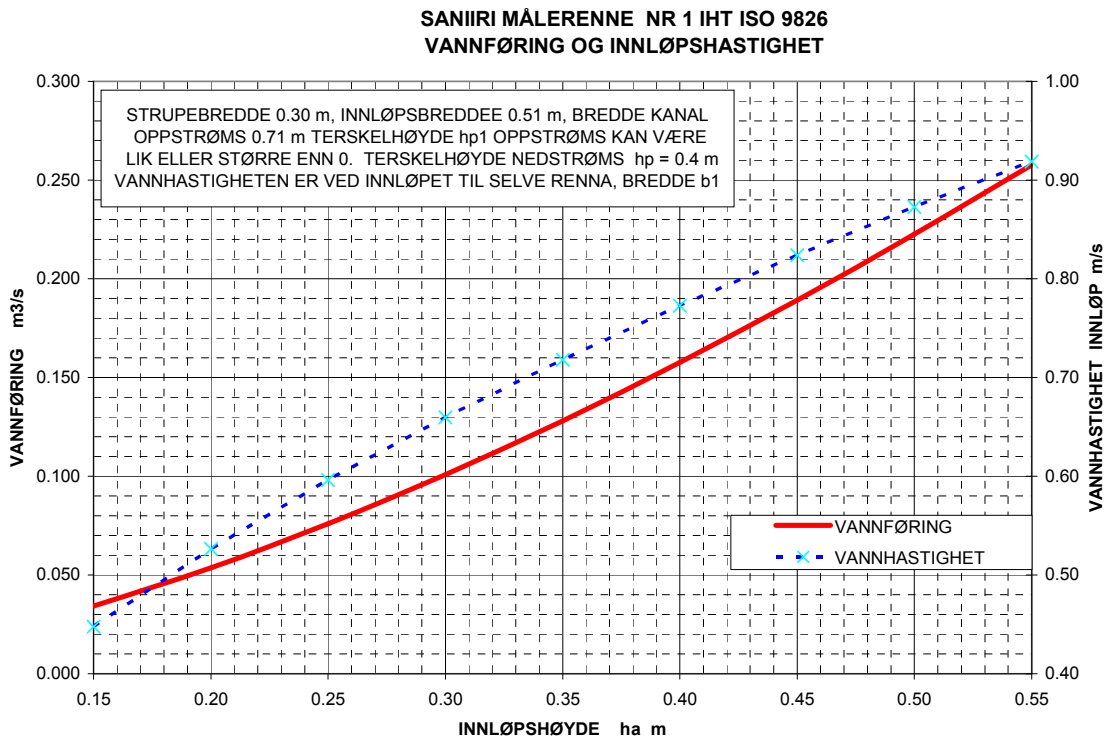


Saniiri - rennen er standardisert i 6 geometrisk likedannede utførelser for vannføringer fra 0.03 til 2.5 m³/s. For hver størrelse er forskjellen mellom minste og største vannføring ca 1:10. Den minste størrelsen, med utløpsbredde 0.3 m, er egnet for vannføringer fra 0.03 m³/s til 0.25 m³/s.

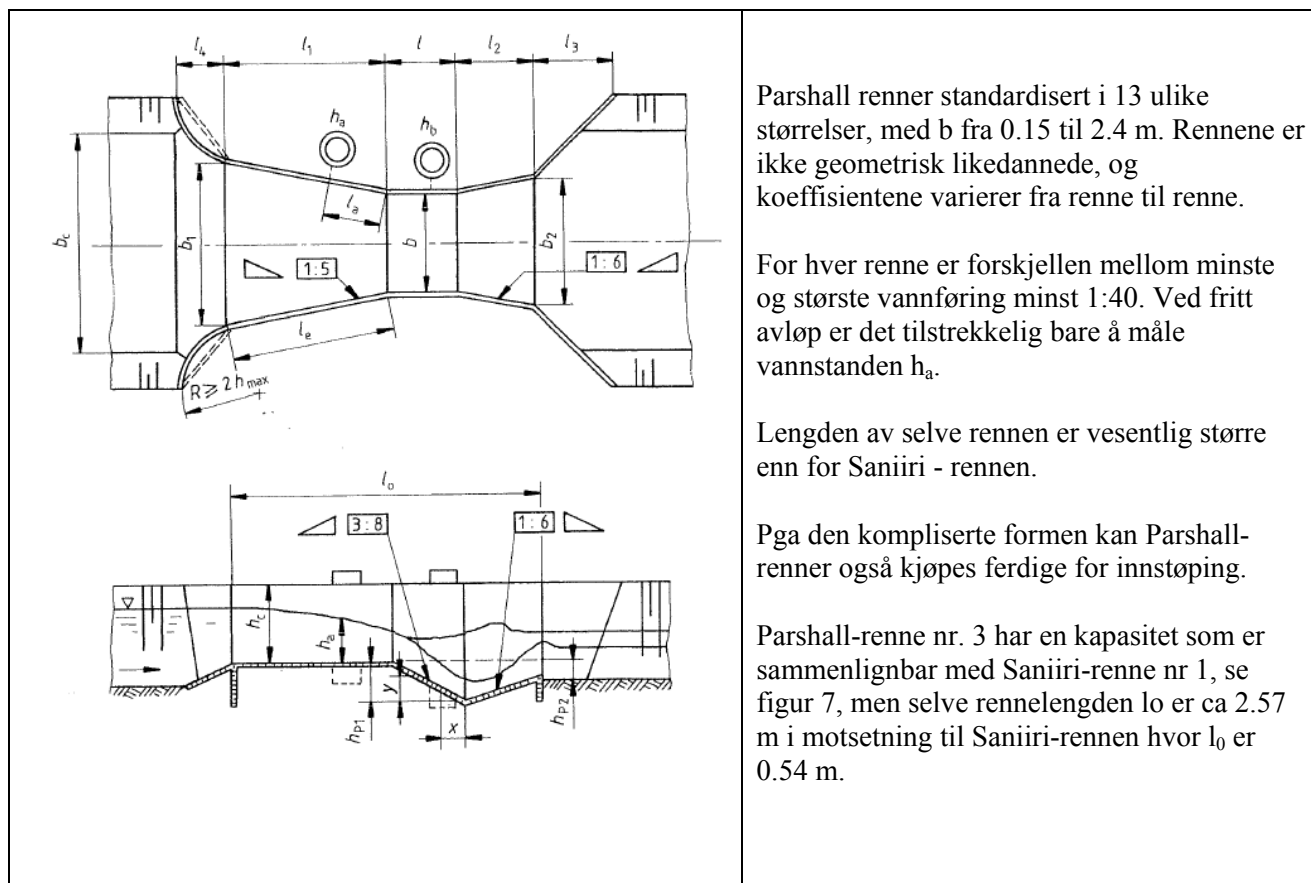
Lengden av selve rennen er 1.8 * utløpsbredden b, og innløpsbredden er 1.7 * utløpsbredden. Oppstrøms bunn kan være i plan med selve rennebunnen hvis det er en støpt kanal. Bredden kan være 2.38 * strupebredden hvis det er en vertikal kanal.

Hvis undervannstanden ikke er høyere enn ca 20 % av overløpshøyden, er det tilstrekkelig å måle vannstanden i pkt. 1.

Figur 6 Saniiri-renne



Figur 7 Kapasiteten av Saniiri-renne nr. 1



Parshall renner standardisert i 13 ulike størrelser, med b fra 0.15 til 2.4 m. Rennene er ikke geometrisk likedannede, og koeffisientene varierer fra renne til renne.

For hver renne er forskjellen mellom minste og største vannføring minst 1:40. Ved fritt avløp er det tilstrekkelig bare å måle vannstanden h_a .

Lengden av selve rennen er vesentlig større enn for Saniiri - rennen.

Pga den kompliserte formen kan Parshall-renner også kjøpes ferdige for innstøping.

Parshall-renne nr. 3 har en kapasitet som er sammenlignbar med Saniiri-renne nr 1, se figur 7, men selve rennelengden l_0 er ca 2.57 m i motsetning til Saniiri-rennen hvor l_0 er 0.54 m.

Figur 8 Parshall-renne

4.2 Lukket rørsystem

4.2.1 Tapperør med blende eller tilsvarende standardisert utstyr

Hvis tapperøret er tilgjengelig på det partiet hvor blenda, eksempelvis, er montert er ekstrakostnadene ved forskriftsmessige trykk-uttak bagatellmessige og det er da enkelt å få til en kontrollmåling av trykkdifferansen som igjen gir vannføringen.

Hvis det benyttes en standardisert blende eller tilsvarende med standardiserte innbyggingsforhold, så er nøyaktigheten i selve blendekoeffisienten i området 0.6 % - 1.0 % avhengig av diameterforholdet. Avhengig av innbyggingsforhold, rørlengde - opp og nedstrøms etc øker usikkerheten noe som beskrevet i de ulike målestandardene, se fotnote 6. Til sist er det usikkerhet i selve måleutstyret for måling av trykkdifferansen. Uansett vil samlet måleusikkerhet være godt dokumenterbar og sjelden mer enn ± 1.5 % til ± 2.5 % hvis innbyggingen i rimelig grad er i overensstemmelse med standardenes retningslinjer.

Hvis blenda er montert ved utløpet av tapperøret, kan en likeledes rimelig enkelt få til en tilfredsstillende måling hvis utløpet enten er i luft eller dykket med tilstrekkelig tilgang til vann rundt hele omkretsen.

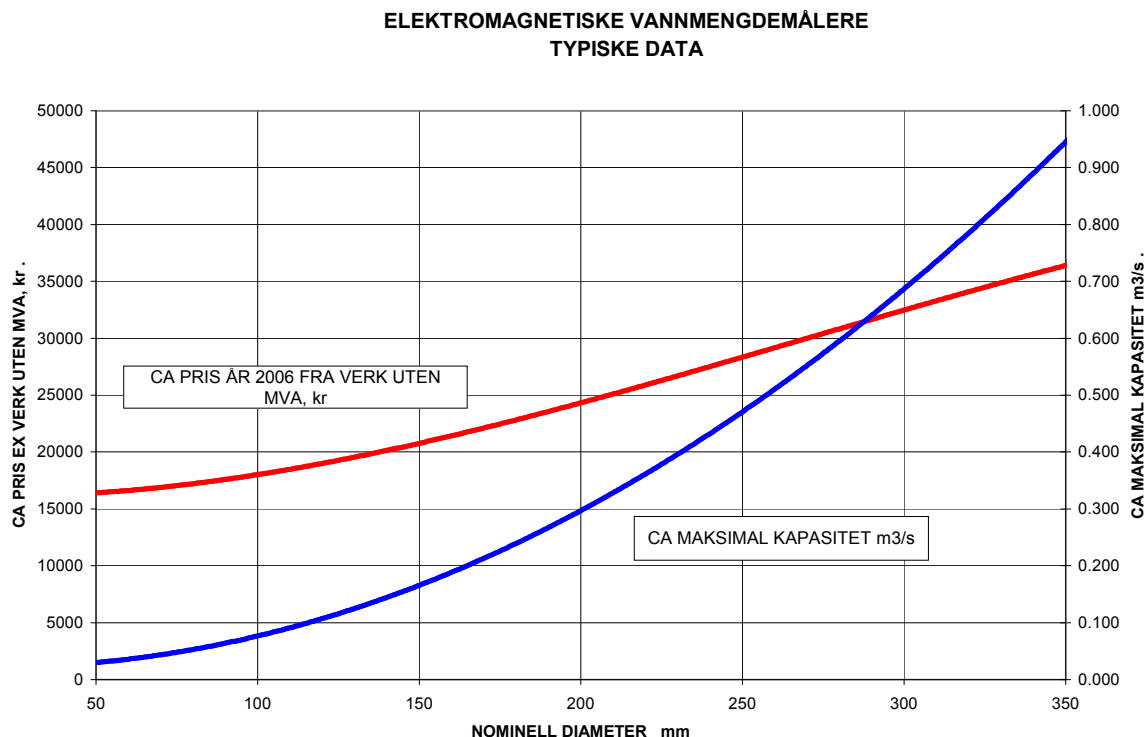
Måleutstyret må vanligvis installeres i et frostfritt rom, sikret mot oversvømmelse ved flom etc.

4.2.2 Tapperør generelt

Det finnes en rekke ulike kommersielle målesystemer for måling av vannføring i rør. Som eksempel kan det nevnes ulike typer innstikksonder, ultralydmåleutstyr som kan benytte utenpå rør etc. Hvis en stiller krav om at måleutstyret skal være standardisert iht. IEC eller ISO er utvalget betydelig mindre. De fleste av disse målesystemene leveres med kalibreringsbevis basert på målinger i fabrikkens prøvestand. Forholdene på anlegget er avgjørende for den totale nøyaktigheten en kan oppnå, men det bør ikke være noe problem å oppfylle NVEs nøyaktighetskrav.

Utstyret er velegnet for kontinuerlige målinger, men kan ikke kontrolleres direkte på anlegget på samme måten som eksempelvis en kan med en standardisert blendemåling. Utstyret må ved tvil om resultatet enten sendes til fabrikk for kontroll, eller kontrolleres på anlegget vha. en annen metode, eksempelvis ved temporær innmontering av en blende med tilhørende måleutstyr.

Stiller en i tillegg krav til minimal tilstopningsfare, robusthet etc blir utvalget av målesystemer ennå mindre, og i praksis er det enten elektromagnetiske målere eller ultralyd- eller doppler-målere som brukes. Denne type målere kan tilpasses nesten alle rørdimensjoner og leveres komplett med elektronikk slik at signalene kan logges, fjernoverføres, brukes i visningspaneler etc. Kravene til rettstrekning etc opp- og nedstrøms er også generelt mindre enn for blendemålinger, spesielt for elektromagnetiske målere.



Figur 9 Elektromagnetiske vannmengdemålinger, typiske data.

Elektromagnetiske målere¹⁶, eksempelvis, er robuste med god nøyaktighet. De består i prinsippet består av et flenset rørstykke med en elektrisk spole rundt og med en byggelengde økende fra ca 250 mm til ca 500 mm ved nominell diameter fra 50 til 350 mm. Målerne kan leveres vesentlig større, og maksimal gjennomstrømningshastighet er vanligvis ca 10 m/s.

Selve måleren kan leveres i beskyttelsesklasse IP 68, som gjør at det tåler fullstendig neddykking, og med ledninger til elektronikken som plasseres et annet sted, eksempelvis i et lukehus.

Typiske priser fra verk og kapasiteter for elektromagnetiske målere er vist på figur 9. Den resulterende prisen for selve målesystemet er anleggsavhengig, og prisen blir lett doblet hvis en trekker med strømforsyning, fjernvisning, implementering i et overvåkingssystem etc.

I tillegg kommer kostnadene for selve rørsystemet for tapping av minstevannføring med ventil(er) eller luke(r), rør med fittings og flenser etc.

4.3 Store vannføringer

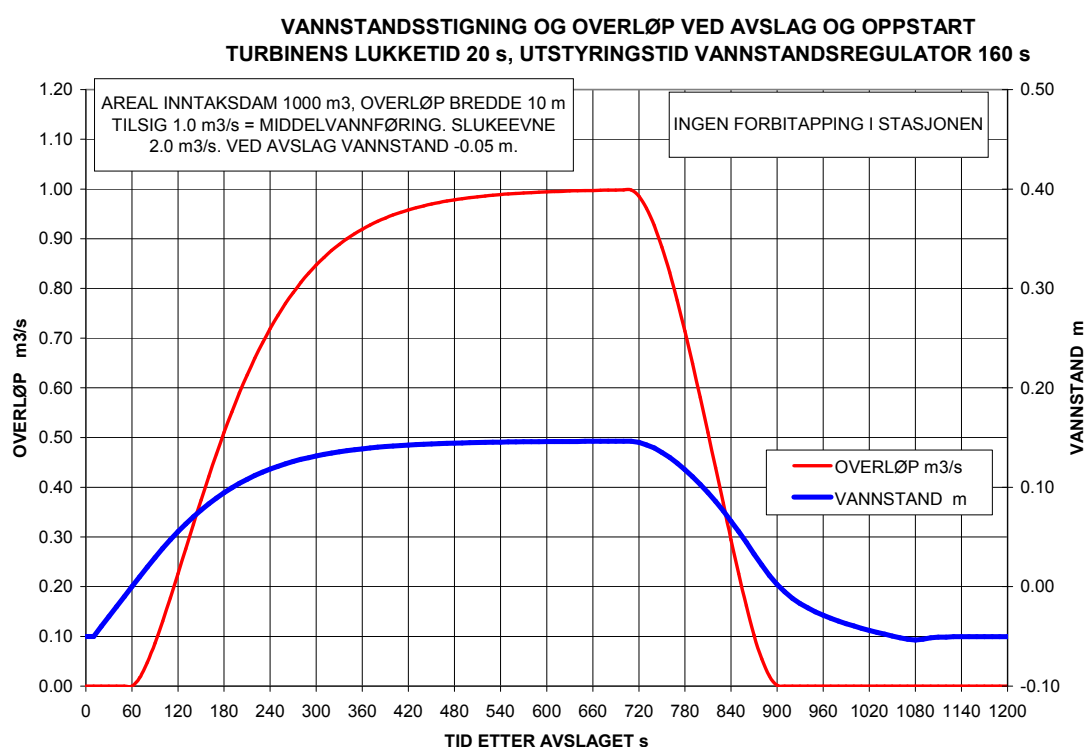
Ved store vannføringer vil kapasiteten gjerne kontrolleres på samme måte som en kalibrerer vanlige vannmerker. Det faller utenfor formålet med den foreliggende rapporten.

¹⁶ NS-EN-ISO 6817: 1995. "Måling av ledende væskestrøm i lukkede rør med elektromagnetiske strømningsmålere"

5. VANNFØRINGVARIASJONER VED TURBIN START/STOPP

Naturlige vannføringsvariasjoner er langsomme, og betyr lite for allmennheten eller fisk i vassdraget nedstrøms inntaksdammen. Disse forholdene endres ved utbyggingen, og vannføringsendringene kan bli mye raskere.

Ved plutselig stopp, utfall, av turbinen vil vannstanden stige i inntaksbassenget, og etter en viss tid flomme over damkronen slik at vannføringen nedstrøms stiger raskt. Hvor fort vannet kommer avhenger primært av dammens overflateareal, karakteristikken til flomløpet og tilsiget. På samme måte kan en ved oppstart igjen få en rask vannføringsreduksjon. Et typisk eksempel ved en liten inntaksdam er vist på figur 10.



Figur 10 Vannstands- og vannføringsvariasjoner ved avslag og oppstart.

Denne vannføringen kommer i tillegg til minstevannføringen. Når turbinen starter igjen vil vannstandsregulatoren som regel kjøre turbinen opp til maksimal vannføring pga. overløpet, og så reguleres ned og tilpasses tilsiget når overløpet slutter. Hvis vannføringen før utfallet eksempelvis tilsvarte halve slukeevnen, vil vannføringen nedstrøms dammen komme tilbake til minstevannføringen betydelig raskere enn vannføringsøkningen ved avslaget hvis en ikke legger større begrensninger på utstyringshastigheten enn vanlig.

Hvis den raske vannføringsendringen i vassdraget nedstrøms dammen er problematisk, så er en automatisk forbitapping i kraftstasjonen ønskelig. Hvis forbitapping i stasjonen eksempelvis har en kapasitet tilvarende 50 % av maksimale turbinvannføring, kan en ved tilsig opp til kapasiteten av forbitappingen og plutselig utfall regulere slik at en får en langsam overgang til tilsigsvannføringen både nedstrøms dammen og nedstrøms kraftstasjonen etter hvert som forbitappingen stenger langsam igjen. Ved tilsig større enn forbitappingens kapasitet vil en også kunne dempe vannføringsvariasjonene betydelig. Turbinens oppstart kan også programmeres slik at en får den ønskede myke overgangen til minstevannføringen nedstrøms dammen igjen uansett tilsig.

Disse forholdene bør, hvis det synes problematisk, vurderes beregningsmessig på forhånd slik at en får hensiktsmessig utstyr i kraftstasjonen. Nødvendig programmering av kraftstasjonens kontrollanlegg er sjelden noe problem.

6. ALLMENNHETENS MULIGHET FOR KONTROLL

6.1 Generelt

Pålegg om minstevannføring er en viktig del av konsesjonsvilkårene, og konsesjonæren skal dokumentere og protokollere at vilkårene oppfylles.¹⁷

Den ansvarlige skal følgelig gjennom regelmessig tilsyn sørge for at kravene til enhver tid oppfylles, og allmennheten skal også ha en rimelig mulighet for å kontrollere at kravene er oppfylt der og da, en bestemmelse som er selvsagt for alle typer kraftverk.

NVE kan i tillegg stille krav om kontinuerlig registrering av minstevannføringen, og at registreringene skal oppbevares i avtalt tid for eventuell senere kontroll.

6.2 Kontroll

Ved dammen, eller på det stedet i vassdraget hvor kravet til minstevannføring skal oppfylles, skal det være et permanent opplysningsskilt hvor teksten skal tilpasses lokale forhold. Dette kan innebære hvilke krav som gjelder og hvordan en kan se at kravene oppfylles.

Ved småkraftverk er minstevannføring oftest liten. Dette forenkler selve målingen, men gjør også systemene mer sårbare for tilstopping. Vannføringen er ofte heller ikke tilstrekkelig til å hindre at det snør ned eller iser vintertid.

Ved åpne systemer er en direkte kontroll sommertid vanligvis enkel. En kan se direkte at vannstanden ikke er under gitte grenser, og at overløpet ikke er hindret av tilstopping. Vintertid må en primært sørge for at is eller snø ikke reduserer kapasiteten. Tiltak som innbygging vil vanskeliggjøre en direkte kontroll av eventuell tilstopping hvis en ikke anordner en inspeksjonsluke eller tilsvarende. De fleste mindre anlegg har imidlertid en automatisk vannstandsregulering, slik at den momentane vannstanden kan vises til enhver tid, og historiske data lagres hvis det er et krav.

Ved lukkede systemer for slipping av minstevannføring kan det, som nevnt ovenfor, noen steder etableres åpne kontrollmuligheter nedstrøms. Vintertid kan det imidlertid være vanskelig å sikre direkte tilgang til en liten målekanal nedstrøms siden dammen ofte ligger i en elvekløft som lett fyker igjen med snø.

Benyttes utstyr for kontinuerlig registrering og en har et luke- eller målehus på stedet kan det sammen med det øvrige utstyret anordnes et display som eksempelvis kan ses gjennom et vindu.

¹⁷ "Forskrift om internkontroll for å oppfylle lov om vassdrag og grunnvann" 2003 02-21 nr. 199. Spesielt § 4 pkt. 6.



Eksempel på opplysningsskilt.

Teksten er anvendbar hvor vannstanden er bestemmende for, eller kan brukes til kontroll av vannføringen. Dette gjelder eksempelvis hvor en har overløp, målerenner eller tilsvarende.

I stedet for en vannstandsskala kan det også eksempelvis være ett eller flere faste nivåmerker.

Skiltet kan også ha andre opplysninger, eksempelvis om kontroll av eventuell tilstopping.

Figur 11 Eksempel på opplysningsskilt

Målesystemet med kontrollmulighet bør vanligvis fremlegges for NVE før tiltakene iverksettes.

7. PRAKTISK UTFØRELSE

7.1 Generelt

Utstyr for minstevannføring må tilpasses forholdene på stedet, og det er ikke mulig å lage en generell løsning. Hovedelementene ved en vurdering er imidlertid:

- Fast overvannsnivå ved tilsig under turbinens slukeevne eller varierende overvannsnivå
- Fast minstevannføring eller en sesongmessig variasjon
- Krav til kontinuerlig registrering eller bare til mulighet for lokal kontroll der og da.

I inntaksdammen forutsettes vannstandsmåling for turbinstyring og eventuelt magasinkontroll. Kraftverksinntaket forutsettes utført med varegrind mot inntaksdammen, etterfulgt av enten inntaksluke eller inntaksventil før turbinrøret.

Anleggseier er generelt interessert i å minimalisere varegrindstapene og mange har også enten en differansetrykksmåling over varegrinda eller en vannstandsmåling etter grinda. Varegrinda utføres slik at den er enkel å renske manuelt, eller, for anlegg som er spesielt utsatt for tilstopping, med en mekanisk grindrensker.

Dette gjør at det som regel er fordelaktig å ta ut minstevannføringen etter varegrinda hvis forholdene for øvrig ligger til rette for det. Ved småkraftverk med mindre inntaksmagasin vil en neppe komme i den situasjon at en planker varegrinda eller setter bjelkestengsel oppstrøms, eksempelvis for vedlikeholdsarbeider, samtidig som en magasinerer tilsiget. I slike situasjoner vil vannet vanligvis alltid renne forbi, enten gjennom et bunnløp eller over damkrona.

7.2 Anlegg med inntaksventil

For anlegg med inntaksventil vil en alltid ha et rimelig frostfritt rom med lett adkomst for inntaksventilen. Dette gjør at en enkelt kan ta ut et tapperør oppstrøms ventilen og lede det gjennom ventilrommet tilbake til elva. En kan da benytte alle typer måle og reguleringsutstyr på dette røret. En får videre en god høyde mellom overvannsnivå og rørutløp, noe som gjør at en er lite følsom for vannstandsvariasjoner og en er også godt beskyttet mot tilstopping, is etc.

En har som regel en revisjonsventil på tapperøret oppstrøms. Pga. krav om rettstrekning ved eventuelle målinger kan det være fordelaktig med et tapperør parallelt med inntaksrøret fra selve kummen nedstrøms varegrinda, og en kan da eksempelvis benytte en skyvespjeldventil med spindelforlenger som revisjonsventil.

Er det behov for en reguleringsventil pga krav om varierende minstevannføring eller varierende overvannstand, vil den alltid være på nedstrøms del av tapperøret, eventuelt helt på enden, utført slik at en alltid er sikret at røret oppstrøms går fullt til enhver tid.

På mellomstrekningen kan en da ha utstyr for kontinuerlig måling, eventuelt plass til en blende for kontrollmåling etc, alt avhengig av hvilke krav som stilles.

Ved en fast minstevannføring vil en som regel ha blenda inne rommet, og rørstrekningen mot utløpet skal formes slik at røret alltid går fullt på en minstestrekning nedstrøms blenda. Blenda kan dimensjoneres med en nøyaktighet som tilfredsstiller NVEs krav uten tilleggsmålinger. Den kan også benyttes til vannføringskontroll ved behov, eventuelt til kontinuerlig måling hvis en ikke setter et annet måleutstyr oppstrøms.

Ved de ulike alternativene som er nevnt ovenfor får en et system som teknisk sett er godt og sikret mot uvedkommende, men allmennheten har ved enkleste utførelse ikke noen direkte mulighet for kontroll utover å se at det kommer vann, eventuelt kombinert med en vannstandsbolt i overvannet. Med tilleggsutstyr kan en enkelt få til en kontinuerlig måling, skjermvisning i lukehusveggen etc. En slik skjermvisning kan for øvrig bli et problem hvis området er lett tilgjengelig for hærverk.

Skal allmennheten ha andre muligheter for direkte kontroll, i alle fall sommertid, må en anordne en målerenne nedstrøms.

7.3 Anlegg med inntaksluke

Ved anlegg med inntaksluke ønsker en ofte å grave ned inntaksrøret direkte etter damkonstruksjonen, og et eventuelt lukehus står gjerne på damtoppen. Skal en da benytte samme type løsning som en har ved en inntaksventil, med et røruttak mellom inntaksluka og varegrinda, må det bygges et eget målerom eller en målekum i tilknytning til inntakskonstruksjonen.

En annen løsning kan være et tapperør med røruttak mellom varegrinda og inntaksluka som nedgravet via en fast blende eller en reguleringsventil nedstrøms går tilbake til elva. En kan også her vanligvis få en god høydeforskjell mellom overvannstand og rørutløp. Dette gjør at kapasiteten ved en fast blende i utløpet kan beregnes med en nøyaktighet som tilfredsstiller NVEs krav. Hvis det da ikke er krav om kontinuerlig registrering eller at allmennheten skal kunne føre en kontroll utover å se at det kommer vann, eventuelt kontrollere en vannstandsbolt, behøves det heller ikke noe spesielt målearrangement.

Det kan uansett være behov for en mindre betongkonstruksjon ved utløpet, blant annet for å beskytte mot eventuell undergraving ved flom. Hvis det er krav at allmennheten skal føre en bedre kontroll, eller hvis det er varierende krav til minstevannføring eller varierende overvannstand slik at det er behov for en reguleringsventil, kan det være nødvendig med en målerenne nedstrøms. Det kan da også være behov for et arrangement for dreping av energien fra rørutløpet før målerenna. Et alternativ til målerenna kan være en kum på det nedgravde røret hvor det eksempelvis installeres en elektromagnetisk måler, med kabel til lukehuset med et visningspanel.

Skal målerenna benyttes til kontinuerlig måling, er det vanligvis nødvendig med et målehus, som eventuelt også går over renna, for utstyr og beskyttelse vintertid.

Hvis en har fast overvannstand og fast minstevannføring, kan en også ta et overløp direkte fra inntakskummen mellom varegrinda og inntaksluka. Her kan lukehuset gi tilstrekkelig beskyttelse mot frost etc, og tilstoppingsfaren er liten pga. varegrinda. Allmennhetens kontroll kan da være via tilgang til en vannstandsbolt i inntakskummen. Løsningen er mest aktuell hvis en har en inntaksluke med nedstrøms tetning, slik at en har et frittspeils inntakskammer.

Hvis en ikke anordner utstyr for minstevannføring direkte i inntakskonstruksjonen, vises til det som står nedenunder.

7.4 Anlegg hvor minstevannføringen ikke tas fra inntakskonstruksjonen.

Dette kan være anlegg hvor rørinntaket er i en vik av magasinet uavhengig av dammen. Hvis dammen helt eller delvis er en betongkonstruksjon, må arrangementet for slipping av minstevannføring plasseres der. Hvis dammen er tenkt som en ren fyllingsdam, må det uansett lages en mindre betongkonstruksjon for slipping av minstevannføring.

Utstyret bør ikke kombineres med et bunnløp, da faren for delvis blokkering av et inntak i bunnen av dammen er stor samtidig som det som regel er vanskelig å komme til for kontroll og rensking.

Ved anlegg med fast minstevannføring og fast overvannskote vil et standard overløp, eller en utsparing med et rektangulært tynnplateoverløp i damfronten, være den enkleste løsningen. Utstyret må være tilgjengelig for inspeksjon og kontroll, og plasseres fortrinnsvis nær den ene damvangen, men hvor en har tilstrekkelig dybde oppstrøms til at en ikke får problemer med is. Dette betyr at dybden gjerne bør være minst 1.5 m.

Ved et vassdrag hvor det er betydelig fare for tilstopping kan det anordnes en rektangulær eller halvmåneformet varegrind på oppsiden. Grinda bør stikke minst ca 0.5 m under og over NOV og ha en avstand på minst $2.5 \cdot$ overløpsbredden fra senter overløp. Grinda kan utsettes for et betydelig istrykk, slik at det må være en solid konstruksjon. Bolten som viser minimumsvannstand må være på innsiden av grinda, og hele konstruksjonen er mindre utsatt for tilstopping av overflaterusk da en også kan få inn vann fra undersiden.

Ved strenge vinterforhold kan en tildekking med basis i en grind som nevnt ovenfor og med kasseform over overløpet og partiet rett nedstrøms være en løsning. Eventuelt kan det også benyttes en varmekabel eller varmelampe mot selve overløpskronen og partiet rett nedstrøms.

Allmennhetens mulighet for kontroll sommertid er god, og hvis det ikke stilles spesielt strenge krav kan en kontinuerlig registrering enten tas indirekte fra turbinens vannstandsregulator, eventuelt vha. en måler plassert innenfor grinda oppstrøms overløpet.

Ved variabel minstevannføring, eller ved variabel overvannstand vises til det som står under inntak med tappeluke.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Rapportserien i 2008

- Nr. 1 Tor Arnt Johnsen (red.): Kvartalsrapport for kraftmarkedet, 4. kvartal 2007 (77 s.)
- Nr. 2 Panagiotis Dimakis: Kartlegging av grunnvannsressurser 1. Base Flow Index (107 s.)
- Nr. 3 Halvor Kr. Halvorsen (red.): NVEs tilsynsrapport for 2007
- Nr. 4 Nils Henrik Johnson (red.): Kamouflasjetiltak på kraftledninger (104 s.)
- Nr. 5 Knut E. Norén, Ivar K. Elstad, Norconsult: Forbislipping ved små vannkraftverk (17 s.)
- Nr. 6 Ivar K. Elstad, Knut E. Norén, Norconsult: Minstevannføring ved små vannkraftverk (22 s.)