

Slipp, måling og dokumentasjon av minstevannføring

.....
Sigrun Birkeland Rawcliffe, Anne Gunvor Berthling, Heidi Anette Grønsten, Pernille Dorthea Bruun, Even Vegard Dalen, Lars Midttun, Frode Thorset Kvernhaugen



Veileder nr 3/2020

Slipp, måling og dokumentasjon av minstevannføring

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat
Redaktør: Sigrun Birkeland Rawcliffe
Forfattere: Sigrun Birkeland Rawcliffe, Anne Gunvor Berthling, Heidi Anette Grønsten, Pernille Dorthea Bruun, Even Vegard Dalen, Lars Midttun, Frode Thorset Kvernhaugen

Trykk: NVE
Forsidefoto: Høyegga dam. Foto: Glommen og Laagens Brukseierforening (GLB)
ISBN: 978-82-410-2019-3
ISSN: 1501-0678

Sammendrag: Veilederen gir anbefalinger for hvordan minstevannføringen kan *slippes* forbi inntaksdammen og hvordan tiltakshaver kan *måle og dokumentere* i ettertid at rett vannføring er sluppet tilbake i elva. Veilederen gir også råd om hvordan tiltakshaver bør følge opp minstevannføringsarrangementet i driftsfasen slik at det fungerer i samsvar med de kravene som er satt.

NVE anbefaler primært at minstevannføringen tas ut via rør etter varegrind i et frostfritt rom, med påmontert vannføringsmåler og reguleringsventil. Andre løsninger er slipp via luker, tapperør eller utsparing i dammen. Disse løsningene kan kreve mer oppfølging i driftsfasen.

Formålet med veilederen er å bidra til valg av gode og driftssikre løsninger som oppfyller pålagt minstevannføring.

Emneord: Minstevannføring, internkontrollsystem, konsesjonsvilkår, vannføringsmåling, dokumentasjon, kontrollmåling, detaljplan, tilsyn

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

april, 2020

Slipp, måling og dokumentasjon av minstevannføring

Norges vassdrags- og energidirektorat
2020

Innhold

Forord	3
1 Innledning	4
1.1 Hvorfor ny veileder?	4
1.2 Formålet med veilederen	4
1.3 Innholdet i veilederen	4
1.4 Krav og retningslinjer	5
1.4.1 Vassdragslovgivningen	5
1.4.2 Det er tiltakshavers ansvar å oppfylle gitte krav	5
1.4.3 NVEs godkjenning av detaljplaner	6
1.4.4 Nye og andre løsninger kan godkjennes	6
1.4.5 Retningslinjer for hydrologiske undersøkelser	6
1.4.6 Andre veiledere	7
2 Detaljplan for miljø og landskap	8
2.1 Planer for slipp- og dokumentasjon av minstevannføring	8
2.2 Nye anlegg	8
2.3 Arrangement ved eldre anlegg	8
2.4 Ombygging av arrangement	9
2.5 Arrangement og fiskepassasje	10
2.6 Sjekkliste for detaljplan	11
3 Vurderinger i planfasen	12
3.1 Betydning for valg av arrangement	12
3.2 Hydrologi, klima og fysiske forhold	12
3.3 Størrelsen på minstevannføringen	12
3.4 Sesongkrav	12
3.5 Driftssikkerhet og tilgjengelighet	14
4 Ulike slippløsninger	15
4.1 Innledning	15
4.2 Rør via inntaket	15
4.2.1 Ventilregulering	16
4.3 Rør gjennom dam	17
4.4 Luker	18
4.5 Utsparing i overløpsterskel i dam	19
5 Spesielle inntak	21
5.1 Innledning	21
5.2 Inntak med fiskepassasjer	21
5.2.1 Oppvandring	21
5.2.2 Nedvandring	22
5.3 Inntak med overløpsrister (coandarister)	24
5.3.1 Hvilke minstevannførringsarrangement egner seg?	25
5.3.2 Ønske om utvikling av gode løsninger	26
6 Måling og dokumentasjon av minstevannføring	27
6.1 Hovedprinsipper for måling av vannføring	27

6.2	Måling av vannføring i rør	27
6.2.1	Vannføringsmålere.....	27
6.3	Beregning av vannføring basert på måling av vannstand.....	31
6.3.1	Vannstandsmålinger	31
6.3.2	Driftsutfordringer ved is og sedimenter.....	31
6.3.3	Vannføringsmåling i naturlig elveprofil.....	32
6.3.4	Kunstige måleprofil	33
6.3.5	Ulike vannstandsmålere.....	35
7	Informasjon til allmennheten.....	37
7.1	Informasjon om minstevannføringen på stedet.....	37
7.2	Opplysningsskilt om minstevannføringen	37
7.3	Visning av minstevannføring i nåtid.....	38
7.3.1	SMS eller publisering på internett.....	39
7.3.2	Målestav og bolter.....	39
8	Oppfølging og kontroll i driftsfasen.....	41
8.1	Krav om internkontroll.....	41
8.1.1	Internkontroll etter IK-vassdrag	41
8.1.2	Krav om internkontrollsystem	41
8.1.3	Krav til kompetanse.....	42
8.1.4	Forebygging av avvik	42
8.2	Kontroll og overvåking	43
8.2.1	Kontroll av slippsted og målested.....	43
8.2.2	Forutsetninger for gode måledata	43
8.2.3	Kontroll av måleutstyret.....	43
8.2.4	Kalibrering av måleutstyr.....	43
8.2.5	Fjernovervåking og alarm.....	44
8.2.6	Tilsyn ved slippstedet vinterstid.....	44
8.3	Kontrollmåling av minstevannføringen	45
8.3.1	Det må gjennomføres kontrollmålinger av vannslippet	45
8.3.2	Feilkilder og måleusikkerhet.....	46
8.3.3	Areal-hastighetsmetoden	46
8.3.4	Fortynningsmetoden	47
8.3.5	Volum/tid-metoden.....	48
8.4	Rapportering til NVE	48
8.4.1	NVE fører tilsyn med at pålagt minstevannføring blir oppfylt	48
8.4.2	Innsending av dokumentasjon til NVE	48
8.4.3	Informasjon til NVE	49
9	Oppsummering - arrangement NVE godkjenner.....	50
	Litteraturliste	52

Forord

Krav om slipp av minstevannføring er, i tillegg til å være et av de viktigste vilkårene i en vassdragskonsesjon, en av de sentrale lovbestemmelsene i vassdragslovgivningen.

Slipp av minstevannføring er et viktig avbøtende tiltak for vassdragsmiljøet og andre berørte interesser på en elvestrekning som får redusert vannføring som følge av et vannuttak. Formålet med et vannuttak kan være produksjon av kraft, vann til settefiskanlegg, snøproduksjon eller uttak til drikkevann.

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har ansvaret for å føre tilsyn med at pålagt minstevannføring blir overholdt. Tiltakshaver må sørge for at det er mulig for NVE å kontrollere i nåtid og ettertid at det slippes en kontinuerlig minstevannføring i henhold til vilkårene i tillatelsen.

Veilederen er ment for konsesjonærer og eiere av vassdragsanlegg som har krav om slipp av minstevannføring. Den er også ment for konsulenter som bistår med planlegging og prosjektering av nye slipp- og målearrangement.

Veilederen er utarbeidet spesielt med tanke på plan- og byggefasen. Samtidig gir veilederen råd om hvordan tiltakshaver bør følge opp arrangementet i driftsfasen slik at det fungerer i samsvar med de kravene som er satt.

Veilederen erstatter NVEs veileder 1/2012 «*Slipp og dokumentasjon av minstevannføring for små vassdragsanlegg med konsesjon*». Veilederen er utvidet til å gjelde alle vassdragsanlegg som har krav om slipp av minstevannføring.

Veilederen vil bli utgitt digitalt på NVEs hjemmesider (www.nve.no), og den vil bli revidert ved behov.

NVE har fått nyttige innspill fra konsesjonærer og konsulentfirmaer under arbeidet med veilederen. Vi takker for alle innspill.

Oslo, april 2020

Ingunn Åsgard Bendiksen
direktør

Mari Hegg Gundersen
seksjonssjef

1 Innledning

1.1 Hvorfor ny veileder?

NVE har behandlet mange detaljplaner for små vannkraftverk de siste årene og har erfart at det er behov for veiledning til de som skal planlegge og bygge nye minstevannføringsarrangement. Et arrangement består av en løsning for vannslipping (heretter kalt slipp), måling og dokumentasjon av minstevannføringen.

I tillegg behandler vi planer for eksisterende vassdragsanlegg som har fått nytt krav om slipp og dokumentasjon av minstevannføring. Det er behov for veiledning som er tilpasset slike eldre vassdragsanlegg også.

1.2 Formålet med veilederen

Hovedformålet med veilederen er å formidle god praksis for å oppfylle pålagt slipp og dokumentasjon av minstevannføring. Vurderingene i veilederen er basert på NVEs erfaringer og tilbakemeldinger fra aktørene. Vi ønsker gjennom denne veilederen å bidra til at det velges gode og driftssikre arrangement.

Formålet med veilederen er også å sikre en enhetlig praksis og en forutsigbar behandling av omsøkt løsning for slipp, måling og dokumentasjon av minstevannføring.

Ved å følge anbefalingene i denne veilederen vil tiltakshaver kunne oppfylle de pålagte kravene til minstevannføring.

1.3 Innholdet i veilederen

Denne veilederen er først og fremst rettet mot detaljplanfasen for *nye* anlegg.

Veilederen forklarer hvordan minstevannføringsarrangementet bør beskrives i en detaljplan i *kapittel 2*. Det er viktig at det brukes ressurser på planlegging og prosjektering av arrangementet for å oppnå et godt resultat. I *kapittel 3* beskriver vi de vurderingene som bør gjøres i planfasen.

Veilederen omtaler ulike løsninger for hvordan minstevannføringen kan *slippes* forbi dam eller terskel i *kapittel 4*. I *kapittel 6* beskriver vi hvordan tiltakshaver kan *måle og dokumentere* at rett vannføring er sluppet tilbake i elva.

I *kapittel 5* beskriver veilederen momenter som bør legges vekt på for inntak med krav om fiskepassasjer. Inntak med overløpsrister (coandarister) er også beskrevet i dette kapitlet.

Kapittel 7 beskriver hvordan informasjon om minstevannføringen kan formidles til allmennheten.

I *kapittel 8* beskriver veilederen hvordan minstevannføringsarrangementet bør følges opp i driftsfasen for å oppfylle krav i *forskrift om internkontroll etter vassdragslovgivningen* ([FOR 2011-10-28-1058, IK-vassdrag](#)).

I *kapittel 9* oppsummerer vi de ulike slipp-løsningene med aktuell målemetode. Vi skriver også om forutsetningene for at arrangementet kan godkjennes av NVE.

Veilederen beskriver *ikke* konsesjonsbehandling og fastsetting av konsesjonsvilkår for minstevannføring. Vurderinger av størrelsen på minstevannføringen og hvor minstevannføringen skal slippes og måles, inngår i konsesjonsbehandlingen. Denne veilederen kan *ikke* leses som en teknisk veileder for detaljprosjektering, installasjon eller teknisk drift av arrangement for minstevannføring.

1.4 Krav og retningslinjer

1.4.1 Vassdragslovgivningen

Det er vassdragslovgivningen og vedtak i medhold av denne, som setter krav til minstevannføring for det enkelte anlegget. Sentrale vedtak er konsesjonen og vedtak om godkjenning av detaljplan for miljø og landskap. Lover og forskrifter som er relevante er listet opp i litteraturlisten til slutt i dokumentet.

1.4.2 Det er tiltakshavers ansvar å oppfylle gitte krav

Med tiltakshaver mener vi konsesjonæren eller eieren av anlegget. Det er tiltakshaver som er ansvarlig for at valgt arrangement og utstyr fungerer slik at de krav om slipp og dokumentasjon av minstevannføring som er satt blir overholdt. Bruk av riktig fagkompetanse er nødvendig for å oppnå dette.

Dokumentasjon på at kravene har vært fulgt må kunne legges frem for NVE. Det er derfor nødvendig å lagre registrerte måledata.

I mange konsesjoner er det satt krav om at alt tilsig skal slippes når tilsiget er lavere enn pålagt minstevannføring. Konsesjonæren må derfor kunne dokumentere at dette kravet har vært oppfylt.

1.4.3 NVEs godkjenning av detaljplaner

I NVEs vedtak om godkjenning av detaljplan setter vi funksjonskrav til minstevannføringsarrangementet og godkjenner prinsippene for slipppløsning og målemetode. Vi setter ikke krav til valg av utstyr eller leverandør. Derfor må kalibrering, kontrollmåling og dokumentasjon på at valgte løsning er dimensjonert for å oppfylle kravene kunne legges frem for NVE på forespørsel, jf. § 6 i IK-vassdrag.

NVE har behandlet mange detaljplaner for små kraftverk de siste ti årene. Vi ser nå et behov for å være tydeligere på to forhold ved behandling og godkjenning av planer for nye minstevannføringsarrangement:

1. Minstevannføringen må slippes rett nedstrøms vannuttaket

Kravet til minstevannføring gjelder, ifølge vassdragslovgivningen, på hele elvestrekningen som har fått redusert vannføring som følge av vannuttaket. Minstevannføringen må derfor som hovedregel slippes i elva rett nedstrøms vannuttaket, dersom ikke annet går frem av konsesjonen.

2. Minstevannføringen må kunne dokumenteres

Et arrangement som tar ut minstevannføringen i et rør via inntaket med registrering av vannføringen med en gjennomstrømningsmåler (flowmåler), tilfredstiller NVEs dokumentasjonskrav, se kapittel 6.2.

For nye anlegg som planlegger å slippe minstevannføringen gjennom et tapperør, en luke eller over et overløpsprofil (utsparing) i dammen, vil NVE normalt stille krav om dokumentasjon av minstevannføringen nedstrøms punktet der minstevannføringen slippes i elva (slippstedet). Dette kan løses ved å etablere et fast måleprofil i elva, se kapittel 6.3.

1.4.4 Nye og andre løsninger kan godkjennes

NVE ønsker innovasjon og at aktørene utvikler nye metoder og teknologi. For at NVE skal godkjenne nye løsninger for slipp, måling og dokumentasjon av minstevannføring, må tiltakshaver kunne dokumentere at løsningen oppfyller kravene som er satt. Dette kan tiltakshaver for eksempel gjøre gjennom å gi en grundig beskrivelse av arrangementet i detaljplanen.

1.4.5 Retningslinjer for hydrologiske undersøkelser

NVE har utarbeidet ulike [retningslinjer](#) for hydrologiske undersøkelser.

Retningslinjene er utarbeidet for å sikre at undersøkelsene utføres etter standardiserte metoder og at målingene blir så nøyaktige som mulig.

Retningslinjer er veiledende. Ved å følge retningslinjene vil en holde seg innenfor kravet om å kunne dokumentere at pålagt minstevannføring slippes. Dersom det velges andre metoder for å kontrollere målingene enn de som er beskrevet i retningslinjene, må dette begrunnes særskilt.

Vi viser til gjeldende retningslinjer under aktuelle delkapitler i veilederen. De aktuelle retningslinjene for minstevannføringsarrangement er listet opp i litteraturlisten.

1.4.6 Andre veiledere

NVE har utarbeidet flere veiledere og faktaark som er relevante ved planlegging og oppfølging av minstevannføringsarrangement, se litteraturlisten under veiledere og våre nettsider www.nve.no.

2 Detaljplan for miljø og landskap

2.1 Planer for slipp- og dokumentasjon av minstevannføring

For anlegg med konsesjon er det vanligvis et vilkår at tiltakshaver skal sende inn en detaljplan for miljø- og landskap før byggestart. I konsesjonen er det som hovedregel bestemt at detaljplanen må inneholde en plan for slipp og dokumentasjon av minstevannføring, og at NVE skal godkjenne planen før arbeidene kan starte.

2.2 Nye anlegg

Detaljplan for miljø og landskap for nye vassdragsanlegg må beskrive hele anlegget. NVEs veileder 3/2013 beskriver hva en detaljplan for miljø og landskap bør og må inneholde, se www.nve.no.

Arrangement for minstevannføring er en viktig del av inntaket og damkonstruksjonen. For å oppnå et driftssikkert arrangement bør derfor planlegging og prosjektering skje samtidig.

Vi har utarbeidet en sjekkliste som forteller hvordan minstevannføringsarrangementet bør beskrives i en detaljplan, se tabell 1 i kapittel 2.5.

I tillatelser til vannuttak til produksjon av settefisk, snøproduksjon eller drikkevann kan det bli satt krav om måling og registrering av vannuttaket. For slike vassdragsanlegg må detaljplanen inneholde en beskrivelse av arrangementet for måling og registrering av vannuttaket. Metode og måleutstyr blir det samme som for dokumentasjon av minstevannføring.

2.3 Arrangement ved eldre anlegg

Eldre anlegg som opprinnelig ikke har hatt krav om slipp av minstevannføring, kan få dette kravet i nye konsesjonsvilkår. Det er aktuelt i forbindelse med opprustning og utvidelse av anlegget (O/U-prosjekter), ved revisjon av konsesjonsvilkår, omgjøring av konsesjon eller innkalling til konsesjonsbehandling ([figur 1](#)).



Figur 1. Denne dammen fra 1922 ble bygget om etter at det i 2017 ble satt krav om slipp av minstevannføring i fornyet konsesjon. Minstevannføringen slippes via en glideluke. Det er etablert målepunkt for måling av minstevannføringen ca. 50 meter nedstrøms dammen. Foto: NVE

Krav om etter-etablering av arrangement for minstevannføring kan bli gitt for vannkraftverk med reguleringsmagasin og for andre eldre og mindre vassdragsanlegg. For de store kraftverkene kan en løsning være å benytte eksisterende tappeløp i dammen for slipp av minstevannføring. Kravet om måling og dokumentasjon kan løses ved å etablere et arrangement for automatisk registrering av vannslippet nedenfor dammen, ved slippstedet eller ved et annet definert målepunkt.

Eieren av anlegget må sende inn en plan for slipp, måling og dokumentasjon av minstevannføring så raskt som mulig etter at ny konsesjon er gitt. Detaljplanen bør følge sjekklista i tabell 1. NVE behandler planen i eget vedtak.

2.4 Ombygging av arrangement

Hvis det etter idriftsettelsen av anlegget viser seg at minstevannførringsarrangementet ikke oppfyller de kravene som er satt, kan det i noen tilfeller være nødvendig med ombygging. For eksempel dersom slipparrangementet er bygget med for liten kapasitet eller det viser seg å være driftsutfordringer om vinteren ([figur 2](#)).

Ved behov for ombygging av arrangementet, må anleggseier sende inn en plan for et nytt arrangement som NVE skal godkjenne.



Figur 2. Bildet viser nytt slipparrangement ved Kaldfjorddammen etter ombygging av tappeluke til minstevannføringsrør. Røret er nedstøpt av hensyn til folk som vil krysse elveløpet nedstrøms dammen. Foto: GLB

2.5 Arrangement og fiskepassasje

I flere vassdragskonsesjoner er det satt krav om tiltak for å sikre gode opp- og nedvandringsforhold for fisk forbi dam eller terskel. Ved slike anlegg er det nødvendig å se løsningen for slipp og måling av minstevannføring i sammenheng med fiskevandringstiltakene. Vi har beskrevet ulike momenter som bør vektlegges for å oppnå gode løsninger i kapittel 5.1.

Utforming av arrangement for minstevannføring og fiskepassasjer må planlegges og avklares i forbindelse med detaljplanbehandlingen. Det er viktig at arrangementet for slipp og måling av minstevannføring ikke blir et vandringshinder for fisk.

2.6 Sjekkliste for detaljplan

Tabell 1 viser hva NVE mener bør beskrives i planen for at den skal kunne godkjennes av NVE. En grundig beskrivelse i planen er et godt utgangspunkt for en effektiv saksbehandling i NVE. Tabellen er ikke uttømmende.

Tabell 1. Beskrivelse av slipp og målemetode i detaljplanen for miljø og landskap

Tema	Innholdet i detaljplanen
Slipp- og målemetode	• beskrivelse av hvordan minstevannføringen skal tas ut og slippes tilbake i elva • beskrivelse av metoden for måling av vannføring • beskrivelse av hydrauliske forhold og tiltak mot tilstopping av drivgods/is • beskrivelse av metode for <i>regulering</i> av vannføringen. Dette gjelder anlegg der det er satt vilkår om sesongbasert minstevannføring • beskrivelse av hvordan tilsiget skal slippes forbi inntaket når kraftverket eller andre typer vassdragsanlegg som henter vann fra vassdraget ikke er i drift Dersom valgt arrangementet avviker fra det NVE anbefaler, må valget begrunnes godt.
Fiskepassasje	Beskrivelse av løsning for opp- og/eller nedvandring av fisk. Dette gjelder anlegg som har krav om dette i konsesjonen
Datalagring og signaloverføring	Beskrivelse av hvordan data skal lagres og hvordan data skal kunne overføres fra målested til driftssentral/system. Behovet for back-up må omtales
Plan for kontrollmåling	Beskrivelse av hvordan kontrollmålinger av minstevannføringen skal gjennomføres når anlegget er satt i drift
Visning for publikum	Beskrivelse av hvordan allmennheten og NVE skal kunne kontrollere vannslippet på stedet
Opplysningsskilt	Utkast til opplysningsskilt og beskrivelse av hvor skiltet blir plassert
Tekniske tegninger	Tegninger av inntaket med minstevannføringsarrangementet som illustrerer valgt løsning og plasseringen i inntaket, dammen eller terskelen
Oppfølging i driftsfasen	Planer for oppfølging og kontroll av arrangementet. For arrangement som skal etableres med vanskelig atkomst og utfordrende klimatiske forhold, må det vurderes nøye hvordan tilsyn og kontroll skal kunne gjennomføres.

3 Vurderinger i planfasen

3.1 Betydning for valg av arrangement

Når nytt arrangement for minstevannføring er under planlegging, må tiltakshaver vurdere hvilken løsning som er best egnet for sitt anlegg og som vil kunne oppfylle de kravene som er satt.

Dette er momenter som bør vurderes ved valg av løsning for slipp av minstevannføring:

- Hydrologi, klima og fysiske forhold
- Størrelsen på kravet til minstevannføring
- Sesongkrav og tilsigsstyrt minstevannføring
- Driftsikkerhet og tilgjengelighet

3.2 Hydrologi, klima og fysiske forhold

Forhold som bør tas hensyn til i planleggingen er:

- **Forventede klimaendringer**
 - Vi viser til de fylkesvise klimaprofilene på sidene til Norsk klimaservice (klimaservicesenter.no).
- **Fysiske forhold**
 - tilfang av drivgods, sedimenter, massetransport, islegging og isgang, sarr og bunnis
- **Hydrologiske og hydrauliske forhold**
 - vannhastighet- og retning ved inntaket, turbulens, virvler, oppstuvning nedstrøms inntaket og flom
- **Naturgitte forhold**
 - nedbør, vind, minimum og maksimum temperaturer
- **Topografi og landskap**
 - skredfare, avstand fra vei og adkomst til inntaket i driftsfasen

3.3 Størrelsen på minstevannføringen

Størrelsen på minstevannføringen har betydning for hvilken slippløsning som er best egnet ved det enkelte anlegg. Et rørarrangement er mye brukt for minstevannføringskrav opp til anslagsvis 1 - 2 m³/s. For slippkrav over 1 - 2 m³/s er det vanlig med vannslipp gjennom tappeluker og eventuelt større rør eller utsparing i dammen.

3.4 Sesongkrav

I vassdragskonsesjoner er det ofte satt to sesongbaserte minstevannføringskrav, en sommer- og en vintervannføring, for å ta hensyn til naturlige vannføringsvariasjoner. Det kan også være satt flere ulike slippkrav innenfor samme sesong for å legge til rette for fiskevandring. I noen manøvreringsreglement er det satt krav om tilsigsstyrt minstevannføring.

Slippløsningen som velges må enkelt kunne veksle mellom de ulike pålagte sesongkravene. Vannslipp gjennom rør og justering av vannmengden med blende på utløpsrøret er en vanlig løsning (figur 3).

Ved anlegg der det er stor forskjell mellom pålagt minstevannføring om sommeren og vinteren, kan en slippløsning som består av to rør være en mulighet. Det ene røret stenges når slippkravet er på laveste nivå. En annen mulighet er å kombinere slipp via rør i tillegg til slipp gjennom luke når kravet til vannslipp er på sitt høyeste.



Figur 3. Minstevannføringskravet for dette kraftverket er 760 l/s om sommeren og 100 l/s om vinteren. Vannføringen justeres med en blende. Foto: NVE

3.5 Driftssikkerhet og tilgjengelighet

Bekkeinntak og inntak til kraftverk som etableres med vanskelig adkomst, kan by på utfordringer både når det gjelder driftssikkerhet og mulighet for inspeksjon og kontroll (figur 4). For slike inntak må det velges et robust minstevannføringsarrangement som fungerer selv om tilsynshyppigheten i perioder blir lav.



Figur 4. Ved dette anlegget ligger inntaket i en fjellkløft, og adkomsten er utfordrende. Kravet til minstevannføring er 75 l/s om sommeren og 5 l/s om vinteren. Vannføringen reguleres med en fjernstyrt blende. Foto: Småkraft

4 Ulike slippløsninger

4.1 Innledning

Løsninger for slipp av minstevannføring varierer fra et enkelt rør ført gjennom dammen til vannslipp gjennom store tappeluker.

Nedenfor beskriver vi de ulike slippløsningene og deler de driftserfaringene vi kjenner til.

De ulike slippløsningene vi beskriver er:

- rør via inntaket
- rør gjennom dam
- luker
- utsparing i dam

Minstevannføringsarrangement ved inntak med krav om fiskevandringssløsninger og løsninger ved inntak med fallrister (coandarister) blir beskrevet i kapittel 5.

I kapittel 9 oppsummerer vi de ulike slippløsningene med aktuell målemetode og beskriver forutsetningene for at arrangementet kan godkjennes av NVE.

4.2 Rør via inntaket

Mange vannkraftverk tar ut minstevannføringen via et rør etter inntaksrista. Røret føres via et våtkammer til et tørrkammer, der måleutstyret er etablert, før minstevannføringen slippes ut i elva nedstrøms inntaksdammen ([figur 5](#)).

Mange melder om gode driftserfaringer med denne løsningen, og dette er derfor en løsning NVE anbefaler.



Figur 5. Bildet viser slipp av minstevannføring på 30 l/s gjennom rør via inntaket. Foto: NVE

En av fordelene ved denne løsningen er at elektronisk måleutstyr, ventiler og lagrings- og kommunikasjonsutstyr kan stå tørt og frostfritt. Løsningen gir ofte god høyde mellom overvannsnivå og rørets utløp, noe som gjør at vannføringen er mindre følsom for vannstandsvariasjoner (figur 5). Det er videre god mulighet for regulering av vannføringen i et rør. Dessuten vil et vannuttak etter inntaksrista få god beskyttelse mot tilstopping av røret, noe som letter driftstilsynet og gjør det enklere å oppfylle kravet til minstevannføring.

Se mer om aktuelle målemetoder på rør i kapittel 6.2.

4.2.1 Ventilregulering

Ventiler benyttes for regulering av vannmengde ved variasjon i slippkravet over året (*reguleringsventil*) eller som start- og stoppfunksjon i røret (*revisjonsventil*).

Reguleringsventil

Reguleringsventiler er enten manuelle eller motordrevne. De motordrevne er enten automatisk styrt av vannivået i inntaksmagasinet eller styrt av registrert vannmengde i røret. Motordrevne reguleringsventiler kan styres fra driftssentral. Manuelt styrte ventiler kan egne seg der det er liten variasjon i vannføringen og magasin vannstanden gjennom året, og på steder som har enkel atkomst hele året. Ventiltyper som brukes på rør er sluseventiler, spjeldventiler, kuleventiler eller skyvespjeldventiler.

Ved installasjon av alle typer ventiler, er det viktig at spesifikasjonene fra leverandøren følges. Dette gjelder blant annet krav om rettstrekning på rør, fylt vannrør og laminær vannstrøm.

Revisjonsventil

Det er anbefalt å etablere en revisjonsventil eller serviceventil som kan stoppe vannstrømmen i røret foran måleutstyret. Ventilen er nyttig når det er behov for å gjøre justeringer på eller bytte vannmålingsutstyret eller utføre annet vedlikehold.

Revisjonsventilen må stå i helt åpen stilling under tapping av minstevannføring, for å ikke skape kontraksjon og for å unngå singulærtap i røret.

4.3 Rør gjennom dam

Ved en del eldre anlegg er det etablert et enkelt tapperør direkte gjennom dammen for slipp av minstevannføring ([figur 6](#)).

Det er en forutsetning at tapperøret plasseres under laveste driftsvannstand eller laveste regulerende vannstand i magasinet, for å kunne oppfylle pålagt minstevannføring ved alle driftsforhold.

Generelle råd for utforming er videre:

- Røret bør dimensjoneres med god margin selv ved LRV.
- Røret må ha tilstrekkelig rørdiameter og trykkhøyde for å unngå virvler og luftinnsug. Større vannhastighet fører gjerne til ytterligere problemer.
- Røret bør dykkes tilstrekkelig for å redusere problemer med is og tilstopping.
- Røret bør ikke kombineres med et bunnløp grunnet fare for blokkering med sedimenter, og vanskelig tilgang for kontroll og rensking.

Dokumentasjon av minstevannføringen ved slike enkle arrangement, har ofte vært basert på registrering av vannstanden i inntaksmagasinet og teoretisk beregning av vannføring (indirekte måling). Vann i røret kan avvike fra teoretisk beregnet eller målt rørkapasitet. NVE mener derfor at det ikke er tilstrekkelig å vise til teoretiske beregninger som dokumentasjon på at kravet til minstevannføring er eller har vært oppfylt.



Figur 6. Bildet viser slipp av minstevannføring via et tapperør gjennom damkonstruksjonen. Pålagt minstevannføring var 50 l/s da bildet ble tatt. Minstevannføringen registreres i et V-profil litt lengre nede i elva. Foto: NVE

Vi viser til kapittel 9 som forteller hvilke forutsetninger som må være oppfylt for at NVE skal godkjenne bruk av rør gjennom dam.

4.4 Luker

Ved større minstevannføringslipp, typisk over 1- 2 m³/s, kan slipp via luke i dammen være en aktuell løsning ([figur 7](#)).

Ved bruk av eksisterende tappeluken i dammen, er det viktig å sikre at den fungerer etter hensikten og formålet. Videre bør det tas hensyn til dammens beliggenhet, atkomst til luka og klimatiske forhold. Tappelukene kan være styrt etter målt vannstand i magasinet eller vannstand nedstrøms dammen. Begge metoder krever tilgang på strøm.

Ved måling av vannstand nedstrøms dammen er lukereguleringen og måling av vannføringen adskilt. NVE anbefaler å bruke denne metoden på de stedene det er mulig.

For luker som driftes automatisk må man ha utstyr som sikrer drift ved strømutfall slik at kravet til minstevannføring oppfylles. Luker kan være utfordrende å drifte ved strenge vinterforhold. Interne tilsynsrutiner må derfor ta hensyn til dette.

Luker som benyttes til slipp av minstevannføring:

- *Sektorluke og klappeluke* er eksempler på overløpsluker som senkes ved åpning slik at vannet renner over luka. Drivgods kan ledes over luketerskelen, men det kan likevel oppstå midlertidig tilstopping.
- *Segmentluke og glideluker* er eksempler på underløpsluker som fungerer ved at luka heves slik at vannet renner under luka ved tapping. Stort drivgods (for eksempel trær) kan kile seg fast i lukeåpningen.



Figur 7. Fra denne dammen slippes minstevannføringen, på 100 l/s sommer og 50 l/s resten av året, fra en luke. Vannføringen registreres i et V-profil nedstrøms dammen. Foto: NVE

Vi viser til kapittel 9 som forteller hvilke forutsetninger som må være oppfylt for at NVE skal godkjenne arrangement med slipp gjennom luker.

4.5 Utsparing i overløpsterskel i dam

Utsparing i et overløpsprofil i dammen, for slipp av minstevannføring, brukes ved noen anlegg. Løsningen egner seg best for større slippkrav, over 1 m³/s. NVE har vært restriktiv med å godkjenne denne slippløsningen på grunn av problemer med tilstopping og ising i profilet. Løsningen kan imidlertid godkjennes når det er gode grunner til å velge et slikt arrangement. I kapittel 9 beskriver vi de forutsetninger som må være oppfylt for at NVE skal godkjenne bruk av utsparing i dam for slipp av minstevannføring.

Det kan benyttes flere typer overløpsprofiler ([figur 8](#)). Det er en fordel å benytte standard utforming slik at teoretiske formler kan benyttes for beregning av profilets kapasitet og størrelse.

Ved bruk av utsparing må det sikres at kravet til vannslipp er overholdt ved laveste driftsvannstand i inntaksmagasinet.



Figur 8. Bildet viser en terskel med to ulike rektangulære profil. Det laveste profilet skal dokumentere minstevannføring på 60 l/s, og det øverste profilet en minstevannføring på 600 l/s. Foto: NVE

Den største driftsmessige utfordringen med en utsparing i dam er at kapasiteten til profilet varierer med vannstanden i inntaksmagasinet. Utfordringen blir derfor å holde en så stabil vannstand som mulig. På grunn av magasinarealet og forsinkelser i turbinregulatorsystemet, vil det være vanskelig å holde vannstanden helt konstant. Når vannføringen i vassdraget er økende, vil vannstanden ligge litt over innstilt verdi. Mens vannstanden vil ligge litt under innstilt verdi når vannføringen er avtagende.

En forholdsvis høy og smal utsparing vil gjerne være mindre følsom for vannstandsendringer sammenliknet med en lav og bred utsparing med samme kapasitet. Av samme årsak vil en gitt usikkerhet i vannstandsmålingen kunne gi mer usikker vannføring i den lave og brede utsparingen.

5 Spesielle inntak

5.1 Innledning

NVE behandler flere detaljplaner med inntak og dammer som må ta hensyn til viktige allmenne interesser i vassdraget i tillegg til å oppfylle krav til minstevannføring (for eksempel anadrom fisk eller landskapsverdier). Vi har valgt å omtale inntak med krav om fiskepassasjer og inntak med overløpsrister (coandarister) spesielt.

5.2 Inntak med fiskepassasjer

I enkelte vassdragskonsesjoner er det satt krav om tiltak for å sikre gode vandringsløsninger for fisk etter utbyggingen. Slike tiltak vil være førende for utforming av inntaksdammen, og for valg av løsning for slipp og måling av minstevannføring. Hensynet til vandringsløsning legger derfor premisser for valg av løsning for slipp og registrering av minstevannføring.

Det er viktig at fiskepassasjer og løsning for slipp og måling av minstevannføring tilpasses forholdene ved det enkelte anlegg. For å oppnå effektive vandringsløsninger anbefaler NVE at minstevannføringen slippes i fiskepassasjene, så lenge ikke minstevannføringen også skal ivareta andre forhold enn fiskevandring. Det er også avgjørende at fiskepassasjene fungerer uavhengig av vannstanden oppstrøms dam.

[Figur 9](#) og [figur 10](#) illustrerer hvordan et inntak til et kraftverk og utforming av dammen kan løses for å sikre opp- og nedvandring for fisk.

5.2.1 Oppvandring

Av hensyn til oppvandrende fisk er det nødvendig at en tilstrekkelig del av minstevannføringen renner i oppvandringspassasjen.

Følgende momenter bør alltid vektlegges for å oppnå en god løsning for oppvandring av fisk forbi et inntak og dam:

- Fiskepassasjen bør plasseres slik at man reduserer risikoen for at oppvandrende fisk suges inn i kraftverket.
- Minstevannføringen som slippes i fiskepassasjen bør kunne reguleres og tilpasses behovet for vann i fiskepassasjen.
- Arrangementet for måling av minstevannføringen må ikke bli et vandringshinder eller bidra til å forsinke fiskeoppvandringen.
- Inngangen til fiskepassasjen bør være slik at den starter enten i nærheten av utløpet fra kraftverket eller der fisk naturlig samler seg under oppvandring.
- Det kan bli behov for tilførsel av ekstra lokkevann i nedre del av fiskepassasjen. Dette kan oppnås ved å etablere et rør som sørger for ekstra slipp av vann.

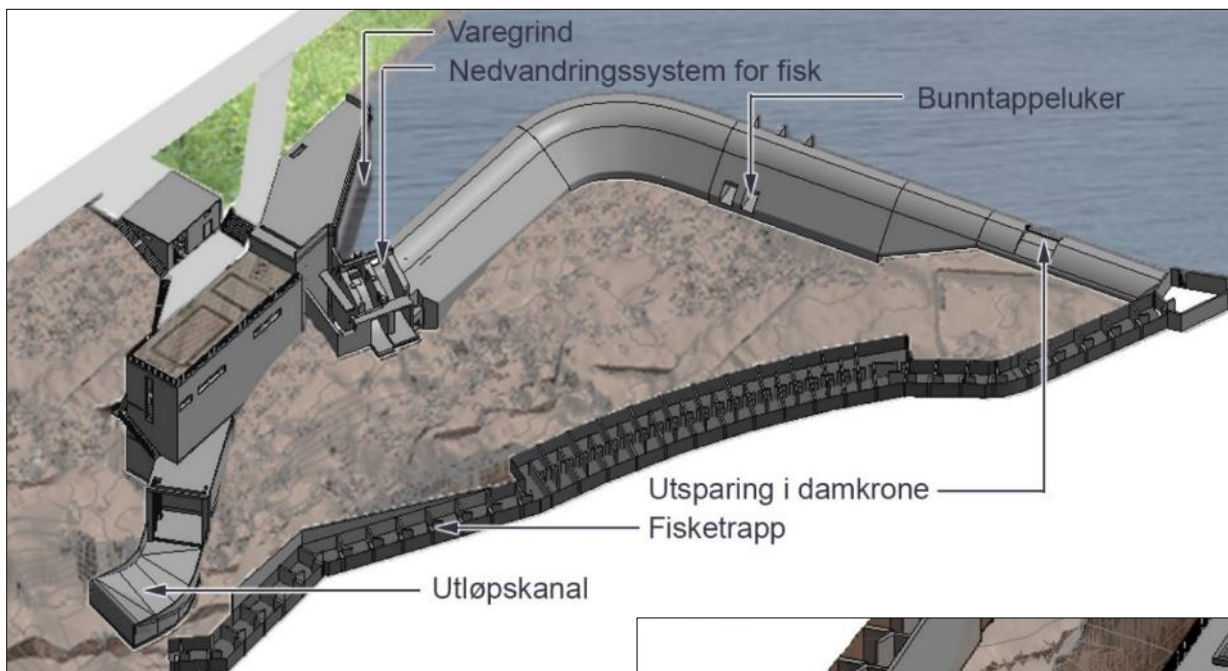
5.2.2 Nedvandring

Av hensyn til nedvandrende fisk er det nødvendig at en tilstrekkelig del av minstevannføringen renner i nedvandringspassasjen.

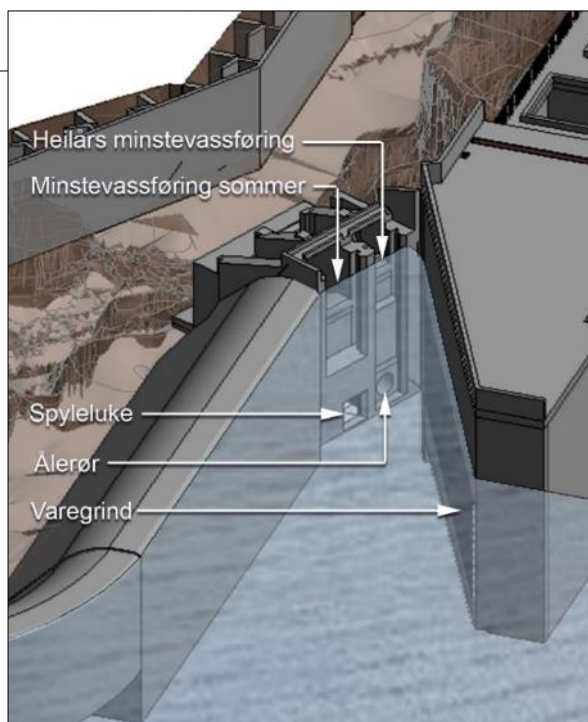
Disse momentene bør alltid vektlegges for å oppnå en god løsning for nedvandring av fisk forbi et inntak og dam:

- Inngangen til fiskepassasjen bør ligge så nær inntaksrista som mulig, fordi fisken følger hovedstrømmen ved utvandring.
- Inngangen til fiskepassasjen må ha en viss bredde og dybde. Dybde prioriteres foran bredde.
- Vannhastigheten ved inngangen til fiskepassasjen bør være attraktiv for fisk, og kan med fordel økes nedover i passasjen.
- Unngå kanter og utstyr i fiskepassasjen som kan skade fisk.
- Utløpet av fiskepassasjen bør plasseres slik at det sikrer overlevelse for fisken, for eksempel vurdering av fritt fall, predasjon og kulpens dyp.

NVE anbefaler at fiskepassasjen er i drift hele året. Det vil være avgjørende for resultatet at fiskepassasjen og minstevannførringsarrangementet utformes av fagpersoner med kompetanse innen hydraulikk og fiskevandring.



Figur 9. Figuren viser plantegning av inntaket, dam og nytt Palmafossen kraftverk i Voss med tilhørende fiskepassasjer. Fisketrappen utformes som en spaltetrapp som skal sørge for effektiv passasje for oppvandrende laksefisk. Legg merke til plassering av innhopp og uthopp av spaltetrappen.



Figur 10. Figuren viser utsnitt av inntaket sett oppstrøms. Varegrinda fungerer som en fysisk barriere og leder utvandrende fisk mot et fleksibelt nedvandringssystem. Minstevannføringen slippes i overflaten over justerbare luker og langs bunnen i et ålerør.

Illustrasjon: Multiconsult på vegne av Voss Energi

5.3 Inntak med overløpsrister (coandarister)

Inntak med overløpsrister, som coanda- eller tyrolerrister, kan være en god løsning i vassdrag der det er stor transport av løsmasser, is og drivgods. Vi velger her å kalle ristene for coandarister. Slike inntak er i tillegg skånsomme for nedvandrende fisk og andre vannlevende organismer.

Høy overlevelse av fisk over coandaristene har imidlertid ingen hensikt dersom elva er tørrlagt rett på nedsiden av inntaket. Minstevannføringen må derfor slippes ut i elva over coandaterskelen eller rett nedstrøms denne for å unngå tørrlegging. I tillegg bør det etableres en kulp og et kontinuerlig vanndekket areal som sørger for at fisken kommer seg nedover vassdraget ([figur 11](#)).

Det kan være satt krav om inntak med coandarister eller tilsvarende i vassdragskonsesjonen. NVE vil se til at detaljplanen ivaretar de hensyn som er vektlagt i konsesjonsbehandlingen.



Figur 11. Illustrasjonen viser et inntak med coandarister. Minstevannføringen slippes via et rør ut i en kulp nedstrøms coandaterskelen. Vannkulp med en utsparring i terskelen skal sikre et vanndekket areal nedenfor inntaket. Illustrasjon: Sweco AS/ Brødrene Dahl AS

5.3.1 Hvilke minstevannføringsarrangement egner seg?

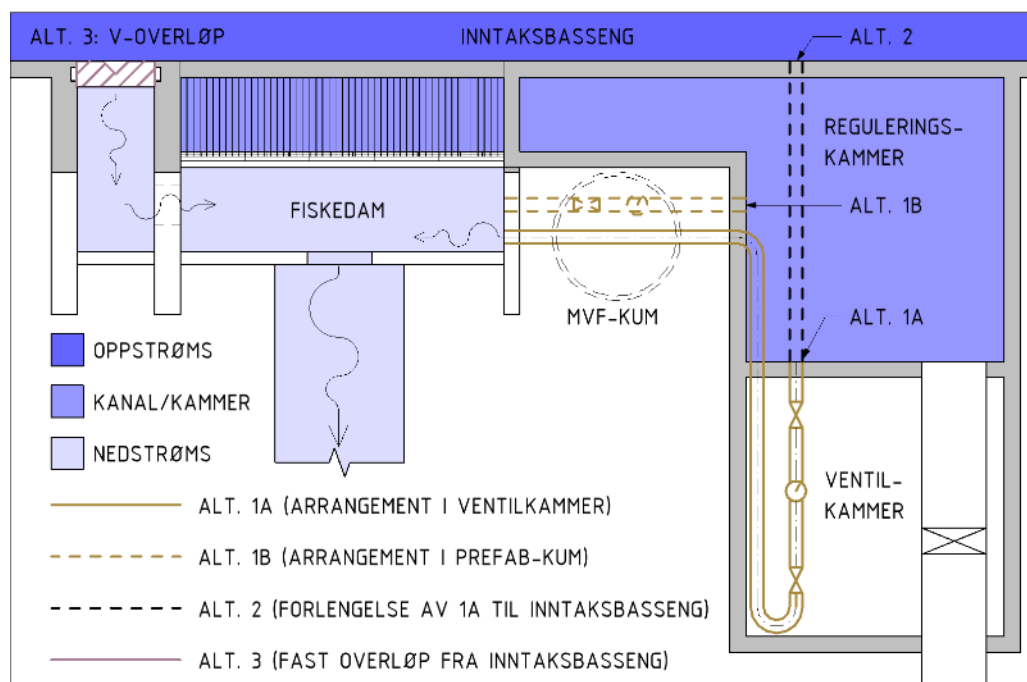
Det har vist seg å være utfordrende å finne optimale arrangement for minstevannføring ved inntak med coandarister. Liten høydeforskjell mellom vannivået i inntaksbassenget eller inntakskanalen og nivået i elven nedstrøms, gir liten fallhøyde. Det er vanskelig å slippe minstevannføringen tilbake i elva igjen rett nedstrøms damfoten fordi slipp og målearrangementet kan kreve mer plass. Vannslippet i elva har derfor ved flere arrangement endt opp flere meter nedstrøms dammen, noe som er uheldig.

Videre har flere sett det som en fordel å ta ut minstevannføringen i kanalen under ristene der vannet er renset. Her får vannet imidlertid mye luftinnblanding og luftbobler som kan gjøre en ellers anbefalt målemetode ved bruk av strømningsmåler på rør vanskelig.

NVE kjenner til, og har innhentet erfaringer fra, disse typene arrangement:

- rør via lukehus der minstevannføringen tas ut oppstrøms coandainntaket
- rørføring fra samlelummen
- utsparring mellom ristene eller blanding av noen rister

Sweco AS og Brødrene Dahl AS har jobbet med flere prosjekter som har inntak med coandarister og har vurdert mulige løsninger for slipp av minstevannføring fra slike inntak. I figur 12 har de sammenstilt hvilke løsninger som de mener er egnet.



Figur 12. Figuren viser ulike løsninger for slipp og måling av minstevannføring ved et inntak med coandarister. Illustrasjon: Sweco AS og Brødrene Dahl AS

De opererer med disse løsningene:

- slipp med inntak i reguleringskammer
 - o kan egne seg for små til mellomstore vannslipp (0-500 l/s)
- slipp med inntak i inntaksbasseng
 - o kan egne seg for mellomstore til store slipp (mer enn 200 l/s)
- slipp gjennom fast konstruksjoner
 - o kan egne seg for små slipp (0-50 l/s)

I tillegg finnes en fjerde løsning som testes ut ved Dyrkorn kraftverk, se [figur 13](#).



Figur 13. Bildet viser et inntak med coandarister og lukehus. Minstevannføringen på 50 l/s slippes over en blende på ristene, i høyre del av coandaterskelen. Metoden er under testing. Foto: Tafjord Kraft AS

Det er fordeler og ulemper ved alle de nevnte løsningene. Hvilken løsning som egner seg må derfor vurderes fra prosjekt til prosjekt.

5.3.2 Ønske om utvikling av gode løsninger

NVE ønsker at bransjen jobber videre med å utvikle gode løsninger for slipp og dokumentasjon av minstevannføring ved inntak med coandarister. NVE ønsker på sin side å hente inn driftserfaringer som finnes for slike inntak og har derfor satt i gang et FOU-prosjekt som skal samle disse erfaringene. Resultatene av undersøkelsen vil bli publisert i en egen rapport som blir tilgjengelig på våre nettsider.

6 Måling og dokumentasjon av minstevannføring

6.1 Hovedprinsipper for måling av vannføring

Veilederen omtaler måling av minstevannføring etter to hovedprinsipper:

- **Måling av vannføring i rør**
Elektroniske gjennomstrømningsmålere (vannføringsmålere) er tilgjengelig for ulike rørdimensjoner anslagsvis DN15 - DN2000.
- **Måling av vannstand**
Vannstand måles i inntaksmagasin eller i stabile profil, enten kunstig eller naturlig nedstrøms dammen. Vannføringen beregnes ut fra en vannføringskurve.

Utstyr for å måle og dokumentere minstevannføring er avhengig av strøm for registrering, lagring og overføring av registrerte måledata. Dersom anlegget ligger i et område uten tilgang til strømnettet, kan solcelle og batteri gi tilfredsstillende strømforsyning for utstyret.

NVEs [retningslinjer](#) for registrering av minstevannføring legger blant annet disse føringene for å oppnå tilstrekkelig dokumentasjon:

- Minstevannføringen registreres minimum en gang per time.
- Data må lagres og oppbevares på en sikker måte for senere dokumentasjon.
- Måledata fra anleggets levetid kan legges frem for NVE.

Ved å følge disse retningslinjene vil en holde seg innenfor kravet om å dokumentere at pålagt minstevannføring slippes. Dersom det velges andre metoder for å kontrollere målingene enn de som er beskrevet i retningslinjene, må dette begrunnes særskilt.

Vi viser til kapittel 9 som gir en oppsummering av de ulike løsningene for slipp og dokumentasjon av minstevannføring veilederen omtaler og forutsetninger for at arrangementet kan godkjennes av NVE.

6.2 Måling av vannføring i rør

6.2.1 Vannføringsmålere

Der minstevannføringen tas ut via inntakshus eller en nedgravd beskyttet målekum, er måling av vannføringen i rør den målemetoden vi anbefaler. Vår erfaring er at løsningen er driftssikker og har mindre behov for oppfølging i driftsfasen sammenlignet med andre målemetoder.

Vannføringen i rør kan måles direkte ved bruk av sensorer montert *på* eller *i* røret. Måleprinsippet er basert på beregning av vannføringen som en funksjon av rørtverrsnitt og vannhastighet i røret.

I tillegg til at måleutstyret måler vannføringen og beregner og viser sanntidsdata, kan data lagres fortløpende i enheten og sendes videre til driftssystemet via signalkabel eller en mobilløsning.

Følgende måleutstyr er for måling av vannføring i rør (lista er ikke uttømmende):

- Elektromagnetisk måler
- Ultralydsensor
- Måleblende eller måledyse
- Akustisk dopplersensor, ADP

Elektromagnetisk måler

Denne måleren er ofte innebygget i en egen rørdel som kobles inn på røret med flenser i begge ender ([figur 14](#)). Måleren krever fylt rør og måler vannhastigheten i røret etter induksjonsprinsippet. Denne målertypen er mye brukt i dag. Erfaringene med elektromagnetiske målere er gode gitt riktig installasjon og vedlikehold.

Faktorer som påvirker målenøyaktigheten er installasjon av utstyret, dimensjonering i forhold til strømningshastighet og eventuelle belegg i røret.

Metoden krever at vannet har en viss ledningsevne (saltinnhold) og hastighet. Dette vil være spesifisert fra leverandøren. Noen vassdrag har rent vann med lav ledningsevne, typisk i vestlandsvassdrag. Elektromagnetisk måler kan da være uegnet.



Figur 14. Bildet viser et minstevannføringsrør etablert med revisjonsventil til venstre, elektromagnetisk vannføringsmåler montert i en egen rørdel (hvit) og reguleringsventil for regulering av vannmengde til høyre i bildet. Foto: NVE

Ultralydsensor

Disse sensorene kan være montert utenpå røret eller i en egen rørdel som kobles inn på røret med flenser. Det kreves to sensorer, en sender og en mottaker med en viss avstand mellom. Måleutstyret krever fylt rør, og at det er god avstand til bend før og etter sensorene. Installasjon av sensorene må følge leverandørens spesifikasjoner. Dette gjelder spesielt sensorenes plassering i forhold til rett-strekk på rør og avstand til bend, kontraksjoner og ventiler.

Ultralydsensorer som plasseres på utsiden av røret krever en type kontaktgele mellom sensor og rør for å få god akustisk kontakt med vannet i røret. Dersom sensorene blir dykket jevnlig, vil dette kontaktmaterialet vaskes ut, og sensoren vil fungere dårlig. Det er også slik at over tid vil kontaktgeleen tørke ut. Det kan derfor være nødvendig å kontrollere kontaktmaterialets kvalitet jevnlig (årlig).

Måleblende

Måleblende eller måledyse består av en blende montert på røret og to trykksensorer som måler trykkforskjellen før og etter blenden. Den registrerte trykkforskjellen før og etter måleblenden gir et mål på vanngjennomstrømningen. Måleutstyret må etableres frostfritt og være koblet til en registreringsenhet. En måleblende trenger kalibrering etter montering.

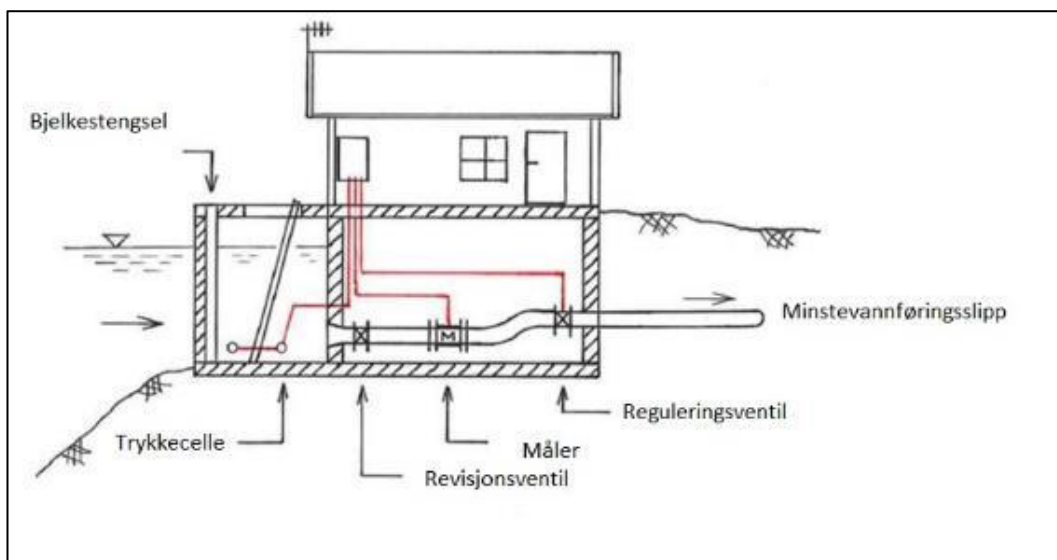
Akustisk dopplersensor, ADP

Sensorenheten plasseres ved denne metoden på bunn i et målerør eller kanal og måler vannføringen basert på akustisk refleksjon av partikler og luftbobler i vannmassene. Sensoren måler vannivået i røret eller kanalen og beregner vannføringen basert på kjent geometri og hastighetsfordelingen i røret eller kanalens tverrsnitt. Sensoren krever ikke vannfylt rør, men sensoren bør bare benyttes i rør over en viss diameter. Metodikken har stor nøyaktighet, men den er noe mer kostbar enn enklere løsninger.

Etablering av måleutstyr

Vannføringsmålere er ømfintlige for luft. For å unngå feilmålinger anbefales det blant annet å:

- Plassere reguleringsventilen nedstrøms vannmåleren
- Få lufting på nedstrøms side for å unngå pulseringer
- Løfte eller bøye røret opp for å oppnå vannfylt rør gjennom måler tilsvarende rørdiameteren og deretter bøye røret tilbake (kalt svane Hals, se figur 15) vannrett før reguleringsventil
- Montere et drenshull i bunnen av røret mellom ventil og svane Hals



Figur 15. Minstevannføringen tas ut i rør etter varegrind, via ventilrommet og tilbake i elva. Røret er etablert med svane Hals mellom måler og reguleringsventil. Illustrasjon: NVE

Det er gode erfaringer med å føre røret horisontalt ut fra vannmåleren. Dette gir røret tilstrekkelig mottrykk i de fleste tilfeller. Unntaket er ved vintervannføring og der det er stor forskjell på kravet til minstevannføring i sommer- og vintersesongen.

6.3 Beregning av vannføring basert på måling av vannstand

6.3.1 Vannstandsmålinger

Vannføring kan beregnes teoretisk ved hjelp av måling av vannstand. På stedet der det skal utføres vannføringsmåling må det etableres en vannføringskurve. Denne må gi en entydig sammenheng mellom vannstand og vannføring på målestedet.

Målemetoden er aktuell ved slipp av minstevannføring via en rørgjennomføring i dammen, slipp fra luker eller utsparing i dammen. NVE stiller normalt krav om at det må etableres et målested eller annen kontroll nedstrøms stedet der minstevannføringen slippes i elva for slike arrangement, for eksempel et *fast måleprofil*.

Et fast måleprofil kan enten være:

- naturlig profil i elv eller
- kunstig profil, som V-profil

I måleprofilet kan minstevannføringen måles og registreres ved hjelp av en målesensor. En får dermed en kontroll på at man slipper en minstevannføring som er i henhold til kravet i konsesjonen. Vannstanden måles og registreres elektronisk med intervall normalt på minst en gang per time.

ISO-standarden for gitt måleprofil (se litteraturliste) angir minimum avstand for plassering av målesensor oppstrøms bestemmende profil.

For at tiltakshaver skal ha kontroll på at slipparrangementet har tilstrekkelig kapasitet og kunne dokumentere dette i ettertid, må det gjennomføres kontrollmåling for å verifisere den teoretiske kurven når anlegget settes i drift. Se kapittel 8.2 om kontrollmålinger.

I noen tilfeller er det aktuelt å etablere målepunkt på en elvestrekning som har fiskevandring. Da må tiltakshaver sørge for at etablering av målepunktet ikke blir et vandringshinder.

6.3.2 Driftsutfordringer ved is og sedimenter

Måleprofiler, og da særlig kunstige måleprofil vil kunne påvirkes av is og sedimenter. Opphoping av sedimenter på både oppstrøms- og nedstrøms side av profilet kan være en utfordring spesielt ved kunstige profiler.

Erfaringsmessig vil beregnet vannføring i et kunstig profil gi feil vannstand når vannet fryser. Naturlige profil kan også bli påvirket av is, men er ikke like utsatt for dette som et kunstig profil. Der det er stabile vinterforhold og snø, vil vannet i profilet etter hvert føre til at isen under snølaget tiner og forholdet mellom vannstand og vannføring blir igjen riktig. Ved varierende værforhold med mye frysing og tining vil det være lange perioder hvor et profil gir feil vannstand. For å unngå feilmålinger på grunn av is kan det derfor gjøres tiltak for å hindre gjenfrysing, slik som å bygge inn profilet (typisk V-profil) med tak eller i en nedgravd målekum.

Oppfølging og kontroll med arrangementet i driftsfasen, og spesielt ved utfordrende driftsforhold, må inngå i internkontrollsystemet for anlegget (kapittel 8.2).

6.3.3 Vannføringsmåling i naturlig elveprofil

Vannføringsmåling i naturlig elveprofil er den vanligste målemetoden for registrering av minstevannføring ved vannkraftverk med store minstevannføringslipp ($> 1 \text{ m}^3/\text{s}$) ([figur 16](#)).

Det må være en entydig og stabil sammenheng mellom vannstand og vannføring på målestedet. En kulp med fjellprofil i utløpet vil være et typisk egnet målested. Det anbefales å bruke erfarne fagpersoner for vurdering av egnet plassering, og utarbeiding av vannføringskurve.

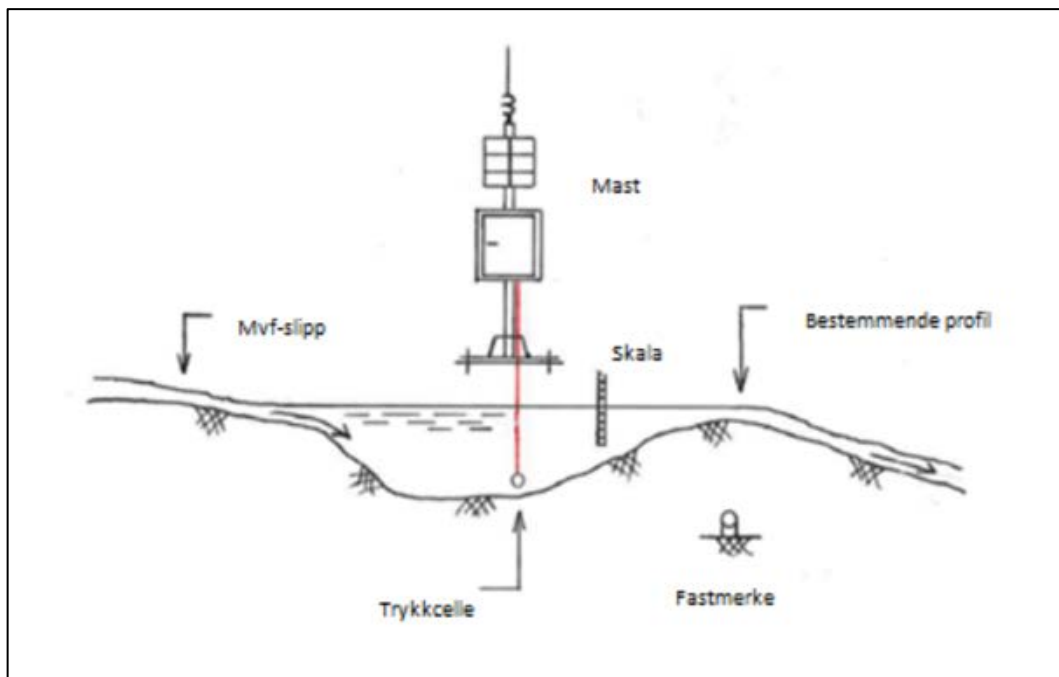
De viktigste kriterier for valg av målested i naturlige elveløp er at:

- bestemmende profil er stabilt og ikke endrer seg ved isgang eller flom
- det er god vannstandsoppløsning i det bestemmende profilet

I grunne brede elver vil selv små endringer i vannstand gi et stort utslag i vannføring. Det stiller derfor høyere krav til nøyaktighet i vannstandsmålingene i slike tilfeller.

Skjer det endringer i det bestemmende profilet, må ny vannføringskurve etableres. Is, opphoping av sedimenter og fysiske inngrep i eller nært profilet kan gjøre vannføringskurven midlertidig ugyldig.

Hvordan vannføringsmålinger i naturlige profil bør gjennomføres, er beskrevet i NVEs [retningslinjer](#) for registrering av vannføring i elver.



Figur 16. Illustrasjon av en typisk målestasjon for vannføring i naturlig elveprofil, med skala og fastmerkebolt for manuell kontroll av vannstand. Illustrasjon: NVE

Vannføringskurve

På stedet der det skal utføres vannføringsmåling i elv må det etableres en vannføringskurve. Denne må gi en entydig sammenheng mellom vannstand og vannføring på målestedet. Dette oppnås ved å velge et målested med underkritisk strømning. For å få en korrekt måling må vannstanden referere til et nøyaktig innmålt punkt, som oftest en fastmerkebolt.

Det er avgjørende at vannføringsmålinger for etablering av vannføringskurve gjennomføres med tilstrekkelig nøyaktighet, se våre [retningslinjer](#) for registrering av vannføring i elver.

Det er normalt ikke et krav at vannføringskurven etableres for høyere vannføring enn den pålagte minstevannføringen, med mindre dette er bestemt i konsesjon eller et eget pålegg. Dette kan imidlertid være nyttig i andre sammenhenger. Det er viktig å få gode og mange målinger av vannføring rundt minstevannføringskravet.

6.3.4 Kunstige måleprofil

Når det ikke er mulig å finne et godt naturlig elveprofil, kan etablering av et kunstig måleprofil være et godt alternativ.

Kunstige profiler må bygges nøyaktig og etter gjeldende standard. Det er nødvendig å gjennomføre kontrollmålinger for å dokumentere at beregnet vannstand i profilet gir tilstrekkelig vannmengde. Vi viser til våre [retningslinjer](#) for konsesjonspålagt minstevannføring.

Det finnes ulike typer måleprofiler, og her følger en beskrivelse av de mest aktuelle.

V-profil

Det mest brukte kunstige profilet er et V-profil. Det brukes gjerne ved mindre vannføringer, gir nøyaktige målinger og er stabilt over tid. Dimensjonene på profilet må tilpasses vannføringen. V-profiler er prefabrikerte og støpes inn i måledammen (figur 17).

Fordelene ved V-profil er at det er en relativt enkel konstruksjon hvor vannføringen kan beregnes teoretisk med en standard formel.

For at den teoretiske formelen skal gjelde er det flere betingelser som må være oppfylt. Kriteriene er gitt i ISO 1438-1 for V-profil, tynn plate, og i ISO-8333 for V-profil, bred type.

V-profil krever at det er en viss høydeforskjell mellom vannstanden oppstrøms og nedstrøms V-profilet.



Figur 17. Bildet viser tynnplate V-profil for måling av minstevannføring. Pålagt minstevannføring er her 100 l/s. Inntegnet strek i profilet viser nødvendig vannstand for å oppfylle pålagt vannføring. Foto: Nordkraft

Rektangulære profiler

Rektangulære profiler kan også være egnet for måling av minstevannføring, spesielt ved større minstevannføringer. Det er gjerne en enda enklere konstruksjon enn et V-profil. Det er viktig at bredden på profilet er riktig dimensjonert etter vannføring. Effekten av friksjonen i overløpet er vanskelig å beregne nøyaktig, noe som gjør kontrollmålinger for slike profil nødvendig. Dette gjelder ikke for skarpkantete overløp.

Sammensatte profil kan være aktuelt å bruke der en har to forskjellige minste vannføringskrav (se figur 8).

Kriterier for utforming av et rektangulært profil er beskrevet i ISO 1438-1 for tynn plate og i ISO 3846 for bred type.

Crump-overløp

Et Crump-overløp kan brukes der det er liten høydeforskjell på målestedet. Det er en noe mer komplisert konstruksjon enn V- og rektangulært profil, men dersom det er konstruert riktig vil vannføringen kunne beregnes med en standard teoretisk formel.

ISO 4360 beskriver utforming av Crump-overløp. En variant av Crump med V-formet bunn er beskrevet i ISO 4377.

6.3.5 Ulike vannstandsmålere

Det er hovedsakelig to prinsipper som benyttes for måling av vannstand. Måling av vanntrykket over elvebunnen eller måling av nivået til vannoverflaten.

Forutsetninger for en god måling er blant annet:

- Vannstandssensoren må plasseres der den representerer vannstanden i profilet, et sted med rolig vann. Vannhastigheten bør derfor ikke være for høy nært sensoren.
- Vannstanden nedstrøms profilet må ikke påvirke vannføringen gjennom måleprofilet.
- Vannstandssensor eller bestemmende profil må ikke være utsatt for tilfrysing vinterstid.
- Vannstandssensoren må ikke påvirkes av vannoppstuvning. I områder med lite fall og hvor det kan forekomme flom- og isoppstuvning i bekk nedstrøms minste vannføringsslippet, bør det vurderes tiltak.

Den mest brukte løsningen for måling av vannstand er:

- **Trykkcelle**

Trykkceller senkes til nær bunnen eller under lavest forekommende vannstand på målestedet. Den må forankres godt og på et stabilt sted. Det er viktig at trykkceller plasseres frostfritt og der vannet er tilnærmet stillestående. Trykkceller finnes i mange utgaver og prisklasser avhengig av bruk og krav til nøyaktighet. Den registrerer vanntrykket som omregnes til vannstand. Det er viktig å ta hensyn til at trykket varierer både med vannstand, vannstrøm, atmosfæretrykk og vannhastighet. Det er derfor viktig at en trykkcelle kan kompensere for varierende atmosfæretrykk. Det gjøres enten med en differansetrykkmåler, eller to trykkmålere der den ene registrerer atmosfæretrykk. En differansetrykkmåler har lufterør i signalkabelen. Denne må være åpen mot atmosfæretrykket, men må beskyttes mot fuktighet. Dersom det er mye sedimenter i vannet kan det være behov for hyppig rengjøring av trykkcellen.

Andre vannstandsmålere som brukes er blant annet:

- **Flottørmåling**

Bruk av flottørmåler krever at man har en brønn i tilknytning til profilet, fordi det kreves en rolig og frostfri vannoverflate. Dette er en svært stabil og nøyaktig målemetode, men det er viktig at kommunikasjonen mellom målebrønn og elv holdes åpen.

- **Boblerørsanlegg**

Et boblerørsanlegg består av et boblerør nedsenket under vann tilkoblet en trykktransmitter. Denne metoden er et godt alternativ der det må tas spesielle hensyn til overspenningsproblemer eller har utfordringer med mye sedimenter.

- **Ultralyd- og radarsensor**

Sensoren monteres over vannflaten og måler nivået på vannspeilet. Ultralyd nivåmåling kan benyttes for jevne overflater uten skum (mye humus i vannet kan føre til skumdannelse under høye vannføringer). Radaren blir ikke påvirket av skum på vannoverflaten. Både ultralydsensor og radarsensor er avhengig av et isfritt målested.

7 Informasjon til allmennheten

7.1 Informasjon om minstevannføringen på stedet

Allmennheten og NVE skal som hovedregel kunne kontrollere at kravet til pålagt minstevannføring blir oppfylt på stedet der kravet er gitt. Det er også tiltakshavers interesse å vise at kravet er oppfylt.

En metode for avlesing av den minstevannføringen som slippes bør, når det er mulig, etableres der minstevannføringen slippes tilbake i elva.

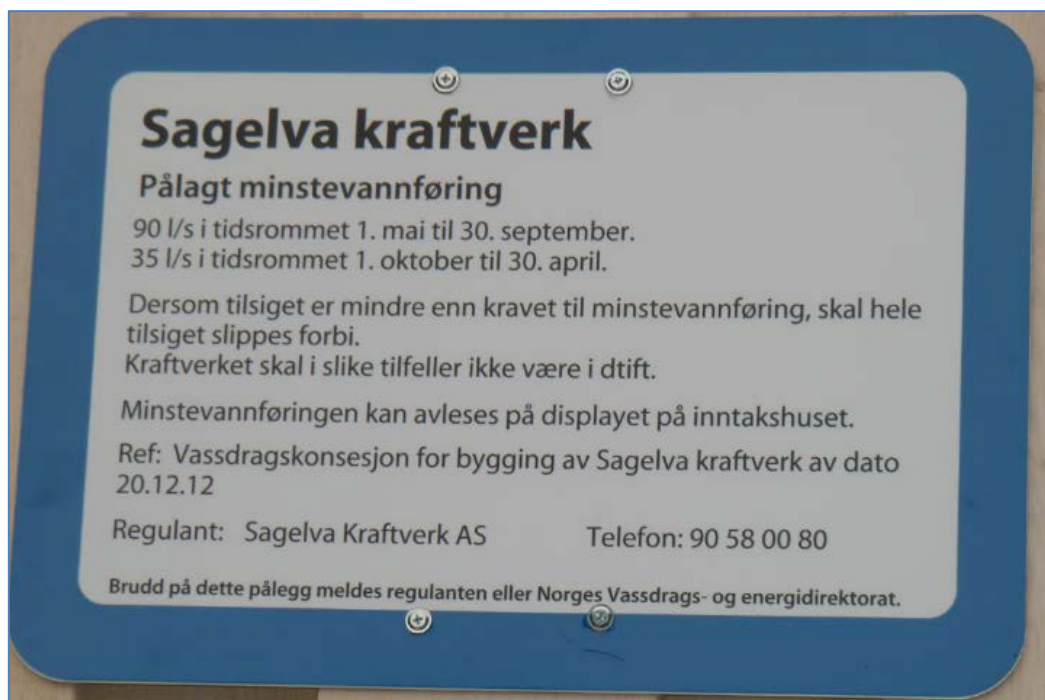
Hvis inntak og minstevannføringsarrangement ligger på et vanskelig tilgjengelig sted, må en finne alternative løsninger. Da kan opplysningsskilt og display for eksempel plasseres utenfor kraftstasjonen eller på et annet egnet sted som er lett tilgjengelig for folk.

7.2 Opplysningsskilt om minstevannføringen

På steder hvor det er krav opplysningsskilt for minstevannføring må det etableres et skilt med opplysninger om minstevannføringskravet ([figur 18](#)). Skiltmalen finnes på www.nve.no.

Følgende informasjon bør stå på skiltet:

- gjeldende konsesjon med dato
- hvilke vannføringer som skal slippes til enhver tid
- dersom det er satt vilkår om slipp av tilsiget når anlegget står, skal dette fremgå på skiltet
- hvordan allmennheten kan kontrollere at rett minstevannføring slippes
- kontaktinformasjon til anleggseier (navn, telefonnummer og ev. hjemmeside)
- informasjon om at eventuelle brudd meldes til anleggseier og/eller NVE



Figur 18. Dette opplysningsskiltet for minstevannføring inneholder tilstrekkelig informasjon til allmennheten. Skiltet er laget etter NVEs skiltmal. Foto: NVE

I nyere vassdragskonsesjoner er det satt vilkår om at skiltets utforming og plassering skal godkjennes av NVE.

7.3 Visning av minstevannføring i nåtid

Vi anbefaler bruk av **elektronisk display** for visning av registrert minstevannføring i nåtid (sanntid) der dette er mulig. Dette er en enkel måte å lese av vannføringen på. Aktuell plassering av display kan være på lukehuset eller inne i lukehuset synlig gjennom vindu (figur 19).

Andre måter å vise minstevannføringen som slippes i nåtid kan være:

- sms-tjeneste
- publisering av vannslippet på internett
- merking av vannstanden i måleprofilen eller i inntaksbassenget



Figur 19. Ved dette inntaket er det etablert opplysningsskilt om pålagt minstevannføring og elektronisk display som viser registrert minstevannføring i nåtid. Pålagt minstevannføring er 100 l/s om sommeren og 10 l/s om vinteren. Foto: Hydrateam/Norsk Grønnkraft

7.3.1 SMS eller publisering på internett

Bruk av SMS-tjeneste eller publisering av minstevannføringsslippet på internett, er aktuelle metoder for å informere om minstevannføringen i nåtid. En forutsetning er at det er god mobildekning i området.

7.3.2 Målestav og bolter

Vi anbefaler, uansett hvilken løsning som blir valgt for avlesning av minstevannføringen, å sette opp en målestav med vannstandsskala i inntaksbassenget som en ekstra kontrollmetode for avlesning av vannstand. I mange manøvreringsreglement er det satt krav om merking i reguleringsmagasinet for avlesning av vannstand. Merking med høydebolter (HRV-bolt og fastmerkebolt) i tillegg til en målestav er vanlig.



Figur 20. Bildet viser en målestav for avlesning av vannstand og tilhørende minstevannføring i et naturlig elveprofil. Fastmerkebolt er markert med rød maling for god synlighet. Foto: NVE

En målestav må stå godt synlig for avlesning og representere vannstanden på målestedet. Det er også viktig at målestaven står slik at den ikke blir påvirket av strømmende vann og er beskyttet mot fysisk påvirkning som kan ødelegge målestaven. Målestaven må plasseres slik at vannstanden enkelt kan leses uten at det er fare for å falle i vannet. I tillegg anbefaler vi å etablere en fastmerkebolt slik at man i ettertid kan kontrollere at målestaven har riktig høyde til enhver tid ([figur 20](#)).

8 Oppfølging og kontroll i driftsfasen

8.1 Krav om internkontroll

8.1.1 Internkontroll etter IK-vassdrag

Et arrangement for slipp og dokumentasjon av minstevannføring krever oppfølging i driftsfasen. Rutiner og prosedyrer for kontroll med minstevannføringsarrangementet og resten av anlegget må inngå i konsesjonærens eller eierens *internkontrollsystem*, jf. forskrift om internkontroll etter vassdragslovgivningen (IK-vassdrag). Forskriften er nærmere omtalt i *NVEs rettleiar til forskrift om internkontroll etter vassdragslovgjevinga*, 4/2018.

Overordnet skal kravet om et internkontrollsystem sikre at prosedyrer og rutiner blir etablert og at systemet blir brukt, gjennomgått og oppdatert jevnlig. Spesielt for minstevannføring gjelder det at internkontrollsystemet skal bidra til å unngå uønskede hendelser som kan føre til brudd på pålagt slipp og dokumentasjonskrav.

I internkontrollsystemet må den ansvarlige beskrive kontroll eller tilsyn den ansvarlige selv utfører. Dette gjelder både jevnlig kontroll på stedet, og spesiell kontroll når det er unormale situasjoner som tørke og flommer. Unormale situasjoner vil normalt bety ekstra oppfølging av slipp- og målestedet for å se til at det fungerer.

8.1.2 Krav om internkontrollsystem

Et internkontrollsystem som skal dekke dokumentasjonskravet for minstevannføring bør blant annet inneholde følgende (jf. IK-vassdrag § 5):

- tekniske tegninger av arrangementet, og inntegnede elementer som slippsted, skilt, målestav og fastmerkebolt på kart (§ 5.2)
- dokumentasjon som bekrefter at personell har tilstrekkelig kompetanse om drift av arrangementet og tilgang på nødvendig fagkompetanse til å gjennomføre kontrollmålinger for eksempel (§ 5.3)
- beskrivelse og oversikt over organisering av ansvar, oppgaver og myndighet for personellet ved anlegget (§ 5.4)
- lagrede data og annen informasjon som dokumenterer at kravet til minstevannføring har vært oppfylt (§ 5.5 og § 6)
- dokumentasjon som viser at måleutstyret viser riktige verdier og at kontrollmålinger er gjennomført (for eksempel instruksjoner og sertifikat for måleutstyr, tekniske tegninger og dokumentasjon av kontrollmålinger) (§ 5.5).
- kartlegge hvilke situasjoner som kan føre til utfall av pålagt slipp og måling av minstevannføring, vurdere risiko, følge opp med planer og tiltak for å redusere eller hindre slike hendelser (§5.6)
- redegjørelse for hvordan den ansvarlige sørger for at kravet til pålagt minstevannføring blir oppfylt (§5.7), for eksempel at det er etablert en målemetode og hvordan arrangementet skal følges opp

- rutiner for å avdekke, rette opp og forebygge avvik fra pålagt minstevannføring, hvem som skal få varsel når avvik blir oppdaget og hvem som har ansvar for å rette opp avviket (§ 5.8)
- dokumentasjon som viser systematisk gjennomgang og oppdatering av rutiner og sjekklister for oppfølging av minstevannføringsarrangementet (§ 5.9)

8.1.3 Krav til kompetanse

Driften av et vassdragsanlegg krever ulike typer kompetanse.

Det er opp til eieren av anlegget å innhente riktig kompetanse, enten ved å skaffe seg det i egen virksomhet eller ved å benytte ekstern kompetanse.

Det forventes at selskapet har eller disponerer tilstrekkelig kompetanse til å kunne planlegge, installere og gjøre de rette vurderingene ved drift av et minstevannføringsarrangement ([figur 21](#)).



Figur 21. Bildet viser arbeid med nivellering av referansepunkt for trykksensorer ved ombygging av et V-profil. Slikt arbeid krever bruk av riktig kompetanse. Foto: Nordkraft

8.1.4 Forebygging av avvik

Et avvik er definert som et brudd på krav fastsatt i eller i medhold av vassdragslovgivningen. I denne veilederen gjelder dette krav knyttet til konsesjonsvilkåret om minstevannføring. Den ansvarlige for anlegget må selv definere og sette grenseverdier i sitt måleutstyr som sørger for varsling for å unngå situasjoner som kan gå mot brudd på minstevannføringskravet. Det er nødvendig å ha rutiner for å forebygge og kunne iverksette tiltak i tide for å unngå brudd på minstevannføringen.

8.2 Kontroll og overvåking

For å kunne dokumentere at kravet til minstevannføring er og har vært oppfylt, er det viktig å ha en rutine for kontroll av at måleutstyret gir riktig verdi.

8.2.1 Kontroll av slippsted og målested

Eieren må ha en prosedyre og rutiner for eget tilsyn av slipp- og målested for minstevannføring. Prosedyren må tilpasses det enkelte arrangementet og bør definere kontrollmetode, innholdet i kontrollen og hyppigheten av stedlige kontroller. Beliggenheten til arrangementet, hvor robust arrangementet er for ytre påvirkning og hvilke driftserfaringer man har med anlegget, er forhold som har betydning for hvordan slike kontroller kan gjennomføres.

Etter flomperioder eller isgang i vassdraget bør man ha rutiner med en ekstra sjekk av rister og slipp- og målested for minstevannføring for å fjerne is og drivgods. I perioder med lite tilsig er det ofte nødvendig med hyppig kontroll for å sikre at pålagt minstevannføring slippes.

For å sikre at måleutstyret er i god stand og viser riktige verdier, er det nødvendig at sensorer og kommunikasjons- og alarmutstyr kontrolleres jevnlig og kalibreres ved behov. Eier er ansvarlig for slik oppfølging.

8.2.2 Forutsetninger for gode måledata

Alle målinger, både manuelle og automatiske, er forbundet med en viss grad av usikkerhet.

Viktige forutsetninger for å oppnå god målenøyaktighet er blant annet:

- å følge leverandørens anvisninger og spesifikasjoner
- å ha hydraulisk forståelse og god kjennskap til sensorenes funksjon og begrensning
- å gjennomføre kontrollmålinger av vannslippet (se kapittel 8.3)
- å gjennomføre nødvendig kontroll og vedlikehold av måleutstyret

Når det er aktuelt med alternativ strømforsyning, må anleggseier sørge for rutiner for skifte av batteri og tømning av datalagringsmedium.

8.2.3 Kontroll av måleutstyret

Det er viktig at anleggseier kontrollerer at måleutstyret er plassert riktig og har en rutine for å avdekke skader på utstyret. Spesielt viktig er det å måle inn sensorer og sjekke utstyret etter vinteren og etter flomhendelser. I tørre perioder er det også nødvendig å kontrollere at utstyret fungerer som forutsatt.

8.2.4 Kalibrering av måleutstyr

Kalibrering av måleutstyr innebærer at måleverdiene som vannmåleutstyret viser blir kontrollert mot et mer nøyaktig referanseinstrument. Referanseinstrumentet må kunne referere tilbake til nasjonale eller internasjonale standarder.

Behovet for kalibrering er knyttet til at et måleinstrument endrer visningen over tid. Endringer kan blant annet skyldes røff behandling, aldring eller slitasje. En

vannføringsmåler (flowmåler) kan bli forstyrret på grunn av ansamling av skitt i røret, støt eller feil under installasjonsprosessen. Regelmessig inspeksjon og kalibrering av måleren er derfor nødvendig for å sikre presise målinger.

Eier av anlegget må kunne dokumentere at installasjon og utforming av måleutstyr er i henhold til standard eller dokumentasjon fra leverandøren. Derfor må en plan og prosedyre for kalibrering av måleutstyr inngå i internkontrollsystemet.

8.2.5 Fjernovervåking og alarm

Det er viktig å få rask varsling ved situasjoner som krever handling, for eksempel stedlig tilsyn eller reparasjon av instrumenter. Utstyr for automatisk måling, registrering og dokumentasjon av minstevannføring bør derfor ha kommunikasjon med driftssentral, pc eller telefon. I et alarmsystem bør grenseverdien settes over minstevannføringskravet slik at man har tilstrekkelig med tid til å gjøre tiltak for å hindre brudd på kravet til minstevannføring.

For anlegg som er vanskelig tilgjengelig (høyt til fjells, veiløst eller rasutsatt) kan det være aktuelt å supplere stedlige kontroller med kameraovervåking eller annen teknologi for fjernovervåking. Bruken av kamera må være i overensstemmelse med gjeldende krav i aktuelt lovverk (personvernlovgivningen).

Kameraovervåking av minstevannføring kan være nyttig i den daglige driften, men det dekker ikke kravet til måling og dokumentasjon av minstevannføringen. NVE anser overvåking med kamera som et supplement til kontroll på slippstedet.

8.2.6 Tilsyn ved slippstedet vinterstid

Det kan være utfordrende å føre tilsyn med minstevannføringsarrangement om vinteren. Mange slippsteder er vanskelig tilgjengelig for kontroll på grunn av snø og is (figur 22). Slipparrangementet kan bli tettet av isgang, drivende is, sarr og snø om vinteren. Videre kan kulde og is påvirke måleutstyret selv om det står isolert.

Det er også utfordrende å føre tilsyn med minstevannføringsarrangement som ligger langt fra vei. Tilsyn av slippsteder som ligger høyt til fjells kan også være forbundet med ekstra risiko for tilsynspersonell.

Det er viktig å velge et arrangement for slipp og måling av minstevannføring som tåler de klimatiske forholdene på stedet. Det er blant annet en fordel å etablere en reserveløsning, spesielt i de tilfeller der måleutstyret stadig blir påvirket av frost eller av ekstreme vær-situasjoner som lynnedslag.

Selskapet bør etablere rutiner for tilsyn av måleutstyr og slipparrangement om vinteren. Vedlikeholdsrutiner og hva slags utstyr som trengs og hvordan man skal ha dette tilgjengelig for driftspersonalet, bør være dokumentert skriftlig i internkontrollsystemet.



Figur 22. Bildet illustrerer tilsyn av et arrangement for minstevannføring vinterstid. Type arrangement og driftserfaringer vil danne grunnlag for hvor ofte det må gjennomføres tilsyn og innholdet i tilsynet. Foto: NVE

Erfaringer fra tilsyn med arrangementet gjennom ulike årstider og vær-situasjoner vil danne grunnlag for de skriftlige rutinene for tilsyn. Det vil si rutiner som sier noe om frekvens og innhold i tilsynet. Valg av frekvens og innhold bør begrunnes og framgå av internkontrollsystemet.

8.3 Kontrollmåling av minstevannføringen

8.3.1 Det må gjennomføres kontrollmålinger av vannslippet

Kontrollmåling av minstevannføring vil si vannføringsmålinger som utføres for å kunne kontrollere om den målte verdien for minstevannføringen er riktig. Kontrollmålinger gjennomføres ved slippunktet for minstevannføringen i elva eller på egnet sted i elva nedstrøms vannslippet. Slike målinger må gjennomføres for alle typer minstevannføringsarrangement.

For at kontrollmålingene skal bli så nøyaktige som mulig må man:

- bruke nødvendig fagkompetanse i planlegging og utføring
- bruke egnet metode for hvert enkelt slippsted
- følge anbefalinger fra utstysleverandør
- utføre tilstrekkelig antall målinger/repetisjoner for å redusere måleusikkerheten

Vannføringsmålinger må utføres i henhold til gjeldende ISO-standard eller i tråd med andre standarder som sikrer tilsvarende kvalitet. Det er også avgjørende at instrumenter som benyttes er kalibrert og har oppdatert programvare.

Gjennomførte kontrollmålinger skal kunne dokumenteres skriftlig. Det må gå frem av dokumentasjonen at kontrollmålingene er gjort etter gjeldene standarder. Vurderinger som er gjort om målefeil og måleusikkerhet er også en naturlig del av den skriftlige dokumentasjonen.

Vi anbefaler å lage en plan for kontrollmålinger som beskriver omfang og hyppighet. Kontrollmålinger kan gjøres på flere måter. Hvilken metode som er best egnet avhenger blant annet av elvas fysiske karakter. For alle kontrollmetodene er det en forutsetning å finne et godt målested for å redusere feilkilder.

8.3.2 Feilkilder og måleusikkerhet

Nøyaktigheten til en måling er graden av overensstemmelse mellom den målte og den sanne verdi til en måling, den uttrykkes ved begrepet usikkerhet.

Generelt vil usikkerheten kunne reduseres ved å repetere målingen flere ganger.

Under beskriver vi ulike metoder for kontrollmålinger: areal-hastighet, fortynnings- og volum/tid-metoden. Det er viktig å kjenne til de mest kjente feilkilder ved de ulike målemetodene.

8.3.3 Areal-hastighetsmetoden

Areal-hastighetsmetoden benyttes i elver med jevn og lineær vannstrøm. Metoden gjennomføres i elvens vannstrøm nedstrøms slippstedet for minstevannføringen, og utføres med flygel eller dopplerinstrument som måler vannhastighet og areal i elven. Metoden fungerer best på elvestrekninger med jevnt strømningsmønster, med forholdsvis jevn bunn uten store steiner. Det må i tillegg være en viss vanndybde. Hvis det er mye skråstrømmer i elven er et dopplerinstrument mer nøyaktig enn flygel.

Flygel er et mekanisk instrument med propell som måler hastigheten i vannet. Vannhastigheten måles vanligvis i 20 (10-30) vertikaler tvers over elva, i aktuelle dyp. Slik får man kartlagt både arealet av tverrsnittet i elveløpet og vannets hastighet vinkelrett på tverrsnittet. Produktet av disse to faktorene gir vannføringen.

Et **akustisk dopplerinstrument** beregner vannføringen ved hjelp av målte hastigheter på partikler suspendert i vannet ([figur 23](#)).



Figur 23. Bildet viser kontrollmåling av minstevannføring ved bruk av ADCP-utstyr i en liten elv. Foto: NVE

Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) er det mest vanlige doppler-instrumentet. For slike målere vil for mye sidetillegg, det vil si relativ høy vannhastighet nær elvebredden, og stor bunntransport kunne påvirke målingene.

8.3.4 Fortynningsmetoden

Fortynningsmetoden kan kun benyttes i elver, bekker og kanaler med turbulent vannstrøm. En kjent mengde sporstoff, vanligvis kjøkkensalt, slippes enten direkte i vannslippet eller rett nedstrøms slippstedet (figur 24). Fortynningsmetoden krever turbulente vannmasser mellom slippsted og målested (blandestrekningen), slik at sporstoffet blandes godt og fordeles jevnt og raskt i elvens vannmasser. Mengde sporstoff avhenger av avstand mellom utslippspunkt og sensor, generelt må det brukes mer sporstoff ved lang blandestrekning.

Sensorer som måler sporstoffkonsentrasjonen plasseres nedstrøms blandestrekningen. På bakgrunn av endringene i sporstoffkonsentrasjon i vannet etter tilsetning av sporstoff og kjent tilført mengde sporstoff, kan vannføringen beregnes.

Målestedet må velges slik at det sikrer homogen blanding mellom sporstoff og vann. Forhold som sikrer homogen blanding, er stryk med kontraksjoner og fosser. Unngå store kulper og bakevjer mellom utslippspunktet og sensor. Unøyaktig mengde sporstoff, og tilsig av «ferskvann» fra grunnvann eller bekker som treffer sensorene, vil kunne påvirke måleresultatet. Det er også viktig for kvaliteten på målingen at kalibreringen av loggerne er nøyaktig utført.



Figur 24. Bildene illustrerer kontrollmåling av minstevannføring i elva nedstrøms inntaket til et kraftverk ved hjelp av fortynningsmetoden. Først blandes en kjent mengde kjøkkensalt med vann (venstre bilde). Blandingen slippes ut der minstevannføringen slippes ut i elva. Utstyr for å måle ledningsevnen plasseres på egnet sted nedstrøms slippstedet (bilde til høyre). Målingen pågår fra saltblandingen slippes og til bølgen av økt saltkonsentrasjon har passert logger. Foto: NVE

8.3.5 Volum/tid-metoden

Volum/tid-metoden (også kalt «bøtte-metoden») egner seg best for små slippmengder (typisk < 10 l/s). Målingen utføres med stor bøtte eller en beholder med kjent volum, og en stoppeklokke. Målemetoden er avhengig av at det er mulig å plassere en beholder som kan samle opp hele vannslippet ved utløp av røret eller luka. Den er også avhengig av at tidsavlesningen er nøyaktig. For å oppnå et representativt måleresultat må det gjennomføres mange repetisjoner.

8.4 Rapportering til NVE

8.4.1 NVE fører tilsyn med at pålagt minstevannføring blir oppfylt

NVE fører tilsyn med at pålagt minstevannføring blir oppfylt og at bestemmelser fastsatt i IK-vassdrag overholdes. Videre følger vi opp brudd på kravene til slipp og dokumentasjon av minstevannføring. En reaksjon fra NVE kan innebære krav om retting, overtredelsesgebyr og i noen tilfeller anmeldelse.

8.4.2 Innsending av dokumentasjon til NVE

I forbindelse med NVEs tilsyn, kan tiltakshaver bli bedt om å sende inn registrerte minstevannføringsdata for en gitt periode.

Når vi etterspør minstevannføringsdata kan vi be om at:

- data er reelle observerte data (ukorrigerede rådata)
- grunnlagsdata og annen dokumentasjon som er nødvendig informasjon for at NVE skal kunne kontrollere observerte data legges ved
- data oversendes på en oversiktlig og forståelig form, for eksempel i en exceltabell
- en grafisk fremstilling av de etterspurte data

Eier bør videre redegjøre for forhold knyttet til oversendte data som beskriver driftssituasjonen og som derfor kan være av interesse for NVE.

For kraftverk som har krav om slipp av tilsiget når kraftverket står, kan det være behov for å supplere minstevannføringsdata med driftsdata i form av driftsvannføring eller andre produksjonsdata for vassdragsanlegget for den gitte perioden.

For eldre anlegg som benytter måling av vannstand i inntaksbassenget og teoretisk beregning av vannføring (indirekte måling), kan NVE be om at tiltakshaver legger frem beregningsformel, tekniske tegninger, loggførte interne kontroller og dokumentasjon på gjennomførte kontrollmålinger i tillegg til lagrede minstevannføringsdata.

Når NVE har satt krav om innrapportering av data, i et særskilt pålegg om hydrologiske undersøkelser, vil registreringsfrekvens og rapporteringshyppighet være beskrevet i det aktuelle pålegget. Data må da sendes til NVE. En nærmere beskrivelse av slik datainnsending står i [retningslinjer](#) for innsending av hydrologiske måledata.

8.4.3 Informasjon til NVE

Det kan oppstå situasjoner der pålagt krav til slipp og- eller dokumentasjon av minstevannføring ikke blir oppfylt. NVE forventer å bli orientert så raskt som mulig i slike situasjoner. Hendelsen kan i noen tilfeller vise seg å kreve spesiell oppfølging fra NVE. Ved å melde inn slike hendelser så raskt som mulig, under eller etter hendelsen, viser selskapet at de har et system som fanger opp avvik og kan rette opp feilen.

9 Oppsummering - arrangement NVE godkjenner

Tabellen under oppsummerer de ulike slippøsningene med aktuell målemetode og beskriver forutsetningene for at arrangementet kan godkjennes av NVE. Vi viser til kapittel 8 for beskrivelse av kontrollmålinger og krav til oppfølging i driftsfasen. Dette er ikke tatt inn i tabellen.

Løsning for vannslipp	Målemetode	Dokumentasjon til NVE	Merknad	Kontroll for allmennheten
Rør via frostfritt rom	Vannføringssmåler (flowmåler) montert på eller i rør	Loggførte data for angitt periode	Vannuttaket til minstevannføring etableres etter inntaksrist/varegrind. Utløp rør så nær dam eller terskel som mulig. Krever riktig installasjon (rettstrekning på rør, laminær strømming mv.)	Skilt og elektronisk display, sms-løsning e.l.
Rør gjennom dam eller terskel	Måleprofil nedstrøms dam og elektronisk registrering av vannstand	Loggførte data Teoretiske beregninger	Tiltak for å hindre tilstopping av rør. Hyppig stedlig tilsyn og loggføring av disse. Kameraovervåking kan være aktuelt som supplement til stedlig tilsyn.	Skilt og målestav, eller elektronisk display, sms e.l.
Tappeluker	Elektronisk registrering av vannstand og lukeåpning Måleprofil nedstrøms slippsted	Loggførte data. Teoretiske beregninger, kapasitetskurver.	Luka må være tilpasset formålet og ha reguleringsmulighet. Sørge for tiltak ved tilstopping, is- frostproblematikk.	Skilt og målestav eller elektronisk display, sms e.l.
Utsparing i dam	Elektronisk registrering av vannstand, aktuell løsning ved inntak med coandarister Måleprofil nedstrøms slippsted	Loggførte data. Teoretiske beregninger.	Profil må være sikret mot tilstopping og NVE kan sette krav om spesiell overvåking, for eksempel med kamera.	Skilt og målestav eller elektronisk display, sms e.l.
Fiskepassasjer	Registrering av vannstand	Loggførte data. Teoretiske beregninger. Tekniske tegninger.	Arrangementet må ikke være et vandringshinder for fisk. Se kapittel 5.1.	Skilt og målestav eller elektronisk display, sms e.l.

Litteraturliste

Lover

Lov om vassdragsreguleringer ([LOV -1917-12-14-17, vassdragsreguleringsloven](#)),

Lov om vassdrag og grunnvann ([LOV-2000-11-24-82, vannressursloven](#))

Lov om vassdragene ([LOV-1940-03-15-03, vassdragsloven](#))

Forskrifter

Forskrift om internkontroll etter vassdragslovgivningen ([FOR 2011-10-28-1058, IK-vassdrag](#)).

Retningslinjer for pålagte hydrologiske undersøkelser

Retningslinjer for dokumentasjon og registrering av driftsvannføring, overløp, luketapping og forbitapping i kraftverk (20.06.2016)

Retningslinjer for registrering av konsesjonspålagt minstevannføring (20.06.2016)

Retningslinjer for registrering av vannføring i elver (20.06.2016)

Retningslinjer for registrering av vannstand i regulerte vannmagasin (20.06.2016)

Retningslinjer for innsending av hydrologiske data (20.06.2016)

Retningslinje fra NVE og OED

Retningslinjer for revisjon av konsesjonsvilkår for vassdragsreguleringer (25.05.2012)

Retningslinjer for flomløp utgave, 2.utg. (NVE Retningslinje 2005) Oslo: NVE

Veiledere

Overvåking av vassdragsanlegg, veileder til damsikkerhetsforskriften (NVE veileder 3/2019) Oslo: NVE

Rettleiar til forskrift om internkontroll etter vassdragslovgjevinga (NVE veileder 4/2018) Oslo: NVE

Veileder til vannressursloven og NVEs behandling av vassdrags- og grunnvannstiltak. (NVE veileder 1/2017) Oslo: NVE

Sikringstiltak ved vassdragsanlegg, veileder til damsikkerhetsforskriften. NVE veileder 6/2015) Oslo: NVE

Veileder for utarbeidelse av detaljplan for miljø og landskap for anlegg med vassdragskonsesjon. (NVE veileder 3/2013) Oslo: NVE

Inntakshåndboken. En rettleiding for planlegging og utforming av inntak til småkraftverk (NVE veileder 1/2006) Oslo: NVE

Veileder for planlegging, bygging og drift av små kraftverk (NVE-veileder 1/2010) Oslo: NVE

Rapporter

Berg, A. og Mosevoll, G. (1985). *Slipping og kontroll av minstevannføringer*. Rapport STF60 A85030, NHL Sintef-gruppen. ISBN 82-595-3976-4.

Calles O, Degermann, E., Wickstrøm E, Christiansson J, Wickstrøm H., & Næslund I. 2013. *Anordningar för upp- och nedströmspassage av fisk vid vattenanläggningar*. Havs- og vattenmyndigheten. Rapportnummer 2013:14

Elstad, I.K. og Norén, K.E. (2008). *Minstevannføring ved små vannkraftverk*. (NVE Rapport 6/2008). Oslo: NVE.

Fjeldstad, H.P., Pulg, U., Forseth, T. 2018. *Sikker toveis fiskevandring forbi vannkraftverk: kunnskapsoppdatering og mønsterpraksis*. Sintef rapport 723

Tiltakshåndbok for bedre fysisk vannmiljø: God praksis ved miljøforbedrende tiltak i elver og bekker. Uni Miljø Research. Rapport nr. 296

USFWS (U.S. Fish and Wildlife Service). 2017. *Fish Passage Engineering Design Criteria*. USFWS, Northeast Region R5, Hadley, Massachusetts.

Bøker og faktaark

Fergus, T. (red.), Hoseth, K. A. (red.), Sæterbø, E. (red.). *Vassdragshåndboka. Håndbok i vassdragsteknikk*. Trondheim : TAPIR Akademisk Forlag, 2010

Inntak. NVE Faktaark 4/2015

Standarder - ISO

ISO 15769 - Guidelines for the application of acoustic velocity meters using the Doppler and echo correlation method

ISO 26906 – Hydrometry – Fishpasses at flow measurement structures (siste utgave)

NS-EN ISO 6416 Måling av avløp med ultrasonisk (akustisk) metode (siste utgave)

ISO 3966 Measurement of fluid flow in closed conduits -- Velocity area method using Pitot static tubes

NS-EN ISO 5167 Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full

ISO 14139 Hydrometric determinations -- Flow measurements in open channels using structures -- Compound gauging structures

ISO 4360 Hydrometry -- Open channel flow measurement using triangular profile weirs

ISO 4377 Hydrometric determinations -- Flow measurement in open channels using structures -- Flat-V weirs

ISO/TS 25377 Hydrometric uncertainty guidance (HUG)



NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

.....

MIDDELTHUNSGATE 29
POSTBOKS 5091 MAJORSTUEN
0301 OSLO
TELEFON: (+47) 22 95 95 95

www.nve.no